



Serie Proyectos de Investigación e Innovación

Superintendencia de Seguridad Social
Santiago - Chile

INFORME FINAL

Ruido en la industria metalmeccánica: exposición de los trabajadores y control de fuentes

Juan R. Chávez
2020





SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD SOCIAL

SUPERINTENDENCE OF SOCIAL SECURITY

La serie Proyectos de Investigación e Innovación corresponde a una línea de publicaciones de la Superintendencia de Seguridad Social, que tiene por objetivo divulgar los trabajos de investigación e innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades del Trabajo financiados por los recursos del Seguro Social de la Ley 16.744.

Los trabajos aquí publicados son los informes finales y están disponibles para su conocimiento y uso. Los contenidos, análisis y conclusiones expresados son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente la opinión de la Superintendencia de Seguridad Social.

Si requiere de mayor información, sobre el estudio o proyecto escriba a: investigaciones@suseso.cl.

Si desea conocer otras publicaciones, artículos de investigación y proyectos de la Superintendencia de Seguridad Social, visite nuestro sitio web: www.suseso.cl.

The Research and Innovation Projects series corresponds to a line of publications of the Superintendence of Social Security, which aims to disseminate the research and innovation work in the Prevention of Occupational Accidents and Illnesses financed by the resources of Law Insurance 16,744.

The papers published here are the final reports and are available for your knowledge and use. The content, analysis and conclusions are solely the responsibility of the author (s), and do not necessarily reflect the opinion of the Superintendence of Social Security.

For further information, please write to: investigaciones@suseso.cl.

For other publications, research papers and projects of the Superintendence of Social Security, please visit our website: www.suseso.cl.

Superintendencia de Seguridad Social
Huérfanos 1376
Santiago, Chile.

Informe final Proyecto de Investigación Código 227-2018

Ruido en la industria metalmecánica: exposición de los trabajadores y control de fuentes

Investigador: Juan R. Chávez M.
Ingeniero Acústico.

Coinvestigador: Fernando A. Alvarado. G
Ingeniero Civil Acústico.

FUNDACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA - ACHS
Santiago 2020

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2018 de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile) y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica (FUCYT-ACHS), con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.

Contenido

1	RESUMEN	7
2	INTRODUCCIÓN	9
3	OBJETIVOS.....	10
3.1	Objetivo general.....	10
3.2	Objetivos específicos.....	10
4	ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	11
4.1	Antecedentes.....	11
4.1.1	Industria metalmecánica	11
4.1.2	Fuentes emisoras de ruido en la industria metalmecánica	11
4.2	Marco Teórico.....	21
4.2.1	Conceptos de higiene ocupacional	21
4.2.2	Conceptos acústicos	23
4.2.3	Nivel de ponderación sonora continuo equivalente A (NPSeq).....	23
4.2.4	Nivel de presión sonora Peak (NPS peak).....	24
4.2.5	Bandas de frecuencias	24
4.2.6	Banda de octava	25
4.2.7	Banda de tercio de octava.....	25
4.2.8	Reverberación.....	25
4.2.9	Tiempo de reverberación.....	25
4.2.10	Modelación acústica.....	25
4.2.11	CadnaR.....	26
5	MATERIALES Y METODOLOGIA	27
5.1	Análisis estadístico	27
5.2	Selección de empresas.....	27
5.3	Instrumentación utilizada	28
5.4	Mediciones en terreno	28
5.4.1	Mediciones fuentes de ruido.....	28

5.4.2	Mediciones de tiempo de reverberación y características constructivas	28
5.4.3	Modelación de niveles de presión sonora (CadnaR)	29
6	RESULTADOS	31
6.1	Base de datos	31
6.1.1	Grupo de exposición similar, GES	32
6.1.2	Fuentes de ruido	34
6.1.3	Medidas de control	35
6.2	Trabajo en terreno en empresas seleccionadas	37
6.2.1	Medición de fuentes de ruido	37
6.2.2	Tiempo de reverberación y características constructivas	38
6.3	Modelación de propagación.	39
7	ANÁLISIS	49
7.1	Grupos de exposición similar, GES	49
7.2	Comparación de fuentes de ruido de la base de datos y de mediciones en terreno	50
7.3	Fuentes de ruido de la base de datos	52
7.3.1	Esmeril angular	53
7.3.2	Soldadora	56
7.3.3	Torno	57
7.3.4	Prensa	58
7.3.5	Sierra huincha	59
7.3.6	Taladro	60
7.3.7	Pistola de aire comprimido	61
7.3.8	Mazo metálico	62
7.3.9	Guillotina	63
7.3.10	Grúa horquilla	64
7.3.11	Corte con oxicorte y plasma	65
7.3.12	Tronzadora	66
7.4	Fuentes de ruido medidas en terreno	66

7.4.1	Esmeril Angular.....	67
7.4.2	Soldadora	75
7.4.3	Torno	78
7.4.4	Prensa	80
7.4.5	Sierra huincha.....	82
7.4.6	Taladro	83
7.4.7	Pistola de aire comprimido	85
7.4.8	Mazo metálico.....	88
7.4.9	Guillotina.....	90
7.4.10	Grúa horquilla	91
7.4.11	Corte con oxicorte y plasma	95
7.4.12	Tronzadora.....	97
7.5	Modelaciones	98
8	MEJORAS Y SOLUCIONES.....	100
8.1	Discos desbaste con esmeril angular 4 ½” de menor emisión sonora	100
8.2	Variación de parámetros en procesos de soldadura	103
8.3	Mazo de nylon y mesa de trabajo con sistema amortiguado	104
8.4	Pistola con menor emisión de ruido para soplado con aire comprimido	106
8.5	Barreras acústicas	107
8.6	Pantalla móvil traslúcida	110
8.7	Encierro de tronzadora	112
8.8	Encierro de cabina de grúa horquilla	113
8.9	Modelación de soluciones	114
8.9.1	Soluciones muestra N°1.....	118
8.9.2	Soluciones muestra N°2.....	119
8.9.3	Soluciones muestra N°3.....	121
8.9.4	Soluciones muestra N°4.....	123
8.9.5	Soluciones muestra N°5.....	125

8.9.6	Soluciones muestra N°6.....	126
8.9.7	Soluciones muestra N°7.....	127
8.9.8	Soluciones muestra N°8.....	128
8.9.9	Soluciones muestra N°9.....	130
8.9.10	Soluciones muestra N°10.....	131
9	CONCLUSIONES.....	133
9.1	Grupo de exposición similar, GES.....	133
9.2	Fuentes de ruido.....	133
9.3	Medidas de control	134
9.3.1	Discos de desbaste de 4 ½" con tecnología de menor emisión sonora	134
9.3.2	Variación de parámetros en procesos de soldadura	135
9.3.3	Mazo de nylon y mesa de trabajo con sistema amortiguado	135
9.3.4	Pistola con menor emisión de ruido para soplado con aire comprimido.....	135
9.3.5	Barreras acústicas móviles.....	136
9.3.6	Pantalla móvil traslúcida.....	136
9.3.7	Encierro de tronzadora.....	136
9.3.8	Encierro de cabina de grúa horquilla	136
9.4	Modelación de soluciones.....	137
9.5	Corolario.....	138
10	BIBLIOGRAFÍA	140

1 RESUMEN

Estudios revelan que entre los años 1995 y 2004 se duplicó el número estimado de personas afectadas por hipoacusia neurosensorial a nivel mundial, sobre todo en países industrializados (“Guía de atención integral basada en la evidencia para hipoacusia Neurosensorial inducida por ruido en el lugar de trabajo”, República de Colombia). En esta misma línea, el Sistema Automatizado de Información en Salud Ocupacional del Ministerio de Salud, mostró que entre 1997 y 2000, el primer lugar de los diagnósticos de ingreso correspondía a enfermedades del órgano de la audición, con un 38%. Además, según indica la Sociedad Chilena de Otorrinolaringología, la hipoacusia es una de las primeras causas de discapacidad producida por enfermedad profesional en nuestro país, debido a que el 30% de la población trabajadora está expuesta a niveles de ruido que provocan daño auditivo irreparable.

Este proyecto tiene como propósito determinar, mediante el análisis de la información contenida en las diversas evaluaciones cuantitativas realizadas por la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) a empresas del rubro de metalmecánica, mejoras oportunas en las condiciones de exposición a ruido, relacionadas a las actividades operativas del proceso productivo y sus respectivas calificaciones de riesgo según se establece en el PREXOR. Junto a lo anterior, se establecen las características de emisión sonora de las principales fuentes de ruido involucradas en las actividades desarrolladas, para así generar medidas de control de tipo técnico ingenieril que presenten altos grados de impacto en la reducción de la exposición a dicho agente contaminante. Igualmente, se busca efectuar la comprobación in situ de la efectividad de algunas medidas de control que en teoría presentarían un alto poder de mejora en las condiciones de exposición a ruido.

Se concluye que no existen GES que presenten, de manera integral, exposiciones bajo 80 dB(A), por lo tanto, que se puedan considerar sin riesgo de adquirir sordera profesional. Por el contrario, es muy importante señalar que los GES Soldador, Operador de Grúa de Horquilla, Operador Oxicorte/Plasma, Operador Guillotina, Pulidor, Operador de Granallado, Operador de Cilindrado y Operador Punzonadora,

presentaron todas sus exposiciones sobre 80 dB(A), y su primer cuartil en y sobre 85 dB(A), razón por la que se propone dejar en discusión, la pertinencia de continuar efectuando evaluaciones en estos GES, con la intención de orientar los esfuerzos, principalmente, al control de la exposición.

Las fuentes que en todas sus caracterizaciones produjeron niveles de ruido sobre 80 dB(A) corresponden a: esmeril angular, pistola con aire comprimido, mazo metálico, guillotina y tronzadora, encontrándose, además, que en todas ellas se identificaron emisiones superiores a 105 dB(A); se destaca el esmeril angular, ya que presenta una incidencia muy superior al resto, caracterizada casi en 300 oportunidades en los informes técnicos analizados.

Finalmente, se comprueba la efectividad en la implementación de medidas de control como: uso de discos de desbaste para esmeril angular con tecnología de menor emisión sonora, la variación en los parámetros de soldadura MIG, el uso de mazo de nylon en conjunto con mesones de trabajo con sistema amortiguado, el uso de pistolas de aire comprimido con menor emisión de ruido para tareas de limpieza de superficies y máquinas, la segregación de espacios de trabajo mediante barreras acústicas, el uso de pantalla traslúcida móvil en tareas con esmeril angular, el encierro de máquinas tronzadoras y el encierro de cabinas de grúas horquilla.

2 INTRODUCCIÓN

La sordera ocupacional o Hipoacusia NeuroSensorial Laboral (HNSL) es una de las primeras causas de discapacidad producida por una enfermedad profesional. Durante el año 2018, las enfermedades audiológicas presentaron uno de los porcentajes más altos de calificación laboral, alcanzando el 60% del universo de denuncias realizadas¹ por hombres y el 19% por mujeres. Junto a esto, durante el año 2016, el rubro industrial presentó una de las mayores incidencias de enfermedades profesionales, con una tasa de 0,23 por cada 100 trabajadores protegidos por el Seguro Ley N°16744, lo que representa un aumento de 0,2 puntos base respecto a la tasa del 2015 (0,21)². Se destaca el rol de la Asociación Chilena de Seguridad y la presencia con que cuenta en empresas de este rubro, donde el 2018 alcanzó al 42% del total de trabajadores protegidos por el Seguro Ley N°16744.

Uno de los principales rubros en donde existe exposición ocupacional a ruido, corresponde a la industria de metalmecánica, razón por la cual la SUSESO ha establecido ahí los CIU³ focos para desarrollar evaluaciones de exposición ocupacional a ruido durante el año 2018; esto es acorde con la gran cantidad de evaluaciones que la ACHS efectúa a este tipo de empresas.

Esta investigación aportará antecedentes y recomendaciones para la prevención del riesgo de adquirir HNSL asociada a la exposición a ruido para puestos de trabajo en esta industria y representa la base para, a futuro, ampliar el estudio a otros rubros del sector productivo y para el desarrollo de evaluaciones cualitativas del agente ruido. Además, se elaborará una guía para expertos en prevención o higienistas en formación, en cuanto a los resultados esperados de las evaluaciones de este tipo y la generación de medidas de control, pudiendo entregar indicaciones atinentes de forma temprana y oportuna.

¹ Estadística de Seguridad Social, Informe Anual 2018, SUSESO

² Estadística de Seguridad Social, Informe Anual 2016, SUSESO

³ Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Identificar los Grupos de exposición similar, sus niveles de exposición a ruido, tareas operativas que estos desarrollan, principales fuentes de ruido y definir medidas de control para la prevención de la HNSL asociada a la exposición a ruido en la industria metalmeccánica.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar patrones de exposición de los trabajadores involucrados en los procesos productivos.
- Caracterizar las principales fuentes de ruido con que deben interactuar.
- Determinar, de manera eficiente y eficaz, medidas de control que permitirán reducir los efectos nocivos que estas generan, ya sea en la forma de intervención en los procesos, los recintos y ambientes laborales o mediante el cambio en la tecnología.

