UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Trabajo de fin de carrera titulado:

"EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN A RUIDO LABORAL EN EL ÁREA DE SOPLADO DE BOTELLAS PET EN UNA EMPRESA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS, Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL"

Realizado por:

JUAN CARLOS CUZCO LLAMUSUNTA

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, JUAN CARLOS CUZCO LLAMUSUNTA, con cédula de identidad # 171736391-3, 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.

Juan Carlos Cuzco Llamusunta

C.C.: 171736391-3

DECLARATORIA DEL DIRECTOR

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

"EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN A RUIDO LABORAL EN EL ÁREA DE SOPLADO DE BOTELLAS PET EN UNA EMPRESA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS, Y PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL"

Realizado por:

JUAN CARLOS CUZCO LLAMUSUNTA

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Ha sido dirigido por el profesor

ING. FRANCISCO SALGADO. MSc.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Francisco Salgado

DIRECTOR

DECLARATORIA PROFESORES INFORMANTES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

DAVID TRUJILLO

PABLO DÁVILA

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador

David Trujillo Pablo Dávila

Quito, Julio del 2015

DEDICATORIA

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi madre y padre quienes han impulsado todos los proyectos propuestos en las diferentes etapas de mi vida.

A mis hermanos por ser el pilar fundamental en la toma de decisiones para que siempre sean encaminadas en base a valores de honestidad y respeto.

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

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. El Problema de Investigación 15
1.1.1. Planteamiento del Problema 15
1.1.1.1. Diagnóstico 15
1.1.1.2. Pronóstico 15
1.1.1.3. Control Pronóstico 16
1.1.1.4. Objetivo General 16
1.1.1.5. Objetivos Específicos 16
1.1.2. Justificaciones 17
1.2. Marco Teórico 18
1.2.1. Estado actual del conocimiento sobre el tema 18
1.2.1.1. El sonido 18
1.2.1.2. Velocidad del sonido 18
1.2.1.3. Frecuencia 18
1.2.1.4. Potencia Sonora. 19
1.2.1.5. Presión Sonora. 20
1.2.1.6. Suma de presión sonora 21
1.2.1.7. Suma de niveles sonoros 22
1.2.1.8. Resta de niveles sonoros. 23
1.2.1.9. Clases de ruido 24
1.2.1.10. Nivel de banda de octava 25
1.2.1.11. Escalas de ponderación 27
1.2.1.12. Medidas del nivel sonoro 31
1.2.1.13. Sonometría 31
1.2.1.14. Dosimetría 32
1.2.1.15. Selección de las posiciones o puntos de medida 34

1.2.1.16. Número de puntos de medida 35
1.2.1.17. Metodología de medición de ruido 37
1.2.1.18. Factores influyentes en la lesión auditiva 40
1.2.1.19. Enfermedades del oído medio 42
1.2.1.20. Ruido y Legislación Nacional del Ecuador 42
1.2.1.21. Ruido de impacto 44
1.2.1.22. Técnicas de control de ruido 46
1.2.1.23. Responsabilidad legal 55
2.1. Identificación 57
2.2. Medición 59
2.3. Medidas de control 61
2.3.1. Medidas administrativas 61
2.3.2. Medidas en la fuente 61
2.3.3. Medidas al receptor 62
3.1 Resultado de la identificación 63
3.2 Resultado de la medición y evaluación 64
3.2.1 Mediciones 64
3.2.1.1. Medición área de soplado PET 64
3.2.1.2. Medición área rinseado 66
3.2.1.3. Medición área de llenado 68
3.2.2. Evaluación 69
3.3. Propuesta de medida de control 71
3.3.1. Control administrativo 71
3.3.2. Control en la fuente 71
3.3.3. Control en el medio de transmisión 72
3.3.4. Control en el receptor 77
4.1 Conclusiones 88
4.2 Recomendaciones 88

Bibliografía..... 89

ANEXOS..... 90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de presión acústica y nivel de presión acústico 20
Tabla 2. Valores para sumar niveles sonoros..... 22
Tabla 3. Valores simplificados para resta de niveles sonoros..... 23
Tabla 4. Espectro de frecuencias audibles 27
Tabla 5. Nivel global de ruido ponderado A..... 29
Tabla 6. Valores atenuados para escala de ponderación A 30
Tabla 7. Tiempo de exposición permisible a ruido 43
Tabla 8. Tiempo de exposición permisible a ruido de impacto 45
Tabla 9. Parámetros de atenuación por método 55
Tabla 10. Características espectrales de dos ruidos diferentes..... 55
Tabla 11. Descripción de proceso de embotellado..... 57
Tabla 12. Tiempo de exposición por puesto de trabajo..... 58
Tabla 13. Identificación de tipos de ruido..... 58
Tabla 14. Características del equipo de medición 59
Tabla 15. Puestos de trabajo a evaluar..... 60
Tabla 16. Personal ocupacionalmente expuesto 64
Tabla 17. Valor medido área sopladora PET 65
Tabla 18. Valores medido área de rinseado 67
Tabla 19. Valor medido área de llenado 68
Tabla 20. Evaluación NPSeq dB(A) 70
Tabla 21. Tiempo de exposición máximo permisible..... 70
Tabla 22. Nivel de presión sonora máquina de soplado..... 73
Tabla 23. Atenuación por absorción lana de vidrio 74
Tabla 24. Nivel de presión sonora maquina de soplado..... 75
Tabla 25. Atenuación por absorción espuma poliuretano..... 76
Tabla 26. Atenuación de ruido orejera 3M peltor H9..... 78
Tabla 27. Valor de ruido equivalente atenuado (Soplado PET) 78
Tabla 28. Valores de nivel de presión sonora área soplado 79
Tabla 29. Atenuación de ruido tapón ultrafit 3M 81
Tabla 30. Valor de ruido equivalente atenuado tapón ultrafit 3M..... 82
Tabla 31. Valores de nivel de presión sonora área soplado 82
Tabla 32. Atenuación de ruido tapón Jackson Safety H20..... 84
Tabla 33. Valor de ruido equivalente atenuado tapón Jackson Safety H20 85
Tabla 34. Valores de nivel de presión sonora área soplado 85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Orientación optima de los micrófonos de presión para medición de campo 36
Figura 2. Fuente direccional en un local cerrado 49
Figura 3. Diagrama de flujo proceso embotellado 63
Figura 4. Área de soplado PET 65
Figura 5. Nivel de presión sonora Vs. Tiempo (Soplado PET) 66
Figura 6. Área de rinseado 66
Figura 7. Nivel de presión sonora Vs. Tiempo (Rinseado) 67
Figura 8: Área de Llenado 68
Figura 9. Nivel de presión sonora Vs. Tiempo (Llenado) 69
Figura 10. Lana de vidrio. 73
Figura 11. Espuma poliuretano 75
Figura 12. Orejera 3M peltorH9 77
Figura 13. Comparación de resultados de orejeras 3M peltor H9 80
Figura 14. Tapón ultrafit 3M 81
Figura 15. Comparación de resultados de tapón ultrafit 83
Figura 16. Tapón Jackson Safety H20 84
Figura 17. Comparación de resultados de tapón Jackson H20 86
Figura 18. Comparación de resultados de 3 equipos de protección 87

RESUMEN

El estudio realizado en el proceso de solplado PET de la empresa embotelladora de bebidas fue ejecutado basándose en los procedimientos reconocidos a nivel nacional e internacional, mediante la identificación de un área critica objeto de estudio, la medición de riesgo del contaminante físico ruido por medio de equipos calibrados y certificados, la evaluación comparando los valores medidos con los máximos permisibles en la normativa nacional y propuesta de medidas de control que se plantea para reducir la afección de los trabajadores expuestos permitiendo así crear un ambiente de trabajo saludable, los equipos de protección propuestos cumplen con los requerimientos de atenuación de ruido por lo que la dotación de este equipo es necesario para los colaboradores. La implementación de un programa de vigilancia de la salud auditiva es una parte fundamental que se debe implementar para las personas que están expuestas a las maquinas que generan ruido.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. El Problema de Investigación

1.1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1.1. Diagnóstico

La empresa The Tesalia Springs Company S.A. se ha dedicado al embotellado de bebidas carbonatadas desde el año 1910 en la provincia de Pichincha - Cantón Mejía, en la actualidad la empresa ha mejorado sus procesos de producción implementando nueva maquinaria para la elaboración de diferentes bebidas que hoy se encuentran en el mercado ecuatoriano.

Los procesos de fabricación actuales poseen maquinaria como: sopladora, llenadora, rinseado, tapadora, etiquetadora, termofijadora y paletizadora. Estos equipos han venido generando ruido que supera los límites permisibles, de acuerdo a las mediciones realizadas a partir del año 2012, comparadas con los valores que se menciona en el Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento de seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.

1.1.1.2. Pronóstico

La pérdida auditiva es el efecto perjudicial del ruido más conocido, pero no es el único. Otros efectos nocivos son los acufenos (sensación de zumbido en los oídos), la

interferencia en la comunicación hablada y en la percepción de las señales de alarma, las alteraciones del rendimiento laboral, las molestias y los efectos extra auditivos (Gil E., 2008, p.11).

1.1.1.3. Control Pronóstico

Mediante el desarrollo de este proyecto se pretende evaluar la exposición a ruido en las personas que se encuentran operando la máquina sopladora de envases PET en la empresa The Tesalia Spring Company S.A. y plantear medidas de control que permitan tener un mejor ambiente de trabajo.

1.1.1.4. Objetivo General

Evaluar la exposición laboral a ruido de los técnicos que operan la máquina de soplado de envases PET y proponer medidas de control para aportar al mejoramiento de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores.

1.1.1.5. Objetivos Específicos

- Identificar los puestos de trabajo expuestos a ruido generado por máquina área sopladora de botellas PET.
- Evaluar la exposición laboral a ruido de los trabajadores.
- Proponer medidas de prevención y control.

1.1.2. Justificaciones

El ruido es un agente físico peligroso ya que no tiene efectos visibles en el ser humano. Los trabajadores en la industria suelen soportar el ruido molesto los primeros días o semanas de exposición hasta tener la sensación de haberse acostumbrado a este tipo de ambiente. Sin embargo lo más probable es que hayan comenzado a sufrir una pérdida auditiva temporal y disminuyendo su sensibilidad auditiva durante la jornada laboral. Esta pérdida auditiva avanza luego de manera progresiva y pasa comúnmente inadvertida hasta alcanzar discapacidades.

Los trabajadores desprotegidos en un ambiente de ruido elevado, tienden a tener una mayor probabilidad de tener accidentes con pérdida de tiempo, son menos productivos y tienen otros problemas comparados con los empleados que trabajan en ambientes con ruidos bajos.

La pérdida auditiva inducida por ruido puede llegar a ser permanente y dependiendo de la edad del individuo puede dar lugar a cuadros de depresión y aislamiento. Las medidas preventivas deben tomarse antes de que comience la pérdida auditiva

Las hipoacusias que causen incapacidades permanentes parciales debidas a sordera profesional se graduarán con base en el porcentaje de pérdida auditiva bilateral del individuo lesionado en las frecuencias de la voz hablada: 500 – 1000 – 2000 y 3000 ciclos por segundo, considerando el rango entre 15 y 82 decibelios de pérdida a 0 y 100% respectivamente (Resolución 390, p.45).

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Estado actual del conocimiento sobre el tema

1.2.1.1. El sonido

El sonido es una alteración física en un medio sea gas, líquido o sólido. Este puede ser percibido por el oído humano, las ondas sonoras deben tener masa y elasticidad ya que no pueden viajar en el vacío.

La variación de presión por encima y debajo del valor estático (105 N/m^2 a 0°C) de la presión atmosférica causa las ondas sonoras (Harris, 1995, p. 1.1).

1.2.1.2. Velocidad del sonido

La velocidad del sonido es la velocidad a las que se desplazan las ondas sonoras a una temperatura de 20 °C. La velocidad en el aire es de 340 m/s. La temperatura en el aire tiene un efecto significativo sobre la velocidad del sonido. La velocidad aumenta aproximadamente 0,61 m/s por cada aumento de 1 °C en la temperatura. La velocidad en los sólidos es mucho mayor que en el aire (Harris, 1995, p. 1.1).

1.2.1.3. Frecuencia

La frecuencia es el número de veces que se repite la variación de presión de la onda sonora, en un segundo. Se expresa en hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c.p.s) y por consiguiente es la inversa del periodo. Cuando la frecuencia del sonido es menor a 20 Hz este

no genera sensación auditiva en el hombre (infrasonido), así como cuando el sonido es excesivamente agudo, superior a 20.000 Hz que tampoco se percibe (ultrasonido) (Falagán, 2005, p. 583).

1.2.1.4. Potencia Sonora.

La potencia sonora es la cantidad de energía acústica que emite un foco sonoro en unidad de tiempo. Se expresa en vatios (W). Esta energía se propaga inmediatamente y se reparte, según una superficie esférica envolvente cada vez mayor, lo que explica la disminución del sonido a medida que nos alejamos del origen sonoro.

La potencia acústica es una característica propia de cada fuente sonora, independientemente de cómo o donde este situada. Es el criterio óptimo para comparar las características acústicas de diferentes fuentes sonoras.

A menudo, resulta más cómodo expresar la potencia sonora sobre una escala logarítmica. Para esto se emplea el nivel de potencia sonora L_w de una fuente en decibelios mediante la ecuación 1 (Harris, 1995, p. 1.10).

$$L_w = 10 \log_{10}(W/W_0)\ dB \qquad \text{[Ec. 1]}$$

Donde:

L = Nivel de potencia sonora (dB)
W = Potencia sonora de la fuente (W)
W_0 = Potencia de referencia (W)

1.2.1.5. Presión Sonora.

El nivel de presión es la más habitual en la práctica pues es fácil de medir, se define como la energía que pasa por una superficie y forma una variación de presión (N/m^2) entre un punto y otro a través del aire. Una persona joven normal puede percibir entre 200 Pa. y $2x10^{-6}$ Pa (umbral auditivo).

La medida acústica se presenta en escala logarítmica ya que el oído humano responde a esta forma en relación a ruido. De forma práctica de adopta como unidad dimensional el belio y por razón práctica su decima parte que es el decibelio (1B=10 dB) como muestra la tabla 1(Falagán, 2005, p. 586).

Tabla 1. Escala de presión acústica y nivel de presión acústico

Presión acústica (µPa)	Nivel de Presión Acústica (dB)	Sensación
$2x10^8$	140	Intolerable
$2x10^7$	120	Doloroso
$2x10^6$	100	Muy ruidoso
$2x10^5$	80	Ruidoso
$2x10^4$	60	Ruido molesto
$2x10^3$	40	Ruido bajo
$2x10^2$	20	Silencio
20	0	Umbral de audición

Fuente: (Falagán, 2005, p. 586)

Para referencia se toma la presión acústica Po = $20x10^{-6,}$ que corresponde a la menor presión audible por una persona joven a 1.000 Hz, y a este punto se le atribuye el valor de cero decibelios. Se define entonces la ecuación 2 (Falagán, 2005, p. 586):

$$L_P = 20\log\left(\frac{P}{P_0}\right) \qquad \text{[Ec. 2]}$$

Donde:

Lp = Nivel de presión sonora (dB)

P = Presión sonora (µPa)

P_0 = Presión sonora de referencia (Pa)

1.2.1.6. Suma de presión sonora

Cuando existen varios ruidos que presentan presiones acústicas distintas, la suma de todas ellas debe realizarse teniendo en cuenta la definición de nivel de presión acústica, y por tanto no se corresponde con la suma aritmética, sino con la logarítmica. No obstante, esta dificultad se puede solucionar por medio de la suma de intensidad acústica que se puede sumar aritméticamente como se muestra en la ecuación 3.

$$I_T = I_1 + I_2 \qquad \text{[Ec. 3]}$$

Es necesario tener en cuenta que al utilizar la escala logarítmica, pequeñas diferencias en el número de decibelios representan una diferencia importante en la energía de un ruido y por tanto en su agresividad. Si en un local existe una maquina que emite determinada cantidad de ruido, y colocamos una segunda maquina que emita el mismo ruido que la primera, se puede suponer que se duplicará la intensidad sonora en el ambiente. Si se aplica la ecuación 4 que define el concepto de nivel se tiene:

$$L_2 = 3 + L_1 \qquad \text{[Ec. 4]}$$

Aproximadamente, cada 3 dB significa el doble de nivel de ruido (Rojo, 2005, p. 587).

