

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y
COMPORTAMIENTO HUMANO**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“EVALUACION DE LA EXPOSICION AL RUIDO EN EL AREA DE
LLENADO DE UNA EMPRESA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS Y
PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCION Y CONTROL”**

Realizado por:

HERNAN VINICIO GUERRERO GRANIZO

Director del proyecto:

ING. FRANCISCO SALGADO. MSc

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito, Julio del 2015

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, HERNAN VINICIO GUERRERO GRANIZO, con cédula de identidad # 020147857-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Hernán Vinicio Guerrero Granizo

C.C.: 020147857-5

DECLARATORIA DEL DIRECTOR

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“EVALUACION DE LA EXPOSICION AL RUIDO EN AL AREA DE LLENADO DE
UNA EMPRESA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS Y PROPUESTA DE MEDIDAS
DE PREVENCION Y CONTROL”**

Realizado por:

HERNAN VINICIO GUERRERO GRANIZO

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

ha sido dirigido por el profesor

FRANCISCO SALGADO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Francisco Salgado

DIRECTOR

DECLARATORIA PROFESORES INFORMANTES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

DAVID ALEJANDRO TRUJILLO OTÁNEZ

PABLO RAMIRO DÁVILA RODRIGUEZ

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

David Trujillo Otáñez

Pablo Dávila Rodríguez

Quito, Julio de 2015

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi madre, mi esposa y mi hija quienes han estado a mi lado siempre apoyándome y brindándome ese apoyo incondicional los ánimos para seguir.

Gracias a ustedes que son mi motor, mi luz que todos los días ilumina el camino que debo seguir y por apoyarme en todas las decisiones.

AGRADECIMIENTO

Al profesor Francisco Salgado por su acertada dirección de la tesis. Su profesionalismo y entrega fueron determinantes a la hora de conformar este documento.

A la Universidad Internacional SEK, por su esfuerzo de formar profesionales íntegros

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
1.1. El Problema de Investigación	1
1.1.1. Planteamiento del Problema	1
1.1.1.1. Diagnóstico.....	1
1.1.1.1. Pronóstico.....	2
1.1.1.2. Control Pronóstico.....	2
1.1.2. Objetivo General	2
1.1.3. Objetivos Específicos	2
1.1.4. Justificaciones	3
1.2. Marco Teórico.....	4
1.2.1. Estado actual del conocimiento sobre el tema	4
1.2.1.1. Ruido	4
1.2.1.2. Política de las empresas frente al ruido.....	5
1.2.1.3. Vibración	6
1.2.1.4. Decibelio	6
1.2.1.5. Formación del sonido	7
1.2.1.6. Propagación del Sonido	7
1.2.1.7. Prevención frente al ruido.....	7
1.2.1.8. Física del fenómeno acústico	8
1.2.1.9. Nivel de Presión sonora	9
1.2.1.10. Ruido Industrial	10
1.2.1.11. Teoría fundamental del sonido.....	11
1.2.1.12. Análisis en bandas de octava	12
1.2.1.13. Nivel de banda de octava	14
1.2.1.14. Atenuación del sonido con la distancia	15
1.2.1.15. Ponderación en Frecuencia	16
1.2.1.16. Escalas de Ponderación A.....	17
1.2.1.17. Técnicas De Control De Ruido	19
1.2.1.18. Efectos de Ruido en la Salud	21

1.2.1.19.	Efectos de la Exposición a Ruido en la Audición	22
1.2.1.20.	Medidas de Nivel Sonoro	23
1.2.1.21.	Reducción del ruido en áreas de producción	34
1.2.1.22.	Efectos de la exposición al ruido sobre el trabajador	35
1.2.1.23.	Equipos de protección personal (EPI'S)	42
1.2.2.	Adopción de una perspectiva teórica	44
1.2.3.	Hipótesis.....	45
1.2.4.	Identificación y caracterización de variables	45
1.2.4.1.	Variable Independiente	45
1.2.4.2.	Variable Dependiente	45
1.2.4.3.	Covariables.....	46
CAPITULO II. MÉTODO		49
2.1.	Nivel de Estudio	49
2.1.1.	Toma de información.....	49
2.1.2.	Análisis de Resultados.....	51
2.2.	Evaluación de resultados	52
2.3.	Proposición de medidas	52
2.3.1.	Método APV o de bandas de octava	52
2.3.2.	Método HML.....	53
2.3.3.	Método SNR.....	54
2.3.4.	Método de Absorción Acústica en lugares cerrados	54
2.4.	Modalidad de Investigación.....	56
2.5.	Método	56
2.6.	Población y muestra	57
2.7.	Selección instrumentos de investigación	57
CAPITULO III. RESULTADOS.....		58
3.1.	Presentación y análisis de resultados	58
3.1.1.	Levantamiento de datos	58
3.1.2.	Análisis de resultados	64
3.2.	Evaluación.....	69

3.3.	Proposición de medidas	69
3.3.1.	Propuesta de medidas con Orejeras 3M H9A	70
3.3.1.1.	Método APV de llenado de agua mineral	71
3.3.1.2.	Método HML llenado de agua mineral	71
3.3.1.3.	Método SRN llenado de agua mineral	72
3.3.1.4.	Método APV llenado de Galones/Bidones.....	73
3.3.1.5.	Método HML llenado de Galones/Bidones.....	74
3.3.1.6.	Método SRN llenado de Galones/Bidones.....	75
3.3.2.	Proposición de medidas para Orejeras de casco 3M H9P3E.....	76
3.3.2.1.	Método APV llenado de agua mineral	76
3.3.2.2.	Método HML llenado de agua mineral	77
3.3.2.3.	Método SRN llenado de agua mineral	78
3.3.2.4.	Método APV llenado de Galones/Bidones.....	79
3.3.2.5.	Método HML llenado de Galones/Bidones.....	80
3.3.2.6.	Método SRN llenado de Galones/Bidones.....	81
3.3.3.	Proposición de medidas para Tapones Moldex 7400, 7403	82
3.3.3.1.	Método APV llenado de agua mineral	82
3.3.3.2.	Método HML llenado de agua mineral	83
3.3.3.3.	Método SRN llenado de agua mineral	84
3.3.3.4.	Método APV llenado de Galones/Bidones.....	85
3.3.3.5.	Método HML llenado de Galones/Bidones.....	86
3.3.3.6.	Método SRN llenado de Galones/Bidones.....	87
3.3.4.	Reducción de la propagación de ruido en recintos cerrados.....	88
3.3.4.1.	Cálculo de Absorción de llenado de agua mineral	88
3.3.4.2.	Cálculo de Absorción de llenado de Galones / Bidones.....	91
CAPITULO IV. DISCUSIÓN		94
4.1.	Conclusiones	94
4.2.	Recomendaciones.....	95
Bibliografía		96
ANEXOS		97

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ejemplos ilustrativos nivel de presión sonora	10
Tabla 2.	Frecuencias audibles en bandas de octava	14
Tabla 3.	Atenuación para frecuencias para las escalas de ponderación A, B y C	17
Tabla 4.	Ejemplo de ponderación A	18
Tabla 5.	Tipos de sonómetros	25
Tabla 6.	Coefficientes de absorción de Sabine	34
Tabla 7.	Variables Independiente y dependiente	47
Tabla 8.	Definición de Covariables	48
Tabla 9.	Decibeles por tiempo de exposición	51
Tabla 10.	Resultados de las sonometrías	59
Tabla 11.	Datos de lectura de sonómetro llenado de agua mineral	60
Tabla 12.	Datos ponderados con el filtro A, llenado de agua mineral.....	61
Tabla 13.	Datos de lectura de sonómetro llenado de Galones/Bidones	62
Tabla 14.	Datos ponderados con el filtro A, llenado de Galones/Bidones	63
Tabla 15.	Datos de llenado de Agua Mineral sin Protección	64
Tabla 16.	Datos de llenado de Galones/Bidones sin Protección	66
Tabla 17.	Datos de llenado de Agua Mineral con EPI(diadema 3M H9A)	70
Tabla 18.	Datos de llenado de Galones/Bidones con EPI (diadema 3M H9A)	73
Tabla 19.	Datos de llenado de Agua mineral con EPI (diadema 3M H9P3E).....	76
Tabla 20.	Datos de llenado de Galones/Bidones con EPI (diadema 3M H9P3E).....	79
Tabla 21.	Datos de llenado de Agua mineral con EPI (tapones Moldex 7400, 7403)	82
Tabla 22.	Datos de llenado de Galones/Bidones con EPI (tapones Moldex 7400, 7403).....	85
Tabla 23.	Absorción de llenado de agua mineral	88
Tabla 24.	Cálculo de coeficiente, llenado de agua mineral	89
Tabla 25.	Cálculo de R, llenado de agua mineral.....	89
Tabla 26.	Cálculo de NPS 1 metro llenado de agua mineral	89
Tabla 27.	Cálculo de NPS 5 metros llenado de agua mineral	90
Tabla 28.	Absorción de llenado de Galones / Bidones.....	91
Tabla 29.	Cálculo de coeficiente de llenado de Galones / Bidones.....	91
Tabla 30.	Cálculo de R de llenado de Galones / Bidones	92
Tabla 31.	Cálculo de NPS 1 metro llenado de Galones / Bidones	92
Tabla 32.	Cálculo de NPS 5 metros llenado de Galones / Bidones	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución frecuencial del ruido.....	12
Figura 2.	Bandas de octava en función de la frecuencia.....	15
Figura 3.	Ponderación en frecuencia	16
Figura 4.	Cierre de equipos para reducción de ruido.....	31
Figura 5.	Humedad relativa en la amortiguación	33
Figura 6.	Onda directa de exposición.....	39
Figura 7.	Reflexión del sonido en paredes del recinto.....	39
Figura 8.	Orejeras	43
Figura 9.	Válvulas.....	43
Figura 10.	Tapones	44
Figura 11.	Sonómetro digital	50
Figura 12.	Toma de muestra con sonómetro llenado de agua mineral.....	60
Figura 13.	Datos de lectura inicial y ponderado A llenado de agua mineral	61
Figura 14.	Lectura con sonómetro llenado de Galones/Bidones	62
Figura 15.	Datos de lectura inicial y ponderado A, llenado de Galones/Bidones	63
Figura 16.	Diadema 3M H9A Agua mineral	73
Figura 17.	Diadema 3M H9A Galones / Bidones.....	75
Figura 18.	Diadema 3M H9P3E Agua mineral	78
Figura 19.	Diadema 3M H9P3E Bidones / Galones	81
Figura 20.	Tapones Moldex 7400, 7403 agua mineral	84
Figura 21.	Tapones Moldex 7400, 7403 Galones / Bidones.....	87
Figura 22.	Absorción de Llenado de agua mineral.....	90
Figura 23.	Absorción de llenado de Galones / Bidones.....	93

RESUMEN EN ESPAÑOL

El presente trabajo se realizó para identificación, evaluación y proposición de medidas de prevención y control en los trabajadores en la empresa embotelladora de bebidas, proporciona a los empleadores un instrumento técnico-legal, amparado en la normativa jurídica vigente en el país, de manera que pueden aplicar las medidas propuestas de manera efectiva. Lo niveles de ruido a los que los trabajadores se encuentran expuestos sobrepasan los permitidos por la norma vigente, las mediciones realizadas en la empresa con la ayuda de un sonómetro evidencia los niveles excesivos de ruido a los que día a día los trabajadores conviven con ellos, los diferentes medios de protección auditiva aplicados en este estudio fueron evaluados con los métodos estudiados, quedando en evidencia que si utilizamos diademas de protección o tapones logramos reducir considerablemente los niveles de ruido, y al aplicar medidas a la fuente no se logra cambios significativos y reducir los niveles de ruido bajo los permitidos por la ley. Con la ayuda de las medidas de protección planteadas, las relaciones con el trabajador mejoran, siempre teniendo en cuenta la seguridad y salud en los trabajadores, tratando de reducir o minimizar las enfermedades por hipoacusia y las que se pudieren producirse por la exposición a elevados niveles de ruido.

PALABRAS CLAVES: Nivel de bandas de octava, Ruido, Nivel de presión sonora

CAPITULO 1. INTRODUCCION

1.1. El Problema de Investigación

1.1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1.1. Diagnóstico

Esta empresa embotelladora de bebidas viene funcionando desde 1910 en la provincia de Pichincha. Esta año a año ha mejorado sus procesos de producción y maquinaria para cada una de sus líneas productoras, convirtiéndola en una de las más competitivas del mercado ecuatoriano. En todo este proceso de modernización es necesario mejorar la calidad de vida de los trabajadores, apoyarles en el proceso de mejoramiento y sin exponerles a elevados ruidos los cuales no son aptos para el oído humano.

A los trabajadores de la empresa se les ha entregado equipo de protección personal, pero no una capacitación óptima, sin hacer conciencia a los mismos a que se debe usar el EPP en su beneficio, que a lo largo del tiempo el beneficio es para ellos. En la actualidad las normas ecuatorianas vigentes son mar rígidas para la protección del trabajador, a los cuales no se los debe exponer a riesgos de toda índole, puesto que a lo largo del tiempo las dos partes no salen beneficiadas, el trabajador con enfermedades y la empresa con el cumplimiento de indemnizaciones para los mismos.

1.1.1.1. Pronóstico

En caso de mantener los niveles sonoros en el lugar de trabajo, durante la jornada laboral, se verá afectado los órganos auditivos, presentándose enfermedades irreversibles en los trabajadores expuestos a estos niveles de ruido.

1.1.1.2. Control Pronóstico

Es necesario que se tome conciencia de los problemas que lleva a tener altos niveles de ruido, y además trabajadores expuestos a los mismos. Por este motivo se debe realizar controles en la fuente y en el receptor, capacitar a los trabajadores expuestos los peligros y las consecuencias de la exposición prolongada a estos niveles de ruido.

1.1.2. Objetivo General

Evaluar la exposición laboral al ruido en el área de llenado de una empresa embotelladora de bebidas y proponer medidas de prevención y control para mejorar las condiciones de Seguridad y Salud de los trabajadores.

1.1.3. Objetivos Específicos

- Identificar los trabajadores expuestos al ruido.
- Evaluar la exposición laboral al ruido.
- Proponer medidas de prevención y control.

1.1.4. Justificaciones

La exposición a elevados niveles de ruido sigue siendo uno de los problemas más importantes de la salud ocupacional en todas las regiones del mundo, los altos niveles de ruido ambiental son una causa frecuente de pérdida auditiva en las sociedades desarrolladas. Cuando esta exposición al ruido se asocia a actividades recreacionales o no relacionadas a la actividad laboral, la pérdida auditiva se conoce como socioacusia. Por el contrario, cuando estos altos índices de ruido ambiental están presentes en los lugares de trabajo, se puede denominar el déficit auditivo como hipoacusia labora.

Esta patología es una causa importante de pérdida auditiva inducida por el ruido, principalmente por dos razones:

Primero, el temor de los trabajadores a perder su fuente laboral puede favorecer que éstos se mantengan en ambientes con niveles de ruido mucho más elevados que los normalmente aceptados.

Segundo, en el lugar de trabajo los altos niveles de ruido ambiental se pueden mantener en forma regular por varias horas diarias durante años (Otárola, 2006, pág. 47).

Con todos estos antecedentes presentes en la embotelladora de bebidas, los trabajadores están expuestos a un peligro inminente, que de no tomar medidas a tiempo, luego de varios años se verán afectados sus órganos auditivos y porque no decir los demás órganos que pueden verse también afectados por las altas frecuencias presentes en este recinto.

- **Teórica.-** esta investigación es de gran utilidad, entregando una base de conocimiento a los empleadores, trabajadores, estudiantes y las personas interesadas en conocer y aplicar medidas de control de ruido.

- **Práctica.**- Solucionar de manera decidida el problema de ruido presente en esta empresa, con medidas en la fuente de ruido, en los medios de transmisión y en el receptor.
- **Relevancia social.**- Presentar una iniciativa de responsabilidad social que deben ser dirigidas a sus trabajadores, beneficiando a familias, comunidades locales u otros, estas actividades tienen relevancia industrial en cuanto a los trabajadores y medio ambiente.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Estado actual del conocimiento sobre el tema

1.2.1.1. Ruido

En la mayoría de las instalaciones industriales, en los diferentes puestos de trabajo y en la vida cotidiana, el ruido es un contaminante que a lo largo del tiempo siempre ha estado presente, ocasionando una pérdida de la capacidad auditiva del individuo que se expone a este. Recibe el nombre de sonido, toda sensación percibida por el órgano auditivo y el sonido es toda perturbación que se propaga por un medio elástico, como puede ser el aire (Etxebarria, 2008, pág. 274).

Teóricamente “el ruido es un sonido inarticulado y confuso más o menos fuerte” es por tanto, un sonido no deseado. Acústicamente, el ruido se define como “la emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído de una persona y que puede provocar una sensación de molestia o incluso dolor” (Rosa, 2000, pág. 3).

1.2.1.2. Política de las empresas frente al ruido

Se centra muy a menudo en la evaluación del riesgo y en la salud. Las soluciones, cuando se adoptan, se limitan a los protectores acústicos y se fían a proveedores que suelen proponer cierres para los equipos o amortiguadores de ruidos. Pero el ámbito de estas soluciones es mucho más amplio e incluye medidas técnicas y de organización. La empresa debe conocer el mayor número posible de estas medidas para elegir la más adecuada. Como ayuda le puede servir un análisis del problema del ruido, para lo que dispone de herramientas de medida y cálculo y de buena documentación (Mapfre, 2006, pág. 48).

Hay una gran cantidad de documentos sobre el ruido, pues es un asunto con muchas facetas que a menudo afectan a nuestra vida diaria. Los documentos de divulgación tratan con frecuencia del ambiente en general y de los edificios en particular. Por su parte, los artículos científicos o técnicos se refieren a problemas domésticos como el transporte o los electrodomésticos. Comparativamente, muy pocos artículos tratan del ruido en el lugar de trabajo.

El ruido en el lugar de trabajo es un problema físico muy concreto: el ruido se propaga en un local cerrado, generalmente de grandes dimensiones, procedente de distintas fuentes; los trabajadores expuestos al ruido se mueven.

Además, el contexto es específico: el ruido no es considerado como un problema de confort de los clientes, ni siquiera de los ciudadanos. Es un problema de salud que afecta a las relaciones entre la empresa y sus empleados y cuyo análisis debe tener en cuenta las limitaciones industriales. Todas estas características hacen que el análisis del problema y la elección de las soluciones se hagan con mucha frecuencia a medida (Mapfre, 2006, pág. 50).

1.2.1.3. Vibración

“La vibración como movimiento periódico rápido e isócrono de los cuerpos elásticos, cuyas moléculas están en acción debido al roce, percusión u otras causas”. Desde un punto de vista físico se puede definir como “el movimiento oscilatorio de un cuerpo elástico que varía respecto a una posición de referencia” (Rosa, 2000, pág. 4).