4 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

4.1 Antecedentes

4.1.1 Industria metalmeccánica

La industria metalmeccánica se dedica a la transformación mecánica y física del metal, modificando así su forma o naturaleza con el fin de generar productos destinados a: materias primas en procesos industriales y a la fabricación de máquinas, equipos y herramientas.

En la industria metalmeccánica los procesos se dividen principalmente en fundición, mecanizado y abrasión.

- **Fundición:** Es el proceso de cambio de estado sólido a líquido para la unión de piezas o conformación de compuestos más complejos. En este proceso se utilizan maquinarias como: hornos, mazos metálicos, entre otros.
- **Mecanizado:** Es una fabricación que comprende un conjunto de operaciones para conformación de piezas metálicas, mediante la extracción de material ya sea por arranque de viruta o por abrasión. Estas operaciones se realizan mediante maquinarias como: tornos, fresadora, entre otros.
- **Abrasión:** Es la eliminación de material desgastando la pieza en pequeñas cantidades. Para esta tarea se utiliza principalmente esmeriles angulares de distintas dimensiones.

4.1.2 Fuentes emisoras de ruido en la industria metalmeccánica

Todo elemento, maquinaria, equipo, herramienta, acción u otro, que en su interacción con trabajadores, tengan una importancia higiénica, es decir con NPS iguales o mayores a 80 dB (A) medidos a la altura del oído más expuesto.

4.1.2.1 Esmeril angular

Es una herramienta manual que es impulsada por un motor, que mueve una cabeza de engranajes en un ángulo recto, en el cual está montado un disco abrasivo o un disco de corte los cuales pueden ser reemplazados cuando se desgastan. Los

esmeriles angulares típicamente tienen un protector ajustable para su operación con cualquiera de las dos manos. Ciertos esmeriles angulares, dependiendo de su rango de velocidad, sirven como lijadoras utilizando un disco de lija con una almohadilla de apoyo^[4].

Existen esmeriles angulares con alimentación eléctrica y a batería cuya diferencia entre motores se describe a continuación:

Motor eléctrico: Generador de ruido complejo, debido a las vibraciones de sus componentes y al flujo turbulento del aire de refrigeración. El ruido en los motores eléctricos puede clasificarse en tres principales categorías: magnéticos, mecánico y aerodinámico ^[16].

Motor a batería: Motor libre de mantenimiento debido a la producción de energía sin carbones, la cual produce menos fricción y temperatura que los motores de corriente continua.

4.1.2.2 Soldadora

Herramienta diseñada para realizar uniones en diferentes materiales como, por ejemplo: acero, acero inoxidable, acero galvanizado y aluminio. Esta máquina consiste en una fuente de poder de corriente continua, un soplete, una puesta en tierra y un regulador de presión de gas. Existen diferentes tipos de soldaduras que se describirán a continuación.

4.1.2.3 Sistema MIG (Metal Inert Gas)

Es el proceso de soldadura, donde la fusión, se produce debido al arco eléctrico, que se forma entre un electrodo y la pieza a soldar.

Este sistema consiste en una fuente de poder de voltaje constante, un alimentador de micro alambre, cilindro de gas de protección (gas recomendable argón o uno de dos o tres componentes), un regulador con flujómetro para gas inerte, antorcha para soldadura MIG y un cable con pinzas de trabajo

En la soldadura MIG, un electrodo de metal alimentado continuamente se funde formando un baño de fusión a velocidad constante y controlada. El alambre se

conecta a un polo de voltaje constante, mientras la pieza a trabajar se conecta al otro polo. Cuando se alimenta el alambre éste toca la pieza a trabajar, formando un arco eléctrico. Este arco funde el alambre que es depositado en la pieza que se está trabajando.

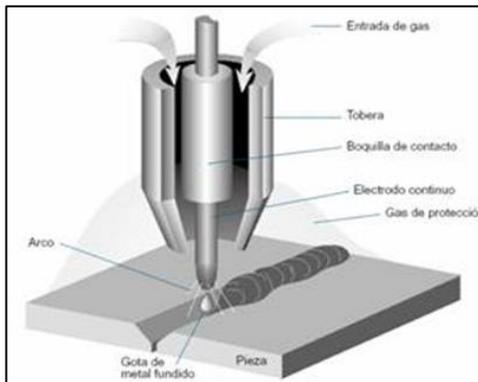


Figura 1. Proceso de soldadura MIG



Figura 2. Soldadura MIG

4.1.2.4 Sistema TIG (Tungsten Inert Gas)

Es un sistema de soldadura al arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo y tungsteno no combustible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte.

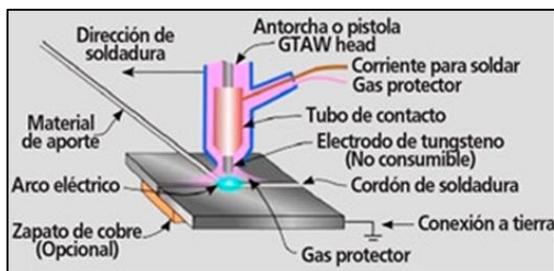


Figura 3. Proceso de soldadura TIG.



Figura 4. Soldadura TIG.

4.1.2.5 Sistema al arco

Este sistema funciona mediante una corriente eléctrica (ya sea corriente alterna o corriente continua), donde se forma un arco eléctrico entre el metal a soldar y el electrodo utilizado, produciendo la fusión de éste y su depósito sobre la unión soldada. Los electrodos suelen ser de acero suave, y están recubiertos con un material fundente que crea una atmósfera protectora que evita la oxidación del metal fundido y favorece la operación de soldeo.

La polaridad de la corriente eléctrica afecta la transferencia de calor a las piezas unidas. Normalmente el polo positivo (+) se conecta al electrodo, aunque, para soldar materiales muy delgados, se conecta al electrodo el polo negativo (-) de una fuente de corriente continua.

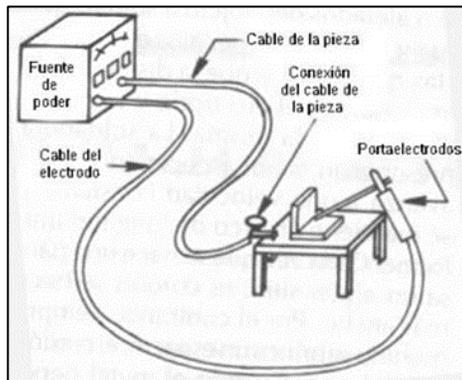


Figura 5. Proceso de soldadura al arco.



Figura 6. Soldadura al arco.

4.1.2.6 Torno

Máquinas que permiten roscar, cortar, agujerear, cilindrar y ranurar piezas metálicas de forma geométrica por revolución; operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o también llamado chuck fijada entre los puntos de centraje) mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas. Existen tornos convencionales y CNC (Control Numérico Computarizado), los cuales tienen diferencias que se describen a continuación

Torno convencional

Solo un operario por cada máquina

Menor producción

Se necesita mayor agilidad y destreza

Mayores factores de riesgo

Mecanizado cónico o esféricos en mayor tiempo



Figura 7. Torno Convencional.

Torno CNC

Un operario puede manipular varias máquinas

Mayor producción

Perfección en el mecanizado

Garantiza mejor bienestar al operador

Mecanizado según la geometría de la piezas en menor tiempo



Figura 8. Torno CNC.

4.1.2.7 Tronzadora

Es una herramienta eléctrica que sirve para cortar materiales metálicos principalmente. Corta por abrasión mediante disco de 14 pulgadas y permite realizar cortes rectos y en ángulo sobre perfiles, tubos, varillas u otros^[5].



Figura 9. Tronzadora.

4.1.2.8 Grúa horquilla

Equipo mecánico destinado para levantar, sostener y transportar cargas de gran tamaño, existiendo modelos para diferentes tonelajes.

Esta maquinaria utiliza unas horquillas, ubicadas en la parte frontal del montacargas, accionadas hidráulicamente por medio de unos cilindros, con funcionamiento a gas, eléctricas y diésel.

4.1.2.9 Mazo metálico (golpes)

Herramienta de mano parecida a un martillo que sirve para golpear o percutir piezas, principalmente con la finalidad de aplanarlas o enderezarlas.

Consta de un mango y una cabeza perpendicular a este, se fabrican de plástico, aunque también se encuentran/producen de madera o de algún metal barato y resistente ^[6].



Figura 10. Mazo metálico.

4.1.2.10 Guillotina

Es una máquina que funciona en forma similar a una tijera, donde los filos de ambas cuchillas de la guillotina se juntan presionando sobre la superficie a cortar hasta que vencen la resistencia de la superficie a la tracción, rompiéndola y separándola en dos. El borde cortado por cizallamiento se presenta irregular. La presión necesaria para realizar el corte se obtiene ejerciendo palanca entre un brazo fijo que se coloca en la parte inferior y otro que es el encargado de subir y bajar ejerciendo la presión.



Figura 11. Guillotina.

4.1.2.11 Prensa excéntrica

También llamada prensa mecánica o prensadora, es una máquina que, a través de un volante de inercia, acumula energía y la transmite por vía mecánica (prensa de revolución total) o neumática (prensa de revolución parcial) a un troquel o matriz.

Estas prensas están diseñadas para trabajos de corta carrera u operaciones de alta velocidad. Vienen equipadas con protectores a modo de carcasa metálica para evitar accidentes por atrapamientos. Su accionamiento y regulación puede ser manual y por control numérico, siendo esta última opción la más frecuente, ya que optimiza y agiliza el proceso de producción.

4.1.2.12 Prensa hidráulica

Es un mecanismo que está formado por vasos comunicantes impulsados por pistones de diferentes áreas que, mediante pequeñas fuerzas permite obtener otras mayores. Los pistones son hidráulicos, los que hacen funcionar conjuntamente a las prensas hidráulicas por medio de motores.



Figura 12. Prensa Excéntrica.



Figura 13. Prensa Hidráulica.

4.1.2.13 Taladro de pedestal

Es un taladro fijo en posición vertical, que está sujeto mediante una columna y cuenta con una base donde se apoya la pieza a taladrar.

Su sistema permite sujetar la pieza y así realizar trabajos de gran precisión, ejerciendo una presión uniforme durante todo el proceso.

Su principal función consiste en hacer agujeros y cortes en cualquier tipo de material, ya que este tipo de taladro es uno de los taladros perforadores más potentes.

Mediante un motor que impulsa el husillo por medio de un par de poleas que corren alrededor de una cinta, la cual es altamente resistente

Esta máquina está formada por un cabezal o cuerpo del taladro, palanca de penetración, mecanismo de velocidades, porta broca o mandril, broca, columna del taladro, escala o mecanismo de graduación de profundidad. ^[13]



Figura 14. Taladro de pedestal.

4.1.2.14 Sierra huincha

Es una herramienta a pedal o eléctrica que posee una banda metálica dentada, flexible, larga y estrecha. La banda se desplaza sobre dos ruedas que se encuentran en el mismo plano vertical con un espacio entre ellas. Estas sierras pueden ser utilizadas en los trabajos de carpintería en madera y carpintería metálica, así como también para cortar diversos materiales, siendo muy útiles en el corte de formas irregulares.



Figura 15. Sierra huincha.

Se compone de un bastidor, en forma de cuello de cisne, soportando dos volantes equilibrados y superpuestos en un mismo plano vertical y sobre los cuales se encierran una hoja de sierra sinfín llamada cinta.

4.1.2.15 Pistola de soplado de aire comprimido (limpieza)

Este instrumento utiliza aire comprimido sometido a presión por medio de un compresor y lo expulsa a alta velocidad, utilizado en la industria metalmecánica principalmente para realizar limpieza de máquinas o áreas de trabajo.

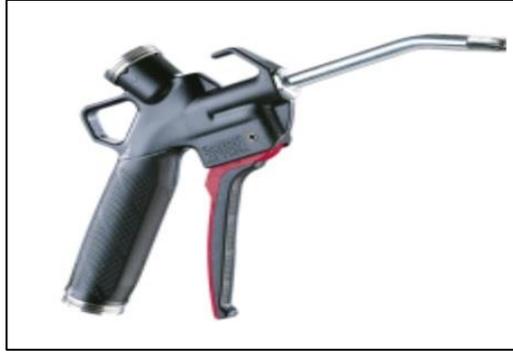


Figura 16. Pistola de soplado de aire comprimido.

4.2 Marco Teórico

4.2.1 Conceptos de higiene ocupacional

4.2.1.1 Decreto Supremo N°594

El 15 de septiembre de 1999 se aprueba el Decreto Supremo N° 594 que se titula “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo” del Ministerio de Salud.