1.2.1.7. Suma de niveles sonoros

La suma de niveles sonoros varía de forma logarítmica por lo que no es posible sumar aritméticamente los niveles de ruido. Si dos maquinas producen 90 dBA de nivel de presión sonora cada una producirán 93 dBA y no 180 dBA según la ecuación 5.

$$SUMA = 10 \log \sum_{i=1}^{n} 10^{0,1\, L(dB_i)} \qquad \text{[Ec. 5]}$$

Donde:

L = Nivel de presión sonora (dB)

Para evitar el manejo de la formula anteriores se puede usar valores de corrección que indica en la tabla 2 y sumarle al mayor valor (Falagán, 2005, p. 589).

Tabla 2. Valores para sumar niveles sonoros

Diferencia numérica entre dos valores L_1 y L_2	Cantidad a sumar al mayor	Diferencia numérica entre dos valores L_1 y L_2	Cantidad a sumar al mayor
0,0 a 0,1	3	4,1 a 4,3	1,4
0,2 a 0,3	2,9	4,4 a 4,7	1,3
0,4 a 0,5	2,8	4,8 a 5,1	1,2
0,6 a 0,7	2,7	5,2 a 5,6	1,1
0,8 a 0,9	2,6	5,7 a 6,1	1,0
1,0 a 1,2	2,5	6,2 a 6,6	0,9
1,3 a 1,4	2,4	6,7 a 7,2	0,8
1,5 a 1,6	2,3	7,3 a 7,9	0,7
1,7 a 1,9	2,2	8,0 a 8,6	0,6
2,0 a 2,1	2,1	8,7 a 9,6	0,5
2,2 a 2,4	2,0	9,7 a 10,7	0,4
2,5 a 2,7	1,9	10,8 a 12,2	0,3
2,8 a 3,0	1,8	12,3 a 14,5	0,2
3,1 a 3,3	1,7	14,6 a 19,3	0,1
3,4 a 3,6	1,6	> 19,4	0,0
3,7 a 4,0	1,5		

Fuente: (Falagán, 2005, p. 589)

1.2.1.8. Resta de niveles sonoros.

La resta de ruido de fondo es necesario para conocer el ruido que genera una máquina se debe realizar dos medidas, una solo del ruido de fondo (L_f con la máquina apagada) y otra con el ruido total (L_t con la máquina encendida), para luego calcular la diferencia de los valores medidos ($L_t - L_f$) que como son decibelios no aplica una resta aritmética directa sino que se debe aplicar el factor de corrección K_1 que muestra la tabla 3 (Falagán, 2005, p. 591).

Tabla 3. Valores simplificados para resta de niveles sonoros

Diferencia entre mediciones	**< 3**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**>10**
Corrección K_1	>3	3	2,3	1,7	1,3	1	0,8	0,6	0,4	0

Fuente: (Falagán, 2005, p. 591)

Este procedimiento solo es válido siempre que el ruido de fondo no sea mayor de 3dB y si es menor de 10 dB se considera despreciable.

Igualmente se puede calcular la resta de decibelios matemáticamente con la ecuación 6 (Falagán, 2005, p. 591).

$$RESTA = 10\log(10^{0,1L1(dB)} - 10^{0,1L2(dB)}) \quad \text{[Ec. 6]}$$

Donde:

L = Nivel de presión sonora (dB)

1.2.1.9. Clases de ruido

Tanto en la vida cotidiana como en el ámbito industrial, existen diversas clases de ruido se define a continuación.

Ruido de impacto

Es aquel en que el nivel de presión acústica decrece exponencialmente con el tiempo y las variaciones entre dos máximos consecutivos de nivel acústico se efectúan en un tiempo superior a un segundo, con un tiempo de actuación inferior a 0,2 segundos. Se presenta como L_{max} (Falagán, 2005, p. 587).

Ruido continuo

Es aquel en que el nivel de presión sonora se mantiene constante en el tiempo y se posee máximos, estos se producen en intervalos menores de un segundo. Pueden ser estables o variables, cuando en este último caso oscila en más de 5 dBA a lo largo del tiempo. Se representa como L_{PA} (Falagán, 2005, p. 587).

Ruido estable

Cuando L_{PA} nivel de presión acústico ponderado A en un punto se mantiene prácticamente constante en el tiempo. De banda ancha y nivel prácticamente constante. Al realizar la medición con el sonómetro en respuesta lenta, la diferencia entre el valor máximo y mínimo es inferior a 5 dBA (Falagán, 2005, p. 587).

Ruido fluctuante

Cuando (L_{PA}) nivel de presión acústica oscila más de 5 dBA en el tiempo. Un ruido variable puede descomponerse en varios ruidos estables (Falagán, 2005, p. 587).

1.2.1.10. Nivel de banda de octava

Para adoptar medidas de reducción es necesario conocer no solo el nivel de presión sonora, sino también como la energía acústica se distribuye en cada uno de los rangos de frecuencia que componen el sonido o ruido.

El análisis de frecuencia de un sonido complejo permite subdividir el rango de frecuencias audibles, que va de 20 a 20.000 Hz, en secciones o bandas, designándose a los sonidos de frecuencias inferiores a 20 Hz "infrasonidos" y a los de frecuencias superiores a 20 Hz "ultrasonidos" (Falagán, 2005, p. 591).

Ninguno de los dos 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 el rango de frecuencias aludido, el hombre para comunicarse, utiliza predominantemente unas frecuencias determinadas, denominadas conversacionales que van desde 500 a 3000 Hz, siendo en esta gama, donde se debe tomar mayor interés preventivo respecto a las lesiones auditivas.

Por otro lado, respecto a las frecuencias, el oído humano no es capaz de diferenciar claramente frecuencias individuales próximas 1.000 y 1.005 Hz, lo que hace es agrupar las frecuencias, y por ello se trata los problemas del ruido dividiendo las frecuencias en bandas de octava, asignando un único nivel de ruido a la frecuencia central de 1.000 Hz (Falagán, 2005, p. 591).

Este 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 los sonidos cuyas frecuencias están dentro del rango seleccionado con anterioridad y que evitan todos los demás sonidos. Por tanto, el intervalo de frecuencias audible, para ser analizado, se divide en tramos o bandas según normas internacionales. Así se habla de bandas de octava.

Como se indica, el conjunto de frecuencias que forman un 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 frecuencias más baja según la ecuación 7 (Falagán, 2005, p. 592)

$$F_2 = 2F_1 \qquad \text{[Ec. 7]}$$

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. Se acepta como frecuencia central F_c de la banda a la media geométrica de las frecuencias extremas, y que se utiliza para denominar la banda como muestra la ecuación 8 (Falagán, 2005, p. 592).

$$F_c = \sqrt{F_1 X F_2} \qquad \text{[Ec. 8]}$$

Puede demostrarse que el ancho de banda para una octava es de 70,7% de la frecuencia central según las ecuaciones 9 y 10 (Falagán, 2005, p. 592)

$$\Delta F = F_2 - F_A = 2F_1 - F_1 \qquad \text{[Ec. 9]}$$

$$F_c = \sqrt{F_1 x 2F_1} = \sqrt{2} \text{ x } F_1 = 0{,}707 x F_1 \qquad \text{[Ec. 10]}$$

Así la banda con frecuencias extremas de 707 Hz y 1.414 Hz se le denomina banda de octava de 1.000 Hz. Por este motivo el espectro de frecuencias audibles para el hombre queda dividido en las bandas de octava en Hz según la tabla 4 (Falagán, 2005, p. 592)

Tabla 4. Espectro de frecuencias audibles

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, p. 592)

1.2.1.11. Escalas de ponderación

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 nuestros semejantes, utiliza preferentemente las frecuencias de conversación (500 a 3000 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, p. 591).

De tal forma que cuando se genera un ruido en el rango de frecuencias bajas, o ruidos graves, se escucha 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, se escucha con mayor intensidad. Todo indica que el oído humano actúa como si quisiera protegernos de la agresión acústica, aumentando la señal ruidosa como si se tratase de una alerta o un mecanismo de defensa (Falagán, 2005, p. 591).

Aquellos aparatos de medición de ruido que pueden medirlo de idéntica forma que lo que hace el oído humano. Se entiende que poseen una escala para la medición de ponderación fisiológica.

Las tres escalas de ponderación normalmente utilizadas son:

- La red “A” que se pretendía que se usara para niveles de presión menores de 55 dB.
- La red “B” que se manejaría en la atenuación de niveles de presión intermedios entre 55 y 85 dB.
- La red “C” para la atenuación niveles muy altos de presión sonora, mayores de 120 dB.
- La red “D” pensada para niveles de presión muy altos superiores de 85 dB.

La escala de ponderación fisiológica mas universalmente aceptada es la denominada escala de ponderación A, con la que mide el nivel global de ruido después de haber sido ponderado. Se puede indicar que es la única que logra un registro casi idéntico a la que percibe el oído humano (Falagán, 2005, p. 591).

Conviene indicar que si el espectro de frecuencias de un ruido medido en decibelios se le restan o suman, los valores de la relación anterior y estos niveles así ponderados se suman logarítmicamente, como se con los dB, al valor global de la suma se le llama dBA.

Si se parte de un ruido cuyo espectro muestra en la tabla 5 (Falagán, 2005, p. 594):

Tabla 5. Nivel global de ruido ponderado 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, p. 594).

Se observa que este ruido que tenía un nivel global de 97,8 dB, le corresponde un nivel global de ruido ponderado (A) de 96,3 dBA. En todo momento siempre que se tenga que hacer estudios de higiene industrial de hablará de forma preferente de dBA.

De esta forma se establece que dos ruidos con el mismo nivel de presión acústica en decibelios pueden tener distinto nivel global de presión sonora en decibelios A, si son diferentes sus espectros de frecuencias (Falagán, 2005, p. 594).

Como ya se ha indicado el oído no tiene igual sensibilidad para todas las frecuencias, presentando un máximo entre 2 y 5 kHz (zona de amplificación) y siendo mínima en los extremos de bajas y elevadas frecuencias (zona de atenuación), acusándose aún más en niveles bajos de presión sonora.

Los sonidos de igual presión acústica, pero de distinta frecuencia producen sensación diferente. Al someter a un individuo a un sonido de una frecuencia de 1.000 Hz y a una determinada sonoridad de 20 fonios (Falagán, 2005, p. 594).

La percepción del sonido por el oído humano es un proceso complejo, porque está supeditado al nivel de precisión acústica y a la frecuencia del sonido, dos ruidos pueden tener un nivel de presión acústica semejante y presentar una distribución de frecuencias

divergentes, siendo molesto e irritante en las altas frecuencias. Para poder fijar los riesgos de presión es preciso que la medida del ruido se desarrolle con un equipo (sonómetro) que lo registre de forma similar a como lo percibe el oído humano, es decir, que promedie el nivel de presión acústica en función de la frecuencia.

El comportamiento del oído, basándose en las curvas de igual sensación sonora hace pensar en esta necesidad y con este fin, también al sonómetro se le acoplan unos filtros de medición desiguales con las letras A, B, y C, etc. Dichos filtros originan una ponderación (reducción o aumento) de la medida para cada frecuencia. Mediante un filtro A se logra registrar el sonido de forma casi idéntica a como el oído humano lo percibe (Falagán, 2005, p. 594).

La escala de ponderación A esta pensada como atenuación que trata de simular la respuesta del oído cuando soporta niveles de presión sonora bajos a las distintas frecuencias, o lo que es lo mismo, cuando se aproxima a las curvas de igual intensidad para bajos niveles de presión sonora. Su forma se corresponde en gran medida con la curva de igual sensación sonora de 40 fonios pero invertida. Sus atenuaciones muestra en la tabla 6:

Tabla 6. Valores atenuados para escala de ponderación A

F (Hz)	31,5	63	125	250	500	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8KHZ
dBA	-39,4	-26,3	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1

Fuente: (Falagán, 2005, p. 594)

Por tanto cuando se mide un sonido de varias frecuencias, para calcular su nivel sonoro se ha de ponderar según la curva de igual sonoridad según la curva de ponderación A (Falagán, 2005, p. 592).

1.2.1.12. Medidas del nivel sonoro

La evaluación de los niveles sonoros existentes es una operación necesaria e imprescindible para determinar la gravedad del problema y realizar un diagnóstico de la situación de partida, como etapa previa a todo programa de reducción de ruido.

Para poder llevar a cabo la evaluación es imprescindible la medición de los niveles de ruido, para lo que se utilizan diversos equipos (Falagán, 2005, p. 594).

1.2.1.13. Sonometría.

Para medir el nivel global del ruido se utiliza un sonómetro, un sonómetro integrador promediador o un dosímetro y si requiere 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.

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, ya que 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 cubica de dos. De esta forma se puede determinar mejor las posibles fuentes del sonido, concretar con mayor rigor las medidas de protección colectiva a tomar, seleccionar con mayores garantías los equipos de protección personal a utilizar (Falagán, 2005, p. 597).

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 de 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, p. 597).

1.2.1.14. Dosimetría

La dosis de ruido es una medida, prescrita en normativas nacionales o estatales, de la exposición a ruido a que está sometida una persona. A diferencia de la exposición sonora, que es proporcional a la energía acústica presente en un lugar, el concepto de dosis de ruido no tiene interpretación física. La dosis de ruido es una cantidad que se desarrollo para evaluar la exposición a ruido en los centros de trabajo como protección contra la pérdida de la audición.

La dosis de ruido suele expresarse como un porcentaje de la exposición diaria máxima permisible al ruido; es una combinación de un nivel sonoro continuo equivalente estable con ponderación A y la duración de la exposición correspondiente. Dependiendo de cómo se defina en una norma o regla, la medida de la dosis de ruido puede ser equivalente a la medida de una exposición al ruido. Hay que prestar una atención cuidadosa a las definiciones de las cantidades medidas porque la dosis de ruido , definida de diferente manera, ha sido utilizada como sinónimo de exposición sonora.

Las medidas de las dosis de ruido implican consideraciones sobre los conceptos de tasa de intercambio, nivel sonoro criterio, umbral del nivel sonoro y exposición diaria máxima permisible de ruido (Harris, 1995, p. 9.9).

Los dosímetros son medidores personales, están diseñados para ser llevados por el trabajador. Los resultados obtenidos son menos fiables porque la medición no es supervisada. Algunos equipos permiten ser utilizados tanto como dosímetro como sonómetro.

Si el equipo que se utiliza es un dosímetro, debe colocarse de forma que el micrófono se mantenga a unos 10 cm. del canal de entrada al oído (preferiblemente en el oído más expuesto) y a 4 cm. por encima del hombro (Mapfre, 2015, p.935).

La evaluación de exposición al ruido precisa comparación con valores de referencia, por ello, los resultados obtenidos de la medición deben tener garantizada su fiabilidad. Estos llevan siempre asociados un valor de incertidumbre, que normalmente es superior a 1 dB. La comparación con los valores de referencia posibilitara la toma de decisiones sobre el tipo de actuaciones preventivas que deben planificarse, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a ruido, indica valores límite de exposición y valores que den lugar a una acción, referidos a nivel de exposición diaria y niveles pico (Mapfre, 2015, p.937).