En la vida real se presentan muchos fenómenos de vibraciones mecánicas, que en unos casos pueden ser útiles y en otros perjudiciales. Ejemplos útiles de aplicaciones son los baños de limpieza por ultrasonidos, las taladradoras de rocas, los vibradores de hormigón, etc. Por el contrario, pequeñas fuerzas pueden excitar, hacer entrar en resonancia a elementos estructurales y provocar unas vibraciones importantes. Como ejemplo el fenómeno que se podría producir al atravesar por un puente un desfile militar (Rosa, 2000, pág. 4).

1.2.1.4. Decibelio

La medida del ruido presenta una serie de dificultades debido al amplio rango de detección por parte del oído humano. En relación con la frecuencia, la sensibilidad del oído varía entre 20 y 20000 Hz, es decir, comprende una relación de 1 a 1000. El rango de variación de la intensidad es mucho mayor, así el valor mínimo que detecta el oído de variación de presión sonora es de $20 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$ y el valor máximo de 200 N/m^2 , es decir la relación varía de $1:10^7$. Para que el ratio resulte más pequeño se utiliza la escala logarítmica y la unidad de medida se llama *Bel*. De esta forma el rango se transforma de 0 a 7, por lo que se emplea el decibelio, siendo 10 dB equivalente a 1 belio (Rosa, 2000, pág. 4).

1.2.1.5. Formación del sonido

Los medios necesarios para que el ruido sea una realidad son: el foco productor – medio de transmisión – receptor. Todo problema de ruido puede descomponerse en tres partes: el foco, que irradia energía sonora; una vía a través de la cual se propaga energía sonora; y un receptor como, por ejemplo, el oído humano. Se necesita un medio elástico para que el sonido pueda originarse y transmitirse. Ningún sonido puede ser transmitido en ausencia de materia (en el vacío) (Etxebarria, 2008, pág. 275).

1.2.1.6. Propagación del Sonido

El ruido se propaga en el medio ambiente por medio de ondas acústicas, siendo su característica más importante su “velocidad de propagación”. Todo el mundo conoce el fenómeno que se produce cuando se deja caer una piedra en un lago, aparecen unas ondas circulares que se van extendiendo desde el punto donde ha caído la piedra. Lo mismo sucede cuando un objeto sólido se pone en vibración (cuando se golpea un tambor por ejemplo) su movimiento se transmite en el aire que lo rodea y en él se producen ondas similares a las que aparecen en el lago, aunque evidentemente invisibles, y que se van extendiendo y propagando por el aire (Etxebarria, 2008, p.274-275).

1.2.1.7. Prevención frente al ruido

El empresario que adquiere una máquina o equipo de trabajo tiene la obligación de informarse, previamente a la adquisición, de los riesgos que pueden estar expuestos los trabajadores que van a usarla o permanecer en sus proximidades y adoptar la decisión de compra con conocimiento de los riesgos y por tanto consiente de las protecciones adicionales

que va a necesitar en el caso de que finalmente se decida por la instalación de una máquina ruidosa (INSHT, 2006, pág. 223).

1.2.1.8. Física del fenómeno acústico

Una definición útil del sonido es: “fenómeno físico que provoca las sensaciones propias del sentido humano de la audición”, y un ruido sería todo sonido peligroso, molesto, inútil o desagradable. A partir del análisis de la anatomía y la fisiología del órgano humano del oído se llega a la conclusión de que el fenómeno citado consiste en perturbaciones (aumentos y disminuciones) de la presión atmosférica alrededor de su valor medio, con una frecuencia relativamente elevada (entre 20 y 20000 veces por segundo). Este fenómeno implica que el sonido, o el ruido necesitan un soporte material para existir, ya que en el vacío no puede existir (INSHT, 2006, pág. 225).

Si en un lugar existe una perturbación de la presión, necesariamente esa misma perturbación se producirá en un lugar situado a una distancia con un cierto retraso, es decir, el sonido se propaga con una velocidad finita. Esta velocidad de propagación depende de la elasticidad y de la densidad del medio. En el caso del aire es de 340 m/s a 20 °C y es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta.

Es fácil deducir que esta propagación se refiere a una propagación de energía mecánica en forma de frentes sucesivos de sobrepresiones, sin que exista desplazamiento de masas. Este tipo de energía se conoce con el nombre de energía sonora (INSHT, 2006, pág. 225).

1.2.1.9. Nivel de Presión sonora

El oído humano es capaz de percibir aproximadamente presiones sonoras desde un mínimo de 20 micropascales (que es el umbral de audición) hasta 200 pascales (que corresponde al umbral del dolor). El manejar este rango tan amplio resulta incómodo y es habitual utilizar una escala logarítmica relativa, cuya unidad es el decibelio (dB). La definición de esta escala está representada en la ecuación 1.

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Siendo:

L_p el valor del nivel de presión sonora, expresado en dB

p la presión sonora expresada en pascales

p_0 un valor constante que vale 20 micropascales (20×10^{-6} Pa)

Con una escala definida de esta manera, el valor mínimo de la sensibilidad auditiva humana corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB y el umbral de dolor (200 Pa) resulta ser de 140 dB (INSHT, 2006, págs. 225-226).

En la tabla 1 se indican valores correspondientes de presión sonora y nivel de presión sonora junto con ejemplos típicos ilustrativos.

Tabla 1. Ejemplos ilustrativos nivel de presión sonora

EJEMPLOS	Presión sonora p (Pa)	Nivel de presión sonora L_p (dB)
Umbral del dolor	200	140
Despegue de avión	20	120
Martillo neumático	2	100
Calle ruidosa	0,2	80
Oficina general	0,02	60
Habitación en silencio	0,002	40
Cámara anecoica	$20 * 10^{-5}$	20
Umbral de audición	$20 * 10^{-6}$	0

Fuente: (INSHT, 2006, pág. 226)

1.2.1.10. Ruido Industrial

El oído humano tiene un excelente funcionamiento para ejecutar órdenes recibidas y efectuar el trabajo correctamente, destaca de forma trascendental la conservación del mismo. El ruido constituye hoy en día, uno de los problemas más acuciantes a resolver en una sociedad en evolución, ya que origina una progresiva pérdida de la capacidad auditiva del hombre, amenaza con la pérdida de audición de un grupo cada día mayor.

Así como, la necesidad de contar con un órgano auditivo en óptimas condiciones es cada día mayor, dado que las máquinas son cada día más rápidas y exigen tiempos de reacción menores, lo cierto es que el oído pierde capacidad por efecto de la edad (presbiacusia), deterioro que aumenta precipitadamente cuando, por otra parte, el sujeto está sometido a ruidos excesivos (Falagán, 2005, pág. 581).

1.2.1.11. Teoría fundamental del sonido

El sonido se puede analizar bajo dos puntos de vista lo que hace que se pueda dar un enfoque dual:

- **Subjetivo**, es un estímulo que origina una respuesta sensorial en el cerebro, por lo tanto, se refiere a la sensación auditiva en el cerebro, para ello un mismo sonido puede resultar desagradable para unas personas al mismo que agradables para otras. Así por ejemplo, una persona puede encontrarse en su elemento ideal en una discoteca cuya música ambiental alcanza niveles de 105 dB; para esta persona la música será un sonido agradable, mientras que para un vecino del mismo edificio, que pretende conciliar el sueño, y al que le llega ese ruido, amortiguado, con un nivel de 41 dB le parecerá un ruido insoportable.
- **Objetivo**, se refiere a los aspectos físicos del movimiento ondulatorio como frecuencia, periodo, longitud de onda, etc., magnitudes que se pueden medir todas ellas con presión, al poder aplicar al estudio del sonido aquellos conocimientos que la física nos ofrece. Bajo esta visión se puede definir al ruido como una mezcla compleja de sonidos con frecuencias fundamentales diferentes que va a oscilar entre un rango de 20 a 20000 Hz, como se muestra en la figura 1 (Falagán, 2005, págs. 581-582).

Figura 1. Distribución frecuencial del ruido

	ULTRASONIDOS		
AGUDOS	20,000 Hz		
	8,000 Hz		
	3,000 Hz		
	2,000 Hz		
MEDIOS	500 Hz		
GRAVES	200 Hz		
	100 Hz		
	20 Hz		
	INFRASONIDOS		

Fuente: (Falagán, 2005, pág. 582)

1.2.1.12. Análisis en bandas de octava

El análisis de frecuencias de un sonido complejo permite subdividir el rango de frecuencias audibles, que va de 20 a 20000 Hz, en secciones o bandas, designándose a los sonidos de frecuencias inferiores a 20 Hz “infrasonidos” y los de frecuencias superiores a 20000 Hz “ultrasonidos”. Ni unos ni otros son detectados por el sentido del oído, lo cual no significa que no puedan ser perjudiciales para el oído humano.

Si bien el oído humano joven y sano, puede percibir sensaciones sonoras en todo rango de frecuencias aludido, el ser humano para comunicarse, utiliza predominantemente unas frecuencias determinadas, denominadas conversacionales que van desde 500 a 3.000 Hz, siendo en esta gama donde debemos tomar mayor interés preventivo respecto a las lesiones auditivas.

Respecto a las frecuencias, el oído humano no es capaz de diferenciar claramente frecuencias individuales próximas (p.e. 1.000 y 1.005 Hz), se puede agrupar las frecuencias, y por ello se trata los problemas del ruido dividiendo las frecuencias en bandas de octava (intervalos de frecuencias como por ejemplo 707 y 1.414 Hz) asignando un único nivel de ruido a la frecuencia central (en el ejemplo 1.000 Hz) (Falagán, 2005, pág. 592).

El análisis se ejecuta a través de un sonómetro, que mide los niveles de presión acústica dotada de filtros electrónicos, cada uno de los cuales solo deja pasar sonidos cuyas frecuencias están dentro del rango seleccionado con anterioridad y que evitan todos los demás sonidos. Por tanto, el intervalo de frecuencias audibles, para ser analizado, se divide en tramos o bandas según normas internacionales.

El conjunto de frecuencias que forman una banda queda definido por dos frecuencias, una inferior y otra superior, en el caso de una octava se trata de una banda de frecuencia en la que la frecuencia más alta es el doble de la frecuencia más baja ($F_2 = 2F_1$). El nombre de octava tiene su génesis en el hecho de que una de estas divisiones comprende las ocho notas de la escala diatónica musical (Falagán, 2005, pág. 592).

Se acepta como frecuencia central de la banda a la media geométrica de las frecuencias extremas la ecuación 2, y que se utiliza para denominar la banda.

$$F_c = \sqrt{F_1 \times F_2} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Así la banda con frecuencias extremas de 707 Hz y 1.414 Hz se la denomina banda de octava de 1.000 Hz, de esta forma queda dividido en las bandas de octava en Hz el espectro de frecuencias audibles para el hombre, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Frecuencias audibles en bandas de octava

Frecuencias Inferiores (Hz)										
22	44	88	176	353	707	1414	2828	5656	11313	
Frecuencias Centrales (Hz)										
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	
Frecuencias Superiores (Hz)										
44	88	176	353	707	1414	2828	5656	11313	22627	

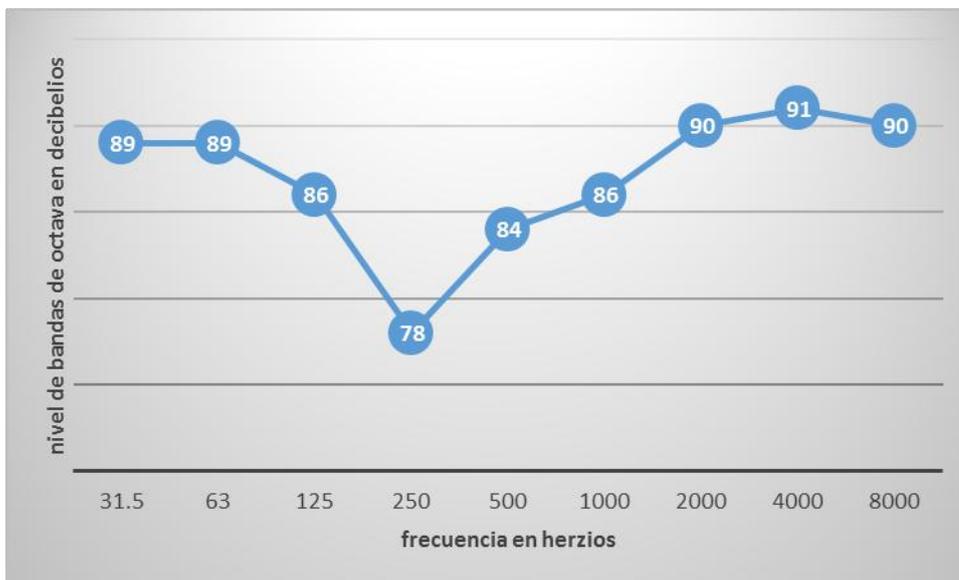
Fuente: (Falagán, 2005, pág. 592)

1.2.1.13. Nivel de banda de octava

Los instrumentos empleados en la medida de la distribución del sonido a lo largo del rango de frecuencias audibles, se denominados *analizadores de espectro*. El analizador de espectro que es más habitual divide el rango de frecuencia audible en bandas de una octava de anchura. (Una octava es un intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya razón de frecuencia es 2; por ejemplo., desde 707 Hz a 1414 Hz.) Este instrumento se denomina *analizador de bandas de octava*. El nivel de presión sonora dentro de una banda con una octava de anchura se denomina *nivel de presión sonora de banda de octava* o simplemente *nivel de banda de octava*. Los números presentados en la tabla anterior son las frecuencias de las bandas de octava, que han sido estandarizados mediante acuerdo internacional (Harris, 1995, pág. 20).

En la figura 2, se ve un ejemplo de grafica de niveles de banda de octava en función de la frecuencia.

Figura 2. Bandas de octava en función de la frecuencia



Fuente: (Harris, 1995, pág. 20)

1.2.1.14. Atenuación del sonido con la distancia

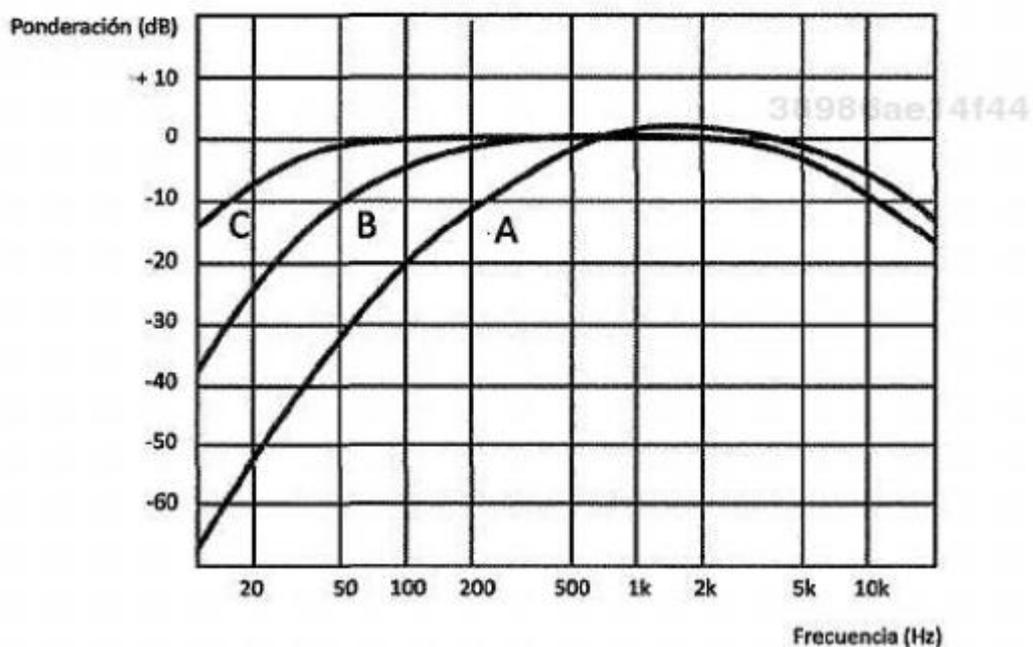
En el aire, en campo libre sin obstáculos, el sonido va decreciendo al aumentar la distancia respecto a la fuente sonora, al repartirse en una superficie más amplia hasta hacerse imperceptible. En caso de que la fuente sonora sea puntual el nivel de presión acústica disminuye en 6 dB cada vez que se duplica la distancia y en 20 dB cada vez que la distancia es diez veces mayor, por otro lado cuando la fuente es lineal (tubería, carretera, etc.) el nivel de presión acústica disminuye en 3 dB cada vez que se duplica la distancia y en 10 dB cada vez que la distancia es diez veces mayor (Falagán, 2005, pág. 593).

1.2.1.15. Ponderación en Frecuencia

Con el fin de introducir la respuesta del oído en la medición del ruido, se utiliza una corrección de los niveles medidos en cada banda de frecuencia mediante la aplicación de filtros.

Existen diferentes tipos de filtros A, B o C como muestra la figura 3.

Figura 3. Ponderación en frecuencia



Fuente: (Bovea Edo, 2013, pág. 87)

- La escala A está pensada para conseguir una atenuación similar al oído cuando soporta niveles de presión sonora bajos a las distintas frecuencias, es decir, cuando se aproxima a las curvas de igual intensidad para bajos niveles de presión sonora.

- La escala B intenta simular la respuesta del oído a niveles de presión acústica altos.
- La escala C está diseñada para simular la respuesta del oído a niveles de presión acústica altos. Su forma es bastante plana, excepto para las frecuencias extremas (Bovea Edo, 2013, pág. 87).

En la tabla 3, se detalla las atenuaciones para las distintas frecuencias mencionadas.

Tabla 3. Atenuación para frecuencias para las escalas de ponderación A, B y C

f (Hz)	31,5	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
A (dB)	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
B (dB)	-17,1	-9,3	-4,2	-1,3	-0,3	0	-0,1	-0,7	-2,9
C (dB)	-3	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3

Fuente: (Falagán, 2005, pág. 596)

1.2.1.16. Escalas de Ponderación A

El oído humano puede apreciar sonidos o ruidos, dentro de un intervalo de frecuencias de 20 (graves) a 20.000 Hz (agudos), pero para cumplir su función principal de permitir la comunicación con otras personas, utiliza preferentemente las frecuencias de conversación (500 a 3.000 Hz). Por tal motivo, el oído tiene un rendimiento bajo, para los sonidos emitidos en bajas y muy altas frecuencias, 31,5; 63; 125; 250; 500; 8.000 y 16.000 Hz; a su vez tiene un rendimiento excelente para los sonidos emitidos en frecuencias medias, 1.000; 2.000 y 4.000 Hz (Falagán, 2005, pág. 593).

Cuando se genere un ruido en el rango de frecuencias bajas, o ruidos graves, se escuchan con menor intensidad que la que en realidad posee. De idéntica forma ocurre si el ruido es de muy alta frecuencia, o ruidos agudos. Mientras que los ruidos de frecuencias medias y altas, (o medios y agudos) se escuchan con mayor intensidad.