Se crea bajo la necesidad de actualizar las disposiciones vigentes destinadas a velar porque en los lugares de trabajo existan condiciones sanitarias y ambientales que resguarden la salud y el bienestar de las personas que allí se desempeñan.

Este reglamento establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, sin perjuicio de la reglamentación específica que se haya dictado o se dicte para aquellas faenas que requieren condiciones especiales.

Establece, además, los límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y físicos, y aquellos límites de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

En lo que respecta a ruido ocupacional, este reglamento posee un apartado específico en el Título IV, “De la Contaminación Ambiental”; Párrafo III, “De los Agentes Físicos –Del Ruido”, Artículos 70 al 82.

4.2.1.2 Exposición ocupacional a ruido

Exposición ocupacional de los trabajadores a sonidos de procesos productivos, producto del desarrollo de sus actividades laborales ^[1].

4.2.1.3 Puesto de trabajo

Actividades que realizan los trabajadores durante un tiempo, de tal manera que el trabajador permanece relativamente estacionario en relación con su lugar de trabajo^[2].

4.2.1.4 Grupo de exposición similar, GES

Grupo de trabajadores asignados a puestos de trabajo o tareas similares que están expuestos de forma análoga a fuentes de ruido semejantes y a niveles similares ^[18].

4.2.1.5 Protocolo de exposición ocupacional a ruido, PREXOR

El Ministerio de Salud entrega las directrices para la elaboración, aplicación y control de los programas de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos al agente ruido y de los ambientes de trabajo desarrollados por los administradores de la Ley N° 16.744, en todos los rubros en que haya presencia de este agente, con la finalidad de aumentar la población bajo control y mejorar la eficiencia y oportunidad de las medidas de control en los lugares de trabajo, evitando de esta forma el deterioro de la salud de los trabajadores, como asimismo, disponer de los procedimientos que permitan detectar precozmente a los trabajadores con problemas en su audición debido a la exposición ocupacional a ruido, disminuyendo así la incidencia y prevalencia de la HNSL.

4.2.1.6 Criterio de acción

En el marco del PREXOR existe el Criterio de Acción, que es el valor de Dosis de Ruido el cual, si es excedido dará lugar a la implementación inmediata de medidas de control técnicas y/o administrativas, destinadas a disminuir la exposición ocupacional a ruido del trabajador ^[15].

4.2.1.7 Evaluaciones de ruido ocupacional

Las evaluaciones de ruido ocupacional son realizadas por distintos organismos, tanto públicos como privados, que buscan determinar el grado de exposición a ruido de los trabajadores en sus lugares de trabajo ^[14].

4.2.2 Conceptos acústicos

4.2.2.1 Ruido

Sonido molesto, que produce daño o que interfiere en la transmisión, percepción o interpretación de un sonido útil [1].

4.2.2.2 Decibel (dB)

Es una unidad logarítmica utilizada para expresar la relación entre dos valores, por ejemplo: presión sonora, voltaje, potencia eléctrica y otros.

4.2.2.3 Ponderación A

Está establecido y aceptado internacionalmente utilizar el Nivel de Presión Sonora (NPS) ponderado A, el cual toma en cuenta, al menos en ciertas medidas, la sensibilidad del oído humano. El valor dBA se mide utilizando un filtro cuya respuesta de frecuencia se puede observar en la Figura 17. Como se ve en la Figura 17, las frecuencias bajas y altas tienen más desviación que las frecuencias medias sobre el valor dBA, debido a que son percibidas con menos intensidad por el oído humano.

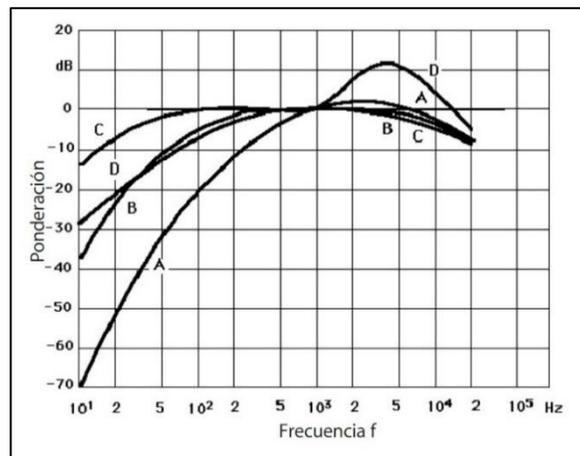


Figura 17. Curvas de ponderación A, B, C y D.

4.2.3 Nivel de ponderación sonora continuo equivalente A (NPSeq)

Nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A, que en el mismo intervalo de tiempo contiene la misma energía total que el ruido medido [1].

Corresponde al descriptor adoptada por la legislación vigente para evaluar la exposición de los trabajadores al ruido considerado estable o fluctuante en los ambientes de trabajo

4.2.4 Nivel de presión sonora Peak (NPS peak)

Nivel de presión sonora instantánea máxima, expresado en decibeles C, durante un intervalo de tiempo establecido. Se usa el descriptor C ya que representa de mejor manera la respuesta del oído humano a altos NPS. No se debe confundir con NPS_{máx}, ya que este es el máximo valor eficaz (no instantáneo) en un periodo dado [1].

4.2.5 Bandas de frecuencias

El espectro de un ruido se define como la representación de la distribución de la energía sonora en función de la frecuencia. Sonómetros integradores-promediadores y dosímetros personales pueden, además de entregar el NPS global, entregar el NPS por bandas de octavas o por bandas de tercio de octava. En la Figura 18 se muestra un ejemplo de espectro sonoro medido en bandas de octavas.

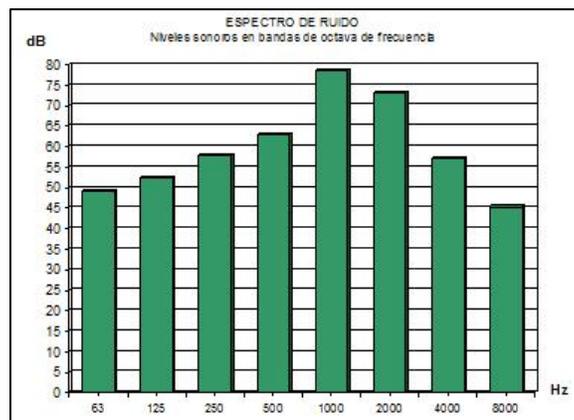


Figura 18. Espectro de ruido; Niveles sonoros medidos en bandas de octava.

4.2.6 Banda de octava

Es un filtro que permite el paso de componentes de frecuencia que están dentro de su ancho de banda, o acotado a una frecuencia inferior y superior. Una octava es un intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya razón de frecuencia es 2. Por ejemplo, desde 1000 Hz a 2000 Hz.

4.2.7 Banda de tercio de octava

Es una banda de frecuencia que corresponde a la tercera parte de una octava, es decir, tres bandas adyacentes de tercio de octava corresponden a una banda de octava.

4.2.8 Reverberación

Es el fenómeno acústico que representa la persistencia del sonido en un espacio total o parcialmente cerrado, después de que la fuente de sonido ha cesado; la persistencia es el resultado del reflejo repetido y/o la dispersión.

4.2.9 Tiempo de reverberación

Tiempo que se requiere para que un sonido se propague por una sala y decrezca una vez que la fuente emisora se ha apagado; comúnmente se utiliza la medición de tiempo transcurrido cuando el sonido decae 60 dB, y se denomina como T_{60} o TR.

4.2.10 Modelación acústica

Es un modelo digital de ruido que se realiza para cualquier espacio abierto o cerrado. Esta modelación acústica estima numéricamente y gráficamente los niveles de presión sonora obtenidos producto de la propagación de las ondas sonoras de interés, los cuales se puede comparar referencialmente con los límites máximos permitidos en normas legales vigentes. También permitirá determinar la necesidad de aplicar medidas de control de ruido y establecer el impacto acústico de distintas configuraciones de recintos.

4.2.11 CadnaR

Software utilizado para predecir, calcular y evaluar la propagación del sonido dentro de salas y lugares de trabajo. Esta herramienta con sus distintas características y configuraciones, cubre la gama de aplicaciones de acústica en interiores, desde medidas de reducción del nivel de ruido en plantas de producción hasta optimizar habitaciones bajo parámetros psicoacústicos.

5 MATERIALES Y METODOLOGIA

5.1 Análisis estadístico

Se desarrolló un análisis descriptivo de las evaluaciones cuantitativas de exposición ocupacional a ruido, en empresas cuyo CIIU están asociadas al rubro metalmecánica, efectuadas por los especialistas de higiene industrial de la zona centro de la ACHS, con la que se creó una base de datos con la información recolectada de los informes técnicos que son registrados en SAP, considerando: puestos de trabajo, tareas que desarrollan, niveles de exposición, fuentes de ruido, sus niveles de emisión y medidas técnicas de control.

Adicionalmente, se identificó que había un número de empresas pertenecientes a la industria de metalmecánica, pero que tenían un CIIU distinto al de este rubro, razón por la que finalmente se analizaron todos los informes técnicos de ruido registrados desde el año 2015 al año 2018, aumentando así el número de empresas para este estudio a 164 y el número de informes técnicos a 203.

5.2 Selección de empresas

En relación con la actividad señalada anteriormente, se seleccionó un conjunto de 38 empresas en las cuales se efectuaron mediciones acústicas asociadas a la caracterización de fuentes de ruido. Esta selección se realizó considerando el tiempo del proyecto destinado a esta etapa, priorizando aquellas empresas que presentaran el mayor número de fuentes de ruido identificadas en el análisis de los informes técnicos, a fin de maximizar la cantidad de caracterizaciones individuales.

Posteriormente, en relación con la disposición de las empresas para continuar con la realización de mediciones en terreno, se consideró un subgrupo de 10 muestras (centros de trabajo), en el que se realizaron levantamientos de características constructivas y de tiempos de reverberación para realizar las modelaciones acústicas.

5.3 Instrumentación utilizada

Para el análisis de los informes técnicos asociados a la presente investigación, se dispuso de notebook con acceso a la plataforma SAP de ACHS.

Para la caracterización de las fuentes de ruido en terreno, se utilizó sonómetro marca 01dB, modelo Fusion, con su respectivo calibrador marca 01dB, modelo CAL31.

Para el desarrollo de los distintos levantamientos arquitectónicos, se dispuso de medidor laser de distancias.

Para la medición del tiempo de reverberación, se utilizó sonómetro marca 01 dB, modelo Fusion, cargado con módulo para edificios, y una pistola a fogeo como fuente de ruido impulsivo.

Finalmente, para la realización de modelamiento computacional de soluciones se utilizó el Software CadnaR.

5.4 Mediciones en terreno

5.4.1 Mediciones fuentes de ruido

Con el apoyo de las 38 empresas seleccionadas para la presente investigación, se efectuaron mediciones en terreno de las fuentes de ruido denominadas como habituales en la base de datos. Para cada fuente, la medición se efectuó por un tiempo de 1 minuto, a la altura del oído del trabajador y consideró la medición del NPSeq, tanto en banda ancha, para posteriormente efectuar una comparación con los NPSeq de la base de datos, como en bandas de octava, con la intención de realizar una caracterización sonora más detallada tendiente, entre otras cosas, a diseñar medidas de control más eficientes

5.4.2 Mediciones de tiempo de reverberación y características constructivas

En cada una de las 10 empresas consideradas en esta etapa, se efectuó un levantamiento de sus características constructivas y mediciones de su tiempo de reverberación.

Para el levantamiento de sus características constructivas, se efectuaron mediciones de las dimensiones del recinto, incluyendo las fuentes de ruido y cualquier otro elemento que pudiese influir en la acústica del local, además de la descripción de la materialidad de sus superficies y tipo de recinto (cerrado, abierto o semicerrado).

Para las mediciones del tiempo de reverberación, se utilizó el Método de Respuesta Impulsiva propuesto en norma ISO 3382-2.

5.4.3 Modelación de niveles de presión sonora (CadnaR)

Cada uno de los modelos fue calibrado ajustando el coeficiente de absorción⁴ de los materiales que los componen, hasta obtener el mismo tiempo de reverberación medido in situ. Una vez finalizado el ajuste, se procedió a determinar el nivel de presión sonora sobre una malla de cálculo posicionada a 1.65 m del suelo (altura promedio de la población chilena), simulando las emisiones de las fuentes de ruido.

Las principales fuentes de ruido que se consideraron para las modelaciones correspondieron a las existentes en cada centro de trabajo, entre ellas; esmeriles angulares con discos de distintas dimensiones (4 ½", 7" y 9"), equipos de soldadura MIG, tornos convencionales, golpes con mazos metálicos, cortes por plasmas y oxicorte, guillotinas, etc.