- Valores límite de exposición:

  $L_{Aeg.\ d}$ = 87 dB (A) *y* L_{Pico} = 140 dB (C)

- Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:

  $L_{Aeg.\ d}$ = 85 dB (A) y L_{Pico} = 137 dB (C)

- Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción:

  $L_{Aeg.\ d}$ = 80 dB (A) y L_{Pico} = 135 dB (C)

En circunstancias justificadas puede utilizarse el nivel de exposición semanal al ruido. Se utiliza cuando la exposición diaria varía considerablemente de una jornada a otra, deben de cumplirse las siguientes condiciones.

- El nivel de exposición semanal no debe ser superior al valor limite de exposición de 87 dBA
- Se deben adoptar las medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades (Mapfre, 2015, p.938).

1.2.1.15. Selección de las posiciones o puntos de medida

La posición del micrófono con respecto a la fuente de sonido se especifica mediante una norma. En el caso de la medición de ruido en una comunidad, las posiciones suelen especificarse como:

1. En cualquier lugar a lo largo de la línea que limita una propiedad
2. Donde es más probable que estén las personas de la propiedad adyacente.

Para mediciones de nivel de ruido o de exposiciones sonoras en fábricas, con el fin de evaluar el riesgo de lesión auditiva, el micrófono debe estar situado a una distancia no superior a 100 mm del oído de la persona expuesta a la fuente de ruido (Harris, 1995, p. 9.7).

Para la medición de los niveles de presión sonora dentro de lugares de reunión u otros espacios públicos, el micrófono ha de ubicarse en las posiciones típicas de los oyentes a alturas de 1,6 m de un oyente en pie o entre 1,2 y 1,3 m si está sentado, salvo que se especifiquen otras alturas.

Las medidas no deben realizarse a menos de un metro de una superficie reflectante, como una pared, suelo o techo, donde las reflexiones podrían influir significativamente sobre ellas. El número de lugares de medición debe ser suficiente como para determinar el nivel de ruido ambiental y las características de la fuente de ruido con la precisión requerida (Harris, 1995, p. 9.7).

1.2.1.16. Número de puntos de medida

El número de puntos de medida necesario para determinar el nivel de presión sonora promediado en el tiempo y en el espacio con determinada precisión depende de la uniformidad del campo sonoro, es decir, de cuanto varía el campo sonoro con las distintas posiciones.

Para seleccionar el número mínimo de posiciones necesario para determinar en nivel medio de presión sonora, dentro de los límites del 90% de confianza. Por ejemplo, se requiere mediciones en 8 posiciones para lograr un intervalo de confianza del 90 por 100 con un error de ±2 dB, si la desviación típica de las mediciones es de 3 dB.

La ilustración de la figura 1 está basada sobre el supuesto de que las localizaciones del micrófono están suficientemente espaciadas entre sí como para obtener muestras independientes del campo sonoro. Esta limitación hace preciso que los espaciamientos entre posiciones del micrófono sean al menos de un cuarto de longitud de onda para la frecuencia de interés mas baja. Por ejemplo para muestras independientes a 100 Hz, las posiciones del micrófono deben estar separadas al menos 1 m; a 50 Hz, las posiciones del micrófono deben estar separadas al menos 2 m (Harris, 1995, p. 9.9).

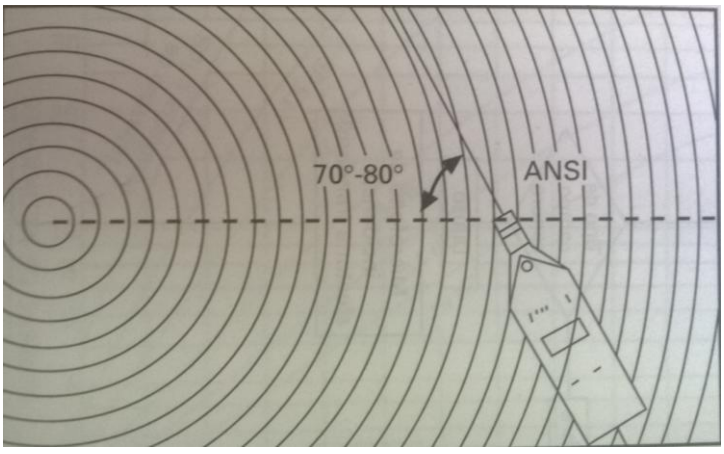
Si el campo sonoro es muy uniforme, como suele ocurrir a frecuencias altas, son suficientes unas pocas localizaciones del micrófono, el sonido de frecuencia baja varía mucho más, tanto en posición como en tiempo, y por tanto precisa un tiempo de promedio más largo y más ubicaciones de medida para lograr la misma precisión.

La precisión de la medición del nivel sonoro también esta determinada por la calidad del instrumento y el procedimiento de medida. Las normas de medida pueden concretar el número mínimo de puntos de medida para cada condición de funcionamiento de la fuente de ruido.

De forma alternativa, las normas pueden especificar un criterio de rendimiento; por ejemplo, estableciendo la desviación típica máxima permitida, que esta determinada por el número de medidas requeridas.

Cuando se mide el nivel sonoro medio en una habitación, son necesarios los promedios tanto temporal como espacial. Estos promedios puede llevarse a cabo de forma cómoda hallando la media de las presiones sonoras medias cuadráticas en un número de ubicaciones del micrófono o moviendo este lentamente sobre una vía fija en la habitación durante un periodo de tiempo especificado como muestra la figura 1 (Harris, 1995, p. 9.10).

Figura 1. Orientación optima de los micrófonos de presión para medición de campo



Fuente: (Harris, 1995, p. 9.9)

1.2.1.17. Metodología de medición de ruido

Se puede realizar una estimación inicial que solo es aproximada. Si existe la más mínima probabilidad de que se alcancen los superen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción, es necesario realizar una medición cuantitativa (Mapfre, 2015, p.927) .

En el caso de que se concluya la necesidad de realizar mediciones deberá:

- Delimitar las áreas de trabajo en las que se realizara la evaluación de la exposición a ruido.
- Seleccionar los puestos de trabajo o trabajadores a los que se realizará la evaluación. Estudiar si existe la posibilidad de constituir grupos de exposición homogénea.
- Detectar si se producen episodios de ruido significativos durante la jornada de trabajo (Mapfre, 2015, p.927).

En función del tipo de ruido se establecerá el método de muestreo mas adecuado, eligiendo el equipo (sonómetro integrador o dosímetro) y la duración del tiempo de medición:

Ruido estable

Las características de este tipo de ruido permiten obtener resultados satisfactorios con mediciones de corta duración. Preferentemente se utiliza como equipo de medición un sonómetro integrador.

Ruido periódico

Las mediciones se realizarán sobre un ciclo completo o sobre un número entero de ciclos. La medición debe ser representativa de la exposición y los resultados de las diferentes mediciones no deben variar en un intervalo superior a 5 dB. En función de la duración de las mediciones se utilizará un dosímetro o un sonómetro integrador.

Ruido aleatorio

Se recurrirá a muestreos de larga duración para obtener resultados representativos. Se utilizará normalmente un dosímetro.

Ruido de impacto

Se identificarán las situaciones donde se produzcan los ruidos de impacto y se realizarán las mediciones de pico ponderado C (Mapfre, 2015, p.927).

En función de las características del puesto de trabajo, la estrategia de medición seleccionada estará basada en mediciones de la operación o tarea. La jornada de trabajo se divide en operaciones o tareas, el nivel de ruido de cada una de ellas es representativo y repetible (Mapfre, 2015, p.927):

- Si la operación dura menos de 5 minutos se debe medir durante toda la operación, si esta dura mas, se medirá como mínimo 5 minutos.

- Si el ruido es cíclico, se deben medir como mínimo 3 ciclos enteros y en todo caso un número entero de ciclos. Se medirá como mínimo 5 minutos y un número entero de ciclos.
- Si el ruido es fluctuante el tiempo de medición debe ser suficiente para que el resultado sea representativo.
- Si el ruido es estable el tiempo de medición puede ser menor que el de la operación, pero como mínimo de un minuto (Mapfre, 2015, p.928).

La medición debe repetirse tres veces en cada operación, si los resultados obtenidos difieren en 3 dB se tomará una de las siguientes opciones:

- Subdividir la operación en otras operaciones
- Realizar otras tres mediciones como mínimo
- Realizar nuevas mediciones aumentando el tiempo de muestreo hasta que la diferencia sea inferior a 3 dB.

El valor del nivel equivalente de presión sonora para cada operación viene dada por la formula 11 (Mapfre, 2015, p.928).

$$L_{Aeq,T,m} = 10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{I=N} 10^{0,1(LAeq,T,m,n)}$$

[Ec. 11]

Donde:

$L_{Aeq,T,m}$ = Nivel equivalente durante la operación “m”

$L_{Aeq,T,m,n}$ = Resultado de cada medición

N = Numero de mediciones

La contribución de cada operación al nivel equivalente diario se determina con la formula 12 (Mapfre, 2015, p.928).

$$L_{Aeq,d,m} = 10 \log \frac{1}{8} \text{Tm}. 10^{0,1(\text{LAeq},\text{T},\text{m})}$$

[Ec. 12]

Donde:

$L_{Aeq,T,m}$ = Nivel equivalente durante la operación "m"

Tm = Valor medio de duración de la operación

El nivel equivalente diario se puede calcular con la fórmula 13 (Mapfre, 2015, p.929).

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \sum_{m=1}^{M} \frac{1}{8} \text{Tm}. 10^{0,1(\text{LAeq},\text{d},\text{m})}$$

[Ec. 13]

Donde:

$L_{Aeq,T,m}$ = Nivel equivalente diario

Tm = Valor medio de duración de la operación

1.2.1.18. Factores influyentes en la lesión auditiva

De la extensa lista de datos aparecidos en la literatura, se extraen los más representativos que son:

Intensidad del ruido

Se considera que el límite para evitar la hipoacusia es de 80 dBA para una exposición de 40 horas semanales, a un ruido constante. Aunque no es un punto de total seguridad, por encima de esta cifra, la lesión aparece y aumenta en relación con la misma.

Puede existir pérdida de audición por ruido por debajo del nivel diario equivalente señalado (Harris, 1995, p. 14.1).

Frecuencia del ruido

Las células ciliadas más susceptibles corresponden a las frecuencias entre 3.000 y 6.000 Hz, siendo la lesión en la banda de 4.000 Hz el primer signo en la mayoría de casos.

Algunos autores señalan la relación, curiosa pero típica, entre la lesión a una determinada frecuencia y la presencia de ruido correspondiente a la banda inmediatamente inferior (Harris, 1995, p. 14.1).

Tiempo de exposición

La lesión auditiva inducida por ruido sigue una función exponencial. Si el deterioro es importante puede continuar tras la exposición (Harris, 1995, p. 14.1).

1.2.1.19. Enfermedades del oído medio

Si existe una hipoacusia de conducción, se necesita mayor presión acústica para estimular el oído interno, pero cuando la energía es suficiente penetra directamente y provoca un daño superior al esperado.

Por otra parte, cabe suponer mayor fragilidad coclear cuando existe una pérdida auditiva neurosensorial, aunque tampoco existen evidencias suficientes (Harris, 1995, p. 14.1).

1.2.1.20. Ruido y Legislación Nacional del Ecuador

La prevención de riesgos por ruidos y vibraciones se efectuará aplicando la metodología expresada en el apartado 4 del artículo 53. "En los procesos industriales donde existan o se liberen contaminantes físicos, químicos o biológicos, la prevención de riesgos para la salud se realizará evitando en primer lugar su generación, su emisión en segundo lugar, y como tercera acción su transmisión, y sólo cuando resultaren técnicamente imposibles las acciones precedentes, se utilizarán los medios de protección personal, o la exposición limitada a los efectos del contaminante" (IESS D.E.-2393, 1986, p.28).

El anclaje de máquinas y aparatos que produzcan ruidos o vibraciones se efectuará con las técnicas que permitan lograr su óptimo equilibrio estático y dinámico, aislamiento de la estructura o empleo de soportes antivibratorios.

Las máquinas que produzcan ruidos o vibraciones se ubicarán en recintos aislados si el proceso de fabricación lo permite, y serán objeto de un programa de mantenimiento adecuado que aminore en lo posible la emisión de tales contaminantes físicos.

Se prohíbe instalar máquinas o aparatos que produzcan ruidos o vibraciones, adosados a paredes o columnas excluyéndose los dispositivos de alarma o señales acústicas.

Los conductos con circulación forzada de gases, líquidos o sólidos en suspensión, especialmente cuando estén conectados directamente a máquinas que tengan partes en movimiento siempre y cuando contribuyan notablemente al incremento de ruido y vibraciones, estarán provistos de dispositivos que impidan la transmisión de las vibraciones que generan aquéllas mediante materiales absorbentes en sus anclajes y en las partes de su recorrido que atraviesen muros o tabiques (IESS D.E.-2393, 1986, p.31).

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 de 70 decibeles de ruido (IESS D.E.-2393, 1986, p.31).

Para el caso de ruido continuo, los niveles sonoros, medidos en decibeles con el filtro "A" en posición lenta, que se permitirán, estarán relacionados con el tiempo de exposición según la tabla 7.

Tabla 7. Tiempo de exposición permisible a ruido

Nivel sonoro /dB (A-lento)	Tiempo de exposición por jornada/hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0,25
115	0,125

Fuente: (IESS D.E.-2393, 1986, p.31)

Los distintos niveles sonoros y sus correspondientes tiempos de exposición permitidos señalados, corresponden a exposiciones continuas equivalentes en que la dosis de ruido diaria (D) es igual a 1.

En el caso de exposición intermitente a ruido continuo, debe considerarse el efecto combinado de aquellos niveles sonoros que son iguales o que excedan de 85 dBA. Para tal efecto la Dosis de Ruido Diaria (D) se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula y no debe ser mayor de 1(D.E.-2393, 1986, p31):

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_n}{T_n} \qquad \text{[Ec. 14]}$$

Donde:

D = Dosis de ruido

C = Tiempo total de exposición a un nivel sonoro específico.

T = Tiempo total permitido a ese nivel.

En ningún caso se permitirá sobrepasar el nivel de 115 dB (A) cualquiera que sea el tipo de trabajo.

1.2.1.21. Ruido de impacto

Se considera ruido de impacto a aquel cuya frecuencia de impulso no sobrepasa de un impacto por segundo y aquel cuya frecuencia sea superior, se considera continuo.

Los niveles de presión sonora máxima de exposición por jornada de trabajo de 8 horas dependerán del número total de impactos en dicho período de acuerdo con la siguiente tabla (IESS D.E.-2393, 1986, p.32):

Tabla 8. Tiempo de exposición permisible a ruido de impacto

Número de impulsos o impacto por jornada de 8 horas	Nivel de presión sonora máxima (dB)
100	140
500	135
1000	130
5000	125
10000	120

Fuente: (IESS D.E.-2393, 1986, p.32)

Los trabajadores sometidos a tales condiciones deben ser anualmente objeto de estudio y control audiométrico.

Las máquinas-herramientas que originen vibraciones tales como martillos neumáticos, apisonadoras, remachadoras, compactadoras y vibradoras o similares, deberán estar provistas de dispositivos amortiguadores y al personal que los utilice se les proveerá de equipo de protección antivibratorio.

Los trabajadores sometidos a tales condiciones deben ser anualmente objeto de estudio y control audiométrico.

Los equipos pesados como tractores, traíllas, excavadoras o análogas que produzcan vibraciones, estarán provistas de asientos con amortiguadores y suficiente apoyo para la espalda.

Los trabajadores sometidos a tales condiciones deben ser anualmente objeto de estudio y control audiométrico (IESS D.E.-2393, 1986, p.32).

1.2.1.22. Técnicas de control de ruido

Las medidas pueden clasificarse en tres categorías: (1) control del ruido en la *fuente,* (2) control del ruido en la *vía de transmisión* y (3) uso de medidas protectoras en el *receptor*. El método o combinación de métodos que se emplee depende de la magnitud de la reducción de ruido requerida y de las consideraciones económicas y operativas. Al resolver un problema específico de control de ruido, hay que evaluar el beneficio específico que se gana con la aplicación de cada técnica desde el punto de vista del sistema y compararlo con su costo (Harris, 1995, p. 1.31).