Aquellos aparatos de medición de ruido que pueden medirlo de idéntica forma que lo hace el oído humano, se entiende que poseen una escala para la medición de ponderación fisiológica. La escala de ponderación más universalmente aceptada es la denominada escala de ponderación A, con la que se mide el nivel global de ruido después de haber sido ponderado (Falagán, 2005, pág. 593).

Tabla 4. Ejemplo de ponderación A

Hz	dB	At.A	dB(At)
31.5	89	-39,4	49,6
63	89	-26,2	62,8
125	86	-16,1	69,9
250	78	-8,6	69,4
500	84	-3,2	80,8
1000	86	0	86
2000	90	+1,2	91,2
4000	91	+1,0	92
8000	90	-1,1	88,9
GLOBAL	97,8	-----	96,3

Fuente: (Falagán, 2005, pág. 594)

En el ejemplo de la tabla 3, el valor de ruido global es de 97,8 dB, su correspondiente nivel global de ruido ponderado A es de 96,3 dBA. De esta forma, dos ruidos con el mismo nivel de presión acústica en decibelios, puede tener distinto nivel global de presión sonora en decibelios A, si son diferentes sus espectros de frecuencias (Falagán, 2005, pág. 594).

1.2.1.17. Técnicas De Control De Ruido

Control de Ruido en la Fuente

Un método importante para controlar el ruido en la fuente es reducir la amplitud de las fuerzas que dan como resultado la generación del ruido, por ejemplo, mediante el equilibrio de las masas rotatorias o aislando los componentes vibratorios de la fuente. Otro método es reducir el movimiento de los componentes que vibran; por ejemplo, la vibración de los paneles puede reducirse aplicando materiales que amortigüen la vibración o alterando las frecuencias de resonancia de los paneles.

Los cambios en el procedimiento habitual de funcionamiento también pueden ser una técnica eficaz de control de ruido. Así, algunas fábricas, próximas a zonas residenciales, suspenden o reducen operaciones ruidosas durante la noche, cuando disminuye la actividad normal de la comunidad y el nivel de ruido ambiental decrece (Harris, 1995, pág. 31).

Control del Ruido en la vía de Transmisión

Existen diferentes maneras de controlar la vía de transmisión y reducir la energía comunicada al receptor que son:

- **Emplazamiento.** Al aire libre, la atenuación máxima se consigue aumentando, en medida de lo posible, la distancia entre la fuente y el receptor. Dado que muchas fuentes de ruido no irradian uniformemente en todas las direcciones, la alteración relativa de la orientación de la fuente y el receptor puede originar una considerable reducción del ruido en este último.

- **Disposición de la edificación.** La cuidadosa planificación de la localización de las habitaciones dentro de un edificio, en función de la posición relativa de las fuentes de ruido.
- **Barreras.** Las barreras al aire libre pueden ser eficaces cuando son de gran tamaño en comparación con la longitud de onda del sonido que ha de ser difractado.
- **Cerramientos.** El uso de un cerramiento alrededor de una fuente de ruido o del receptor puede aportar una atenuación considerable.
- **Absorción.** Una de las formas más eficaces para atenuar el ruido en su vía de transmisión es mediante la absorción del sonido por medio de la instalación de materiales acústicos sobre el techo, este logra la atenuación en la vía entre la fuente y el receptor (Harris, 1995, pág. 32).

Medidas Protectoras en el Receptor

Allí donde el nivel de ruido es excesivo para el receptor pueden emplearse las siguientes técnicas de control:

- **Aparatos de protección del oído.** Tapones, auriculares y cascos constituyen medios económicos para reducir la exposición al ruido de los trabajadores industriales.
- **Cabinas.** En muchos casos no resulta práctico o económico reducir el nivel de ruido al que el trabajador está expuesto; entonces es mejor proveerle de una cabina o cerramiento parcial.
- **Programas de conservación de la audición y formación.** En algunas ciudades donde el ruido ha sido un problema serio, tanto las industrias como

las instancias gubernamentales han mejorado sus relaciones con la comunidad interesándose por su problema de ruido y mostrando los pasos constructivos que se han seguido para minimizar la molestia.

- **Control de la exposición.** Una técnica de control de ruido es la rotación del personal, de manera que las asignaciones de trabajo en áreas de ruido intenso lo sean para un periodo de tiempo limitado (Harris, 1995, pág. 33).

1.2.1.18. Efectos de Ruido en la Salud

El ruido produce efectos tanto sobre la audición como sobre otros órganos y sistemas del cuerpo humano. En el órgano humano de la audición se distinguen tres partes: el *oído externo*, formado por el pabellón auditivo, el conducto auditivo externo y la membrana del tímpano; el *oído medio*, que es una cavidad que contiene una cadena de tres huesillos (martillo, yunque y estribo) y está conectada a la laringe a través de la Trompa de Eustaquio; y el *oído interno*, que tiene la forma de concha de caracol de dos vueltas y media. A lo largo del recorrido del caracol se encuentran las terminales nerviosas del nervio auditivo (INSHT, 2006, pág. 237).

El oído es un órgano muy sensible, capaz de detectar variaciones de presión de solo 20 micropascales, y también tiene un margen muy amplio, en el límite superior puede detectar variaciones de presión de hasta 200 pascales. Variaciones de presión superiores no producen una sensación de sonido, sino de dolor, y puede ocasionar la rotura de la membrana timpánica.

Una única exposición a un ruido brusco e intenso de nivel de pico muy elevado (disparo, explosión, etc.) puede producir la rotura del tímpano o daños en la cadena de huesos

del oído medio y ocasionar una disminución de la capacidad auditiva (INSHT, 2006, págs. 237-238).

1.2.1.19. Efectos de la Exposición a Ruido en la Audición

La consecuencia de la exposición continuada a ruido es la pérdida de sensibilidad o disminución de la capacidad auditiva, esta disminución puede ser temporal o permanente.

La pérdida temporal se produce inmediatamente después de una exposición a ruido intenso y se recupera el estado normal de audición al cabo de unas horas. La pérdida permanente de la capacidad auditiva se produce como consecuencia de una exposición a ruido intensa y prolongada (varios años) y es debido a la destrucción de los terminales del nervio auditivo del caracol. Se trata de una hipoacusia de percepción ya que, aunque toda la cadena de transmisión se mantiene en perfecto estado, falla el elemento encargado de transformar el fenómeno ambiental en sensación nerviosa (INSHT, 2006, pág. 238).

Esta alteración de la audición ocurre lentamente, de tal manera que primero aparecen una serie de síntomas a los que no se le da importancia, como son la dificultad para oír ruidos cotidianos como el timbre de la puerta, el televisor a un volumen normal (con lo que se tiende a elevarlo hasta unos niveles normales para el afectado, pero molestos para los demás) (INSHT, 2006, pág. 238).

1.2.1.20. Medidas de Nivel Sonoro

Equipos de Medida del Ruido

Para medir el nivel global del ruido se utiliza un sonómetro, un sonómetro integrador promediador o un dosímetro y para conocer el espectro, un analizador de frecuencias en tiempo real, que presenta en el mismo instante el suceso sonoro, aunque algunos sonómetros indican el análisis en bandas de octava o tercios de octava.

El espectro de frecuencias se logra por análisis del fenómeno sonoro, con ayuda de filtros electrónicos que solo dejan pasar las frecuencias comprendidas en una zona estrechamente delimitada. Los filtros más manejados son los de octava y los tercios de octava. En el primero se analizan unas bandas de frecuencia tales, que las frecuencias superiores e inferiores están en la relación de dos a uno; por el contrario, los de tercio de octava, proporcionan una banda con una anchura tal, que las frecuencias están en la relación de raíz cúbica de dos (Falagán, 2005, pág. 597).

Audiómetro

Para medir la capacidad auditiva se utiliza un aparato llamado audiómetro, mediante el que emiten ruidos de diferente frecuencia (graves, medios, agudos) y de diferente intensidad.

En función de los diferentes ruidos percibidos por la persona examinada se confecciona la audiometría, que indicara si la audición es normal o no. Si se tiene en cuenta que el proceso de disminución de la capacidad auditiva es paulatino y progresivo, el valor preventivo de la realización de reconocimientos médicos periódicos que incluyan una prueba audiométrica es muy importante, ya que puede poner de manifiesto precozmente las posibles

alteraciones en las personas expuestas a ruido incluso antes de que el individuo aprecie la disminución (INSHT, 2006, pág. 239).

Sonómetro

El sonómetro es un instrumento electrónico capaz de medir el nivel de presión acústica, expresado en decibelios, sin considerar su efecto fisiológico. Registra un nivel de energía sobre el espectro de 0 a 20.000 Hz. Con el fin de considerar las diferentes sensibilidades del oído humano, según su frecuencia, los sonómetros cuentan con filtros cuyas curvas de respuesta están tomadas a razón de la red de curvas isosónicas. Internacionalmente se han normalizado diferentes curvas de sensibilidad, siendo la curva de ponderación A la que da los niveles más cercanos a los captados por el oído humano (Falagán, 2005, pág. 598).

Sonómetro Integrador

El sonómetro integrador incorpora circuitos electrónicos que se ajustan a las exigencias marcadas para la norma CEI-804:1985, siendo de tipo 2 y 1 según la precisión requerida como se muestra en la tabla 5. Permite determinar el valor del nivel de presión acústico continuo equivalente ponderado A necesario para poder evaluar el riesgo de exposición al ruido, determinando el nivel de presión sonora continuo equivalente en escala A, pudiendo medir este parámetro sin depender de cual sea el tipo de ruido (Falagán, 2005, pág. 599).

Tabla 5. Tipos de sonómetros

TIPO	SONOMETRO	PRECISION
0	Patrones	Maxima (0,4 dB)
1	De Precisión	Grande (0,7 dB)
2	De uso general	Media (1,0 dB)
3	De inspección	Baja (1,5 dB)

Fuente: (Falagán, 2005, pág. 599)

Dosímetro

En Higiene Industrial es habitual el uso del concepto de *dosis de ruido*; este concepto es una medida de la cantidad de energía sonora que alcanza a un trabajador en un periodo relativamente largo de tiempo (toda la jornada laboral). La dosis de ruido es proporcional al cuadrado de la presión sonora y un tiempo de exposición como referencia, a cuya combinación se le asigna el valor de 1 (o 100%) de dosis, normalmente la combinación de referencia es 90 dBA durante 8 horas (Harris, 1995, pág. 243).

Absorción Sonora

Un material frente a la incidencia de sonido (representado por un rayo sonoro), puede permitir su paso u obstaculizarlo. En el primer caso se encuentran los absorbentes y en el segundo, los aislantes. Se entiende que un material absorbe cuando se refleja solo una fracción de lo que incide. Tanto sea que el sonido lo atraviere o quede transformado en calor en su interior, ambos procesos son similares desde el concepto de absorción.

Tanto el aislamiento como la absorción sonora son esenciales en control de ruidos. Estos conceptos son mutuamente opuestos, por lo que o bien tienen una propiedad o la otra o ninguna, pero no ambas (Paz, 2013, pág. 103).

Coefficiente de Absorción Sonora

Para caracterizar a la capacidad de absorción, se define el coeficiente de absorción sonora α mediante la relación entre la intensidad del sonido incidente (I_i) y el sonido reflejado (I_r), como se muestra en la ecuación 3.

$$\alpha = \frac{I_i - I_r}{I_i} = 1 - \frac{I_r}{I_i} \quad [\text{Ec. 3}]$$

De esta expresión surge que este coeficiente está comprendido en el rango $0 \leq \alpha \leq 1$, siendo $\alpha = 0$ cuando $I_r = I_i$, cuando se refleja la totalidad del sonido incidente, es decir, cuando su comportamiento como absorbente es nulo (Paz, 2013, pág. 103).

Por el contrario si $\alpha = 1$ cuando $I_r = 0$, es decir que no se refleja nada de lo incidente porque pasa al otro lado, con lo que se tiene el comportamiento óptimo de un material absorbente. En realidad como consecuencia de esta definición, es equivalente que el sonido pase intacto al otro lado o se transforme en otra forma de energía no acústica en su interior.

Una capa de aire es un perfecto absorbente porque lo que incide sobre ella, pasa al otro lado sin reflejarse, una ventana abierta tiene este comportamiento, considerado como el absorbente perfecto, con $\alpha = 1$ (Paz, 2013, pág. 104).

Materiales Absorbentes

Este coeficiente, propiedad de los materiales, depende de la frecuencia por lo que es un conjunto de números, uno por cada banda de frecuencias, cada material tiene como propiedad este coeficiente.

Para que un material sea absorbente debe ser poroso, con poros abiertos e intercomunicados, de manera que permita el paso del aire vibrando (sonido) y que con mayor o menor dificultad, pueda pasar de un lado al otro, perdiendo energía sonora en este esfuerzo (Paz, 2013, pág. 105).

Diseños Absorbentes

Dado que todos los revestimientos absorbentes son poco eficientes para las frecuencias bajas, su uso se complementa con diseños que tengan buena capacidad absorbente en ese rango. Consiste en un elemento elástico montado sobre bastidores firmes sobre una superficie dura (una pared), que permitan que la membrana vibre como respuesta al sonido incidente.

La membrana se la puede ejecutar con maderas terciadas de poco espesor, plásticos, rubber oil, etc. tensionados. La forma típica de la curva de absorción es la de una campana, con su frecuencia de resonancia (de máxima absorción) en el rango de frecuencias bajas (Paz, 2013, pág. 106).

Absorción Acústica

Al chocar las ondas sonoras contra una superficie parte de la energía se refleja, otra parte es absorbida y la última parte se transmite a través de la superficie. Es fundamental

conocer y valorar estas transformaciones de energía para estudiar la amplificación o reducción del sonido en el interior de los recintos.

Por absorción acústica se entiende la disipación de energía acústica en forma de calor mediante diferentes procesos de rozamiento. La absorción se caracteriza por la disminución de las reflexiones de las ondas al chocar contra las superficies del local. La absorción es particularmente importante cuando el foco y el receptor se encuentran en el mismo recinto.

Se define por *coeficiente de absorción interno sobre la superficie* al cociente entre la energía absorbida y la energía incidente. De forma análoga, se definen los coeficientes de reflexión y de transmisión (Rosa, 2000, pág. 57).

Una superficie será tanto más aislante cuando mayor sea la energía reflejada respecto a la transmitida. Recíprocamente, la superficie será más absorbente cuanto menor sea la energía reflejada respecto a la transmitida. Por esta razón, un material no puede tener, simultáneamente, buenas características aislantes y absorbentes.

En general, cuando se realiza un tratamiento absorbente en el techo o sobre las paredes del recinto se reducen las reflexiones, por lo que al mismo tiempo se disminuye la energía transmitida. El concepto de absorción en términos energéticos se expresa diciendo que la absorción es proporcional a la energía sonora existente en el recinto. Esto significa que, al duplicar la absorción del recinto, la presión sonora se reduce a la mitad o dicho de otra forma, el nivel de presión sonora se reduce 3 dB (Rosa, 2000, pág. 58).

Materiales Absorbentes

Los materiales absorbentes se caracterizan porque transforman la energía sonora que lo atraviesa en otro tipo de energía, principalmente energía calorífica. Básicamente estos materiales se clasifican en porosos, elásticos y resonadores.

Materiales Porosos

Estos materiales actúan reflejando una parte de la energía incidente. Su característica principal es que permiten el paso del aire por su interior, por lo que son porosos o fibrosos. La energía de las ondas se absorbe por rozamiento y por reflexión difusa y al penetrar en su interior disipan la energía en forma de calor.

El mecanismo de absorción está regulado por los siguientes factores:

- Densidad superficial.
- Porosidad.
- Espesor del material.
- Geometría de las celdillas.
- Frecuencia del sonido.
- Separación del montaje respecto a las superficies del recinto.

En general la absorción aumenta con el espesor y la frecuencia, siendo el rango óptimo de utilización de estos materiales a partir de 200 Hz, los paneles porosos estrechos presentan mejor absorción a elevadas frecuencias, mientras paneles más anchos mejoran la absorción en un amplio rango de frecuencia. Ejemplo de materiales porosos: corcho, fibras minerales, espumas sintéticas (Rosa, 2000, págs. 61-62).

Materiales Elásticos

Son materiales formados por paneles flexibles, siendo los más utilizados los contrachapados de madera, tablex y láminas de corcho. La absorción de las ondas se produce por vibración y deformación del material elástico. Esta absorción es máxima para la frecuencia de resonancia, es decir cuando coincide la frecuencia del sonido con la frecuencia propia del panel. La frecuencia de resonancia es inversamente proporcional a la masa del panel y la separación de la cámara de aire situada atrás del panel.

Una de las ventajas de este tipo de absorbentes es que son apropiados para controlar el ruido de baja frecuencia. Se utiliza para conseguir una buena absorción a una determinada frecuencia (Rosa, 2000, pág. 62).

Resonadores

Los resonadores se caracterizan por su capacidad para prolongar el ruido. Consta fundamentalmente de una cavidad que se comunica con el exterior mediante un conducto estrecho. Helmholtz fue el primer investigador que estudio el comportamiento de estos absorbedores y propuso una fórmula para calcular la frecuencia propia de estos dispositivos; a dicha frecuencia se presenta la absorción máxima.

Las placas perforadas colocadas a cierta distancia de paredes rígidas funcionan como un conjunto de resonadores, por lo que se conoce como resonadores agrupados. La absorción de los paneles perforados depende del número y del tamaño de las perforaciones, siendo mejores cuando más perforaciones y más pequeño sea el diámetro de los orificios (Rosa, 2000, pág. 63).

Absorción del ruido

La absorción del ruido por las paredes de la nave o local aumenta si se recubren con material poroso como lana de roca o de vidrio. El resultado es un descenso de la amplificación del ruido que se produce al reflejarse en las paredes, como se observa en la figura 4.

Figura 4. Cierre de equipos para reducción de ruido



Fuente: (Mapfre, 2006, pág. 51)

Lo habitual de estas medidas se explica por varias razones:

- Las ventajas acústicas son seguras.
- Su implantación no requiere medidas importantes sobre los equipos ni sobre los procesos.

- En su diseño no tiene por qué participar el personal de fábrica, sino que se puede encargar totalmente a los proveedores.

Cuando se eligen estas soluciones, hay que tener también en cuenta sus inconvenientes:

- Los cierres deben tener aberturas que faciliten la entrada y salida de los productos. Esos agujeros se deben tener en cuenta en los cálculos de la atenuación acústica, pues las “fugas acústicas” debidas al sistema de cierre pueden reducir de forma significativa la atenuación teórica.
- La absorción por las paredes es más eficaz para las personas que trabajan lejos de los equipos ruidosos. Esta solución no protege a los que están cerca de las máquinas y además es difícil conseguir una atenuación que llegue a unos 10 dB(A) (Mapfre, 2006, págs. 51-52).