Cada modelo correspondió a un mapa acústico isófono, el que clasificó los sectores con diferencias de 2 dB(A) de nivel de presión sonora global. Lo anterior permitió identificar los sectores más críticos de cada centro de trabajo.

De los distintos métodos de predicción sonora que dispone CadnaR, se utilizó el de Partículas, ya que, al considerar la cantidad de fuentes involucradas en los cálculos, este es el que posee la mejor relación entre precisión y velocidad de cálculo. Este método emite aleatoriamente una gran cantidad de "partículas de sonido" desde

⁴ Se define el coeficiente de absorción de un material como la relación entre la energía que absorbe y la energía de las ondas sonoras que inciden sobre él por unidad de superficie

cada ubicación de origen en todas las direcciones de la sala. Este método es aplicable a cualquier forma de recinto y obstáculos presentes dentro del mismo.

6 RESULTADOS

6.1 Base de datos

Como se señaló en 5.1, con los 203 IT recopilados, se confeccionó una base de datos constituida por 3 tablas, las cuales se detallan a continuación:

- Tabla 1: contiene la información de la empresa correspondiente al nombre, ID de la actividad, N° sucursal y GES (Grupos de Exposición Similar) evaluados, indicando para cada uno de ellos: descripción de las tareas, N° de trabajadores que lo conforman, nivel de presión sonora continuo equivalente en dB(A) y dosis de ruido asociada.

Tabla 1. Identificación principal de empresa y procesos.

ID Actividad	BP Sucursal	Nombre Empresa	GES	Tareas de GES	N° TxG	NPSeq dB(A)	DRD	Nivel de Riesgo

- Tabla 2: incluye la información de las fuentes de ruido medidas, correspondiente al Nivel de Presión Sonoro Continuo Equivalente, NPSeq, en dB(A) y en dB(C).

Tabla 2. Identificación principal de fuentes de ruido.

Nombre Empresa	Fuente de Ruido	NPSeq (dB(A))	NPSeq (dB(C))

- Tabla 3: compila las medidas de control que fueron prescritas para cada empresa

Tabla 3. Identificación de medidas de control prescritas.

Nombre Empresa	Área/Proceso	Medida de Control

Del análisis de la base de datos señalada anteriormente, se identificaron un total de 989 evaluaciones de GES, 1688 caracterizaciones de fuentes de ruido y 724 prescripciones de medidas de control.

6.1.1 Grupo de exposición similar, GES

Del análisis de la Tabla 1, se contabilizó un total de 989 evaluaciones de GES, identificándose 21 GES calificados como habituales, dado que se encontraron en al menos 4 Informes Técnicos.

Los 21 GES habituales, identificados y homologados se presentan en el Gráfico 1, donde además se indica el respectivo número evaluaciones efectuadas.

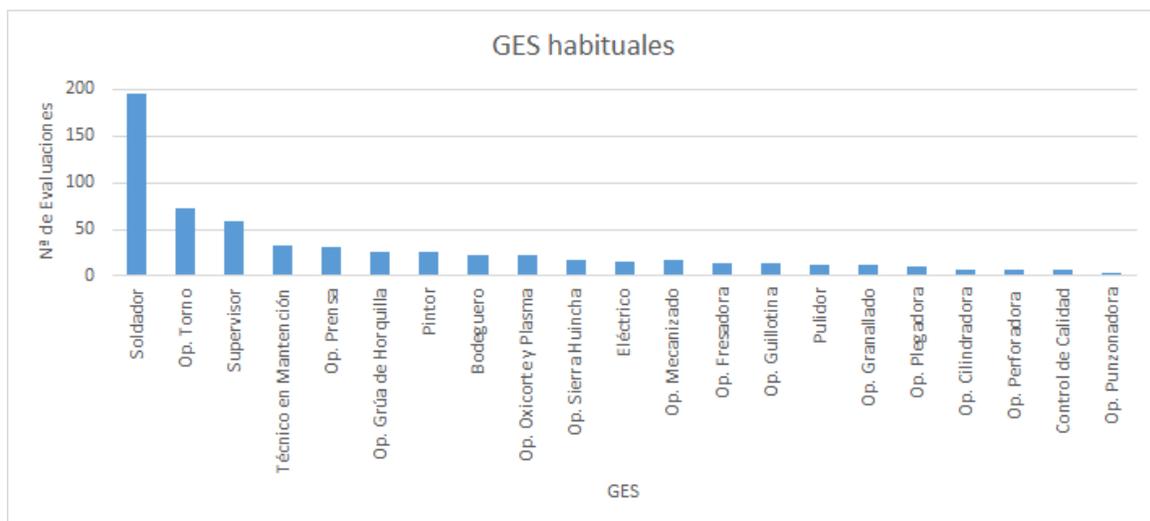


Gráfico 1. Grupos de Exposición Similar habituales y sus incidencias.

En el Gráfico 2 se observa la dispersión y simetría de NPSeq para los GES, donde cada uno de estos está representado por un diagrama compuesto de una caja rectangular y dos líneas. El orden de presentación de estas cajas se correlaciona con la leyenda en sentido de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

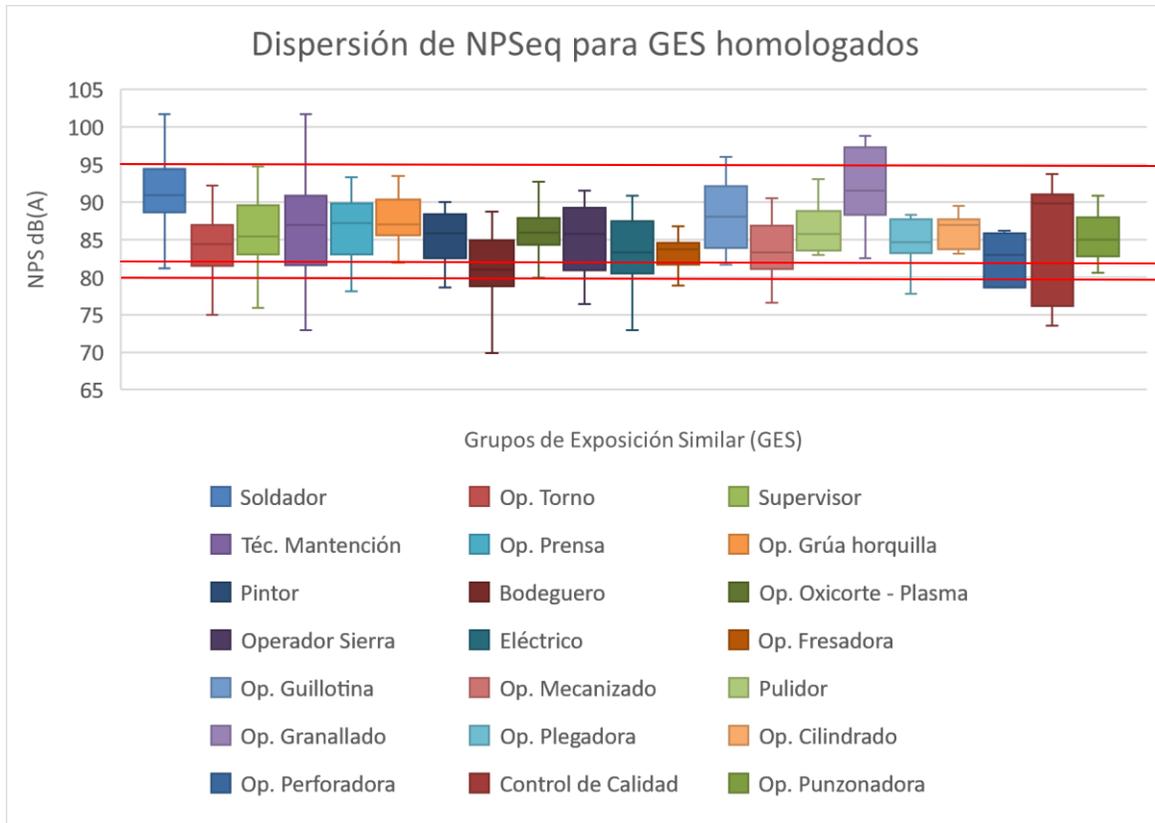


Gráfico 2. Dispersión de NPSeq para GES homologados.

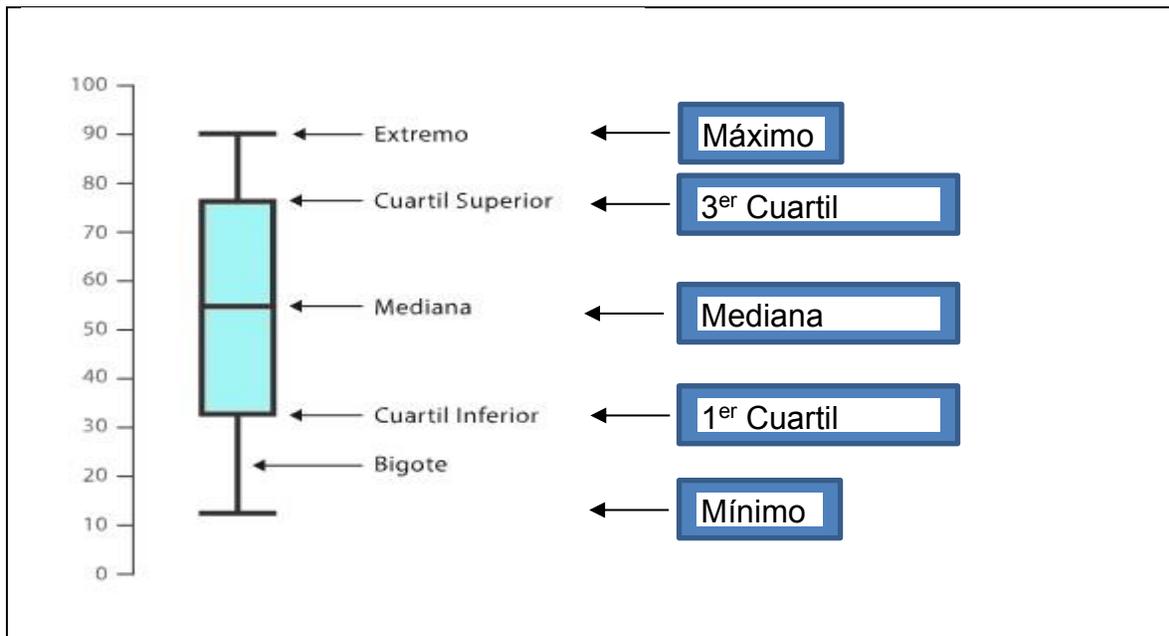


Gráfico 3. Lectura para gráfico de caja y bigote.

Entre el primer y tercer cuartil se posicionan el 50% de las observaciones, el 25% restante se posiciona entre el valor mínimo y el primer cuartil y el otro 25% se posiciona entre el tercer cuartil y el valor máximo, mientras que la mediana representa al valor central, el cuál es el valor que divide la serie de observaciones en partes iguales. La extensión de la caja y la distancia entre los valores máximos y mínimos entregan una referencia de la dispersión de las observaciones.

6.1.2 Fuentes de ruido

Del análisis de la Tabla 2, se contabilizó un total de 1688 caracterizaciones de fuentes de ruido, identificándose 12 fuentes de ruido calificadas como habituales, dado que se caracterizaron en al menos 18 oportunidades.

Las fuentes de ruido habituales, identificadas y homologadas, se presentan en el Gráfico 4, donde además se indica el respectivo número de caracterizaciones efectuadas. Los NPS asociados a las fuentes identificadas, y sus distribuciones, se presentan en el Gráfico 5.