Medidas de control administrativo

En este sentido la elección de métodos de trabajo adeudados o la modificación de los mismos pueden reducir la exposición del trabajador al agente.

Como ejemplo se encuentra el empleo de equipos meno ruidosos como: sustituir herramientas neumáticas por herramientas eléctricas, modificaciones de diseño que permitan evitar operaciones ruidosas como: transportar piezas en lugar de dejarlas caer, utilizar un control de velocidad electrónico en lugar de mecánico, rotación entre distintos puestos de trabajo que permita reducir la exposición individual al ruido.

Entre otras opciones con objeto de reducir el ruido generado, se puede encontrar la utilización de una plancha inclinada para guiar el camino de las piezas al contenedor o también la utilización de tubos revestidos con materiales absorbentes (Mapfre, 2015, p. 948).

La elección de los equipos de trabajo que genere el menor nivel de ruido posible es uno de los primeros aspectos a tener en cuenta en el momento de planificar la actividad industrial.

En la elección de estos equipos, como es lógico, es necesario tener en cuenta el trabajo al que están destinados proporcionando a los trabajadores equipos que se ajusten a lo dispuesto en la normativa sobre la comercialización de dicho equipos, cuyo objetivo sea limitar en la medida de lo posible la exposición a ruido. Por ejemplo, utilización de boquillas especiales que regulan al mínimo la generación de turbulencias o utilización de silenciadores en los escapes de aire comprimido (Mapfre, 2015, p. 949).

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 alternando las frecuencias de resonancia de los paneles (Harris, 1995, p. 1.31).

Los cambios en el procedimiento habitual de funcionamiento también pueden ser una técnica eficaz de control del 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. Sin el ruido ambiental para enmascararlo, el ruido de la fábrica es más perceptible. Debido al ello y a la posible interferencia con el sueño, las fábricas que de otra manera operarían continuamente durante las 24 horas pueden reducir sus operaciones nocturnas (Harris, 1995, p. 1.32).

Un parámetro importante a tener en cuenta es el tiempo de reverberación. La reverberación es el fenómeno debido a la reflexión de las ondas en los cerramientos de una edificación, por el cual persiste el sonido en un punto determinado del interior de un recinto

una vez cesado la fuente productora. Cuando las superficies de reflexión son poco absorbentes, el sonido se ira apagando lentamente, mientras que si las superficies son muy absorbentes se produce el caso contrario (Mapfre, 2015, p. 953).

La medición del tiempo de reverberación proporciona una estimación de la influencia acústica global del local. El tiempo de reverberación es aquel en el que la presión acústica se reduce a milésima parte de su presión inicial o la millonésima parte de la potencia inicial, una vez que ha cesado la fuente sonora, o sea, lo que tarda en disminuir el sonido 60 dB.

Este tiempo de reverberación es función de la frecuencia y se calcula mediante la siguiente expresión (Mapfre, 2015, p. 954).

$$T_r = \frac{0{,}16 \cdot V}{S\,[-\ln(1-\alpha_m)]} \qquad \text{[Ec. 15]}$$

Donde:

V: Volumen del local (m^3)

S: Absorción del local (m^2)

T_r*:* Tiempo de reverberación (seg)

α_m: Coeficiente de absorción medio del local

En un local en el que existen diferentes tipos de materiales se puede utilizar el valor medio del coeficiente de absorción, dado por la siguiente ecuación (Mapfre, 2015, p. 954).

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha_i S_i}{S} \qquad \text{[Ec. 16]}$$

Donde:

α_i = Coeficiente de absorción de cada material

S_i: Superficie de cada material (m^2)

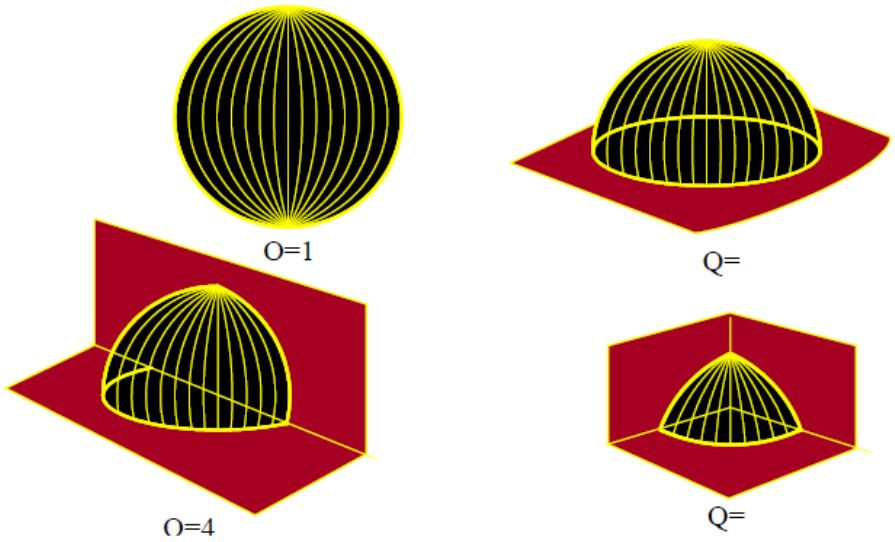
S = Superficie total (m^2)

Por tanto el tiempo de reverberación es directamente proporcional al volumen del local e inversamente proporcional a la absorción del mismo (cuento menor es la absorción del local, mayores son las ondas reflejadas y por tanto mayor es el tiempo de reverberación). Por ejemplo en cuanto al volumen del local se estima que el tiempo medio de reverberación es de aproximadamente 0,5 segundos en un dormitorio, de 1 a 2 segundos en una sala de conciertos y de 4 a 8 segundos en una catedral (Mapfre, 2015, p. 955).

Para definir una concentración de energía en una determinada dirección de emisión. Se define el coeficiente de directividad Q de una fuente, como la relación entre la intensidad acústica que llega a un punto y la intensidad acústica que llegaría al mismo punto si la fuente fuera omnidireccional y con la misma potencia sonora. Se parte de la misma formula del nivel de presión acústica y se dan distintos valores enteros a la Q en función de si la rediacion es esférica, semiesférica, un cuarto o un octavo.

$$SPL = SWL + 10\log\frac{Q}{4\pi r^2} \qquad \text{[Ec. 17]}$$

Figura 2. Fuente direccional en un local cerrado



Fuente: Asepeyo 2005

Las emisiones sonoras en locales cerrados son superficies reflejantes, proporcionan un nivel de presión sonora que combina el sonido directo con los sonidos reflejados por las distintas superficies.

La contribución del sonido directo o del reflejado será función de las distancia de escucha a la fuente y de las condiciones absorbentes del local.

La fórmula que rige la combinación del sonido directo y reflejado para un local que rige la combinación del sonido directo y reflejado para un local determinado es un campo sonoro con reflexiones (recinto semireverberante) y para una fuente sonora de tipo direccional (Asepeyo, 2015, p. 5)

$$SPL = SWL + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

[Ec. 18]

Control de ruido en la vía de transmisión

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

- Colocación de pantallas antiacústicas.
- Aislamiento antivibrátil.
- Revestimientos absorbentes del sonido, apantallamientos y blindajes.
- Distribución adecuada de maquinas.
- Colocación de cerramientos, enclaustramientos y cabinas insonorizadas.
- Aumento de la distancia entre la fuente y el receptor.

- Tratamiento acústico de cielorraso, paredes y pisos para absorber el ruido y disminuir la reverberación (Falagán, 2005, p. 597).

Este método de control de ruido es poco utilizado, ya que es poco eficaz en el ámbito laboral donde los espacios son cerrados. En cambio en lugares abiertos, como por ejemplo aeropuertos, si se suelen utilizar obteniéndose resultados de reducción de los niveles de ruido bastante eficaces.

Como la atenuación del ruido de estas barreras se basa en el fenómeno de la difracción del sonido, que es un fenómeno característico de las ondas que se basa en la desviación de estas al encontrar un obstáculo, pueden ser bastante eficaces cuando existe un ruido donde predominen las altas frecuencias, pero poco eficaces si las frecuencias predominantes son bajas (Mapfre, 2015, p. 959).

Debido al fenómeno de la difracción de las ondas de sonido, normalmente este método de reducción de uso de barreras, debería ir acompañado de la instalación de materiales absorbentes en paredes y techos.

El grado de reducción del ruido depende de la altura y anchura efectiva de la barrera (lo ideal es dos veces la altura del oído y el ancho el doble que la altura), de la longitud de onda predominante y del ángulo de deflexión (Mapfre, 2015, p. 959).

Medidas en el receptor

Para la elección de protección auditiva se deberá considerar las siguientes consideraciones (IESS D.E.-2393, 1986, p.86).

a) Cuando el nivel de ruido en un puesto o área de trabajo sobrepase el establecido en este Reglamento, será obligatorio el uso de elementos individuales de protección auditiva.

b) Los protectores auditivos serán de materiales tales que no produzcan situaciones, disturbios o enfermedades en las personas que los utilicen. No producirán además molestias innecesarias, y en el caso de ir sujetos por medio de un arnés a la cabeza, la presión que ejerzan será la suficiente para fijarlos debidamente.

c) Los protectores auditivos ofrecerán la atenuación suficiente. Su elección se realizará de acuerdo con su curva de atenuación y las características del ruido.

d) Los equipos de protección auditiva podrán ir colocados sobre el pabellón auditivo (protectores externos) o introducidos en el conducto auditivo externo (protectores insertos).

e) Para conseguir la máxima eficacia en el uso de protectores auditivos, el usuario deberá en todo caso realizar las operaciones siguientes:

   - Comprobar que no poseen abolladuras, fisuras, roturas o deformaciones, ya que éstas influyen en la atenuación proporcionada por el equipo.

   - Proceder a una colocación adecuada del equipo de protección personal, introduciendo completamente en el conducto auditivo externo el protector en caso de ser inserto, y comprobando el buen estado del sistema de suspensión en el caso de utilizarse protectores externos.

   - Mantener el protector auditivo en perfecto estado higiénico.

f) Los protectores auditivos serán de uso personal e intransferible. Cuando se utilicen protectores insertos se lavarán a diario y se evitará el contacto con objetos sucios. Los

externos, periódicamente se someterán a un proceso de desinfección adecuado que no afecte a sus características técnicas y funcionales (IESS D.E.-2393, 1986, p.86).

g) Para una buena conservación los equipos se guardarán, cuando no se usen, limpios y secos en sus correspondientes estuches (D.E.-2393, 1986, p.86).

Método de las bandas de octava

Requiere conocer los niveles de presión sonora, en bandas de octava, del ruido ambiental. Es el método más fiable cuando se utiliza un protector auditivo se obtiene el valor del nivel de presión sonora efectivo ponderado A (L_A), aplicando la siguiente expresión (INSHT NPT 638, 2003, p. 3).

$$L_A = 10 \log \sum_{f=63\,Hz}^{f=8000\,Hz} 10^{0,1(L_f + A_f - APV_F)} \qquad \text{[Ec. 19]}$$

Donde:

A_f = ponderación A en cada octava

L_f = nivel de presión sonora por octava, sin ponderar

El valor resultante de LA' debe redondearse al entero más próximo.

Método H, M y L

El método requiere conocer los valores de presión acústica ponderados A y C, así como los valores de H, M y L del protector auditivo. Se calcula el valor de PNR según la diferencia entre L_C y L_A de la siguiente manera:

Si la diferencia L_C y $L_A \leq 2$ dB se utilizara la expresión (18), en caso de L_C y $L_A \geq 2$, la expresión (19).

$$PNR = M - \frac{H - M}{4} (L_C - L_A - 2) \quad \text{[Ec. 20]}$$

$$PNR = M - \frac{H - M}{8} (L_C - L_A - 2) \quad \text{[Ec. 21]}$$

El valor resultante de LA' debe redondearse al entero más próximo

Se puede utilizar el nivel de presión acústica no ponderado en lugar del L_C

Método del SNR

Se precisa el nivel de presión sonora ponderado C y el parámetro SNR del protector auditivo.

Se calcula el nivel de presión sonora efectivo ponderado A de la siguiente forma:

$$L_A' = L_C - SNR \quad \text{[Ec. 22]}$$

Cuando preponderan los niveles de presión sonora correspondientes a las frecuencias muy altas o muy bajas, del espectro del ruido en cuestión (ruidos agudos o graves) aumentan las diferencias halladas entre los PNR calculados por los tres métodos.

En la tabla 9 se presentan los diferentes parámetros calculados para dos casos como los mencionados, cuyas características espectrales se dan en la tabla 10, utilizando el protector auditivo de los ejemplos anteriores (INSHT NPT 638, 2003, p. 6).

Como se desprende de la tabla 9, en ambos casos y tomando como referencia los valores obtenidos a partir del método del espectro de bandas de octava, el método M H L ofrece una buena aproximación en el cálculo del PNR, mientras que se comete un gran error

utilizando el SNR. Aunque los resultados también dependen del espectro de atenuación del protector auditivo, por regla general, cuando en los espectros del ruido en cuestión preponderan frecuencias bajas o muy altas, disminuye mucho la precisión del sistema de cálculo a partir del SNR, mientras que se mantiene una precisión aceptable en el método H M L (INSHT NPT 638, 2003, p. 6).

Tabla 9. Parámetros de atenuación por método

Ejemplo	Parámetros de ruido				Método bandas de octava		Método H M L H=27, M=25, L=23		Método SNR SNR = 28	
	L	L_A	Lc	Lc - L_A	PNR	LA	PNR	LA	PNR	LA
Caso 1	112	113	111	-2	26	87	27	86	30	83
Caso 2	112	97	111	14	22	75	22	75	14	83

Fuente: (INSHT NPT 638, 2003, p. 6)

Tabla 10. Características espectrales de dos ruidos diferentes

Frecuencia	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Khz	2 Khz	4 Khz	8 Khz
Caso 1	70	75	82	86	96	102	111	102
Caso 2	110	106	98	94	90	87	84	80

Fuente: (INSHT NPT 638, 2003, p. 6)

1.2.1.23. Responsabilidad legal

Pérdida auditiva: Las hipoacusias que causen incapacidades permanentes parciales debidas a sordera profesional se graduarán en base al porcentaje de pérdida auditiva bilateral del individuo lesionado en las frecuencias de la voz hablada: 500 -1000 - 2000 y 3000 ciclos por segundo (cps), considerando el rango entre quince y ochenta y dos decibeles de pérdida a cero y cien por ciento respectivamente (Rs. C.D. 390. 2011. p. 46).

Para obtener el porcentaje de pérdida auditiva bilateral, se seguirá el siguiente procedimiento:

a) Promedio de la pérdida de decibeles de las cuatro frecuencias citadas;

b) Por cada decibel de pérdida que pase de quince (15) decibeles se aumenta uno coma cinco por ciento (1,5%);

c) El porcentaje encontrado en el oído mejor, se multiplica por cinco (5), el resultado se añade al porcentaje encontrado en el oído más afectado y la suma total se divide por seis (6), cuyo cociente es la pérdida auditiva bilateral para la conversación normal.

Porcentaje de pérdida..... 15 a 60% como máximo

La Comisión de Valuación de las Incapacidades podrá incrementar hasta un diez por ciento (10%) del grado total de incapacidad, de conformidad con los factores de ponderación previstos en el artículo 31 del presente Reglamento (Rs. C.D. 390. 2011. p. 46).

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Identificación

Se recopiló la información de los procesos donde generan ruido, se realizó una observación directa de los subprocesos que contienen la fuente de ruido por parte de un equipo multidisciplinario conformado por: El técnico de seguridad, el técnico encargado de realizar el estudio y los operadores que se encuentran cerca del sitio de contaminación.

Una vez conformado el equipo se levantó una descripción de los procesos determinado las posibles fuentes de contaminación en el área que sirvió como primer paso para realizar las mediciones y se detalla en la tabla 11.