Absorción del sonido en el medio físico

La propagación del sonido no se realiza nunca sin pérdidas, sino que está supeditada a una mayor o menor amortiguación; es decir, la presión o la velocidad disminuyen al aumentar la distancia al foco sonoro. Para esta amortiguación existen diferentes causas que dependen de las características del medio físico y de las características del sonido.

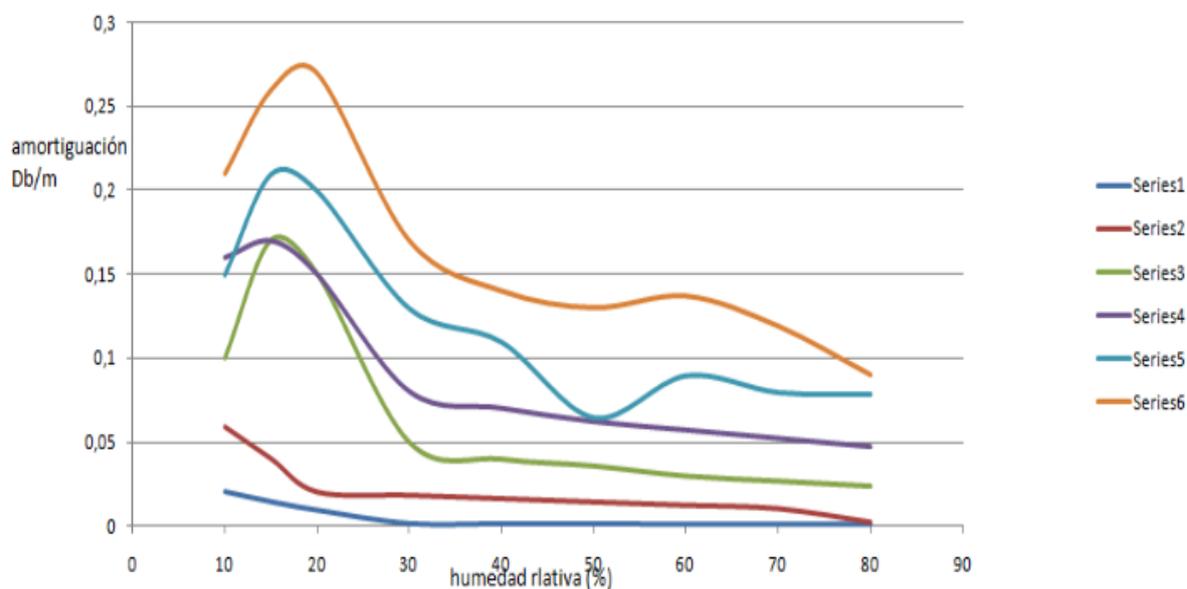
- Amortiguación clásica. Incluye el efecto de roce interno de las partículas excitadas por la vibración; y el efecto de la transmisión del calor generado por el roce de las partículas, dependiente de los coeficientes de transmisión.
- Amortiguación por relajación molecular térmica. Debido a las necesidades de energía para el retorno a la posición de equilibrio de las partículas excitadas

por vibraciones. Esta vibración es complementaria a la clásica (Conesa, 2012, pág. 20).

Por ser el aire el medio de propagación habitual, se dice que la amortiguación en dicho medio depende de la frecuencia del sonido considerado, de la humedad relativa y de la temperatura. Los sonidos de alta frecuencia son amortiguados en mayor medida que los de baja frecuencia. Pero por otra parte la humedad relativa influye de manera importante en la amortiguación (Conesa, 2012, pág. 20).

En la figura 5 se observa cómo influye la humedad relativa en la amortiguación. El máximo de amortiguación se obtiene para un aire muy seco. Y en la tabla 6 se muestra los coeficientes de absorción definidos por Sabine para ciertos materiales.

Figura 5. Humedad relativa en la amortiguación



Fuente: (Conesa, 2012, pág. 20)

Tabla 6. Coeficientes de absorción de Sabine

MATERIAL	ESPELOR	CENTROS BANDA FRECUENCIA OCTAVA (HZ)							
		63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
1 LADRILLO VISTO		0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,06	0,05	0,05
2 HORMIGOM		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
3 MARMOL		0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
4 ENLUCIDO YESO		0,04	0,04	0,06	0,06	0,08	0,05	0,06	0,06
5 VIDRIO		0,08	0,17	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
6 CORTINAS TIPICAS		0,05	0,07	0,15	0,4	0,45	0,5	0,55	0,4
7 LANA DE ROCA 25	25	0,05	0,1	0,4	0,65	0,7	0,75	0,8	0,75
8 LANA DE ROCA 50	50	0,1	0,15	0,45	0,65	0,75	0,8	0,8	0,8
9 LANA DE ROCA 100	100	0,25	0,4	0,65	0,8	0,85	0,85	0,9	0,85
10 ESPUMA POLIURETANO 25	25	0,1	0,15	0,25	0,55	0,75	0,8	0,9	0,9
11 ESPUMA POLIURETANO 50	50	0,15	0,2	0,5	0,75	0,95	0,9	0,9	0,9
12 TECHOS ESCAYOLA		0,2	0,2	0,15	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05
13 MOQUETA		0,1	0,1	0,2	0,25	0,35	0,3	0,3	0,3
14 SUELOS PLASTICOS		0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
15 TECHOS ACUSTICOS PESADOS		0,05	0,1	0,3	0,55	0,6	0,6	0,45	0,4
16 TECHOS ACUSTICOS SEPARADOS		0,2	0,35	0,5	0,75	0,7	0,8	0,75	0,7
17 PERSONA SENTADA		0,15	0,2	0,35	0,45	0,45	0,5	0,45	0,35

Fuente: (Conesa, 2012, pág. 21)

1.2.1.21. Reducción del ruido en áreas de producción

El nivel de ruido medio en un ambiente depende de la fuente del sonido y la absorción acústica. Aumentar la absorción acústica dentro del ambiente generalmente reduce el nivel de ruido e aproximadamente 3 a 10 dB.

Para obtener una mejora audible, la absorción en un ambiente debe ser duplicada. De esta manera, un aumento de la absorción del cielorraso del 20% al 40% o del 40% al 80% será más percibido que un incremento de 70% a 80% (Durlock, 2013, pág. 2).

1.2.1.22. Efectos de la exposición al ruido sobre el trabajador

Alteraciones provocadas por el ruido

La exposición al ruido puede provocar a los trabajadores diferentes respuestas de orden auditivo y extra-auditivo, esto va a depender de las características del riesgo y de la exposición del individuo. Son defectos auditivos reconocidos: el zumbido agudo, el desplazamiento temporal del umbral de audición. Son efectos extra-auditivos: disturbios en el cerebro y en el sistema nervioso, circulatorio, digestivo, endocrino, inmunológico, muscular, en las funciones sexuales y reproductivas, en el psiquismo, en el sueño, la comunicación y en el desempeño de tareas físicas y mentales (Universidad de Murcia, 2010, pág. 8).

Efectos sobre el sistema auditivo

La sordera profesional es el efecto más conocido del ruido excesivo sobre el hombre. Este acontecimiento depende de características ligadas al hombre, al medio y al agente agresor. Pérdidas auditivas causadas por el ruido excesivo pueden ser divididas en tres tipos: Trauma acústico, que es la pérdida repentina, causada por la perforación del tímpano, acompañada o no de la desarticulación de los huesecillos del oído medio; sordera temporaria, también conocida como cambio temporario del umbral audición, ocurre después de una exposición a un ruido intenso, por un corto período de tiempo, y sordera permanente, que es la exposición repetida, cotidianamente, a un ruido excesivo, que puede llevar al individuo a una sordera permanente. Cuando esta exposición ocurre durante el trabajo, la pérdida auditiva recibe el nombre de Sordera Profesional (Universidad de Murcia, 2010, pág. 9).

Efectos sobre sistemas extra-auditivos

Los efectos del ruido se traducen en una tensión, siendo descritos como alteraciones psíquicas, fisiológicas y hasta anatómicas en varios órganos de animales y en el propio hombre. Las principales reacciones del organismo al ruido encontradas en la literatura investigada fueron los siguientes sistemas:

- **Circulatorio.**- Reacciones en el sistema circulatorio ocurren sobre los vasos sanguíneos, aconteciendo la reducción de su diámetro (vasoconstricción) y sobre el corazón, que puede latir rápidamente (taquicardia) y más fuerte, lo que puede parecer ser consecuencia de un estímulo glandular (aumento de catecolaminas). Como reacción a la vasoconstricción aparecen alteraciones en la presión arterial que representan una acción compensatoria del corazón (Universidad de Murcia, 2010, pág. 9).
- **Respiratorio.**- A pesar de las escasas comprobaciones e investigaciones científicas, las alteraciones del sistema nervioso central en trabajadores expuestos al ruido de baja frecuencia (RBF, <500 Hz, incluyendo infrasonidos) fueron observados por primera vez hace 25 años, en técnicos de aeronaves. Al mismo tiempo, se identificaron también patologías respiratorias en los mismos trabajadores, más tarde reproducidas en modelos animales con sobreexposición al ruido de baja frecuencia. Actualmente, la enfermedad vibroacústica se define como una patología sistémica causada por exposición excesiva al ruido de baja frecuencia.
- **Gastrointestinal.**- Hay reducción de secreción gástrica y de saliva lo que causa cierta disminución de la velocidad de la digestión. La exposición más prolongada puede llevar a alteraciones de la función intestinal y cardiovascular hasta lesiones en los tejidos de los riñones y del hígado. La disminución de la resistencia a enfermedades infecciosas y

perturbaciones en la función reproductora ha sido descrita en la literatura (Universidad de Murcia, 2010, pág. 9).

- **Neurológico.**- Hay mayor incidencia de problemas circulatorios y neurológicos entre los trabajadores metalúrgicos que trabajan en ambientes ruidosos, cuando son comparados con otros grupos que trabajan en locales menos ruidosos. Exámenes neurológicos a tejedores italianos expuestos diariamente al ruido intenso muestran reflejos hiperactivos y, en algunos pocos casos, muestran un trazado electroencefalográfico de no sincronización, semejante a aquellos encontrados en las alteraciones de personalidad.
- **Psíquico.**- Hay quejas de irritabilidad, fatiga y dificultad de adaptación estar incluyendo también, conflictos sociales entre los trabajadores expuestos al ruido¹⁵. Evidencias reales de alteraciones psíquicas causadas por el ruido que todavía carecen de estudios más detallados y prolongados.
- **Comunicación.**- Se sabe que la comunicación es una de las principales herramientas que se tiene para el éxito en la realización del trabajo en varios locales, la eficacia de una buena comunicación está íntimamente ligada al suceso en la ejecución del trabajo. Entre las diferentes formas de comunicación encontramos la oral, la cual ha sido una de las más afectadas con la exposición excesiva al ruido (Universidad de Murcia, 2010, pág. 10).

Aislamiento acústico

Se entiende por aislamiento acústico al conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos (tanto aéreos como estructurales) de un recinto a otro o desde el exterior hacia el interior de un recinto o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Cuando se habla de aislamiento siempre se tiene en consideración a dos

recintos diferentes, es decir, se considera el sonido que se genera en un recinto, que se transmite y es percibido en otro recinto (CSIC, 2009, pág. 10).

Acondicionamiento acústico

A diferencia del aislamiento acústico, el acondicionamiento acústico implica a un único recinto, es decir, el sonido es generado y percibido en el mismo recinto. Por acondicionamiento acústico se entiende una serie de medidas que se toman para conseguir en un recinto unas condiciones acústicas y un ambiente sonoro interior, determinados conforme al uso que se le va a dar al recinto (CSIC, 2009, p. 10).

Propagación y Amortiguación del Sonido en Recintos

En un recinto o local cerrado, las ondas emitidas por una fuente determinada chocan con las superficies que limitan el local, dando origen a ondas reflejadas, las cuales a su vez se reflejan nuevamente, repitiéndose el fenómeno multitud de veces.

La presión acústica que existe en un punto determinado del recinto, después de haberse producido varias reflexiones del sonido, es la resultante de las presiones incidentes emitidas en distintos momentos y que en el instante de la observación se cruzan en el punto considerado. La presión en dicho punto es el resultado de la presión del campo directo (ondas que se han propagado desde la fuente sin chocar) y del campo reverberado (ondas que han chocado una o varias veces contra las superficies que limitan el local) (Conesa, 2012, pág. 23) .

En la figura 6, se puede observar que un trabajador expuesto a un ruido en el campo abierto, solo está sometido a ese ruido sin que existan reflexiones del mismo.

Figura 6. Onda directa de exposición

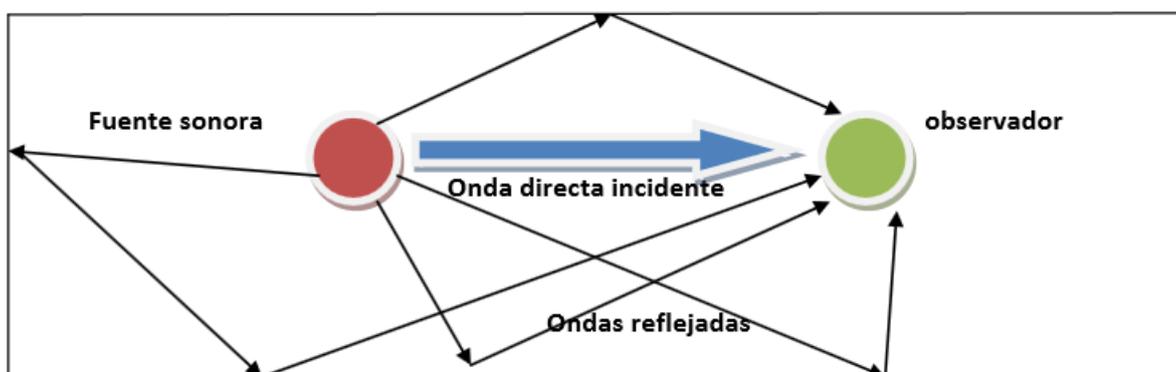


Fuente: (Conesa, 2012, pág. 23)

Pero, si a ese mismo trabajador y a la tarea que realiza se los coloca dentro de un recinto, el ruido soportado por el trabajador se ve incrementado, debido a las reflexiones del sonido en las paredes del recinto, como se puede observar claramente en la figura 7.

Por tanto, el nivel de presión acústica en un punto, depende en gran medida de la absorción acústica de las superficies que limitan el local y que en definitiva definen la absorción global del mismo o área absorbente local (Conesa, 2012, pág. 24).

Figura 7. Reflexión del sonido en paredes del recinto



Fuente: (Conesa, 2012, pág. 24)

Control y reducción del ruido

El ruido es un agente físico que nos afecta en todas partes (industria, calle, hogar) y en múltiples actividades (trabajo, comunicación, descanso). Todos pueden aportar y participar en la reducción del ruido, disminuyendo la potencia acústica de las fuentes sonoras. Por otro lado, siempre se podrá reducir nuestra propia exposición, disminuyendo el tiempo de estancia en ambientes ruidosos y utilizando protección auditiva (Falagán, 2005, pág. 638).

Acondicionamiento acústico en un local

Acondicionar acústicamente un local significa adecuarlo eficazmente, desde el punto de vista sonoro para que en el puedan escuchar sonidos deseados al volumen apropiado.

Cuando un sonido incide sobre un obstáculo, su energía se descompone en tres componentes principales:

- Energía reflejada. Vuelve hacia el mismo lado de donde procede
- Energía disipada. Se transmite estructuralmente a través de un obstáculo y que se convierte parcialmente en calor.
- Energía transmitida. Atraviesa el obstáculo y pasa al otro lado (Falagán, 2005, pág. 638).

Medidas Organizativas

Consiste en reducir el tiempo de exposición de los trabajadores, sin modificar el nivel sonoro, utilizando medidas organizativas. Su importancia radica en que pueden llevarse a cabo de inmediato y mientras se aplican otras más lentas.

- Limitar el número de trabajadores expuestos.
- Acortar el tiempo de utilización de máquinas ruidosas.
- Rotación de los trabajadores.
- Realizar los trabajos ruidosos en horas en que existan menos trabajadores expuestos.
- Descansos en ambientes silenciosos (Falagán, 2005, pág. 640).

Medidas Técnicas

Un problema de ruido tiene tres posibilidades de ataque: las que actúan sobre la fuente de emisión, el medio de transmisión o propagación y el receptor (Falagán, 2005, pág. 640).

Actuación sobre la fuente

El actuar sobre la fuente productora de ruido es el método más eficaz y en general menos costoso, cuando se abordado en la fase de diseño, disminuyendo el nivel sonoro y pudiendo solventar completamente el problema, pero por el contrario cuando se afrontan una vez construidos, la soluciones de este tipo se convierten a veces en muy costosas, complejas e inviables. En muchas ocasiones además estos procedimientos carecen de soportes teóricos de cálculo, y en muchos de los casos debe operarse empíricamente a base de ensayos, modificaciones y correcciones, hasta alcanzar los resultados requeridos (Falagán, 2005, pág. 640).

Actuación sobre las vías o medios de propagación

Cuando no se puede impedir la creación del ruido se actúa sobre el medio, reduciendo el ruido directo o el ruido reflejado:

- Colocando pantallas acústicas.
- Aislamiento anti vibrátil.
- Revestimientos absorbentes del sonido, apantallamientos y blindajes.
- Distribución adecuada de máquinas.
- Colocación de cerramientos, enclaustramientos y cabinas insonorizadas.
- Aumento de la distancia entre la fuente y receptor (Falagán, 2005, pág. 641).

Actuación sobre el receptor

Una vez las actuaciones realizadas sobre los medios precedentes no han sido capaces de controlar el riesgo o al menos lo suficiente, se actúa sobre el receptor.

- Modificaciones de horario.
- Cabinas para el personal insonorizadas.
- Cuando las medidas anteriores no han sido eficaces y el nivel de ruido sigue siendo superior a lo permitido se puede uno acoger a la protección individual utilizando protectores auditivos, bien sean de tipo tapón, tapón con banda, de orejera, cascos (Falagán, 2005, pág. 642).

1.2.1.23. Equipos de protección personal (EPI'S)

Esta debe ser la última medida a considerar y siempre con carácter complementario y temporal. Cuando se desea obturar el conducto auditivo e impedir la entrada al oído externo

del ruido transmitido por vía aérea, tenemos que recurrir a los equipos de protección auditiva. Estos reducirán el nivel de presión sonora con el fin de no originar daño en el individuo expuesto.

Existen dos clases de protectores auditivos, los protectores auditivos externos (orejeras y cascos) y los internos (tapones y válvulas) (Falagán, 2005, pág. 654).

Los equipos de protección personal externos se pueden ver en la figura 8.

Figura 8. Orejeras



Fuente: (Falagán, 2005, pág. 654)

Como equipo de protección personal interno se observa en la figura 9, las válvulas internas.