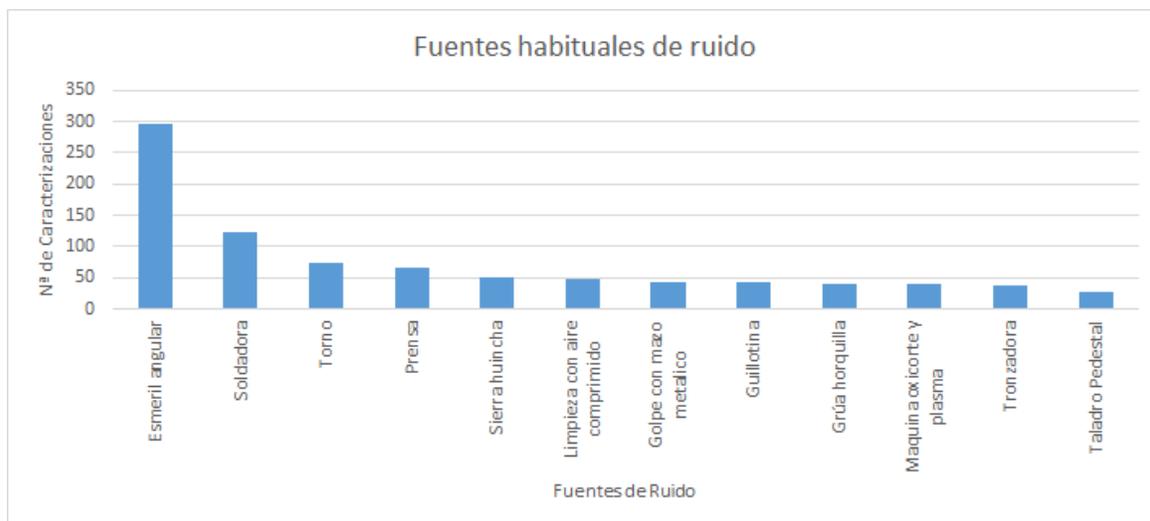


Gráfico 4. Fuentes de ruido habituales

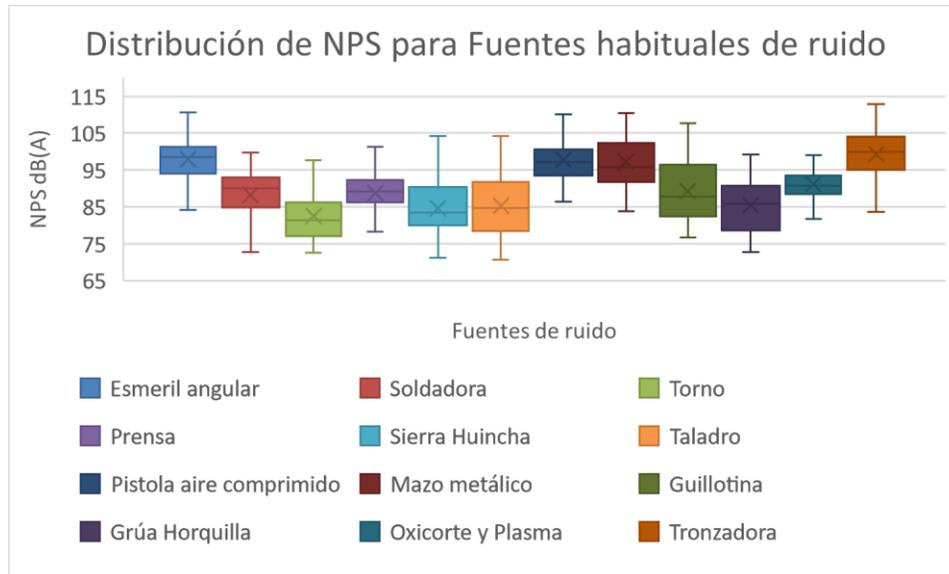


Gráfico 5. Distribución de NPS para fuentes de ruido identificadas en Base de datos

6.1.3 Medidas de control

Del análisis de la Tabla 3, se contabilizó un total de 642 prescripciones de medidas de control, identificándose 12 medidas calificadas como habituales, dado que se prescribieron en al menos 10 Informes Técnicos (IT).

Las medidas de control más habituales, identificadas y homologadas se describen a continuación y se presentan en el Gráfico 6, donde además se indica el respectivo número prescripciones efectuadas.

- Encierro acústicos para máquinas, puestos de trabajo y para grúa horquilla.
- Barreras acústicas móviles/biombos.
- Discos traslapados o laminados flap para desbaste.
- Instalación de material elastómero en las superficies de metal como mesones y bandejas.
- Boquillas con silenciadores para limpieza con aire comprimido
- Pantalla traslúcida móvil.
- Martillo con cabeza de goma.
- Segregación por reordenamiento de Layout.
- Uso de máquina cortadora de plasma u oxicorte automatizadas
- Sierra huincha en reemplazo de tronzadora eléctrica

- Usar máquina cortadora de plasma u oxicorte automatizadas.
- Separación de ambientes mediante lamas de PVC.
- Utilización de herramientas eléctricas que posean características según norma EN60745.
- Sierra huincha en reemplazo de tronadora eléctrica.

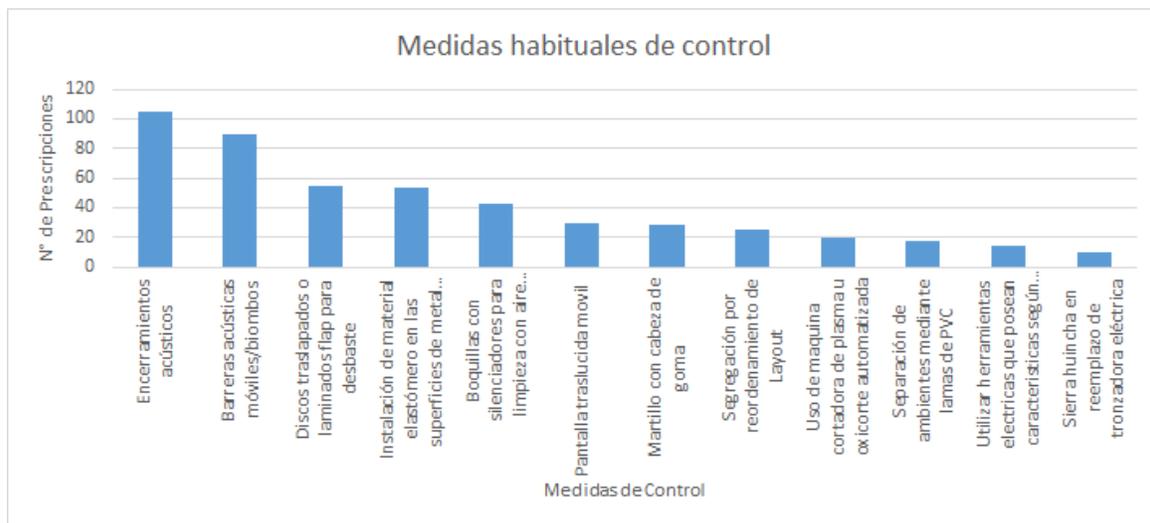


Gráfico 6. Medidas de control habituales y sus incidencias en IT

6.2 Trabajo en terreno en empresas seleccionadas

6.2.1 Medición de fuentes de ruido

A continuación, en el Gráfico 7, se presentan los resultados correspondientes a los NPSeq en banda ancha de las fuentes medidas en terreno y consideradas como habituales.

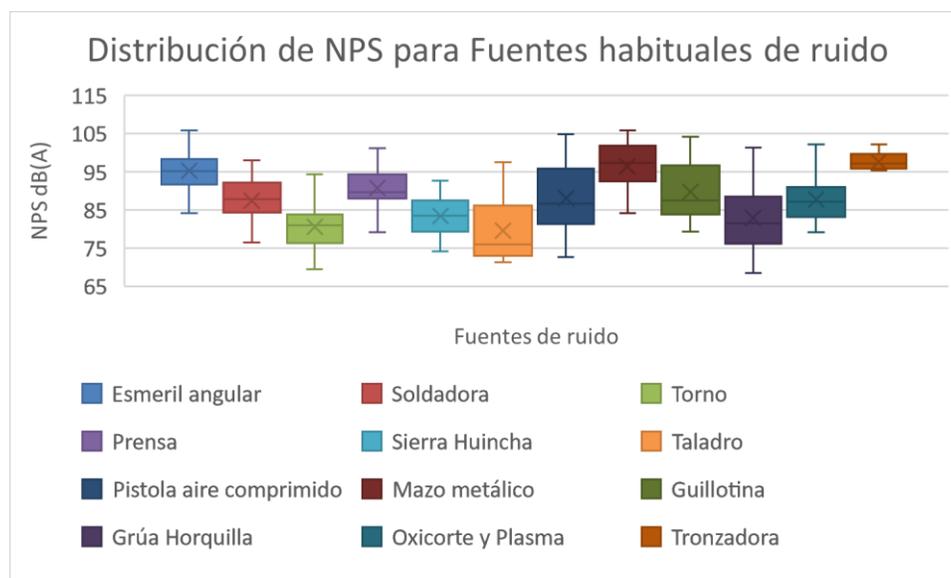


Gráfico 7. Distribución de NPS para fuentes de ruido medidas en terreno

Resultados más específicos, en relación con los distintos procesos que puede desarrollar cada fuente habitual de ruido, se encuentran en 7.2, Análisis, para facilitar la comprensión del texto.

De manera similar, debido a la gran cantidad de caracterizaciones efectuadas en bandas de octava de las fuentes habituales de ruido, los respectivos resultados, correspondientes al 50% de las muestras para cada fuente y/o proceso, se presentarán en el análisis.

6.2.2 Tiempo de reverberación y características constructivas

La Tabla 4 presenta, para cada una de las 10 muestras o empresas seleccionadas, sus características constructivas, como materialidad, volumen, tipo de recinto (cerrado, semicerrado, abierto) y los tiempos de reverberación medidos según lo señalado en 5.4.2.

Tabla 4. Características constructivas y tiempos de reverberación

Muestra	Piso	Techo	Paredes	Volumen (m ³)	TR (s)	Tipo de recinto
1	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado	2880	3,27	Semicerrado
2	Hormigón	Zinc ranurado	Ladrillo	1140	1,08	cerrado
3	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado	190620	3,41	Semicerrado
4	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado y ladrillo	56368	2,38	Cerrado
5	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado	6526	2,47	Cerrado
6	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado y ladrillo	7996	1,73	Semicerrado
7	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado	24528	1,76	Semicerrado
8	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado	32048	1,66	Semicerrado
9	Hormigón	Zinc ranurado	Yeso cartón	3238	1,42	Cerrado
10	Hormigón	Zinc ranurado	Zinc ranurado	24103	1,65	Semicerrado

6.3 Modelación de propagación.

La calibración para el desarrollo del modelo en CadnaR, se realizó de acuerdo a las mediciones de tiempo de reverberación, efectuadas según lo mencionado en la metodología de trabajo del punto 5.4.3.

De esta forma, se efectuaron los mapas de ruido isofónicos para cada una de las 10 empresas (muestras), identificándose los sectores donde se producen los mayores niveles de presión sonora y en donde, posteriormente, se analizaron alternativas para disminuir la exposición ocupacional a ruido de los trabajadores que se desempeñan en estos lugares.

En las Figuras 20 a 29 se presentan las modelaciones de los mapas de ruido en cada una de las 10 muestras, considerando la totalidad de las fuentes de ruido en funcionamiento simultáneo.

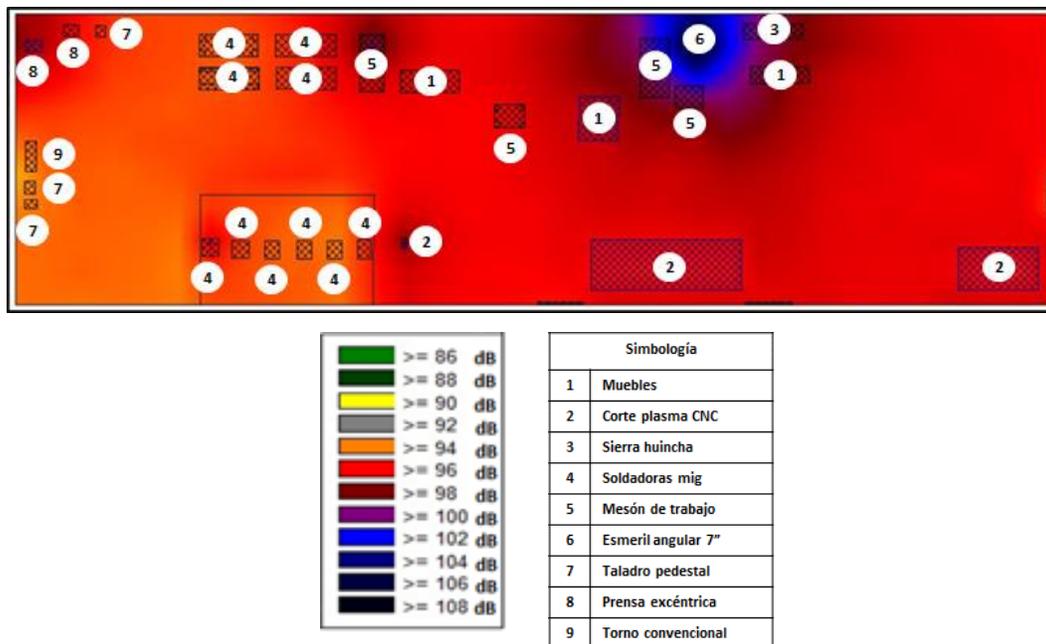


Figura 19. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 1.