Tabla 11. Descripción de proceso de embotellado

Proceso	Descripcion	Mecanismos	Velocidad de producción
Soplado	Un vez que ingresan las preformas estas son inyectadas aire caliente que con un molde forma la botella	Cilindro neumático, caja reductora, juego de levas, termostato, banda transportadora	2400 botelllas / hora
Rinseado	Enjuague de botellas previo al envio al area de llendo	Inyectores de agua, transportador, separador, cilindro neumatico	3000 botelllas / hora
Llenado	Llenado de botella de liquido según orden de producción	Inyectores de agua, transportador	3000 botelllas / hora

Fuente: El autor

Como segundo paso se contabilizó el personal ocupacionalmente expuesto por tarea o maquina que opera y los posibles afectados indirectos que también son objetos de estudio, la distribución en el proceso se detalla en la tabla 12 donde se determina el número total de expuestos a ruido.

Tabla 12. Tiempo de exposición por puesto de trabajo

Linea de embotellado PET				
Puesto de trabajo	**Tiempo de exposicion (horas)**	**Hombres**	**Mujeres**	**Total Expuestos**
Supervisor	1	1	0	1
Operador	1	5	0	5
Ayudante	6	6	0	6
Analista calidad	1	0	1	1
				13

Fuente: El autor

El área de embotellado está compuesta por un conjunto de máquinas las cuales operan con diferentes tipos de energías como energía eléctrica, hidráulica y neumática. Las que producen diferente tipo de ruido como se menciona en la tabla 13.

Tabla 13. Identificación de tipos de ruido

Proceso	Estable	Periodico	Aleatorio	Impacto
Soplado		Inyeccion de aire		Filtros de expulsión
Rinseado	Inyeccionn de agua			
llenado	Inyeccionn de agua			

Fuente: El autor

2.2. Medición

Para la medición del ruido se utilizo un sonómetros integrador - promediador y termohigrómetro. Estos equipos cuentan con certificados de calibración vigente que garantiza la emisión de datos confiables para la evaluación del factor físico en el ambiente de trabajo de los operadores de línea de embotellado.

Tabla 14. Características del equipo de medición

Caracteristica	Sonómetro integrador - promediador	Calibrador acústico	Termohigrómetro	
Marca:	Cesva	Sper Scientific	Sper Scientific	
Modelo:	SC310	850016	EC-9000	
Serie:	T229797	80401803		
Calibrado:	jul-14	jul-14	jul-14	
Vigente:	jul-15	jul-15	jul-15	

Fuente: Informe monitoreo de ruido

La metodología utilizada tiene como sustento técnico el Real Decreto 286/2006, "Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relacionados con la Exposición de los Trabajadores al Ruido".

El sonómetro fue colocado en lugares fijos previamente establecidos, la medición se realizó en ausencia del trabajador y colocando el micrófono en el lugar que ocupa habitualmente (a la altura de la cabeza); se tomó en cuenta el efecto del propio cuerpo del trabajador y el del técnico que realizó las mediciones, y se colocó el micrófono a una distancia aproximada de entre 10 y 40 centímetros del pabellón auditivo externo. Siempre se utilizó un trípode para sujetar el instrumento.

Se utilizó la estrategia de mediciones basadas en la operación (sonometría) cuando fue factible conocer la duración de cada tarea realizada en el puesto de trabajo evaluado.

El tiempo de medición en cada tarea dependió de la variación del nivel de ruido, y sea cual sea el tipo de ruido, para cada tarea. Si los resultados difirieron en 3 dB o más, se realizaron otras tres mediciones para la tarea en cuestión.

Los valores del nivel continuo equivalente diario fueron calculados mediante expresiones logarítmicas, conforme dicta la normativa.

Tabla 15. Puestos de trabajo a evaluar

Puesto de trabajo	Tipo de medición
Operador soplado PET	Sonometría
Operador Rinseado	Sonometría
Operador llenado	Sonometría

Fuente: El autor

La evaluación de exposición a ruido requiere obtener los valores medidos por un equipo confiable y comparado con el valor máximo permisible establecido por una normativa reconocida, la comparación de estos valores permitirá tomar decisiones al momento de implementar medidas de control en los diferentes etapas

En cualquier caso que el nivel máximo de exposición se proporcionara a los trabajadores la debida comunicación y formación preventiva de los factores de riesgo derivados de la exposición a ruido.

2.3. Medidas de control

Se realizó un estudio previo al agente físico ruido, para poder controlar los riesgos en la planificación de los procesos, para evitar que se incurra en gastos posteriores por inobservancia a la legislación Ecuatoriana y tratados internacionales.

2.3.1. Medidas administrativas

Se tomó como referencia las recomendaciones emitidas en los textos expuestos en el capitulo anterior principalmente reducir el tiempo de exposición de los trabajadores.

Se adoptó un esquema administrativo que permitirá al empleador implementar medidas útiles y eficaces como implementar un política de que comprometa en reducir los niveles de ruido mediante:

- Modificación de los puestos de trabajo con mayor exposición
- Gestionar la adquisición de equipos silenciadores.
- Rotar a los trabajadores de los puesto de trabajo expuestos
- Gestionar la adquisición prematura de repuestos para los equipos.

2.3.2. Medidas en la fuente

Para la toma de decisiones sobre las medidas de control que se tomó en la fuente fue necesario saber sus componentes, origen de ruido por cada máquina y el efecto que podría causar al proceso.

El aislamiento fue el método elegido para encerrar al equipo ruidoso desde el interior de la cabina cuyo diseño impedirá que el ruido generado se propague al exterior.

Este método a veces no consigue la atenuación deseada debido a las incompatibilidades entre el proceso productivo y el aislamiento del equipo emisor, de forma que quedan aperturas no encerradas por donde se libera la energía sonora.

2.3.3. Medidas al receptor

Se propondrá equipos de protección auditiva que permitan un buen uso, precauciones de empleo y mantenimiento.

Al momento de seleccionar un protector auditivo es necesario conocer la atenuación que ofrecen estos equipos y que cuenten con certificación internacional para el efecto.

Hay que tener en cuenta las características del ruido en las diferentes áreas, las frecuencias donde existe una mayor incidencia, las características impulsivas y la importancia de la comunicación eficaz y necesaria para oír las alarmas de emergencia.

Por tanto la elección de un protector auditivo requiere de un conocimiento previo del puesto de trabajo y el entorno, debe ser realizado por un técnico especializado y capacitado, además se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

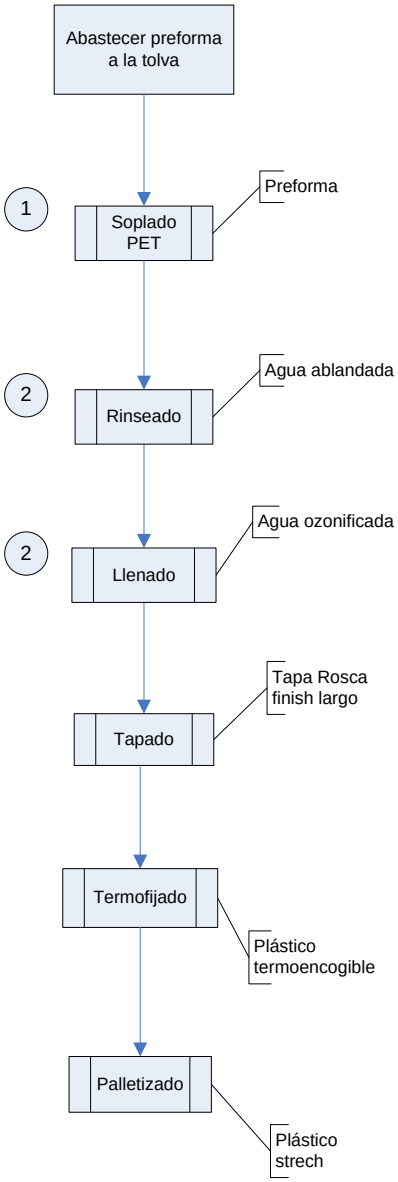
- Atenuación en alta frecuencia (H)
- Atenuación en media frecuencia (M)
- Atenuación en baja frecuencia (L)
- Índice de reducción único (SNR)
- Protección asumida (APVf)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Resultado de la identificación

El proceso de producción de bebidas está conformado por varios subprocesos como muestra la figura 2, donde cada uno de sus elementos posee diferentes niveles de ruido.

Figura 3. Diagrama de flujo proceso embotellado



Fuente: Autor

Mediante una inspección realizado por un grupo técnico multidisciplinario se determina realizar sonometrías en tres maquinas de la línea de producción de bebidas no carbonatadas (Soplado, Rinser y llenado) y se verifica el personal ocupacionalmente expuesto mediante la siguiente tabla 16.

Tabla 16. Personal ocupacionalmente expuesto

Puesto de trabajo	Tiempo de exposicion (horas)	Hombres	Mujeres	Total Expuestos
Supervisor	2	1	0	1
Operador	8	5	0	5
Ayudante	8	6	0	6
Analista calidad	4	1	0	1
				13

Fuente: Autor

3.2 Resultado de la medición y evaluación

3.2.1 Mediciones

3.2.1.1. Medición área de soplado PET

De acuerdo a las aéreas preestablecidas por personal de la empresa, se instala el sonómetro en el primer sitio de monitoreo que es la máquina de soplado de botellas PET colocando el equipo donde habitualmente se ubica el operador a una altura cercana al canal auditivo como muestra la figura 3.

Figura 4. Área de soplado PET

Fuente: Autor

Una vez colocado el equipo por un tiempo mayor de 15 minutos se determina los valores promedio para cada banda de octava y el ruido equivalente como se muestra en la tabla 17.

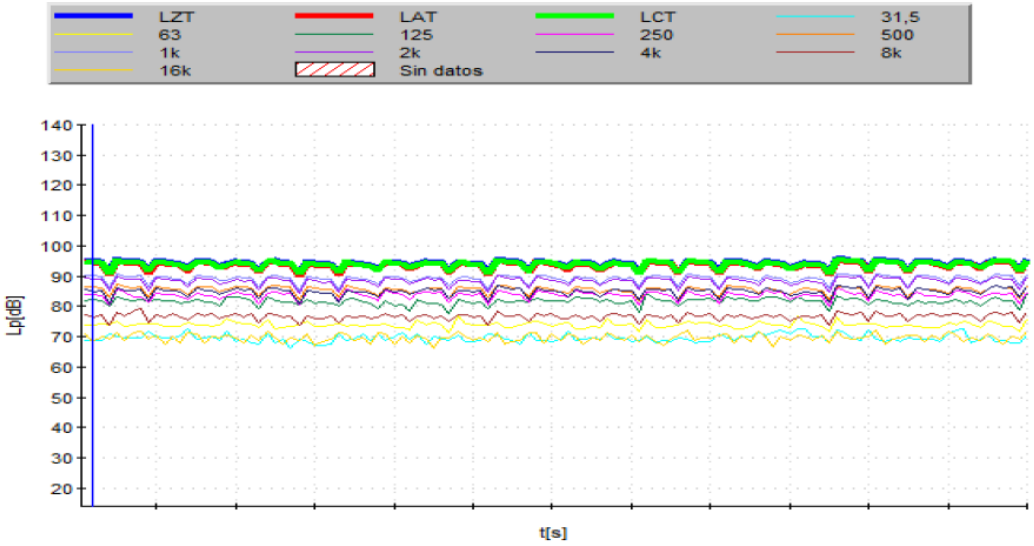
Tabla 17. Valor medido área sopladora PET

Frecuencia	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Khz	2 Khz	4 Khz	8 Khz	Leq (dBA)	
NPSeq dB (A)	73,9	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	94,8609908	95 dBA

Fuente: Informe monitoreo de ruido

Para apreciar el comportamiento del nivel de presión sonora en las diferentes frecuencias en el tiempo que dura el monitoreo se visualiza picos en la frecuencia de 1 kHz como muestra la figura 4.

Figura 5. Nivel de presión sonora Vs. Tiempo (Soplado PET)



Fuente: Informe monitoreo de ruido

3.2.1.2. Medición área rinseado

Para el segundo punto de monitoreo se instala el sonómetro cerca de la máquina de rinseado colocando el equipo donde habitualmente se ubica el operador a una altura cercana al canal auditivo.

Figura 6. Área de rinseado

Fuente: Autor

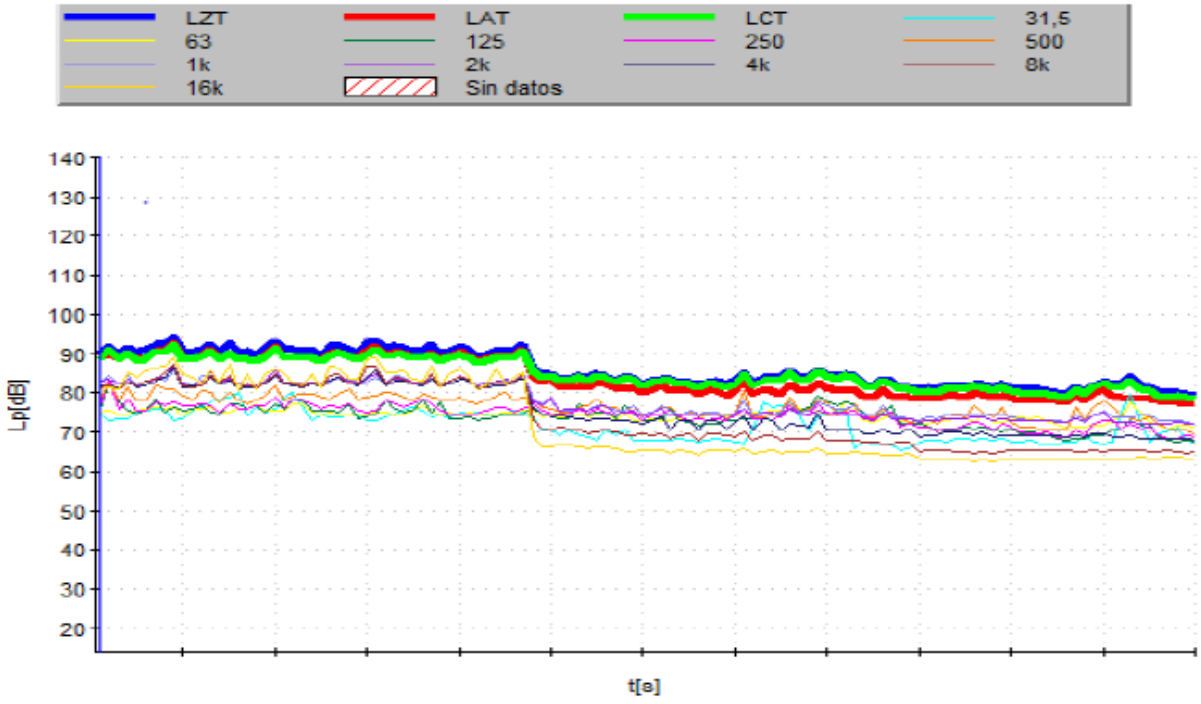
Tabla 18. Valores medido área de rinseado

Frecuencia	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Khz	2 Khz	4 Khz	8 Khz	Leq (dBA)	
NPSeq dB (A)	73,4	73,4	74,5	75,2	75,5	75,8	73,8	70,7	83,3100141	83 dBA

Fuente: Informe monitoreo de ruido

Como se puede verificar en el cuadro de mediciones existe un pico en la banda de 2 kHz donde el comportamiento del nivel de presión sonora tiene una diferencia aproximada de 5 dBA en relación a las frecuencias de sus extremos como muestra la figura 6.

Figura 7. Nivel de presión sonora Vs. Tiempo (Rinseado)



Fuente: Informe monitoreo de ruido

3.2.1.3. Medición área de llenado

Como tercer punto de medida se encuentra el área de llenado donde se procede a ubicar el equipo en el sitio donde habitualmente pasa el colaborador considerando una distancia próxima al canal auditivo.