Figura 9. Válvulas



Fuente: (Falagán, 2005, pág. 654)

También se puede observar EPI's internos como los tapones de la figura 10.

Figura 10. Tapones



Fuente: (Falagán, 2005, pág. 654)

1.2.2. Adopción de una perspectiva teórica

Mediante el uso de materiales absorbentes, se transforman la energía y se reducen las frecuencias que viajan en el medio físico, como si en una esponja se echara agua, parte la absorbe y la otra parte la deja pasar debido a su porosidad, el mismo efecto se presenta en el ruido con el uso de una esponja, parte se absorbe y la otra parte pasa, cuanto más grande sea la esponja más es el sonido absorbido.

Como complemento a esta medida el aislamiento es también una medida muy útil, siguiendo con el ejemplo del agua, si interponemos una membrana impermeable el agua no pasa, cuanto más pesada sea esta membrana impermeable mayor resistencia tendrá al paso del agua, de igual manera sucede con el ruido utilizando la membrana (Falagán, 2005, pág. 647).

1.2.3. Hipótesis

La investigación y evaluación de la exposición al ruido, permitirá establecer medidas de prevención y control, que aporte a la disminución del riesgo de los trabajadores expuestos a este riesgo, mejoraran la calidad de vida de los trabajadores y su bienestar personal.

1.2.4. Identificación y caracterización de variables

1.2.4.1. Variable Independiente

Conceptualizamos la causa o razón del fenómeno a investigar, y que vine a ser el factor determinante que explica el fenómeno.

Ruido Ocupacional: El ruido ocupacional es el que se genera en condiciones laborales; y afecta a millones de trabajadores al rededor del mundo. El ruido ocupacional en la empresa embotelladora de bebidas es producido por la maquinaria donde se realiza el llenado de agua mineral y donde se llenan los Galones y Bidones de agua.

1.2.4.2. Variable Dependiente

Es el efecto que se genera de la manipulación de la variable independiente, su existencia o su desenvolvimiento depende de la independiente.

Nivel de audición: es el nivel audiométrico de un individuo o un grupo en relación con el patrón audiométrico aceptado.

1.2.4.3. Covariables

Con esta variable se explica una variable de respuesta continua independiente.

Sexo, edad, años de servicio, ocupación (operadores, supervisor), tiempo de exposición diario a ruido ocupacional.

Tabla 7. Variables Independiente y dependiente

VARIABLES	DEFINICION	DIMENSION	DEFINICION OPERATIVA	INDICADOR	ESCALA	CATEGORIAS
Ruido Ocupacional	Es el ruido que se genera en condiciones laborales dentro del consultorio odontológico en función al tiempo de exposición	En Operadores	Nivel de ruido base	Número de decibeles	Nominal	Ruido dentro del límite permisible. Ruido fuera del límite permisible.
Nivel de Audición	Es el nivel audiométrico de un individuo que mide la capacidad de audición en relación a un patrón audiométrico aceptado		Es un estudio que utiliza un audiómetro calibrado para medir el nivel de audición de los <u>trabajadores</u> .	Numero de Hertz	Nominal	Presenta hipoacusia No presenta hipoacusia
					Cualitativa Ordinal	Normal: Pérdida entre 0 y 20 dB. Hipoacusia leve: Pérdida entre 20 y 40 dB para las frecuencias centrales. Hipoacusia moderada: Pérdida comprendida entre 40 y 60 dB. Hipoacusia severa: Pérdida comprendida entre 60 y 80 dB. Hipoacusia profunda: Pérdida superior a 80 dB.

Fuente: Autor

Tabla 8. Definición de Covariables

COVARIABLES	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA	CATEGORIA
Edad	Tiempo en años desde nacimiento hasta el momento de la medición.	Años	Número de años declarados en la encuesta	Cuantitativa de razón	
Sexo	Condiciones orgánicas que diferencian al hombre de la mujer.		Aspecto fenotípico	Nominal	Masculino Femenino
Horas de trabajo diario	Tiempo de trabajo profesional de operador durante el día.	Horas	Número entero en horas.	Cuantitativa de razón	
Años de servicio	Tiempo en años de labor profesional.	Años	Respuesta del entrevistado.	Nominal	Operador Supervisor

Fuente: Autor

CAPITULO II. MÉTODO

2.1. Nivel de Estudio

Se realizó un estudio descriptivo de la situación actual de la empresa, donde se procedió a realizar mediciones de campo, para poder esclarecer el nivel de ruido presente en cada uno de los puestos estudiados.

2.1.1. Toma de información

Para realizar el levantamiento de información se procedió a realizar mediciones en cada uno de los puestos de trabajo donde el trabajador se encuentra expuesto a altos niveles de ruido, con un sonómetro digital de bandas de octava, con ponderación A, como se muestra en la figura 11.

Se procedió a expresar los valores tomados tanto en cuadros como gráficamente para luego analizarlos, y se tomó para el análisis las áreas de llenado de agua mineral y llenado de Galones / Bidones.

Figura 11. Sonómetro digital



Fuente: (SKF, 2009, pág. 1)

Según el Art. 55 del Decreto 2393 (Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo) dice:

La prevención por ruidos y vibraciones se efectuará aplicando la metodología expresada en el apartado 4 del Art. 55. “Se prohíbe instalar máquinas o aparatos que produzcan ruidos o vibraciones, adosados a paredes o columnas excluyéndose los dispositivos de alarma o señales acústicas”.

Se fija como límite máximo de presión sonora el de 85 decibeles escala A del sonómetro, medidos en el lugar en donde el trabajador mantiene habitualmente la cabeza, para el caso de ruido continuo con 8 horas de trabajo. No obstante los puestos de trabajo que

demanden fundamentalmente actividad intelectual, o tarea de regulación o de vigilancia, concentración o cálculo, no excederán los 70 dB de ruido.

Para el caso de ruido continuo los niveles sonoros, medidos en decibeles con filtro A, en posición lenta, que se permitirán estarán relacionados con el tiempo de exposición según la tabla 9 (Legisladores, 1998, pág. 20).

Tabla 9. Decibeles por tiempo de exposición

Nivel Sonoro /dBA	Tiempo de exposición por jornada/hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0,25
115	0,125

Fuente: (Legisladores, 1998, pág. 20)

2.1.2. Análisis de Resultados

Para el análisis de resultados se aplicó el método de cálculo de nivel de presión acústica equivalente, tomando las ponderaciones A y C en cada una de las bandas de octava, y se utilizó la ecuación 4.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} \prod_{i=1}^{i=n} 10^{0.1 * L_{Aeq}} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Y luego se realizó el cálculo de nivel de presión acústica equivalente diario para cada una de los valores ponderados con la ecuación 5 como se muestra a continuación para las dos áreas seleccionadas.

$$L_{Aeqd} = L_{AeqT} + 10 * \text{Log}\left(\frac{t}{8}\right) \quad [\text{Ec. 5}]$$

2.2. Evaluación de resultados

Para la evaluación de los resultados se analizó los datos recopilados y posteriormente calculados para las áreas seleccionadas, y se mostró que los trabajadores se encuentran sobreexpuestos a altos niveles de ruido.

2.3. Proposición de medidas

Para la proposición de medidas se escogió dos tipos de protectores auditivos para colocar a los trabajadores, se tomó los valores de atenuación en las bandas de octava y se procedió a realizar nuevamente el cálculo de nivel de presión sonora utilizando las ecuación 4 y la ecuación 5.

2.3.1. Método APV o de bandas de octava

Se utilizó el método APV o de las bandas de octava, donde el dato de inicio es el del nivel sonoro de cada banda de octava, y a estos valores se le resta la escala de ponderación A y el valor de atenuación del protector suministrado por el fabricante o proveedor, para lo se utilizó la ecuación 6.

$$L_{AeqT}(dBA) = 10 * \text{Log} \prod_{i=1}^{i=n} 10^{0.1*(NR+A-APV)} \quad [\text{Ec. 6}]$$

2.3.2. Método HML

También se utilizó el método HML, donde no se requiere saber el espectro de ruido, basta con una información más asequible. No hay necesidad de medir con filtros de octava, por lo que con conocer los valores de nivel sonoro con ponderación A y ponderación C son suficientes.

Los valores H, M y L, que se determina a partir de las atenuaciones en cada banda de octava, según un procedimiento de cálculo descrito en la norma (UNE EN ISO 4869-2), donde expresa a groso modo que las atenuaciones de alta, media y baja frecuencia las debe aportar el fabricante del protector.

Para determinar la ecuación a usarse se debe restar los valores de nivel sonoro de las atenuaciones C menos la atenuación A, y de acuerdo al resultado de este se determina la ecuación, si el resultado es menor o igual que 2 se utiliza la ecuación 7, caso contrario se usa la ecuación 8 como se muestra a continuación, y en ambos casos se utiliza la ecuación 9 para encontrar el valor final.

- Si $\text{dB}(C) - \text{dB}(A) \leq 2$

$$PNR = M - \frac{H-M}{4} * L_C \text{dB } C - L_A \text{dB } A - 2 \quad [\text{Ec. 7}]$$

- Si $\text{dB}(C) - \text{dB}(A) > 2$

$$PNR = M - \frac{H-L}{8} * L_C \text{dB } C - L_A \text{dB } A - 2 \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$N_{ATENUADO} = L_A \text{dBA} - PNR \quad [\text{Ec. 9}]$$

2.3.3. Método SNR

Otro método que se utilizó es, el método SNR, que se basa en un método de aproximación simple que tampoco precisa de conocer el espectro de ruido. Basta con saber los valores de nivel sonoro con ponderación C. El valor del índice SNR lo debe proporcionar el fabricante del EPI y se determina en base a las atenuaciones en cada banda de octava según el procedimiento detallado en la norma (UNE EN ISO 4869-2).

$$N_{ATENUADO} = L_C \text{ dBC} - SNR \quad [\text{Ec. } 10]$$

Este procedimiento es el más simple y más impreciso (de 2 a 3 dB de error), por eso obliga a trabajar con márgenes de seguridad y no dar por bueno un resultado de 79 dBA que garantice la protección.

2.3.4. Método de Absorción Acústica en lugares cerrados

Es el tratamiento que reciben sus superficies interiores, a fin de absorber el exceso de energía sonora existente, impidiendo que se produzcan reverberaciones y ecos no deseados.

Coefficiente de Absorción

Se definió el coeficiente de absorción de un material entre la energía que absorbe y la energía de las ondas sonoras que inciden sobre el cómo se ve en la ecuación 11.

$$\alpha = \frac{E \text{ absorbida}}{E \text{ insidente}} \quad [\text{Ec. } 11]$$

Absorción Acústica de un material

Se definió la absorción acústica de un material a utilizarse (A) la cual se calculó del producto de su coeficiente de absorción (α) por su superficie (S). Matemáticamente esto se expresa como la ecuación 12 (Asepeyo, 2005, pág. 16).

$$A = S * \alpha \quad [\text{Ec. 12}]$$

Absorción de un recinto

Para calcular la absorción acústica de todo el recinto que se utilizó para envolver toda la máquina como el producto de del coeficiente de cada material por la superficie utilizada. A, es la absorción acústica total que existe en el interior del mismo. Se puede calcular mediante la ecuación 13 (Asepeyo, 2005, pág. 18).

$$A = S_1 * \alpha_1 + S_2 * \alpha_2 + \dots + S_n * \alpha_n \quad [\text{Ec. 13}]$$

Propagación del sonido en un recinto cerrado

La propagación del sonido en recintos cerrados se vio modificada por las paredes de este. Las ondas sonoras al chocar contra superficies sólidas de las paredes, pierden parte de su energía, al ser absorbida por los materiales de que aquellas están constituidas, mientras que otra parte de la energía sonora es reflejada. En el caso ideal que las paredes fuesen totalmente absorbentes, no existirían ondas reflejadas y la propagación sería como en situación de campo

libre. El nivel de presión sonora se calculó para cada banda de octava como se muestra en la siguiente ecuación 14 (Asepeyo, 2005, pág. 5).

$$NPS = NWS + 10 * \text{Log}\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \quad [\text{Ec. 14}]$$

Donde la constante de cerramiento, R se calculó con la siguiente ecuación 15.

$$R = \frac{S * \alpha}{1 - \alpha} \quad [\text{Ec. 15}]$$

2.4. Modalidad de Investigación

La investigación se realizó en campo a los trabajadores de la embotelladora de bebidas, en las áreas de llenado de agua mineral y llenado de Galones / Bidones.

También se realizó investigación documental, ayudándonos de medios impresos y audiovisuales.

2.5. Método

El método de investigación es el hipotético, porque parte de una deducción lógica que se aplica a una hipótesis inicial, para con el análisis de las variables de estudio de nuestra población se aplique los métodos específicos como los mencionados en el apartado anterior.

2.6. Población y muestra

La población se caracterizaron de acuerdo a la maquinaria donde se encuentren de los cuales seleccionamos los de llenado de agua mineral y los de llenado de galones / Bidones.

Muestra, en este estudio no se tomó muestra ya que de la población mencionada se analizó a todos los trabajadores por ser un número reducido de operadores expuestos al ruido.

2.7. Selección instrumentos de investigación

Los instrumentos que se utilizó en la investigación son la observación y la experimentación, con la aplicación de protocolos de vigilancia de ruido para los trabajadores de las áreas donde se realizó la investigación, para determinar los signos y síntomas de trastorno del oído de cada uno de ellos en sus condiciones de trabajo.

Posteriormente se realizó las evaluaciones con el sonómetro en cada puesto de trabajo determinadas bajo las condiciones de trabajo antes descritas, en cada una de las bandas de octava, y se estudió el comportamiento de estos valores y se encontró el nivel de presión sonora diario equivalente al que el trabajador puede estar expuesto en un horario de 8 horas por día de trabajo.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1. Presentación y análisis de resultados

La información recopilada que caracterizan al ruido al que se encuentra expuesto el trabajador será analizada mediante los métodos APV o de las bandas de octava donde el dato de inicio es el del nivel sonoro de cada banda de octava y a estos valores se les resta algebraicamente la corrección de la escala A, método HML donde no se requiere saber el espectro del ruido, basta con una información más asequible donde no hay necesidad de medir con filtros, y método SRN se basa en una aproximación simple que tampoco precisa de conocer el espectro del ruido.

3.1.1. Levantamiento de datos

El estudio de investigación es realizado por información documental y de campo en las diferentes áreas de la empresa embotelladora de bebidas, identificando todas las áreas que donde el trabajador se encuentra expuesto a diferentes niveles de ruido, se realiza sonometrías y se detalla los datos en las diferentes estaciones de la planta en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de las sonometrías

Código	Area	Promedio	Máximo
		dBA	dBA
TM-RS-01	Aguante Llenado	77,1	92,6
TM-RS-02	Sala Jarabes	< 85,0	84,6
TM-RS-03	Llenado agua mineral	92,4	97,1
TM-RS-04	Maper Soplado	83,9	92,1
TM-RS-05	Maper Llenado	73,6	91,3
TM-RS-06	Ablandadores	< 85,0	82,8
TM-RS-07	Sala Calderos	36,1	85,4
TM-RS-08	Llenado Galones/Bidones	90,7	95,7
TM-RS-09	Maper lavado botellones	67,1	86,8
TM-RS-10	Laboratorio control de calidad	< 85,0	75,2
TM-RS-11	Sopladora SIDEL 12	89,4	92,9
TM-RS-12	Sopladora SIPA 8	86,7	96,9

Fuente: (Inriska, 2012, pág. 13)

Se identifica en que en el área de llenado de agua mineral y en el área de llenado de Galones/Bidones, el ruido promedio está por encima de los valores permitidos por las entidades reguladoras y tomando en cuenta en cuenta que el trabajador es el más afectado con la exposición es el trabajador.

En el área de llenado de agua mineral se encuentran 12 trabajadores, divididos en dos turnos de 11 horas cada uno, están expuestos al ruido del compresor, este se encuentra descubierto sin ninguna protección como se observa en la figura 12.

Figura 12. Toma de muestra con sonómetro llenado de agua mineral



Fuente: Autor

A continuación se presentan en la tabla 11, los datos de las lecturas de sonómetro en las frecuencias de bandas de octava.

Tabla 11. Datos de lectura de sonómetro llenado de agua mineral

	Frecuencia								
(Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	85,6	95	96,3	97,5	106,5	101,9	108,5	110,7	109,8

Fuente: Autor

En la tabla 12 se ve los datos del sonómetro con la aplicación del filtro A.

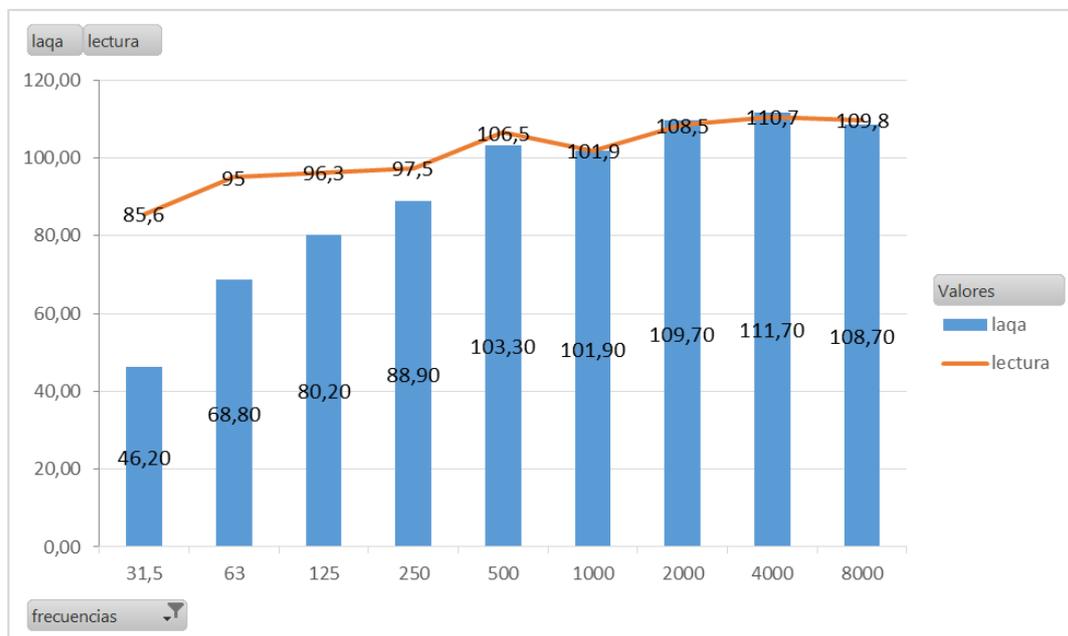
Tabla 12. Datos ponderados con el filtro A, llenado de agua mineral

	Frecuencia								
(Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	85,6	95	96,3	97,5	106,5	101,9	108,5	110,7	109,8
Ponderación A	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
(dB _A)	46,2	68,8	80,2	88,9	103,3	101,9	109,7	111,7	108,7

Fuente: Autor

También se representan en la figura 13, los datos sin atenuación A y con atenuación.