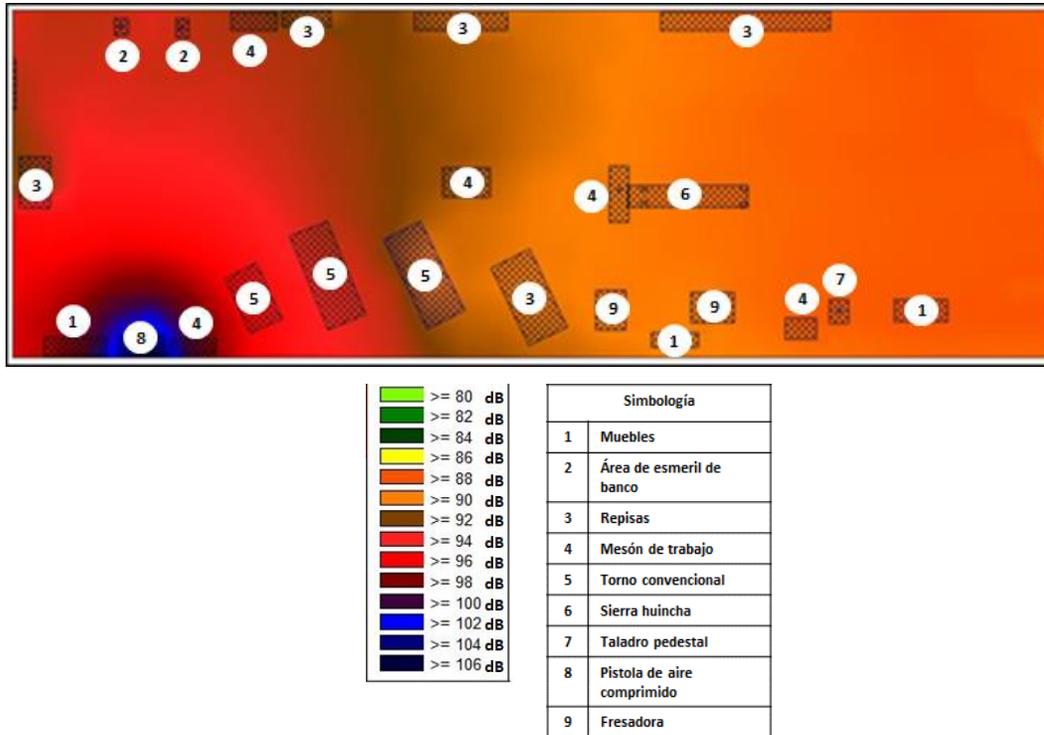


Figura 20. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 2.

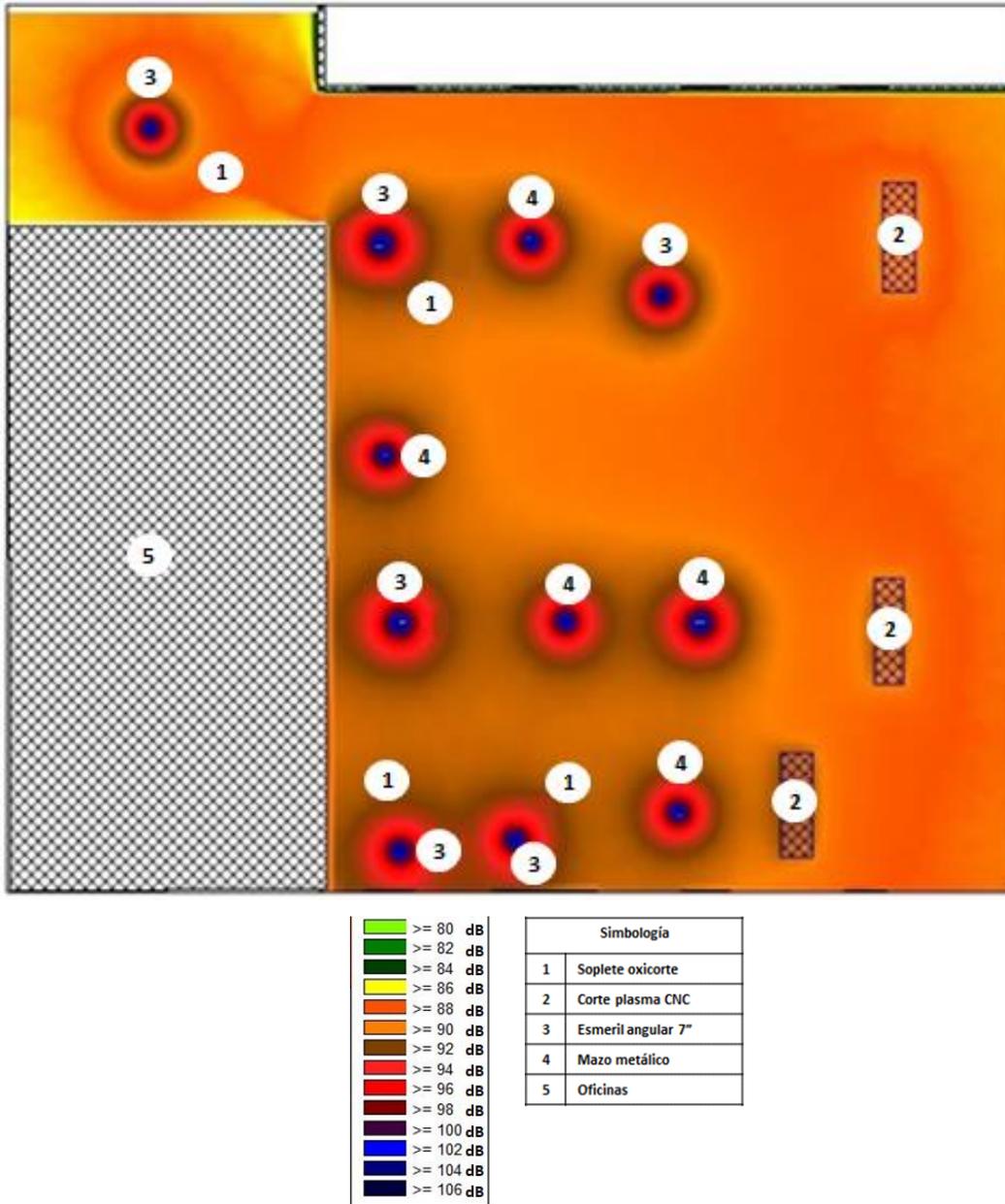


Figura 21. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 3.

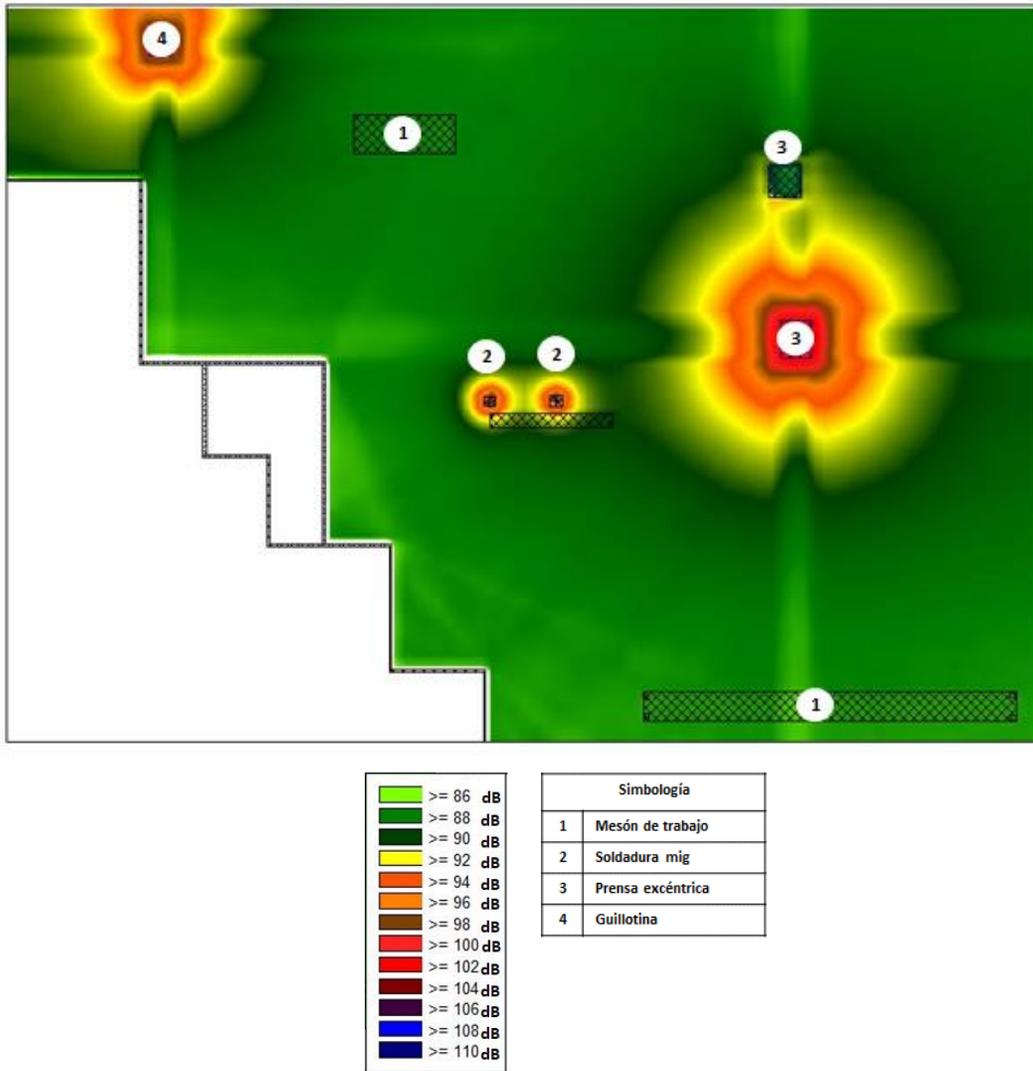


Figura 22. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 4.

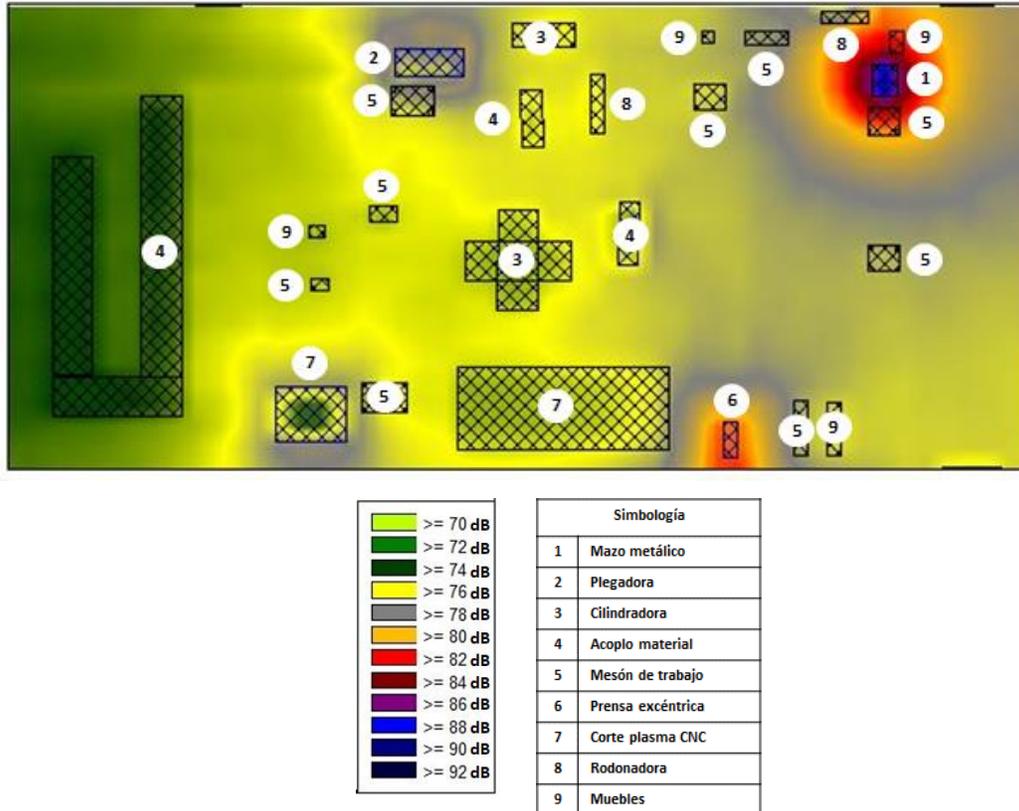


Figura 23. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 5.