Figura 8: Área de Llenado

Fuente: Autor

Tabla 19. Valor medido área de llenado

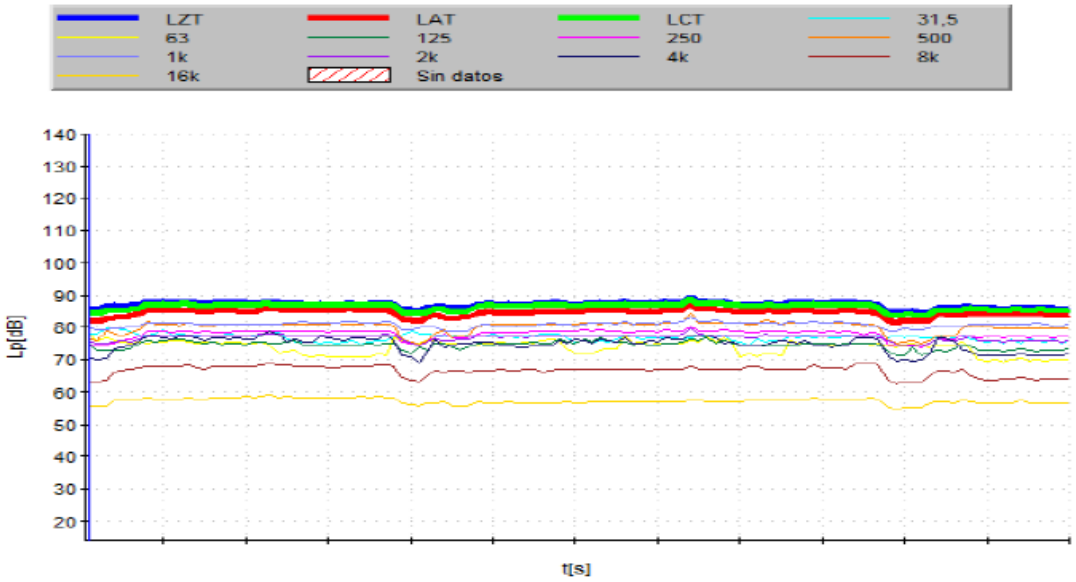
Frecuencia	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Khz	2 Khz	4 Khz	8 Khz	Leq (dBA)	
NPSeq dB (A)	78,1	74,8	74,8	76,3	79,6	75,4	70,5	63,8	84,8730272	85 dBA

Fuente: Informe monitoreo de ruido

El nivel de presión sonora en la frecuencia de 1 kHz tiene una diferencia aproximada de 13 dBA en relación al extremo superior de banda de octava este comportamiento puede

influir al momento de seleccionar un equipo de protección para esta area, en la figura 8 se puede apreciar la variación en el tiempo de monitoreo.

Figura 9. Nivel de presión sonora Vs. Tiempo (Llenado)



Fuente: Informe monitoreo de ruido

3.2.2. Evaluación

Los resultados de las mediciones de Ruido Ocupacional con Bandas de Octava, realizado en las instalaciones indica que el área analizada “Sopladora Pet” y “Llenado” no cumple con el límite máximo permisible para ruido ocupacional, establecido por el Decreto Ejecutivo 2393.

Mientas el área de “Rinseado” cumple con el límite máximo permisible para ruido ocupacional de 85 dBA, establecido por el Decreto Ejecutivo 2393 y se detalla en la tabla 20.

Tabla 20. Evaluación NPS_{eq} dB(A)

Puntos	Lugar de personal	Personal	Fecha	Valor encontrado NPSeq dB (A)	*Máximo permisible	Evaluación
1	Soplado PET	Marco Toapanta	30/03/2015	95	85	NO CUMPLE
2	Rinseado	Alejandro García	30/03/2015	83	85	CUMPLE
3	Llenado	Carlos Vargas	30/03/2015	85	85	NO CUMPLE

Fuente: Autor

De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, en su artículo 55, numeral 6, determina que:

Se evalúa el tiempo de exposición máximo que puede estar sometido un trabajador, a continuación se determina el tiempo de exposición máxima que puede estar sometido el operador de cada máquina considerando que un incremento de tiempo de exposición puede variar el valor límite de exposición según la tabla 21.

Tabla 21. Tiempo de exposición máximo permisible

Puntos	Lugar de personal	Personal	Fecha	Valor encontrado NPSeq dB (A)	Reglamento 2393 (8 horas)	Tiempo máximo de exposición (horas)
1	Soplado PET	Marco Toapanta	30/03/2015	95	85	2
2	Rinseado	Alejandro García	30/03/2015	83	85	10,55
3	Llenado	Carlos Vargas	30/03/2015	85	85	8

Fuente: Autor

El resultado en el área de soplado supera el límite de tiempo de exposición permisible para el nivel de presión sonora encontrado, en el caso de el área de rinser se puede observar que el operador puede permanecer un tiempo máximo de 10 horas de trabajo sin embargo se debe considerar realizar mantenimiento del sistema mecánico de los cilindros de lavado, para el área de llenado se encuentra un nivel de presión sonora que esta igual al permisible por lo que puede considerar controles administrativos en el proceso.

3.3. Propuesta de medida de control

3.3.1. Control administrativo

En el sentido de tomar un método que reduzca la lesión auditiva a los trabajadores se puede adoptar varias alternativas que de origen administrativo.

Como se verifico en las mediciones, la maquina sopladora PET emite ruido fuera de los permisible para una jornada de 8 horas, con esta consideración se recomienda que cierta cantidad de botellas no sean sopladas en los turnos donde exista una mayor afluencia de personal en el sector, sino que una considerable cantidad de envases PET sean soplados en turnos donde el numero directo de expuestos no esté operando por ejemplo los fines de semana.

3.3.2. Control en la fuente

El mantenimiento de los dispositivos del sistema neumático debe de realizarse conforme el programa de mantenimiento preventivo establecido en la empresa, reemplazando todas las partes desgastadas con la frecuencia recomendada por el fabricante y realizado por personal técnico capacitado.

El mantenimiento predictivo debe tomarse en cuenta para ciertos elementos que por el trabajo realizado tiende a desgastarse antes del tiempo recomendable de reemplazo, generando ruidos innecesarios que se los puede detectar mediante dispositivos de detección temprana de fallas.

3.3.3. Control en el medio de transmisión

Las paredes que cubren los elementos mecánicos en el interior del proceso como motor eléctrico, caja de reducción, cilindro neumático e inyectores, son planchas metálicas que poseen una baja absorción acústica produciendo una reverberación interna en la cabina.

Para realizar un control operacional y lograr atenuar el ruido que emite la maquinaria y su propagación al exterior se propone colocar aislamiento en las paredes de la cabina donde generan mayor ruido, realizando un aislamiento acústico a través de material absorbente de ruido.

Las barreras con absorción de ruido contienen un elemento poroso que absorbe el ruido. Este material poroso puede formar parte de la superficie de la barrera metálica.

Lana de vidrio

Lo que se propone para este caso de estudio, es conseguir un aislamiento interno de la máquina donde la barrera acústica no permita el traspaso del ruido a través de la barrera metálica o que este sea el mínimo considerando que este tipo de absorción puede desprender partículas que si llegarían a ingresar al interior de las botellas causara una contaminación del producto como es la lana de vidrio como muestra la figura 9.

Figura 10. Lana de vidrio.

Fuente: Mapfre, 2015, p.952

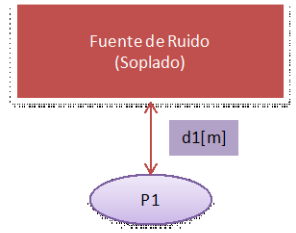
Para confirmar el nivel de reducción de ruido se calcula mediante el coeficiente de absorción y por perdida de trasmisión, para poder así realizar diferentes diseños y poder elegir el mejor material sin la necesidad de tenerlos físicamente, en la tabla 22 se tiene los valores de medición en el área de estudio.

Tabla 22. Nivel de presión sonora máquina de soplado

Area soplado PET										Leq (dBA)	
NPS_d (dB)	Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
	NPSd (dB)	73,9	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	94,8609908	95 dBA

Fuente: Informe monitoreo de ruido

Tabla 23. Atenuación por absorción lana de vidrio



$$NPS = NWS + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

Suelo m2
Pared 1 m2
Pared 2 m2
Pared 3 m2

donde la Constante de Cerramiento, R, es por definición:

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\alpha}$$ (Ecuación 8)

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1} \frac{S_i \alpha_i}{S}$$ (Ecuación 9)

Donde:

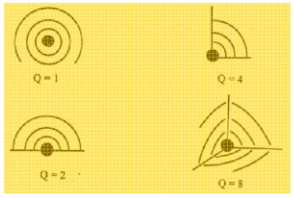
α_i = coeficiente de absorción del material i.

S_i = superficie interior del recinto ocupada por el material i.

$S = S_1 + S_2 + S_3 + ... + S_n$

Leq[dBA]= 86,62

Superficies: [m2]		Q
Suelo	2	1
Pared 1	2	
Pared 2	2	
Pared 3	2	
Superficie Total [m2]	8	



d1[m]	1
d2[m]	1

Frecuencia [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
NWS[dB]	**73,9**	**82,3**	**83,8**	**86,6**	**90,1**	**89**	**84,9**	**76,5**	95 dBA
Ingrese Coeficientes de absorción									
Suelo									
LANA DE ROCA 100	0,25	0,4	0,65	0,8	0,85	0,85	0,9	0,85	
S1*Alfa1	0,5	0,8	1,3	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	
Pared 1									
LANA DE ROCA 100	0,25	0,4	0,65	0,8	0,85	0,85	0,9	0,85	
S2*Alfa2	0,5	0,8	1,3	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	
Pared 2									
LANA DE ROCA 100	0,25	0,4	0,65	0,8	0,85	0,85	0,9	0,85	
S3*Alfa3	0,5	0,8	1,3	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	
Pared 3									
LANA DE ROCA 100	0,25	0,4	0,65	0,8	0,85	0,85	0,9	0,85	
S4*Alfa4	0,5	0,8	1,3	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	
ALFA MEDIO	0,25	0,40	0,65	0,80	0,85	0,85	0,90	0,85	
R	2,67	5,33	14,86	32,00	45,33	45,33	72,00	45,33	
NPS1[m]	75,89	81,49	79,23	79,71	82,35	81,25	76,21	68,75	
atenuacion"A"	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1	**Leq[dBA]**
Leq1[m][dBA]	49,89	65,49	70,23	76,71	82,35	82,25	77,21	67,75	**86,62**

Como se puede evidenciar la instalación de lana de vidrio de 100 mm atenúa el ruido aproximado de 8 dB por lo que se puede mantener esta opción de aislamiento. En las frecuencias ya medidas con anterioridad, se consigue una atenuación de 8 dBA, al bajar de 95 dBA a 87 dBA. Lo que significa que la barrera acústica propuesta es eficiente.

Espuma poliuretano

Como segunda opción se propone el aislamiento de la cabina mediante la inyección de espuma poliuretano de 100 mm en las paredes de la cabina, lo que permitirá absorber la

energía emitida por los equipos, esta propuesta puede ser la mas acertada ya que no desprende ningún tipo de partícula garantizando que el producto elaborado no sea contaminado.

Figura 11. Espuma poliuretano

Fuente: Fundación Mapfre 2015

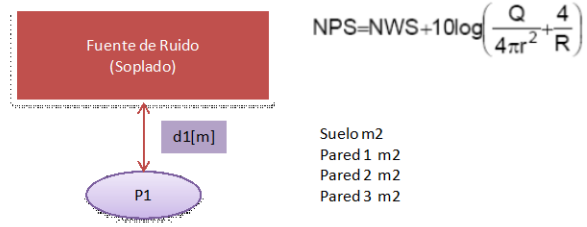
A continuación se realiza el cálculo de atenuación de este material para confirmar el nivel de reducción de ruido por absorción y por perdida de trasmisión, de acuerdo a las características de este material se puede tomar decisiones que permitan una aplicación inmediata para evitar lesiones en los operadores, la tabla 24 muestra los valores medidos.

Tabla 24. Nivel de presión sonora maquina de soplado

Area soplado PET										
NPS_d (dB)	**Frecuencia (Hz)**	125	250	500	1000	2000	4000	8000	**Leq (dBA)**	
	NPSd (dB)	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5		
	Log.	169824365	239883292	457088190	1,023E+09	794328235	309029543	44668359	**94,8260421**	**95 dBA**

Fuente: Informe monitoreo de ruido

Tabla 25. Atenuación por absorción espuma poliuretano



Leq[dBA]= 85,84

$$NPS = NWS + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

Suelo m2
Pared 1 m2
Pared 2 m2
Pared 3 m2

donde la Constante de Cerramiento, **R**, es por definición:

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\alpha}$$ **(Ecuación 8)**

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1} \frac{S_i \alpha_i}{S}$$ **(Ecuación 9)**

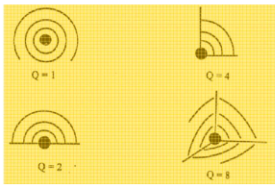
Donde:

α_i = coeficiente de absorción del material i.

S_i = superficie interior del recinto ocupada por el material i.

$S = S_1 + S_2 + S_3 + ... + S_n$

Superficies: [m2]		Q
Suelo	2	1
Pared 1	2	
Pared 2	2	
Pared 3	2	
Superficie Total [m2]	**8**	



d1[m]	1
d2[m]	1

Frecuencia [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
NWS[dB]	**73,9**	**82,3**	**83,8**	**86,6**	**90,1**	**89**	**84,9**	**76,5**	95 dBA
Ingrese Coeficientes de absorción									
Suelo									
ESPUMA POLIURETANO 50	0,15	0,2	0,5	0,75	0,95	0,9	0,9	0,9	
S1*Alfa1	0,3	0,4	1	1,5	1,9	1,8	1,8	1,8	
Pared 1									
ESPUMA POLIURETANO 50	0,15	0,2	0,5	0,75	0,95	0,9	0,9	0,9	
S2*Alfa2	0,3	0,4	1	1,5	1,9	1,8	1,8	1,8	
Pared 2									
ESPUMA POLIURETANO 50	0,15	0,2	0,5	0,75	0,95	0,9	0,9	0,9	
S3*Alfa3	0,3	0,4	1	1,5	1,9	1,8	1,8	1,8	
Pared 3									
ESPUMA POLIURETANO 50	0,15	0,2	0,5	0,75	0,95	0,9	0,9	0,9	
S4*Alfa4	0,3	0,4	1	1,5	1,9	1,8	1,8	1,8	
ALFA MEDIO	0,15	0,20	0,50	0,75	0,95	0,90	0,90	0,90	
R	1,41	2,00	8,00	24,00	152,00	72,00	72,00	72,00	
NPS1[m]	78,54	85,48	81,43	80,51	80,35	80,31	76,21	67,81	
atenuacion"A"	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1	**Leq[dBA]**
Leq1[m][dBA]	52,54	69,48	72,43	77,51	80,35	81,31	77,21	66,81	**85,84**

Este material presenta una mejor absorción en comparación con el material expuesto anteriormente pero considerando el proceso productivo de embotellado es el más acertado debido a que existe menor probabilidad de desprendimiento de partículas al interior de la cabina, el nivel aproximado de absorción es de 9 dBA no muy distante del anterior.

El análisis de material absorbente de ruido se ha realizado únicamente al área de soplado debido a que las áreas de rinseado y llenado son considerados críticos ya que se debe evitar que por desprendimiento de partículas de material o objetos de sujeción el producto sea contaminado.

3.3.4. Control en el receptor

Para minimizar el efecto de ruido en los trabajadores de la empresa embotelladora de bebidas se debe considerar que la empresa debe dotar al personal de equipos de protección auditiva, tapones reutilizables u orejeras según las áreas, con el fin de disminuir el impacto que pueda causar el excedente de ruido al personal.