Figura 13. Datos de lectura inicial y ponderado A llenado de agua mineral



Fuente: Autor

En el área de llenado de Galones/Bidones se encuentran dos operadores por turno de 8 horas cada uno, en la figura 14 se ve el proceso de llenado de Galones/Bidones

Figura 14. Lectura con sonómetro llenado de Galones/Bidones



Fuente: Autor

En la tabla 13 se muestra los datos del sonómetro en las diferentes bandas de octava.

Tabla 13. Datos de lectura de sonómetro llenado de Galones/Bidones

	Frecuencia								
(Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	90,5	93	102,1	100,6	104,1	102,6	105,5	105,4	99,2

Fuente: Autor

En la tabla 14 se muestra los datos del sonómetro en las diferentes bandas de octava, pero aplicada la ponderación A.

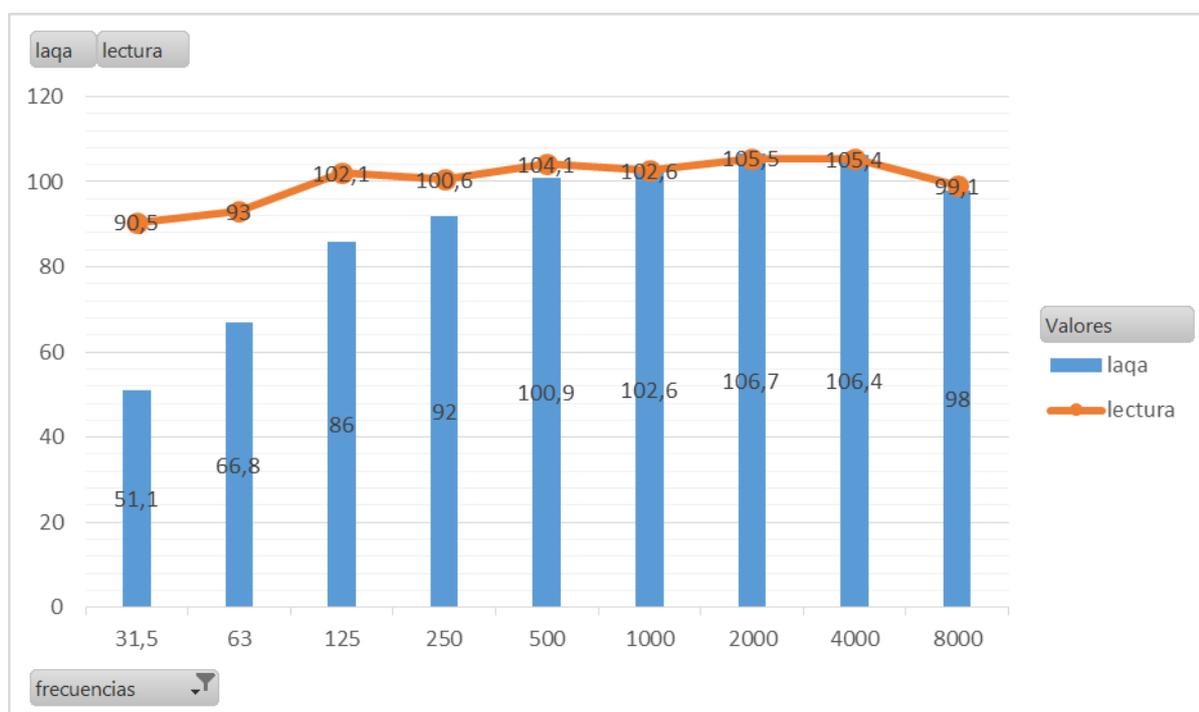
Tabla 14. Datos ponderados con el filtro A, llenado de Galones/Bidones

	Frecuencia								
(Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	90,5	93	102,1	100,6	104,1	102,6	105,5	105,4	99,2
Ponderación A	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
(dbA)	51,1	66,8	86	92	100,9	102,6	106,7	106,4	98,1

Fuente: Autor

En la figura 15 se representan los datos sin ponderación A y con ponderación del llenado de Galones / Bidones..

Figura 15. Datos de lectura inicial y ponderado A, llenado de Galones/Bidones



Fuente: Autor

3.1.2. Análisis de resultados

Con la información recopilada de los puestos de trabajo, llenado de agua mineral y llenado de Galones/Bidones, las mismas que están representadas con tablas y figuras con relación al cada puesto analizado, el nivel de ruido es inaceptable debido a la norma aplicable, decreto ejecutivo 2393, Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.

El análisis de los resultados se los realiza a continuación en la tabla 15 para llenado de agua mineral y en la tabla 16 para llenado de Galones/Bidones.

Tabla 15. Datos de llenado de Agua Mineral sin Protección

Cálculo llenado de Agua Mineral								
Bandas de Octava (Hz)	$L_{Aeq}(dB)$	Pond. A	Pond. C	$L_{Aeq}(dBA)$	$L_{Aeq}(dBC)$	$10^{0.1*L_{Aeq}} (dB)$	$10^{0.1*L_{Aeq}} (dBA)$	$10^{0.1*L_{Aeq}} (dBC)$
31,5	85,6	-39,4	-3	46,2	82,6	363078054,8	41686,93835	181970085,9
63	95	-26,2	-0,8	68,8	94,2	3162277660	7585775,75	2630267992
125	96,3	-16,1	-0,2	80,2	96,1	4265795188	104712854,8	4073802778
250	97,5	-8,6	0	88,9	97,5	5623413252	776247116,6	5623413252
500	106,5	-3,2	0	103,3	106,5	44668359215	21379620895	44668359215
1000	101,9	0	0	101,9	101,9	15488166189	15488166189	15488166189
2000	108,5	1,2	-0,2	109,7	108,3	70794578438	93325430080	67608297539
4000	110,7	1	-0,8	111,7	109,9	1,1749E+11	1,47911E+11	97723722096
8000	109,8	-1,1	-3	108,7	106,8	95499258602	74131024130	47863009232

Fuente: Autor

Para el área de llenado de Agua mineral, se calcula con la lectura inicial sin aplicar la ponderación A utilizando la ecuación 4.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*85} + 10^{0,1*95} + 10^{0,1*96,3} + 10^{0,1*97,5} + 10^{0,1*106,5} + 10^{0,1*101,9} + 10^{0,1*108,5} + 10^{0,1*110,7} + 10^{0,1*109,8})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (357354682093,59)$$

$$L_{AeqT} = 115,53 \text{ dB}$$

Luego se realiza el cálculo con los valores atenuados con la ponderación A aplicando la ecuación 4.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*46,2} + 10^{0,1*68,8} + 10^{0,1*80,2} + 10^{0,1*88,9} + 10^{0,1*103,3} + 10^{0,1*101,9} \\ + 10^{0,1*109,7} + 10^{0,1*111,7} + 10^{0,1*108,7})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (353123667544,88)$$

$$L_{AeqT} = 115,48 \text{ dBA}$$

También se realiza el cálculo con los valores atenuados con la ponderación C aplicando la ecuación 4.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*82,6} + 10^{0,1*94,2} + 10^{0,1*96,1} + 10^{0,1*97,5} + 10^{0,1*106,5} + 10^{0,1*101,9} \\ + 10^{0,1*108,3} + 10^{0,1*109,9} + 10^{0,1*106,8})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (285861008378,97)$$

$$L_{AeqT} = 114,56 \text{ dBC}$$

Primero se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 11 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 115,48 + 10 * \text{Log}\left(\frac{11}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 115,48 + 1,3830$$

$$L_{Aeqd} = 116,86 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado C, para el turno de 11 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Ceqd} = 114,56 + 10 * \text{Log} \frac{11}{8}$$

$$L_{Ceqd} = 114,56 + 1,3830$$

$$L_{Ceqd} = 115,94 \text{ dBC}$$

Tabla 16. Datos de llenado de Galones/Bidones sin Protección

Cálculo llenado de Galones/Bidones								
Bandas de Octava (Hz)	L_{Aeq} (dB)	Pond. A	Pond. C	L_{Aeq} (dBA)	L_{Aeq} (dBC)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dB)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dBA)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dBC)
31,5	90,5	-39,4	-3	51,1	87,5	1122018454	128824,9552	562341325,2
63	93	-26,2	-0,8	66,8	92,2	1995262315	4786300,923	1659586907
125	102,1	-16,1	-0,2	86	101,9	16218100974	398107170,6	15488166189
250	100,6	-8,6	0	92	100,6	11481536215	1584893192	11481536215
500	104,1	-3,2	0	100,9	104,1	25703957828	12302687708	25703957828
1000	102,6	0	0	102,6	102,6	18197008586	18197008586	18197008586
2000	105,5	1,2	-0,2	106,7	105,3	35481338923	46773514129	33884415614
4000	105,4	1	-0,8	106,4	104,6	34673685045	43651583224	28840315031
8000	99,1	-1,1	-3	98	96,1	8128305162	6309573445	4073802778

Fuente: Autor

Para calcular el nivel de presión sonora del área de llenado de Galones / Bidones, se calcula con la lectura inicial sin aplicar la ponderación A utilizando la ecuación 4.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*90,5} + 10^{0,1*93} + 10^{0,1*102,3} + 10^{0,1*100,6} + 10^{0,1*104,1} + 10^{0,1*102,6} + 10^{0,1*105,5} + 10^{0,1*105,4} + 10^{0,1*99,1})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (153001213501,87)$$

$$L_{AeqT} = 111,85 \text{ dB}$$

Se procede con el cálculo utilizando los valores atenuados y la ponderación A aplicando la ecuación 4.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*51,1} + 10^{0,1*66,8} + 10^{0,1*86} + 10^{0,1*92} + 10^{0,1*100,9} + 10^{0,1*102,6} + 10^{0,1*106,7} + 10^{0,1*106,4} + 10^{0,1*98})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (129222282580,66)$$

$$L_{AeqT} = 111,11 \text{ dBA}$$

Luego se realiza el cálculo con los valores atenuados con la ponderación C aplicando la ecuación 4.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*87,5} + 10^{0,1*92,2} + 10^{0,1*101,9} + 10^{0,1*100,6} + 10^{0,1*104,1} + 10^{0,1*102,6} + 10^{0,1*105,3} + 10^{0,1*104,6} + 10^{0,1*96,1})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (139891130473,74)$$

$$L_{AeqT} = 111,46 \text{ dBC}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 8 horas aplicando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 111,11 + 10 * \text{Log}\left(\frac{8}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 111,11 + 0$$

$$L_{Aeqd} = 111,11 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado C, para el turno de 11 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Ceqd} = 111,46 + 10 * \text{Log} \frac{8}{8}$$

$$L_{Ceqd} = 111,46 + 0$$

$$L_{Ceqd} = 111,46 \text{ dBC}$$

3.2. Evaluación

El trabajador se encuentra sobre-expuesto a ruido, tanto en el área de llenado de agua mineral como llenado de Galones / Bidones, puesto que los valores encontrados sobrepasan los 85 dB, que es el valor máximo al que puede estar expuesto el trabajador en una jornada de 8 horas diarias, y además se produce una de las primeras causas de discapacidad producida por enfermedad profesional que es la hipoacusia o pérdida de la capacidad auditiva, dejando daños irreversibles en los trabajadores expuestos.

Se debe tomar medidas inmediatamente para reducir los valores por debajo de los valores límite de exposición, ya que los valores presentes en el área de llenado de agua mineral, y llenado de Galones / Bidones son mayores a los permitidos, con 116,86 y 111,11 dBA respectivamente como nivel de presión acústico diario equivalente.

Sin embargo, la prevención del daño auditivo no consiste en la mera entrega de protectores a los trabajadores, sino en un conjunto de actividades integrales para el cuidado de la salud auditiva.

3.3. Proposición de medidas

Una vez realizado los cálculos y analizados los datos de levantamiento realizado en los puestos de trabajo de llenado de agua mineral y llenado de Galones/Bidones, los resultados no se acoplan a las normas vigentes presentadas en el decreto 2393, ya que sobrepasa los valores permisibles. Por lo tanto como medidas de control se propone la utilización de protección personal, por la dificultad de realizar el tratamiento en la fuente o en el medio de transmisión.

Como medidas de control se presenta:

- Establecer procedimientos para la utilización de protección personal EPI, en el cual se desarrolle actividades que fortalezcan la utilización del equipo de protección personal.
- Seleccionar, dotar y capacitar al personal para el uso del mismo.
- Establecer un procedimiento de vigilancia médica continua a los trabajadores expuestos al ruido.

Una vez escogidos los equipos de protección personal que se muestran en los anexos, orejeras 3M H9P y 3M H9P3E en el anexo 1 y tapones MOLDEX 7400, 7403 en el anexo 2, con estos equipos propuestos se realiza nuevamente los cálculos.

3.3.1. Propuesta de medidas con Orejeras 3M H9A

Orejeras con arnés superior, y en la tabla 17 y tabla 18 se muestran los datos con la atenuaciones correspondientes, tanto para área de llenado de agua mineral como llenado de Galones / Bidones.

Tabla 17. Datos de llenado de Agua Mineral con EPI(diadema 3M H9A)

Cálculo llenado de Agua Mineral con Diadema 3M H9A							
Bandas de Octava (Hz)	L_{Aeq} (dB)	Ponderacion A	L_{Aeq} (dBA)	Diadema 3M H9A	L_{Aeq} (dBA)	$10^{0.1 \cdot L_{Aeq}}$ (dB)	$10^{0.1 \cdot L_{Aeq}}$ (dBA)
31,5	85,6	-39,4	46,2	0	46,2	363078054,8	41686,93835
63	95	-26,2	68,8	16,2	52,6	3162277660	181970,0859
125	96,3	-16,1	80,2	14,6	65,6	4265795188	3630780,548
250	97,5	-8,6	88,9	20,2	68,7	5623413252	7413102,413
500	106,5	-3,2	103,3	32,5	70,8	44668359215	12022644,35
1000	101,9	0	101,9	39,3	62,6	15488166189	1819700,859
2000	108,5	1,2	109,7	36,4	73,3	70794578438	21379620,9
4000	110,7	1	111,7	34,4	77,3	1,1749E+11	53703179,64
8000	109,8	-1,1	108,7	40,2	68,5	95499258602	7079457,844

Fuente: Autor

3.3.1.1. Método APV de llenado de agua mineral

Se realiza el cálculo de nivel de presión sonora de área de llenado de agua mineral utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*46,2} + 10^{0,1*52,6} + 10^{0,1*65,6} + 10^{0,1*68,7} + 10^{0,1*70,8} + 10^{0,1*62,6} + 10^{0,1*73,3} + 10^{0,1*77,3} + 10^{0,1*68,5})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (107272143,57)$$

$$L_{AeqT} = 80,3 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 11 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 80,3 + 10 * \text{Log}\left(\frac{11}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 80,3 + 1,3830$$

$$L_{Aeqd} = 81,69 \text{ dBA}$$

3.3.1.2. Método HML llenado de agua mineral

Se utiliza la ecuación 7 puesto que la siguiente condición cumple con las características mencionadas en la definición del método.

$$114,56 - 115,48 \leq 2$$

$$PNR = 29 - \frac{34 - 29}{4} * [114,56 - 115,48 - 2]$$

$$PNR = 32,65 \text{ dBA}$$

Con este valor se determino el nivel de ruido recibido utilizando la ecuación 9.

$$N_{ATENUADO} = 115,48 - 32,65 \text{ dBA}$$

$$N_{ATENUADO} = 82,83 \text{ dBA}$$

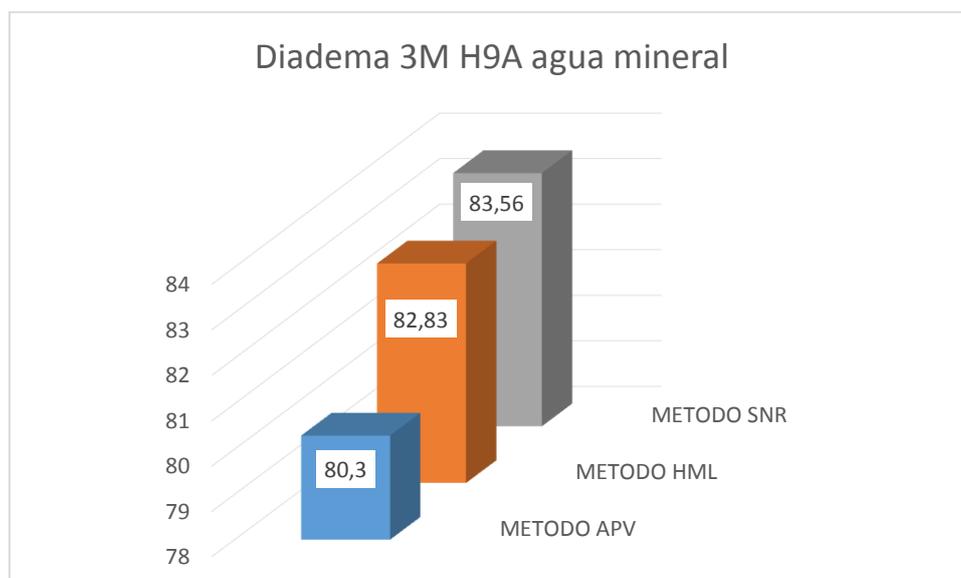
3.3.1.3. Método SRN llenado de agua mineral

Utilizando la ecuación 10, y con el valor de SNR = 31 dB definido por el fabricante realizamos el cálculo siguiente.

$$N_{ATENUADO} = 114,56 \text{ dBC} - 31 \text{ dB}$$

$$N_{ATENUADO} = 83,56 \text{ dBA}$$

En la figura 16, se muestra un resumen con los métodos utilizados para el área de llenado de agua mineral y sus valores obtenidos para cada uno.