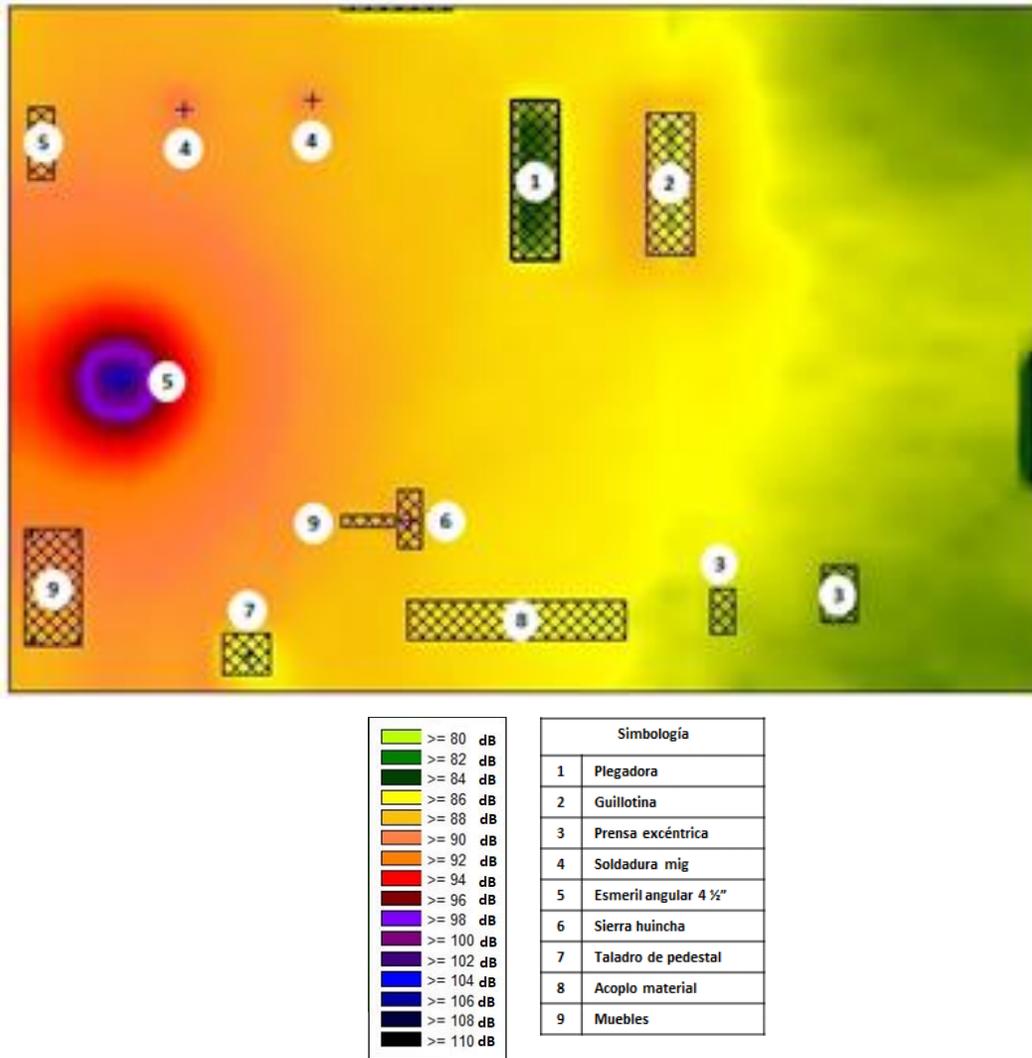


Figura 24. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 6.

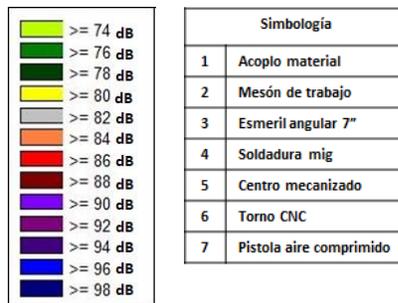
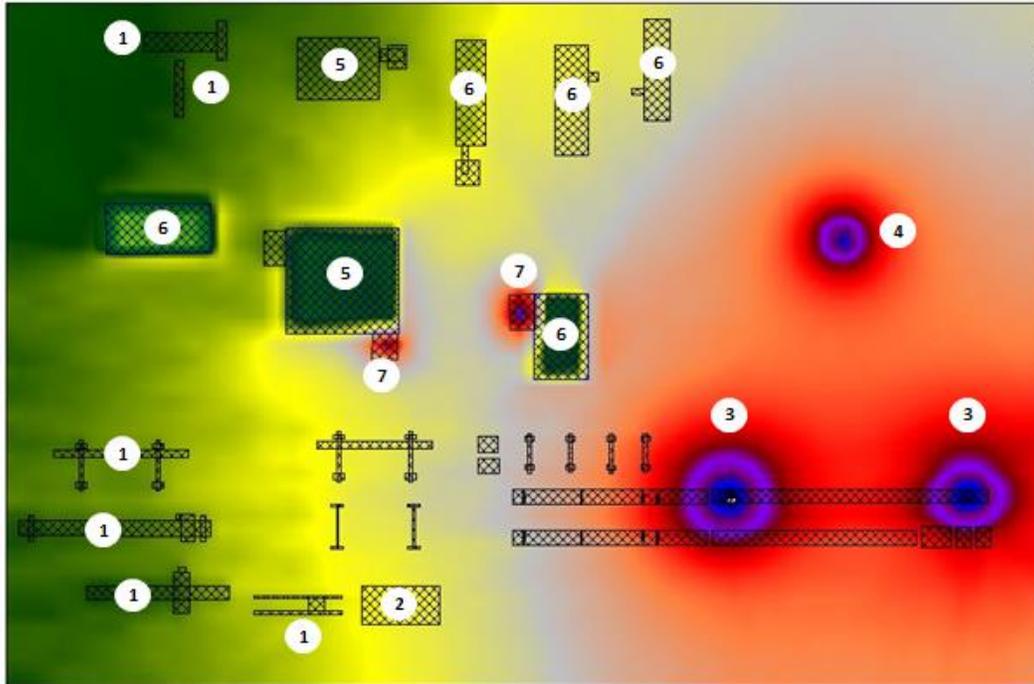
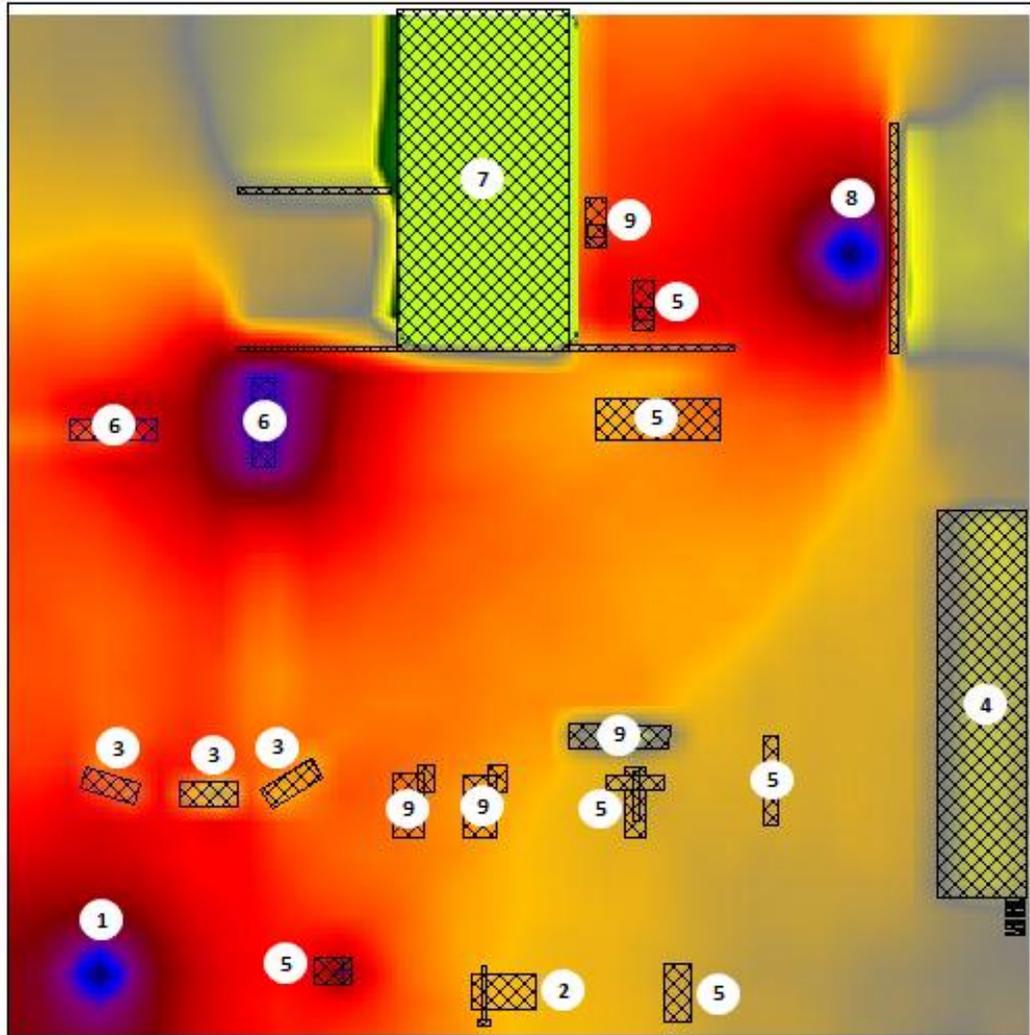


Figura 25. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 7.



>= 85	dB	Simbología	
>= 87	dB	1	Esmeril angular 4 1/2"
>= 89	dB	2	Esmeril de banco
>= 90	dB	3	Prensa excéntrica
>= 92	dB	4	Oficina
>= 94	dB	5	Mesón de trabajo
>= 96	dB	6	Guillotina
>= 98	dB	7	Bodega
>= 100	dB	8	Soldadura mig
>= 102	dB	9	Acoplo materiales
>= 104	dB		
>= 106	dB		

Figura 26. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 8.

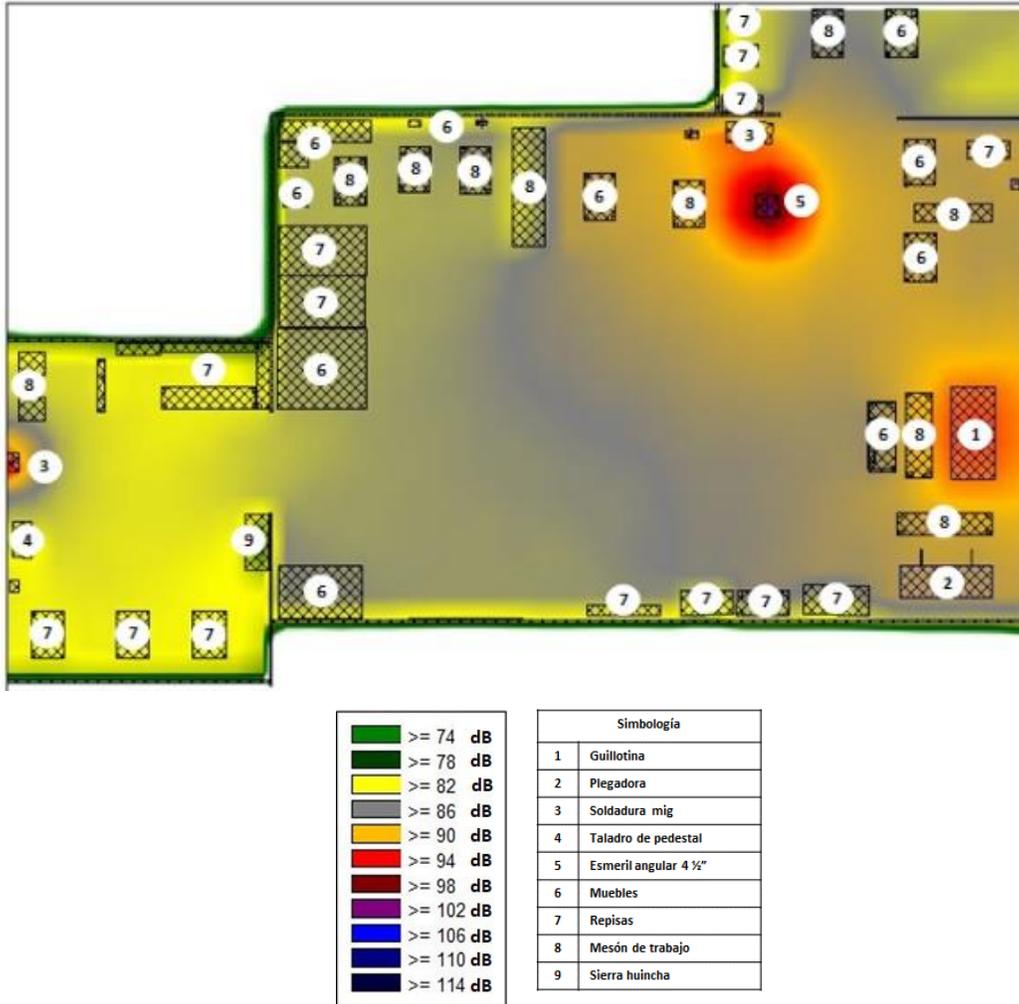


Figura 27. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 9.