Utilizando el método de bandas de octava se realiza el cálculo de atenuación del equipo de protección que ofrece protección en niveles de ruido cercanos a 98 dB.

Equipo de protección 1:

La reducción de ruido para la orejera 3M peltor H9 que muestra la figura 11 se ha basado según lo establecido en las normas ANSI S3.19- 1974 sobre protección de la audición.

Figura 12. Orejera 3M peltorH9

Fuente: Ficha técnica orejera 3M peltor H9

El nivel de reducción de ruido para los métodos NRR, HML y SNR provenientes de la ficha técnica proporcionada por el fabricante emite valores de reducción de ruido aproximado según el método que se aplique para la selección del mismo de acuerdo a los valores expresados en la tabla 26.

Tabla 26. Atenuación de ruido orejera 3M peltor H9

Modelo	Frec. (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	H	M	L	SNR
H9A	Atenuac. dB	16,2	14,6	20,2	32,5	39,3	36,4	34,4	40,2	34 dB	29 dB	20 dB	31 dB
	Desv. Est. dB	1,9	1,6	2,5	2,3	2,1	2,4	4,0	2,3				

Fuente: Ficha técnica orejera 3M peltor H9

Mediante cálculo de atenuación del equipo de protección propuesto a aplicando la ecuación 17 se determina el ruido equivalente atenuado para las áreas en análisis según lo que indica las tablas 27.

Tabla 27. Valor de ruido equivalente atenuado (Soplado PET)

Leq (dBA), EPP	NPSd (dB)	73,9	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	Leq (dBA), EPP	
	Atenuación EPP	16,2	14,6	20,2	32,5	39,3	36,6	34,4	40,2		
	Desviación estandar	1,9	1,6	2,5	2,3	2,7	2,4	4	2,3		
	Potencias base 10	59,6	69,3	66,1	56,4	53,5	54,8	54,5	38,6	71,6875256	72 dBA

Fuente: Autor

El equipo de protección propuesto orejera 3M peltor H9 cumple el nivel de reducción de ruido percibido por el colaborador reduciendo el ruido de 95 dBA a 72 dBA, no obstante se debe controlar el buen uso y mantenimiento que son condiciones para que el equipo cumpla su función de atenuar el ruido en el área.

Para tener otro criterio sobre el nivel de reducción de ruido se aplica el método HML de acuerdo a los datos de atenuación del equipo orejera 3m peltor H9 se verifica los valores de nivel de presión sonora y ruido equivalente en la tabla 28.

Tabla 28. Valores de nivel de presión sonora área soplado

Area soplado PET								
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
NPS_d (dB)	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	**95 dB**
Atenuación A	-26	-16	-9	-3	1	-1	-7	
Leq (dBA)	56,3	67,8	77,6	87,1	90	83,9	69,5	**92 dB**

Fuente: Autor

Aplicando el criterio para determinar la ecuación que aplica, se procede a determinar la diferencia entre el NPS y Leq que es > a 2 se procede a aplicar la formula 19.

$$PNR = M - \frac{H - M}{8}\,(L_C - L_A - 2)$$

$$PNR = 29 - \frac{34 - 29}{8}\,(95 - 92 - 2) = 28\,dB$$

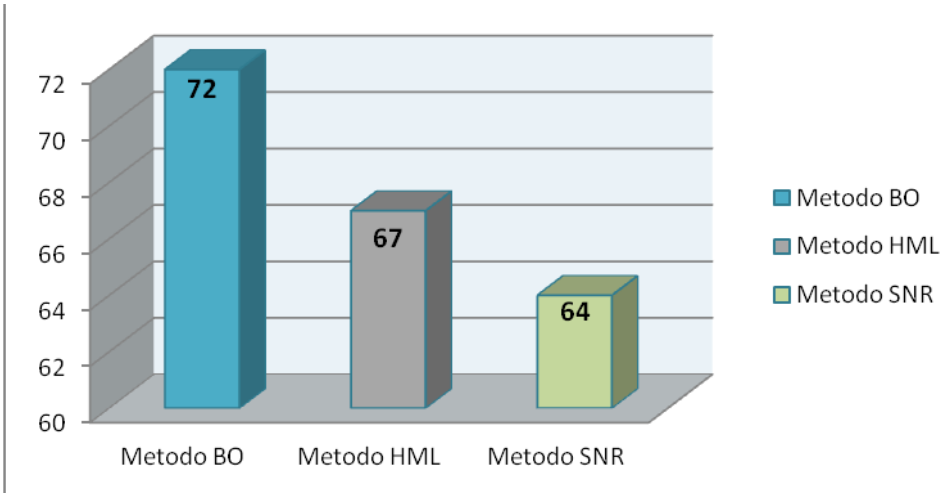
Según el método aplicado se observa una atenuación de 28 dB por lo que al calcular la diferencia con el ruido equivalente atenuado se determina una reducción a 67 dB que es un valor aceptable de exposición a ruido.

Aplicando un método sencillo como es el SNR se permite obtener un criterio más para la selección del equipo de protección aplicando la ecuación 20 se tiene.

Leq epp= NPS – SNR = 95 – 31 = 64 dBA

El valor percibido por el colaborador de la máquina de soplado es de 64 dbA que es un rango permisible de exposición según la normativa nacional.

Figura 13. Comparación de resultados de orejeras 3M peltor H9



Fuente: Autor

El método de bandas de octava entrega una mayor confiabilidad por tener una mejor similitud con el oído humano, con este valor permite determinar el mejor elemento atenuante de ruido que sea también rentable para el empleador.

Equipo de protección 2:

Se plantea la utilización de otra alternativa como es el tapón auditivo ultrafit de 3M, diseñado para áreas donde los niveles de ruido superan los límites de 85 dBA en una jornada de 8 hrs. Se adapta a la mayoría de los canales auditivos, y evitan que se doble al interior del oído al momento de colocárselo. El color amarillo del tapón ultrafit se muestra en la figura13 permite una fácil visualización y comprobación de uso en los lugares de trabajo.

Figura 14. Tapón ultrafit 3M

Fuente: Ficha técnica tapón ultrafit 3M

Este equipo ofrece un nivel de reducción de ruido para los métodos NRR, HML y SNR diferente al equipo anterior propuesto, los valores provienen de la ficha técnica proporcionada por el fabricante y según el método que se aplique para la selección del mismo de acuerdo a los valores expresados en la tabla 29.

Tabla 29. Atenuación de ruido tapón ultrafit 3M

Modelo	Frec. (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	SNR
Ultrafit	Atenuac. dB	29,2	29,4	29,4	32,2	32,3	36,1	44,3	44,8	32 dB
	Desv. Est. dB	6,0	7,4	6,6	5,3	5,0	3,2	6,0	6,4	

H: 33dB - M: 28dB - L: 25dB

Fuente: Ficha técnica tapón ultrafit 3M

Aplicando la ecuación 17 se calcula la atenuación del equipo de protección del tapón ultrafit como se detalla en la tabla 30.

Tabla 30. Valor de ruido equivalente atenuado tapón ultrafit 3M

Leq (dBA), EPP	NPSd (dB)	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	Leq (dBA), EPP	
	Atenuación EPP	29,4	29,4	32,2	32,3	36,1	44,3	44,8		
	Desviación estandar	6,1	5,8	6,1	4,4	3,9	5,7	4,9		
	Potencias base 10	59	60,2	60,5	62,2	56,8	46,3	36,6	67,1171623	67 dBA

Fuente: Autor

El valor del ruido equivalente se reduce a 67 dBA con el tapón auditivo propuesto, que determinando la diferencia con el valor medido se tiene atenuación de 28 dBA, esto indica que el equipo protege al trabajador la sobreexposición al cual está sometido, sin embargo se debe considerar las condiciones ambientales que podrían afectar el uso del tapón.

Aplicando el método HML para este equipo permitirá tener otro criterio de selección, pero antes se debe determinar los valores de nivel de presión sonora y ruido equivalente en la que muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Valores de nivel de presión sonora área soplado

Area soplado PET								
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
NPS_d (dB)	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	95 dB
Atenuación A	-26	-16	-9	-3	1	-1	-7	
Leq (dBA)	56,3	67,8	77,6	87,1	90	83,9	69,5	92 dB

Fuente: Autor

Se aplica el criterio de diferencia entre el nivel de presión sonora y ruido equivalente NPS y Leq que es > a 2 se procede a aplicar la formula 19 de acuerdo a los datos de atenuación expuesto en la tabla 26.

$$PNR = M - \frac{H - M}{8}\ (L_C - L_A - \ 2)$$

$$PNR = 28 - \frac{33 - 28}{8}\ (95 - 92 - \ 2) = 27\ dB$$

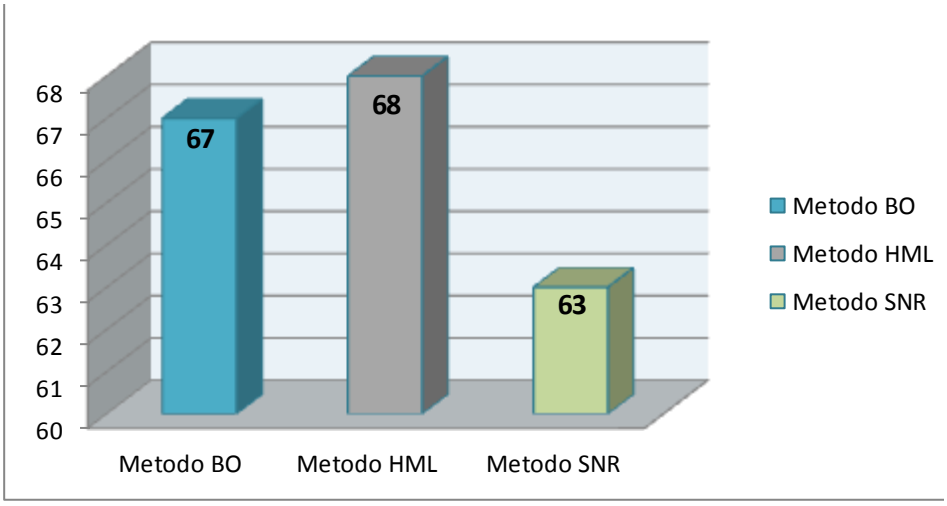
Se determina que la atenuación del equipo es de 28 dB por lo que al calcular la diferencia con el ruido equivalente atenuado se determina una reducción a 68 dB que es un valor aceptable de exposición a ruido según normativa nacional.

Otro criterio que se aplica es el método SNR que emitirá de manera concreta una atenuación del equipo de protección aplicando la ecuación 14 se tiene.

Leq epp= NPS – SNR = 95 – 32 = 63 dBA

El valor recibido por el colaborador en el área será es de 63 dBA que es un rango aceptable de exposición según la normativa.

Figura 15. Comparación de resultados de tapón ultrafit



Fuente: Autor

Comparando los resultados con el primer equipo propuesto se observa que el tapon 3M ultrafit presta una mejor atenuación que la orejera pero difiere por 1 dBA cuando se

compara realizadon con el método HML lo que indica que los dos equipo atenúan especialmente en bandas de media frecuencia.

Equipo de protección 3:

Como otra propuesta de equipo de protección se plantea la utilización de protectores auditivos Jackson Safety H20 reutilizables, este equipo protege a las personas contra riesgos auditivo, son de tipo inserción.

Figura 16. Tapón Jackson Safety H20

Fuente: Ficha técnica tapón Jackson H20

Este equipo ofrece valores de reducción para tres métodos de aplicación NRR, HML y SNR, los valores provienen de la ficha técnica proporcionada por el fabricante Kimberly – Clark según el método que se aplique para la selección del mismo se presentan los valores en la tabla 33.

Tabla 32. Atenuación de ruido tapón Jackson Safety H20

(1) Frequency (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(2) Mean Attenuation (dB)	24,9	24,9	26,6	23,3	30,6	37,6	43,3
(3) Standard Deviation (dB)	4,6	5,2	6,4	4,3	4,9	6,4	7,1
(4) Assumed Protection Value: APV (dB)	20,3	19,7	20,2	19,0	25,7	31,2	36,2
(5) Single Number Rating: SNR = 25dB (α=1)	H = 26 dB; M = 21 dB; L = 20 dB (α=1)						

Fuente: Ficha técnica tapón Jackson Safety H20

Aplicando la ecuación 17 se calcula la atenuación del equipo de protección del tapón Jackson Safety H20 como se detalla en la tabla 33.

Tabla 33. Valor de ruido equivalente atenuado tapón Jackson Safety H20

Leq (dBA), EPP	NPSd (dB)	73,9	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	Leq (dBA), EPP
	Atenuación EPP	24,9	24,9	24,9	26,6	23,3	30,6	37,6	43,3	
	Desviación estandar	4,6	4,6	5,2	6,4	4,3	4,9	6,4	7,1	73,8048494 / 74 dBA

Fuente: Autor

El valor del ruido equivalente se reduce a 74 dBA con el tapón auditivo propuesto, que determinando la diferencia con el valor medido se tiene atenuación de 21 dBA, esto indica que el equipo protege al trabajador la sobreexposición al cual está sometido, sin embargo se debe considerar las condiciones ambientales que podrían afectar el uso del tapón.

Aplicando el método HML para este equipo permitirá tener otro criterio de selección, pero antes se debe determinar los valores de nivel de presión sonora y ruido equivalente en la que muestra en la tabla 28.

Tabla 34. Valores de nivel de presión sonora área soplado

Area soplado PET								
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
NPS_d (dB)	82,3	83,8	86,6	90,1	89	84,9	76,5	95 dB
Atenuación A	-26	-16	-9	-3	1	-1	-7	
Leq (dBA)	56,3	67,8	77,6	87,1	90	83,9	69,5	92 dB

Fuente: Autor

Se aplica el criterio de diferencia entre el nivel de presión sonora y ruido equivalente NPS y Leq que es > a 2 se procede a aplicar la formula 19 de acuerdo a los datos de atenuación expuesto en la tabla 34 .

$$PNR = M - \frac{H - M}{8}\ (L_C - L_A - \ 2)$$

$$PNR = 21 - \frac{26 - 21}{8}\ (95 - 92 - \ 2) = 20\ dB$$

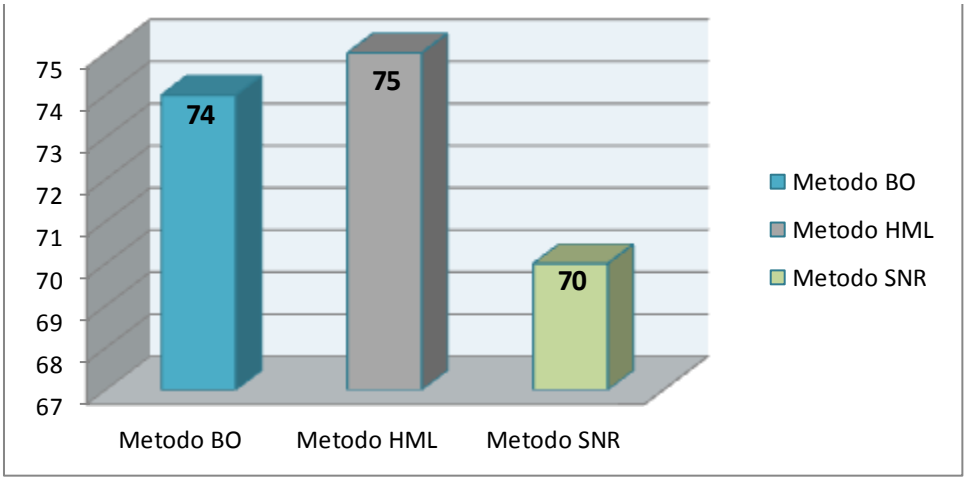
Se determina que la atenuación del equipo es de 20 dB por lo que al calcular la diferencia con el ruido equivalente atenuado se determina una reducción a 75 dB que es un valor aceptable de exposición a ruido según normativa nacional.