Figura 16. Diadema 3M H9A Agua mineral

Fuente: Autor

Tabla 18. Datos de llenado de Galones/Bidones con EPI (diadema 3M H9A)

Cálculo llenado de Galones/Bidones con Diadema 3M H9A							
Bandas de Octava (Hz)	L_{Aeq} (dB)	Ponderacion A	L_{Aeq} (dBA)	Diadema 3M H9A	L_{Aeq} (dBA)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dB)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dBA)
31,5	90,5	-39,4	51,1	0	51,1	1122018454	128824,9552
63	93	-26,2	66,8	16,2	50,6	1995262315	114815,3621
125	102,1	-16,1	86	14,6	71,4	16218100974	13803842,65
250	100,6	-8,6	92	20,2	71,8	11481536215	15135612,48
500	104,1	-3,2	100,9	32,5	68,4	25703957828	6918309,709
1000	102,6	0	102,6	39,3	63,3	18197008586	2137962,09
2000	105,5	1,2	106,7	36,4	70,3	35481338923	10715193,05
4000	105,4	1	106,4	34,4	72	34673685045	15848931,92
8000	99,1	-1,1	98	40,2	57,8	8128305162	602559,5861

Fuente: Autor

3.3.1.4. Método APV llenado de Galones/Bidones

Se realiza el cálculo de nivel de presión sonora de área de llenado de Galones/Bidones utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*51,1} + 10^{0,1*50,6} + 10^{0,1*71,4} + 10^{0,1*71,8} + 10^{0,1*68,4} + 10^{0,1*63,3} + 10^{0,1*70,3} + 10^{0,1*72} + 10^{0,1*57,8})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (65406051,81)$$

$$L_{AeqT} = 78,16 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 8 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 78,16 + 10 * \text{Log}\left(\frac{8}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 78,16 + 0$$

$$L_{Aeqd} = 78,16 \text{ dBA}$$

3.3.1.5. Método HML llenado de Galones/Bidones

Se utiliza la ecuación 7 puesto que la siguiente condición cumple con las características mencionadas en la definición del método.

$$114,56 - 115,48 \leq 2$$

$$PNR = 29 - \frac{34 - 29}{4} * [114,56 - 115,48 - 2]$$

$$PNR = 32,65 \text{ dBA}$$

Con este valor se determino el nivel de ruido recibido utilizando la ecuación 9.

$$N_{ATENUADO} = 115,48 - 32,65 \text{ dBA}$$

$$N_{ATENUADO} = 82,83 \text{ dBA}$$

3.3.1.6. Método SRN llenado de Galones/Bidones

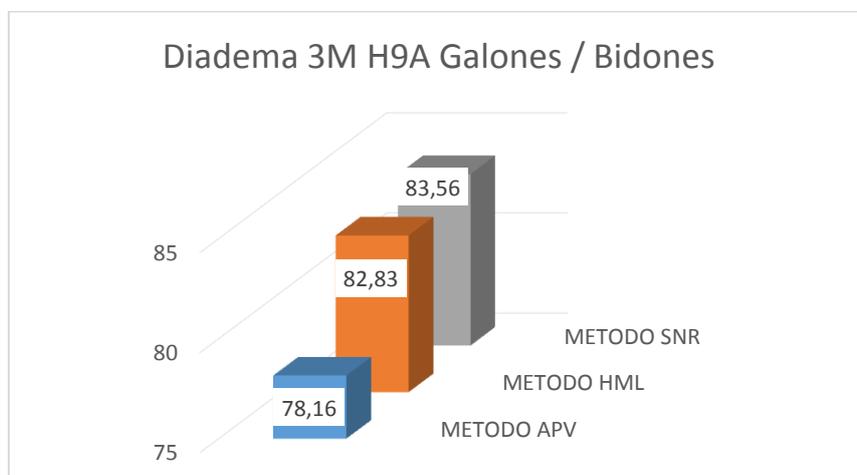
Utilizando la ecuación 10, y con el valor de SNR = 31 dB definido por el fabricante realizamos el cálculo siguiente.

$$N_{ATENUADO} = 114,56 \text{ dBC} - 31 \text{ dB}$$

$$N_{ATENUADO} = 83,56 \text{ dBA}$$

En la figura 17 se resume los métodos utilizados para el área de llenado de Galones / Bidones, con los valores obtenidos para cada uno de ellos.

Figura 17. Diadema 3M H9A Galones / Bidones



Fuente: Autor

3.3.2. Proposición de medidas para Orejeras de casco 3M H9P3E

Orejeras para casco, en la tabla 19 y tabla 20 se muestran los datos con la atenuaciones correspondientes, tanto para área de llenado de agua mineral como llenado de Galones / Bidones.

Tabla 19. Datos de llenado de Agua mineral con EPI (diadema 3M H9P3E)

Cálculo llenado de Agua Mineral con Diadema 3M H9P3E							
Bandas de Octava (Hz)	L_{Aeq} (dB)	Ponderacion A	L_{Aeq} (dBA)	Diadema 3M H9P3E	L_{Aeq} (dBA)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dB)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dBA)
31,5	85,6	-39,4	46,2	0	46,2	363078054,8	41686,93835
63	95	-26,2	68,8	15,1	53,7	3162277660	234422,8815
125	96,3	-16,1	80,2	14,1	66,1	4265795188	4073802,778
250	97,5	-8,6	88,9	19,4	69,5	5623413252	8912509,381
500	106,5	-3,2	103,3	32	71,3	44668359215	13489628,83
1000	101,9	0	101,9	39,9	62	15488166189	1584893,192
2000	108,5	1,2	109,7	36,2	73,5	70794578438	22387211,39
4000	110,7	1	111,7	35,4	76,3	1,1749E+11	42657951,88
8000	109,8	-1,1	108,7	39,2	69,5	95499258602	8912509,381

Fuente: Autor

3.3.2.1. Método APV llenado de agua mineral

Se realiza el cálculo de nivel de presión sonora de área de llenado de agua mineral utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*46,2} + 10^{0,1*53,7} + 10^{0,1*66,1} + 10^{0,1*69,5} + 10^{0,1*71,3} + 10^{0,1*62} + 10^{0,1*73,5} + 10^{0,1*76,3} + 10^{0,1*69,5})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (102294616,64)$$

$$L_{AeqT} = 80,10 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 11 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 80,10 + 10 * \text{Log}\left(\frac{11}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 80,10 + 1,3830$$

$$L_{Aeqd} = 81,44 \text{ dBA}$$

3.3.2.2. Método HML llenado de agua mineral

Se utiliza la ecuación 7 puesto que la siguiente condición cumple con las características mencionadas en la definición del método.

$$114,56 - 115,48 \leq 2$$

$$PNR = 28 - \frac{34 - 28}{4} * [114,56 - 115,48 - 2]$$

$$PNR = 32,38 \text{ dBA}$$

Con este valor se determinó el nivel de ruido recibido utilizando la ecuación 9.

$$N_{ATENUADO} = 115,48 - 32,38 \text{ dBA}$$

$$N_{ATENUADO} = 83,10 \text{ dBA}$$

3.3.2.3. Método SRN llenado de agua mineral

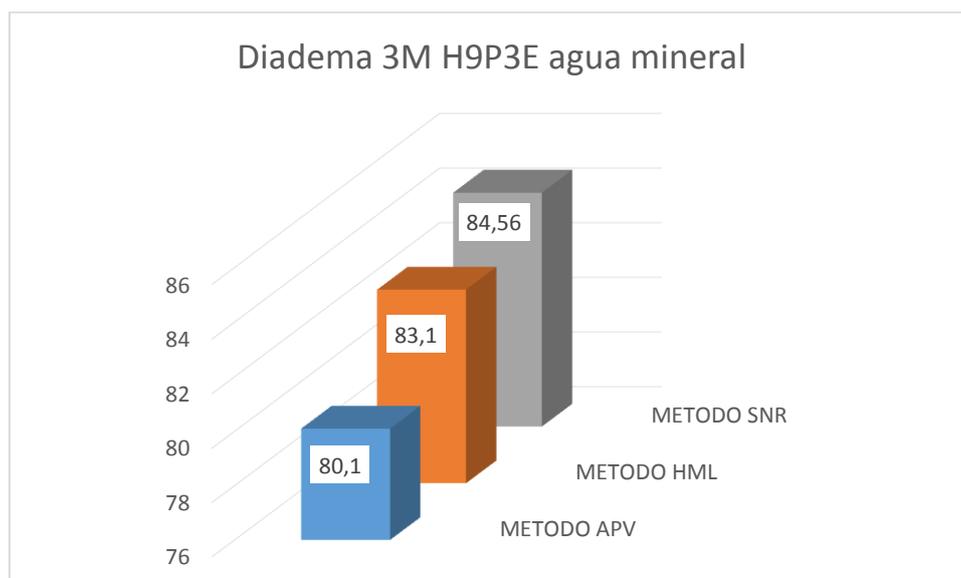
Utilizando la ecuación 10, y con el valor de SNR = 30 dB definido por el fabricante realizamos el cálculo siguiente.

$$N_{ATENUADO} = 114,56 \text{ dBC} - 30 \text{ dB}$$

$$N_{ATENUADO} = 84,56 \text{ dBA}$$

En la figura 18 tenemos el resumen de los métodos utilizados con sus valores correspondientes como resultado de la aplicación de estos, para el área de llenado de agua mineral.

Figura 18. Diadema 3M H9P3E Agua mineral



Fuente: Autor

Tabla 20. Datos de llenado de Galones/Bidones con EPI (diadema 3M H9P3E)

Cálculo llenado de Galones/Bidones con Diadema 3M H9P3E							
Bandas de Octava (Hz)	L_{Aeq} (dB)	Ponderacion A	L_{Aeq} (dBA)	Diadema 3M H9P3E	L_{Aeq} (dBA)	$10^{0,1*L_{Aeq}}$ (dB)	$10^{0,1*L_{Aeq}}$ (dBA)
31,5	90,5	-39,4	51,1	0	51,1	1122018454	128824,9552
63	93	-26,2	66,8	15,1	51,7	1995262315	147910,8388
125	102,1	-16,1	86	14,1	71,9	16218100974	15488166,19
250	100,6	-8,6	92	19,4	72,6	11481536215	18197008,59
500	104,1	-3,2	100,9	32	68,9	25703957828	7762471,166
1000	102,6	0	102,6	39,9	62,7	18197008586	1862087,137
2000	105,5	1,2	106,7	36,2	70,5	35481338923	11220184,54
4000	105,4	1	106,4	35,4	71	34673685045	12589254,12
8000	99,1	-1,1	98	39,2	58,8	8128305162	758577,575

Fuente: Autor

3.3.2.4. Método APV llenado de Galones/Bidones

Se realiza el cálculo de nivel de presión sonora de área de llenado de Galones/Bidones utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*51,1} + 10^{0,1*51,7} + 10^{0,1*71,9} + 10^{0,1*72,6} + 10^{0,1*68,9} + 10^{0,1*62,7} + 10^{0,1*70,5} + 10^{0,1*71} + 10^{0,1*58,8})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (68154485,11)$$

$$L_{AeqT} = 78,33 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 8 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 78,33 + 10 * \text{Log}\left(\frac{8}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 78,33 + 0$$

$$L_{Aeqd} = 78,33 \text{ dBA}$$

3.3.2.5. Método HML llenado de Galones/Bidones

Se utiliza la ecuación 7 puesto que la siguiente condición cumple con las características mencionadas en la definición del método.

$$114,56 - 115,48 \leq 2$$

$$PNR = 28 - \frac{34 - 28}{4} * [114,56 - 115,48 - 2]$$

$$PNR = 32,38 \text{ dBA}$$

Con este valor se determinó el nivel de ruido recibido utilizando la ecuación 9.

$$N_{ATENUADO} = 115,48 - 32,38 \text{ dBA}$$

$$N_{ATENUADO} = 83,10 \text{ dBA}$$

3.3.2.6. Método SRN llenado de Galones/Bidones

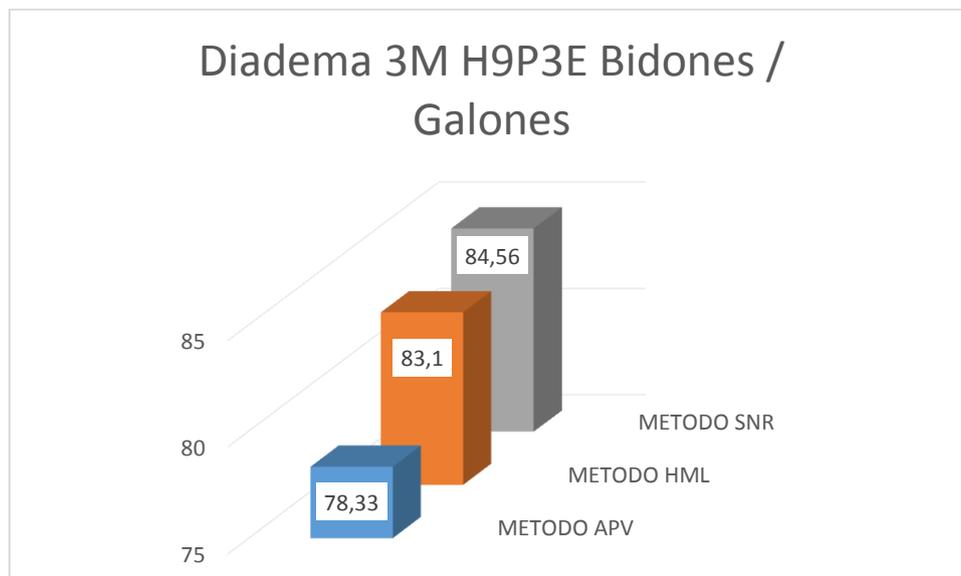
Utilizando la ecuación 10, y con el valor de SNR = 31 dB definido por el fabricante realizamos el cálculo siguiente.

$$N_{ATENUADO} = 114,56 \text{ dBC} - 30 \text{ dB}$$

$$N_{ATENUADO} = 84,56 \text{ dBA}$$

En la figura 19 se resume los valores de la aplicación de los métodos utilizados para el cálculo del nivel de presión sonora para el área de llenado de Bidones/ Galones, utilizando la diadema 3M H9P3E.

Figura 19. Diadema 3M H9P3E Bidones / Galones



Fuente: Autor

3.3.3. Proposición de medidas para Tapones Moldex 7400, 7403

Ahora se realiza nuevamente los cálculos para tapones como se muestra en la tabla 21 y tabla 22 como se muestra a continuación, tanto para área de llenado de agua mineral como llenado de Galones / Bidones.

Tabla 21. Datos de llenado de Agua mineral con EPI (tapones Moldex 7400, 7403)

Cálculo llenado de Agua Mineral con Tapones Moldex 7400, 7403							
Bandas de Octava (Hz)	L_{Aeq} (dB)	Ponderacion A	L_{Aeq} (dBA)	Tapones Moldex 7400, 7403	L_{Aeq} (dBA)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dB)	$10^{0.1*L_{Aeq}}$ (dBA)
31,5	85,6	-39,4	46,2	0	46,2	363078054,8	41686,93835
63	95	-26,2	68,8	22,5	46,3	3162277660	42657,95188
125	96,3	-16,1	80,2	29,3	50,9	4265795188	123026,8771
250	97,5	-8,6	88,9	36,6	52,3	5623413252	169824,3652
500	106,5	-3,2	103,3	41,6	61,7	44668359215	1479108,388
1000	101,9	0	101,9	38,1	63,8	15488166189	2398832,919
2000	108,5	1,2	109,7	35,6	74,1	70794578438	25703957,83
4000	110,7	1	111,7	44	67,7	1,1749E+11	5888436,554
8000	109,8	-1,1	108,7	43,1	65,6	95499258602	3630780,548

Fuente: Autor

3.3.3.1. Método APV llenado de agua mineral

Se realiza el cálculo de nivel de presión sonora de área de llenado de agua mineral utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*46,2} + 10^{0,1*46,3} + 10^{0,1*50,9} + 10^{0,1*52,3} + 10^{0,1*61,7} + 10^{0,1*63,8} + 10^{0,1*74,1} + 10^{0,1*67,1} + 10^{0,1*65,6})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (39478312,37)$$

$$L_{AeqT} = 75,96 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 11 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 75,96 + 10 * \text{Log}\left(\frac{11}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 75,96 + 1,3830$$

$$L_{Aeqd} = 77,35 \text{ dBA}$$

3.3.3.2. Método HML llenado de agua mineral

Se utiliza la ecuación 7 puesto que la siguiente condición cumple con las características mencionadas en la definición del método.

$$114,56 - 115,48 \leq 2$$

$$PNR = 33 - \frac{34 - 33}{4} * [114,56 - 115,48 - 2]$$

$$PNR = 33,73 \text{ dBA}$$

Con este valor se determinó el nivel de ruido recibido utilizando la ecuación 9.

$$N_{ATENUADO} = 115,48 - 33,73 \text{ dBA}$$

$$N_{ATENUADO} = 81,75 \text{ dBA}$$

3.3.3.3. Método SRN llenado de agua mineral

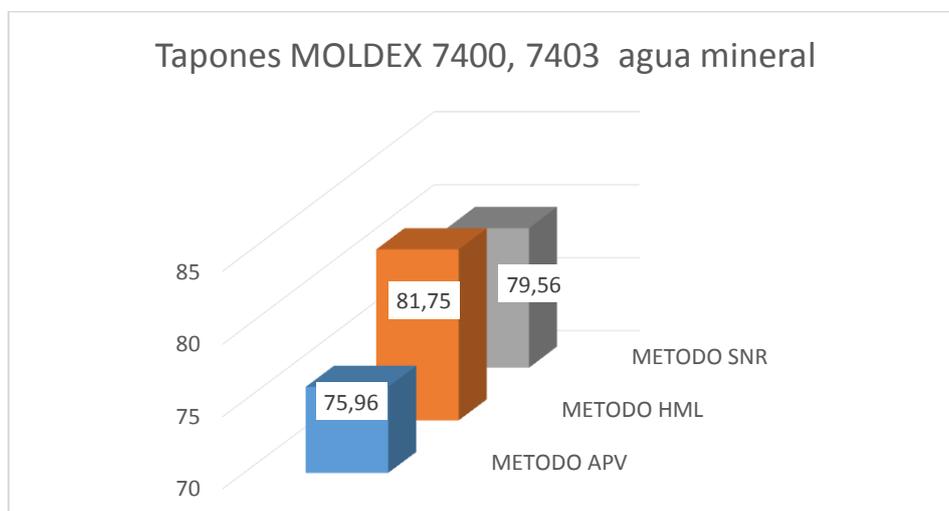
Utilizando la ecuación 10, y con el valor de SNR = 35 dB definido por el fabricante realizamos el cálculo siguiente.

$$N_{ATENUADO} = 114,56 \text{ dBC} - 35 \text{ dB}$$

$$N_{ATENUADO} = 79,56 \text{ dBA}$$

En la figura 20 se muestra el resumen de los valores aplicando los métodos estudiados para el área de llenado de agua mineral con tapones MOLDEX 7400.

Figura 20. Tapones Moldex 7400, 7403 agua mineral



Fuente: Autor

Tabla 22. Datos de llenado de Galones/Bidones con EPI (tapones Moldex 7400, 7403)

Cálculo llenado de Galones/Bidones con Tapones Moldex 7400,7403							
Bandas de Octava (Hz)	L_{Aeq} (dB)	Ponderacion A	L_{Aeq} (dBA)	Tapones Moldex 7400, 7403	L_{Aeq} (dBA)	$10^{0,1*L_{Aeq}}$ (dB)	$10^{0,1*L_{Aeq}}$ (dBA)
31,5	90,5	-39,4	51,1	0	51,1	1122018454	128824,9552
63	93	-26,2	66,8	22,5	44,3	1995262315	26915,34804
125	102,1	-16,1	86	29,3	56,7	16218100974	467735,1413
250	100,6	-8,6	92	36,6	55,4	11481536215	346736,8505
500	104,1	-3,2	100,9	41,6	59,3	25703957828	851138,0382
1000	102,6	0	102,6	38,1	64,5	18197008586	2818382,931
2000	105,5	1,2	106,7	35,6	71,1	35481338923	12882495,52
4000	105,4	1	106,4	44	62,4	34673685045	1737800,829
8000	99,1	-1,1	98	43,1	54,9	8128305162	309029,5433

Fuente: Autor

3.3.3.4. Método APV llenado de Galones/Bidones

Se realiza el cálculo de nivel de presión sonora de área de llenado de Galones/Bidones utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*51,1} + 10^{0,1*44,3} + 10^{0,1*56,7} + 10^{0,1*55,4} + 10^{0,1*59,3} + 10^{0,1*64,5} + 10^{0,1*71,1} + 10^{0,1*62,4} + 10^{0,1*54,9})$$

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (19569059,15)$$

$$L_{AeqT} = 72,92 \text{ dBA}$$

Ahora se calcula el nivel de presión acústica diario equivalente ponderado A, para el turno de 8 horas utilizando la ecuación 5.

$$L_{Aeqd} = 72,92 + 10 * \text{Log}\left(\frac{8}{8}\right)$$

$$L_{Aeqd} = 72,92 + 0$$

$$L_{Aeqd} = 72,92 \text{ dBA}$$

3.3.3.5. Método HML llenado de Galones/Bidones

Se utiliza la ecuación 7 puesto que la siguiente condición cumple con las características mencionadas en la definición del método.

$$111,46 - 111,11 \leq 2$$

$$PNR = 33 - \frac{34 - 33}{4} * [111,46 - 111,11 - 2]$$

$$PNR = 33,41 \text{ dBA}$$

Con este valor se determinó el nivel de ruido recibido utilizando la ecuación 9.

$$N_{ATENUADO} = 111,11 - 33,41 \text{ dBA}$$

$$N_{ATENUADO} = 77,70 \text{ dBA}$$

3.3.3.6. Método SRN llenado de Galones/Bidones

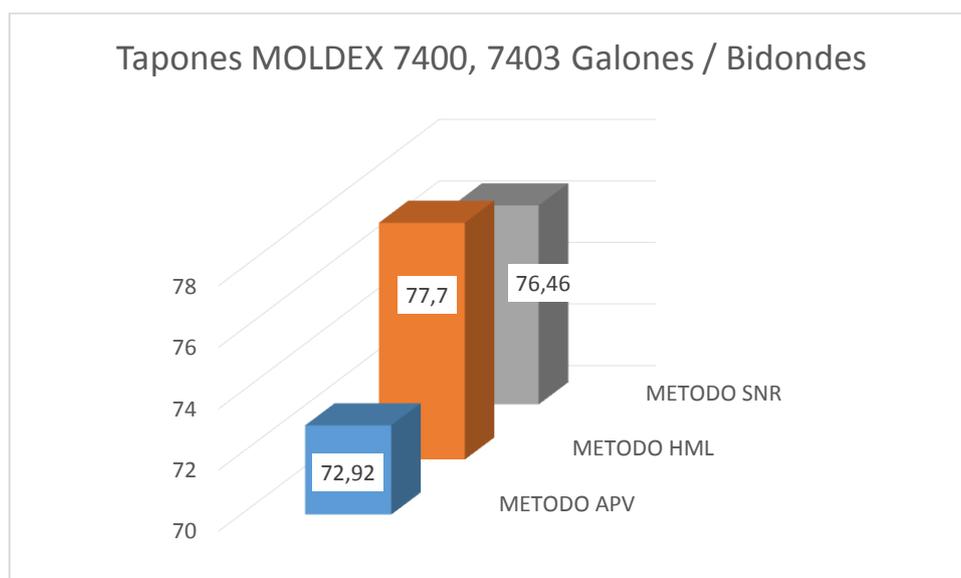
Utilizando la ecuación 10, y con el valor de SNR = 35 dB definido por el fabricante realizamos el cálculo siguiente.

$$N_{ATENUADO} = 111,46 \text{ dBC} - 35 \text{ dB}$$

$$N_{ATENUADO} = 76,46 \text{ dBA}$$

En la figura 21 se resume los valores de la aplicación de los métodos utilizados para el cálculo del nivel de presión sonora para el área de llenado de Bidones/ Galones, utilizando la tapones Moldex.

Figura 21. Tapones Moldex 7400, 7403 Galones / Bidones



Fuente: Autor

3.3.4. Reducción de la propagación de ruido en recintos cerrados

Como otro método de control frente al ruido en recintos cerrados, se emprenden acciones para reducir en la vía de propagación, con el fin de evitar que el ruido llegue al receptor.

3.3.4.1. Cálculo de Absorción de llenado de agua mineral

Primero definimos los tamaños a utilizar para los pisos, paredes, techos y vidrios a utilizar, y realizamos los cálculos como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Absorción de llenado de agua mineral

S1	PISO	100	Q 2							
S2	TECHO	100								
S3	PAREDES	80								
S4	VIDRIO	40								
ST		320								
distancia 1 m		1								
distancia 5 m		5								
f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
NPS(dB) Maqui		95	96,3	97,5	106,5	101,9	108,5	110,7	109,8	
α_1	SUELOS PLASTICOS	14	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
$S1 * \alpha_1$		5	5	10	10	10	5	5	5	
α_2	TECHOS ACUSTICOS SEPA	16	0,2	0,35	0,5	0,75	0,7	0,8	0,75	0,7
$S2 * \alpha_2$		20	35	50	75	70	80	75	70	
α_3	LANA DE ROCA 50	8	0,1	0,15	0,45	0,65	0,75	0,8	0,8	0,8
$S3 * \alpha_3$		8	12	36	52	60	64	64	64	
α_4	VIDRIO	5	0,08	0,17	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
$S4 * \alpha_4$		3,2	6,8	2,8	1,6	1,2	1,2	0,8	0,8	

Fuente: Autor

Mediante la ecuación 13 encontramos la absorción en cada banda de octava.

Tabla 24. Cálculo de coeficiente, llenado de agua mineral

f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
α medio		0,11	0,18	0,31	0,43	0,44	0,47	0,45	0,44

Fuente: Autor

Ahora aplicando la ecuación 15 encontramos el valor de R.

Tabla 25. Cálculo de R, llenado de agua mineral

f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
R		40,82	72,04	142,93	244,50	252,71	283,06	264,47	248,26

Fuente: Autor

Con los cálculos previos y utilizando la ecuación 14 encontramos los valores de nivel de presión sonora a 1 metro y a 5 metros, aplicando ponderación A y calculamos el valor de nivel de presión sonora equivalente como se ve en las tablas 26 y 27 respectivamente.

Tabla 26. Cálculo de NPS 1 metro llenado de agua mineral

f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NPS(1m)		89,10	89,62	90,22	98,94	94,33	100,89	103,11	102,24
atenua		-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
Leq(1m) dB		62,90	73,52	81,62	95,74	94,33	102,09	104,11	101,14

Fuente: Autor

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*62,90} + 10^{0,1*73,52} + 10^{0,1*81,62} + 10^{0,1*95,74} + 10^{0,1*94,33} + 10^{0,1*102,09} + 10^{0,1*104,11} + 10^{0,1*101,14})$$

$$L_{AeqT} = 108 \text{ dBA}$$

Tabla 27. Cálculo de NPS 5 metros llenado de agua mineral

f[Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NPS(5m)	85,19	84,22	82,86	90,07	85,36	91,62	94,02	93,32
atenua	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
Leq(5m) dB	58,99	68,12	74,26	86,87	85,36	92,82	95,02	92,22

Fuente: Autor

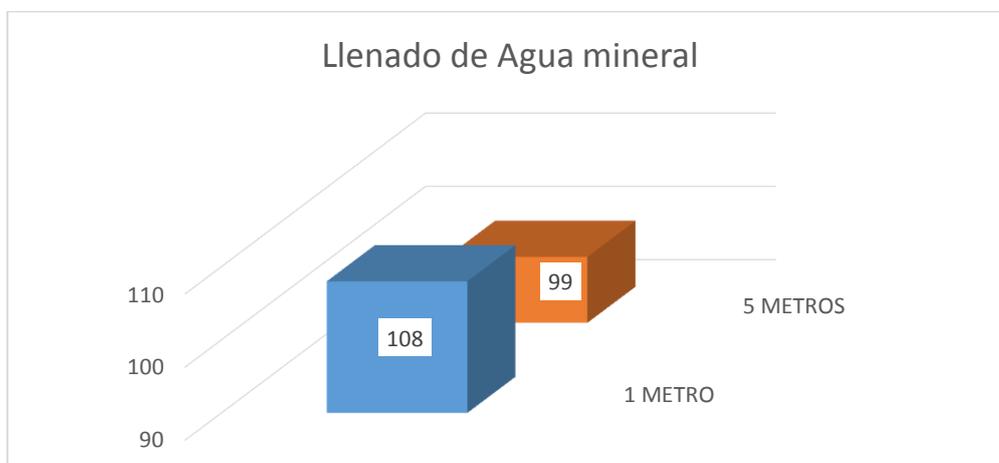
Una vez que encontramos los valores a las distancias con las que vamos a trabajar calculamos en nivel de presión sonora final utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*58,99} + 10^{0,1*68,12} + 10^{0,1*74,26} + 10^{0,1*86,87} + 10^{0,1*85,36} + 10^{0,1*92,82} + 10^{0,1*95,02} + 10^{0,1*92,22})$$

$$L_{AeqT} = 99 \text{ dBA}$$

En la figura 22 se resume los valores a 1 y 5 metros con absorción de sonido utilizando diferentes materiales absorbentes en el área de llenado de agua mineral.

Figura 22. Absorción de Llenado de agua mineral



Fuente: Autor

3.3.4.2. Cálculo de Absorción de llenado de Galones / Bidones

Utilizando los valores de la tabla 6, se realiza el cálculo de absorción de ruido para cada material que se utiliza para cubrir la máquina, como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Absorción de llenado de Galones / Bidones

S1	PISO	100	Q 2							
S2	TECHO	100								
S3	PAREDES	80								
S4	VIDRIO	40								
ST		320								
distancia 1 m		1								
distancia 5 m		5								
f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
NPS(dB) Maqui		93	102,1	100,6	104,1	102,6	105,5	105,4	99,1	
α_1	SUELOS PLASTICOS	14	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
$S1 * \alpha_1$		5	5	10	10	10	5	5	5	
α_2	TECHOS ACUSTICOS SEPA	16	0,2	0,35	0,5	0,75	0,7	0,8	0,75	0,7
$S2 * \alpha_2$		20	35	50	75	70	80	75	70	
α_3	LANA DE ROCA 50	8	0,1	0,15	0,45	0,65	0,75	0,8	0,8	0,8
$S3 * \alpha_3$		8	12	36	52	60	64	64	64	
α_4	VIDRIO	5	0,08	0,17	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
$S4 * \alpha_4$		3,2	6,8	2,8	1,6	1,2	1,2	0,8	0,8	

Fuente: Autor

Mediante la ecuación 13 encontramos la absorción en cada banda de octava.

Tabla 29. Cálculo de coeficiente de llenado de Galones / Bidones

f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
α medio		0,11	0,18	0,31	0,43	0,44	0,47	0,45	0,44

Fuente: Autor

Ahora aplicando la ecuación 15 encontramos el valor de R.

Tabla 30. Cálculo de R de llenado de Galones / Bidones

f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
R		40,82	72,04	142,93	244,50	252,71	283,06	264,47	248,26

Fuente: Autor

Con los cálculos previos y utilizando la ecuación 14 encontramos los valores de nivel de presión sonora a 1 metro y a 5 metros, aplicando ponderación A y calculamos el valor de nivel de presión sonora equivalente como se ve en las tablas 31 y 32 respectivamente.

Tabla 31. Cálculo de NPS 1 metro llenado de Galones / Bidones

f[Hz]		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NPS(1m)		87,10	95,42	93,32	96,54	95,03	97,89	97,81	91,54
atenua		-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
Leq(1m) dB		60,90	79,32	84,72	93,34	95,03	99,09	98,81	90,44

Fuente: Autor

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*60,90} + 10^{0,1*79,32} + 10^{0,1*84,72} + 10^{0,1*93,34} + 10^{0,1*95,03} + 10^{0,1*99,09} + 10^{0,1*98,81} + 10^{0,1*90,44})$$

$$L_{AeqT} = 104 \text{ dBA}$$

Tabla 32. Cálculo de NPS 5 metros llenado de Galones / Bidones

f[Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NPS(5m)	83,19	90,02	85,96	87,67	86,06	88,62	88,72	82,62
atenua	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
Leq(5m) dB	56,99	73,92	77,36	84,47	86,06	89,82	89,72	81,52

Fuente: Autor

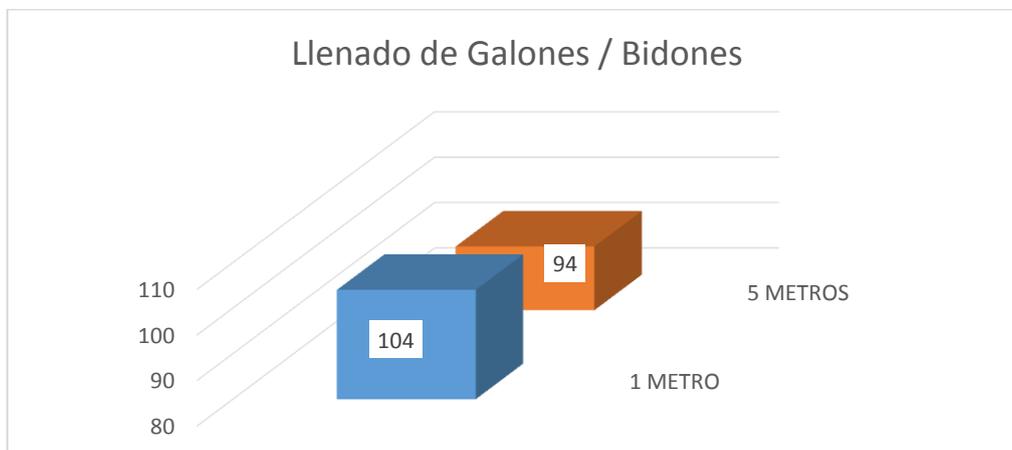
Una vez que encontramos los valores a las distancias con las que vamos a trabajar calculamos en nivel de presión sonora final utilizando la ecuación 6.

$$L_{AeqT} = 10 * \text{Log} (10^{0,1*56,99} + 10^{0,1*73,92} + 10^{0,1*77,36} + 10^{0,1*84,47} + 10^{0,1*86,06} + 10^{0,1*89,82} + 10^{0,1*89,72} + 10^{0,1*81,52})$$

$$L_{AeqT} = 94 \text{ dBA}$$

En la figura 22 se resume los valores a 1 y 5 metros con absorción de sonido utilizando diferentes materiales absorbentes en el área de llenado de Bidones/ Galones.

Figura 23. Absorción de llenado de Galones / Bidones



Fuente: Autor

CAPITULO IV. DISCUSIÓN

4.1. Conclusiones

- Los objetivos planteados en la elaboración de esta investigación se lograron cumplir, en base al desarrollo del análisis del Riesgo Acústico, con lo que la hipótesis se cumple.
- Se identificó que los trabajadores se encuentran expuestos a niveles de ruidos superiores a los permitidos por el decreto 2393 (Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo) que dice que no puede superar los 85 dB en una jornada de 8 horas diarias.
- Se propuso el uso de equipo de protección personal reduciendo de 116,16 dBA a 75,96 dBA en el área de llenado de agua mineral y de 111,11 dBA a 72,92 dBA en llenado de galones/bidones
- Se propuso el uso de absorción y la reducción fue de 116,16 dBA a 99 dBA y de 111,11 dBA a 94 dBA en las áreas mencionadas.
- Se determinó que el uso de protección personal es inevitable, las soluciones que nos ofrece el mercado es muy amplio, y para los protectores que escogimos sus atenuaciones se acoplan a lo que se necesita para que el trabajador no siga expuesto a estos niveles de ruido.

4.2. Recomendaciones

- Implementar cambios en los horarios de trabajo, así tener una rotación de los trabajadores por diferentes áreas.
- Realizar capacitaciones de concienciación a los trabajadores de uso de EPP y la protección que estos brindan con el uso diario.
- Evaluar a los trabajadores con el fin de determinar el nivel de pérdida de audición, audiometrías.
- Involucrar a todos los trabajadores de la empresa en las capacitaciones de lo que produce el no uso de protección en cuanto a riesgo auditivo.

Bibliografía

- Asepeyo. (2005). Control y protección frente al ruido. *Dirección de Seguridad e Higiene*, 24.
- Bovea Edo, M. D. (2013). *Manual de seguridad e higiene industrial para la formación en ingeniería*. España: Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.
- Conesa, C. A. (01 de Septiembre de 2012). *www.upct.es*. Obtenido de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2802/1/tfm146.pdf>
- CSIC, I. E. (01 de Agosto de 2009). Obtenido de http://www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/GUIADB_HR.pdf
- Durlock. (01 de Marzo de 2013). Obtenido de Absorción Acustica: <http://www.durlock.com/documentacion/files/IT-%20Absorci%C3%B3n%20ac%C3%BAstica.pdf>
- Etxebarria, G. G. (2008). *Manual para la formación en Prevención de Riesgos Laborales*. España: Wolters Kluwer España S.A.
- Falagán, M. J. (2005). *Higiene Industrial Aplicada*. España: Graficas Varona S.A.
- Harris, C. M. (1995). *Manual de Medidas*. España: Interamericana España.
- Inriska. (2012). *Reporte de Evaluaciones de Higiene Industrial*. Quito: Inriska.
- INSHT. (2006). *Higiene Industrial*. Madrid: Servicio de ediciones y publicaciones - INSHT.
- Legisladores, C. (03 de Febrero de 1998). Decreto Ejecutivo 2393. *Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*. Quito, Pichincha, Ecuador: Legislativo.
- Mapfre, S. (27 de Diciembre de 2006). Obtenido de http://www.mapfre.com/documentacion/.../i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1028514
- Otárola, F. (junio de 2006). <http://www.fiso-web.org>. Obtenido de <http://www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/2567.pdf>
- Paz, J. C. (2013). *Ingeniería Acústica para Estudiantes y Profesores en Higiene y Seguridad*. Argentina: Buschi Express.
- Rosa, M. R. (2000). *Ruido Industrial y Urbano*. España: International Thomson Editores Spain Paraninfo S.A.
- SKF. (Octubre de 2009). *SCI-CO*. Obtenido de <http://www.sci-co.com.mx/TMSP1%20sonometro.pdf>
- Universidad de Murcia. (2010). El ruido como riesgo laboral. *Enfermería Global*, 15.

ANEXOS