Otro criterio que se aplica es el método SNR que emitirá de manera concreta una atenuación del equipo de protección aplicando la ecuación 20 se tiene.

Leq epp= NPS – SNR = 95 – 25 = 70 dBA

El valor recibido por el colaborador en el área será es de 70 dBA que es un rango aceptable de exposición según la normativa.

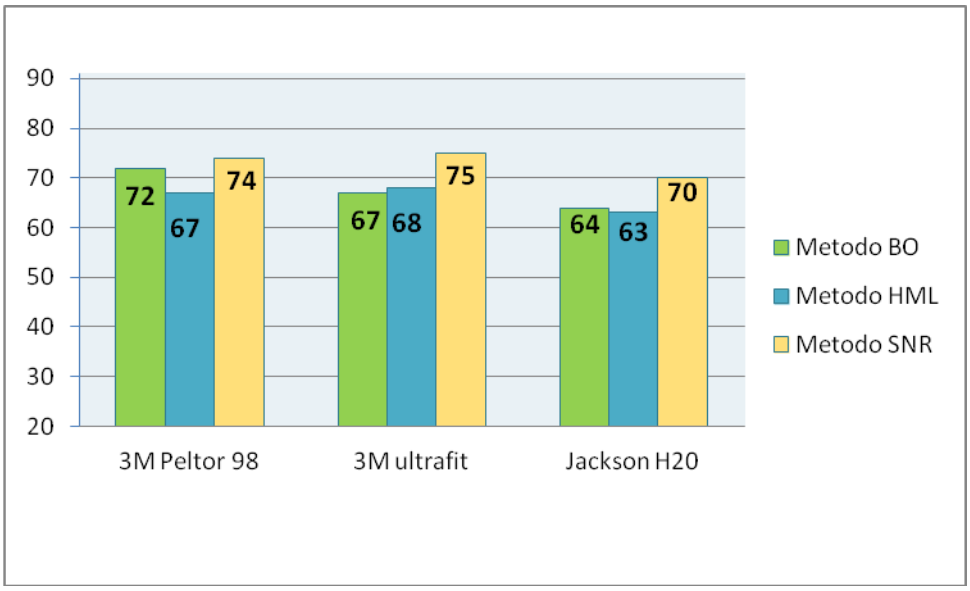
Figura 17. Comparación de resultados de tapón Jackson H20



Fuente: Autor

El valor atuado de este equipo es inferior a las dos antes planteados por lo que se pude procede a hacer una comparación de los 3 equipos propuestos en la figura 16.

Figura 18. Comparación de resultados de 3 equipos de protección



Fuente: Autor

Se puede observar una mayor diferencia de 5 dBA entre la orejera peltor H9 y el tapón ultrafit, dato observado del resultado de la aplicación del método de bandas de octava, sin embargo la diferencia entre los dos tapones no supone una mayor diferencia al menos en la banda de alta frecuencia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

4.1 Conclusiones

- Se determino que el ruido emitido por la sopladora PET no solo afecta al operador de ese equipo sino también a los procesos contiguos.

- El operador de la línea de soplado es el que esta sobreexpuesto a ruido ya que el nivel de ruido medido es de 95 dBA superando el límite permisible según la legislación nacional que es de 85 dBA.

- El equipo de protección orejera peltor 98 ha logrado reducir de 95 a 72 dBA en el área de soplado.

4.2 Recomendaciones

- Dotar inmediatamente de orejeras peltor 98 H9 para reducir el nivel de contaminación por ruido en al área de embotellado de bebidas PET.

- Implementar un programa de vigilancia de la salud auditiva para todos los trabajadores que estén expuestos a ruido que superen el limite permisible según la legislación nacional.

- Evaluar periódicamente la salud auditiva de los operadores expuestos mediante exámenes semestrales de audiometrías.

Bibliografía

AENOR. (2005). *Medición del Aislamiento Acustico de los Edificios y de los Elementos de Construcción.* Madrid: AENOR.

Elicrom. (2015). *Monitoreo de Ruido Ocupacional.* Guayaquil: Elicrom.

Falagán R, M. J. (2005). *Higiene Industrial Aplicada.* Asturias: Graficas Varona.

Harris, C. (1995). *Manual de medidas acústicas y control del ruido.* Madrid: McGraw-Hill.

IESS. (1986). *Reglamento de Seguridad y Salud de los TRabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.* Quito.

IESS. (1990). *Reglamento del Seguro General de Riesgos del Trabajo.* Quito.

INSHT. (2003). *Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos.* Madrid.

INSHT. (2006). *Guía Técnica para la Evaluación y Prevensión de los Riesgos Relacionados con la Exposición de los Trabajadores al Ruido.* Madrid.

Luis, T. (2015). *Desarrollo de Trabajo de Titulación.* Quito.

Mager, S. J. (2001). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.* Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

MAPFRE, F. (2015). *Manual de higiene industrial.* Madrid: Edipack Gráfico.

Paz, J. C. (2013). *Ingeniería Acústica para Estudiantes y Profesores en Higiene y Seguridad.* Argentina: Buschi Express.

Semplades. (2013). *Plan Nacional del buen Vivir.* Quito: Semplades.

Rosa, M. R. (2000). *Ruido Industrial y Urbano.* España: International Thomson Editores Spain Paraninfo S.A.

ANEXOS

ANEXO A: Ficha técnica orejera 3M peltor H9

Fonos 3M™ PELTOR™ H9/OPTIME 98

Ficha Técnica

Descripción

Los protectores auditivos del tipo fono, H9/Optime 98 de 3M™ Peltor™, son fabricados para brindar una efectiva protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los límites establecidos en el Decreto Supremo N° 594, como por ejemplo, 85 dB(A) para exposiciones efectivas a ruido durante 8 hrs.

Este fono cuenta con copas de perfil medio y puntos pivotantes que permiten a los usuarios inclinar y ajustarlas para mayor comodidad y eficiencia. Sus almohadillas rellenas de líquido y espuma plástica mejoran su adherencia a los costados de la cara y disminuyen la transmisión de calor. Su arnés metálico, fabricado en acero inoxidable, distribuye la presión entregando una mayor comodidad y adaptación a las diversas características antropométricas del cráneo. Además, este arnés resiste torceduras y deformaciones, y mantiene constante la presión a lo largo del tiempo, asegurando de esta forma la mantención de la atenuación entregada.

Estos fonos se encuentran disponibles en 2 versiones: **H9A** (copa H520A y arnés superior) y **H9P3E** (copa H520P3 y ajuste para casco).

Atenuación

Los valores medios de atenuación para los fonos H9/Optime 98, según lo establecido en las normas ISO 4869, EN 352 y NCh1331 son los siguientes:

Modelo	Frec. (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	H	M	L	SNR
H9A	Atenuac. dB	16,2	14,6	20,2	32,5	39,3	36,4	34,4	40,2	34 dB	29 dB	20 dB	31 dB
	Desv. Est. dB	1,9	1,6	2,5	2,3	2,1	2,4	4,0	2,3				

Modelo	Frec. (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	H	M	L	SNR
H9P3E	Atenuac. dB	15,1	14,1	19,4	32,0	39,9	36,2	35,4	39,2	34 dB	28 dB	19 dB	30 dB
	Desv. Est. dB	2,1	2,3	2,7	2,7	2,4	2,6	4,4	2,6				

De acuerdo a la norma ANSI S3.19-1974, los valores de reducción de ruido NRR para los diversos modelos son:

H9A : 25 dB H9P3E : 24 dB

Aplicaciones

Los fonos H9/Optime 98 han sido diseñados para aquellos lugares donde, en general, los trabajadores se encuentran expuestos a niveles de ruido cercanos a los 98 dB(A).

No obstante lo anterior, según lo indicado en el Decreto Supremo N° 594, la selección de protección auditiva deberá realizarse de acuerdo a la metodología establecida en la norma chilena NCh1331/4.

Modelos H9/Optime 98

H9A
Arnés Superior
(210 g.)

H9P3E
Para casco
(235 g.)

Garantía

La única responsabilidad del vendedor o fabricante será la de reemplazar la cantidad de este producto que se pruebe ser defectuoso de fábrica. Ante esto, el cliente deberá presentar su inquietud a nuestro call center (600-300-3636), quienes le informaran como proceder según sea el caso (devolución, reembolso, reemplazo, etc.).
Ni el vendedor ni el fabricante serán responsables de cualquier lesión personal pérdida o daños ya sean directos o consecuentes que resulten del uso de este producto.
Antes de usarlo, el usuario deberá determinar si el producto es apropiado para el uso pretendido y el usuario asume toda responsabilidad y riesgo en conexión con dicho uso.

Empaque

Pieza/Bolsa	Bolsa/Caja	Pieza/Caja
1	10	10

ANEXO B: Ficha técnica tapón auditivo 3M ultrafit

Tapones Auditivos 3M™ E-A-R™ Ultrafit ®

Ficha Técnica

Descripción

Los protectores auditivos del tipo tapón reusable E-A-R Ultrafit® de 3M™ E-A-R™, en versiones con o sin cordón, son fabricados con materiales hipoalergénicos, brindan una efectiva e higiénica protección a los trabajadores que se desempeñan en áreas donde los niveles de ruido superan los límites establecidos en el Decreto Supremo N° 594, como por ejemplo, 85 dB(A) para exposiciones efectivas a ruido durante 8 hrs.

Su forma cónica y diseño con triple aleta de alta resistencia permiten una cómoda adaptación del protector a la mayoría de los canales auditivos, y evitan que se doble al interior del oído al momento de colocárselo. El color amarillo del tapón Ultrafit® permite una fácil visualización y comprobación de uso en los lugares de trabajo.

La versión con cordón ha sido diseñada de manera que el cordón se pueda romper en caso de ser atrapado por algún equipo o parte en movimiento.

Aplicaciones

Los tapones auditivos E-A-R Ultrafit® pueden utilizarse en aquellas áreas donde existan niveles de ruido que puedan resultar dañinos para la audición, tales como aquellas existentes en la construcción, manufacturas, minería, agroindustria, entre otros. Los protectores auditivos Ultrafit® están recomendados especialmente para condiciones de trabajo donde exista humedad y/o calor.

Atenuación

Los valores medios de atenuación para los tapones auditivos E-A-R Ultrafit®, según lo establecido en las normas ISO 4869, EN 352 y NCh1331 son los siguientes:

Modelo	Frec. (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	SNR
Ultrafit	Atenuac. dB	29,2	29,4	29,4	32,2	32,3	36,1	44,3	44,8	32 dB
	Desv. Est. dB	6,0	7,4	6,6	5,3	5,0	3,2	6,0	6,4	

SNR = 32dB; H: 33dB - M: 28dB - L: 25dB

De acuerdo a la norma ANSI S3.19-1974, la tasa de reducción de ruido (NRR) es de 25dB

Características

- Altamente ventajosos en ambientes muy ruidosos y/o con ruidos con predominancia en frecuencias graves.
- Confortables en ambientes calurosos y húmedos.
- Compatibles con cascos y lentes.
- Ideales para tener una doble protección fono-tapón.
- Cómodos.

Instrucciones de Ajuste

Para que los tapones entreguen la atenuación indicada, resulta fundamental su buena colocación, de lo contrario, la reducción de ruido indicada se puede ver altamente afectada. Para que esto no ocurra siga las siguientes instrucciones:

1) Lave sus manos con agua y jabón.
2) Pase el cordón de los protectores tras la nuca, dejando que los tapones cuelguen al frente.
3) Pase su mano derecha sobre la cabeza y levante con los dedos la punta de su oreja izquierda hacia arriba y atrás.
4) Con su otra mano, introduzca el tapón hasta el fondo del canal auditivo.
5) Repita la acción, pero esta vez levantando la punta de su oreja derecha, con su mano izquierda sobre la cabeza.

Garantía

La única responsabilidad del vendedor o fabricante será la de reemplazar la cantidad de este producto que se pruebe ser defectuoso de fábrica. Ante esto, el cliente deberá presentar su inquietud a nuestro call center (600-300-3636), quienes le informaran como proceder según sea el caso (devolución, reembolso, reemplazo, etc.).
Ni el vendedor ni el fabricante serán responsables de cualquier lesión personal pérdida o daños ya sean directos o consecuentes que resulten del uso de este producto.
Antes de usarlo, el usuario deberá determinar si el producto es apropiado para el uso pretendido y el usuario asume toda responsabilidad y riesgo en conexión con dicho uso.

Empaque

Pieza/Bolsa	Bolsa/Caja	Pieza/Caja
200	5	1000

ANEXO C: Ficha técnica tapón auditivo Jackson Safety H20

Kimberly-Clark PROFESSIONAL

Ficha Técnica de Producto
Efectiva, Julio 2010

JACKSON SAFETY® H20 Protectores Auditivos

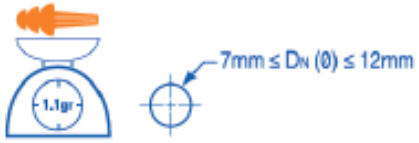
Descripción
Los protectores auditivos Jackson Safety® H20 reutilizables, son ideales para proteger a las personas contra riesgos auditivo. Los protectores auditivos H20 son de tipo inserción y están disponibles con o sin cordón.

Aplicaciones
Los protectores auditivos Jackson Safety® serie H se deben usar en sitios donde el usuario este expuesto a riesgos auditivos. Es muy importante conocer el proceso y los riesgos a los que esta expuesta la persona para poder definir el producto de protección adecuado. A continuación se enuncian algunos ejemplos de aplicaciones y usos:

- Construcción
- Trabajos/procesos con madera
- Metalurgia
- Farmacéuticas
- Industria de alimentos
- Aeronáutica

Características

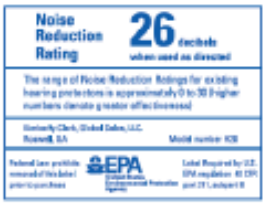
- Cumple con los requerimientos de ANSI S3.19-1974 según el requerimiento de la EPA (NRR 26)
- Cumple con los requerimiento de la norma EN 352-2:2002 con un SNR 25
- Cada protector auditivo tiene un peso aproximado de 1,1 gr
- El protector auditivo tiene un diámetro (D_N) entre 7mm y 12mm



Materiales

- Los protectores auditivos marca Jackson Safety® no contienen látex.
- Hechos en elastómero termoplástico.
- El cordón de los protectores auditivos (30196056) está hecho de DEHP-libre de PVC.

Información de atenuación de ruido de acuerdo al estándar ANSI S3.19-1974



(1) Frequency (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRR
(2) Mean Attenuation (dB)	34.3	35.4	35.6	34.6	37.8	41.2	41.8	45.0	45.6	26
(3) Standard Deviation (dB)	6.1	5.8	6.1	4.4	3.9	5.4	5.7	5.6	4.9	

JACKSON SAFETY Brand

ANEXO C: Coeficiente de absorción acústica

MATERIAL	FRECUENCIA (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Madera	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
Fieltro asbestos (1cm)	---	---	0,35	0,30	0,23	---
Fieltro de pelo y asbestos	---	---	0,38	0,55	0,46	---
Fieltros sobre pared (3 cm)	0,13	0,41	0,56	0,69	0,65	0,49
Corcho (3 cm)	0,08	0,08	0,30	0,31	0,28	0,28
Corcho perforado y pegado a la pared	0,14	0,32	0,95	0,9	0,72	0,65
Tapices	0,14	0,35	0,55	0,75	0,70	0,60
Ladrillo visto	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Enlucido de yeso sobre ladrillo	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Idem. Sobre cemento	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03
Enlucido de cal	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Paneles de madera	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
Alfombra sobre cemento	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Celotex (22 mm)	0,28	0,30	0,45	0,51	0,58	0,57
Celotex (16 mm)	0,08	0,18	0,48	0,63	0,75	---
Vidrio	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Placas perforadas de material poroso	0,44	0,57	0,74	0,93	0,75	0,76