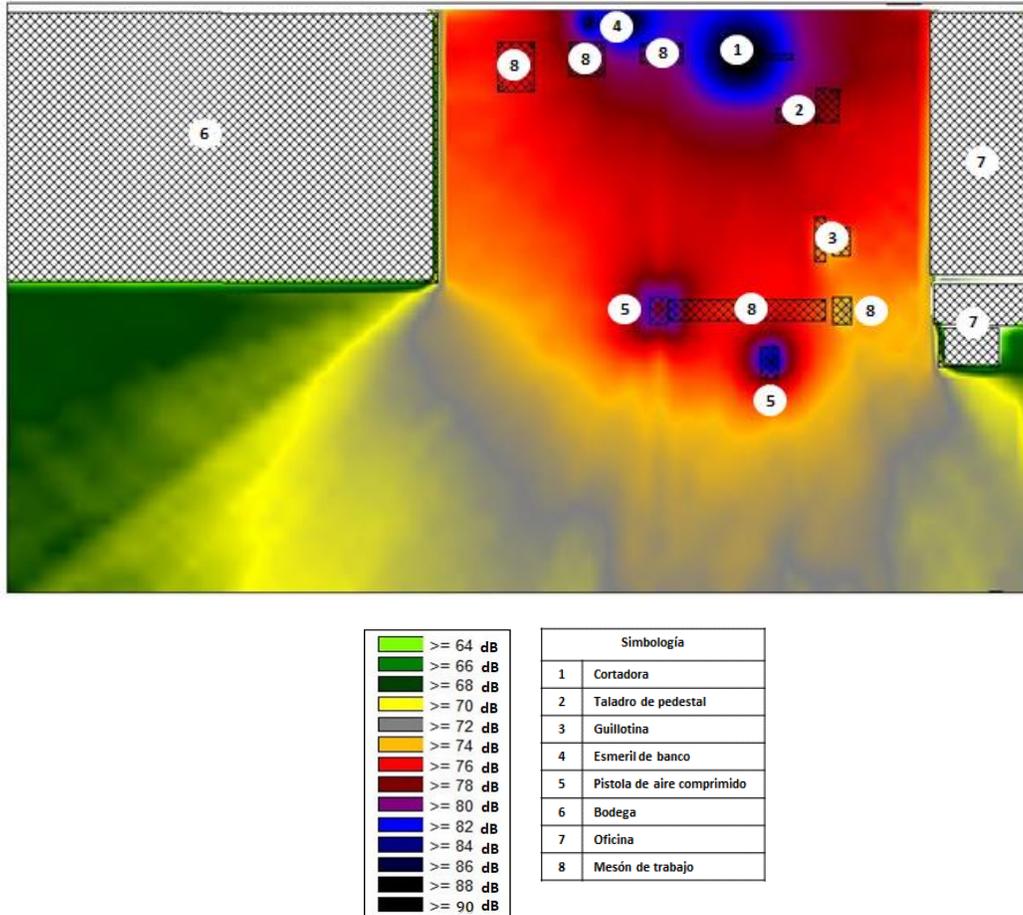


Figura 28. Modelación de Niveles de Presión Sonora al interior de la Muestra 10.

7 ANÁLISIS

7.1 Grupos de exposición similar, GES

Los GES habituales en las empresas de metalmecánica, identificados en los informes técnicos analizados, son:

- Soldador
- Operador de torno
- Supervisor
- Técnico en mantención
- Operador prensa
- Operador grúa horquilla
- Pintor
- Bodeguero
- Operador oxicorte plasma
- Operador sierra huincha
- Operador punzonadora
- Eléctrico
- Operador mecanizado
- Operador fresadora
- Operador guillotina
- Pulidor
- Operador granallado
- Operador plegadora
- Operador cilindradora
- Operador perforadora
- Control calidad

Se observa que, para la mayoría de los puestos de trabajo, sobre el 75% de las muestras contenidas en los Informes Técnicos estuvieron expuestos a niveles de presión sonora equivalente (NPSeq) superiores a 80 dB(A).

Bodeguero, Operador de perforadora y Control de calidad, pese a presentar una proporción de observaciones bajo los 80 dB(A), esta fue mínima y la mayoría de las observaciones recolectadas en esos puestos de trabajo superaron inclusive los 82 dB(A) como Nivel de Presión Sonora equivalente.

Soldador, Técnico en mantención, Operador guillotina y Operador granallado fueron los GES que sobrepasaron los 95 dB(A) en parte de las observaciones realizadas. El 100% de los GES presentó observaciones de NPSeq que en su mayoría estaban entre los 82 dB(A) y 95 dB(A).

El GES Operador punzadora presenta un diagrama relativamente compacto, es decir en general los NPSeq para el GES observados no varían significativamente; en este caso todos los GES operador punzadora presentaron niveles de NPSeq de carácter riesgoso pero acotado entre 80 dB(A) y 91 dB(A), a diferencia del GES control de calidad, quienes presentan un diagrama más alargado de mayor dispersión dando cuenta de distintos niveles de exposición, con NPSeq que van desde niveles que no presentan riesgo hasta niveles significativamente peligrosos.

Según lo observado, se puede concluir que todos los GES presentan alguna exposición a ruido superior a NPSeq de 82 dB(A), lo que significa una situación de riesgo que implica la implementación de medidas de control.

7.2 Comparación de fuentes de ruido de la base de datos y de mediciones en terreno

En el Gráfico 8 se presentan los resultados de distribución energética obtenidos de la base de datos confeccionada y de las mediciones llevadas a cabo en terreno.

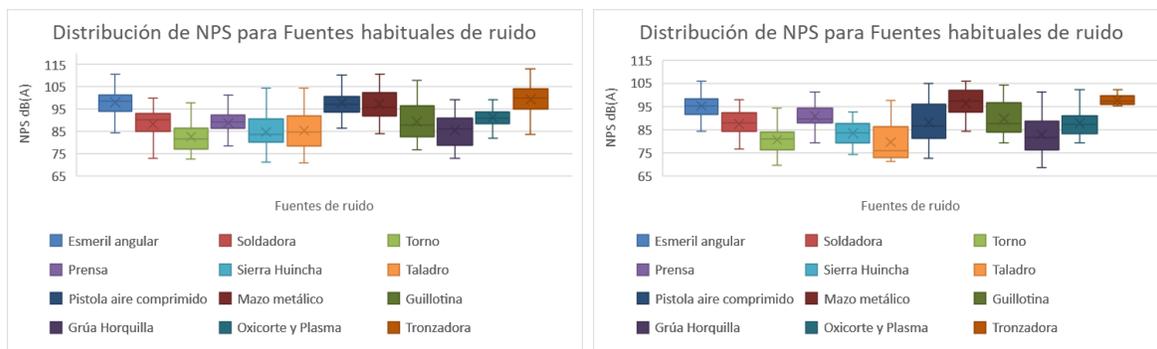


Gráfico 8. Comparación de NPS para fuentes identificadas en Base de Datos (izquierda) y medidas en terreno (derecha).

Se observa que entre ambos gráficos existe una alta correlación para cada fuente de ruido, las que se detallan a continuación:

- Para Esmeril angular, en ambos gráficos la caja que representa al 50% de las mediciones se ubica en torno a los 95 dB(A).
- Para las Soldadora nuevamente se identifica que en ambos gráficos el 50% de las mediciones se ubica entre 85 dB(A) y 95 dB(A).

- Para Torno, el 50% de los valores identificados y medidos, se encuentra entre 75 dB(A) y 85 dB(A).
- Para Prensa, este mismo grupo de valores se encuentra entre 85 dB(A) y 95 dB(A).
- La caja de Sierra huincha presenta una simetría similar en ambos casos, presentando una distribución levemente mayor en el gráfico correspondiente a la Base de Datos.
- Para Taladro se observa que la extensión de la caja es similar, presentando un leve corrimiento en los valores contenidos en la Base de Datos de aproximadamente 5 dB(A) sobre los obtenidos en mediciones en terreno.
- La mayor diferencia entre rangos de valores se observa para Pistola de aire comprimido, donde los valores contenidos en la Base de Datos se concentran principalmente (50% de los valores) entre 93 dB(A) y 100 dB(A), mientras que los recopilados en las mediciones en terreno se concentran entre 81 dB(A) y 96 dB(A); esta diferencia se puede atribuir a la naturaleza de las mediciones llevadas a cabo, ya que en la Base de Datos se incluye principalmente mediciones de utilización habitual de la Pistola de aire comprimido, mientras que en las mediciones realizadas en terreno también se considera escenarios simulados con menor generación de ruido.
- Para Mazo metálico, en ambos gráficos se observa una concentración principal entre aproximadamente 90 dB(A) y 105 dB(A).
- En Guillotina nuevamente se observa similitud entre las cajas representadas, concentrando la mayoría de los valores en un rango de aproximadamente 85 dB(A) y 95 dB(A).
- Para Grúa horquilla, al igual que con Pistola de aire comprimido, los gráficos son similares, pero el correspondiente a las mediciones en terreno presenta un corrimiento de aproximadamente 3 dB(A) por debajo de la caja correspondiente a la Base de Datos, centrándose entre 76 dB(A) y 89 dB(A) aproximadamente, mientras que la caja de la Base de Datos se ubica en el rango entre 78 dB(A) y 91 dB(A).

- Los gráficos correspondientes a Oxicorte y Plasma presentan valores centrados en torno a 91 dB(A) y 87 dB(A) para Base de datos y las mediciones realizadas en terreno, respectivamente.
- Para Tronzadora, en ambos gráficos se observa que el 75% de los valores superiores se encuentran sobre 95 dB(A) aproximadamente; la diferencia entre extensiones de cajas se atribuye principalmente a la diferencia en número de muestras obtenidas respecto a las contenidas en la Base de Datos, correspondiente al 13% aproximadamente.

7.3 Fuentes de ruido de la base de datos

Análisis efectuado a los Informes Técnicos que conformaron la Base de Datos elaborada en el análisis estadístico que da origen a la presente investigación.

7.3.1 Esmeril angular

En el Gráfico 9 se presenta las distribuciones de NPS asociadas al uso de esmeril angular de 4 1/2" en tareas de corte, pulido, desbaste con disco sólido y con disco flap.

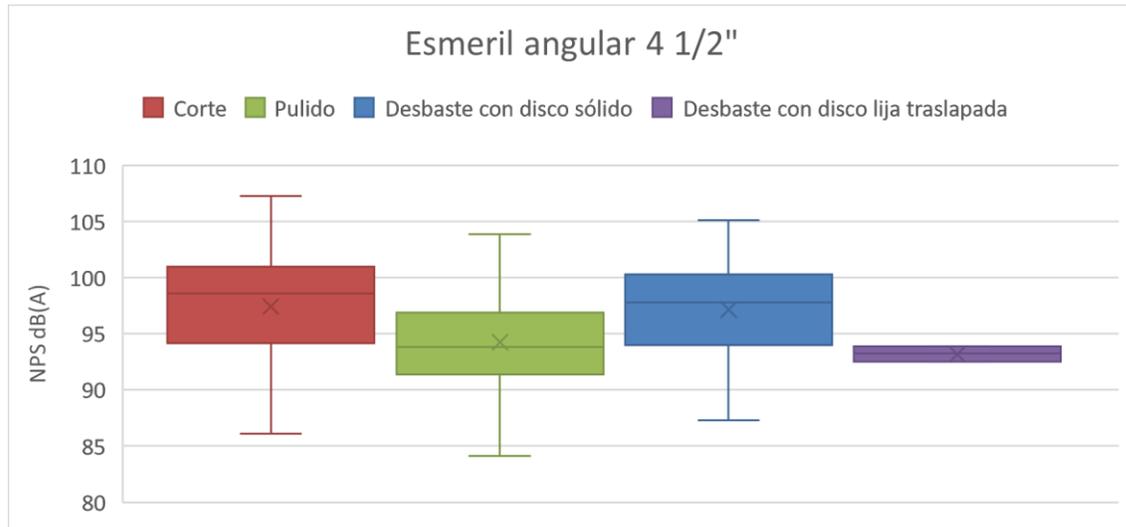


Gráfico 9. NPS asociados al uso de Esmeril angular de 4 1/2".

Se observa que los mayores NPS identificados en los informes técnicos elaborados por especialistas del área de Especialidades Técnicas de la Zona Centro, corresponden al uso de la herramienta en tareas de corte, donde el 50% de las mediciones contenidas en dichos documentos se ubican entre 94 dB(A) y 101 dB(A), mientras que el 25% de los NPS más elevados se encuentran entre este último valor y 107 dB(A).

La tarea de desbaste con disco sólido concentra el segundo grupo de niveles de ruido identificados, con el 50% de las muestras contenidas en el rango de entre 94 dB(A) y 100 dB(A), y 25% de las muestras con mayor generación de ruido entre 100 dB(A) y 104 dB(A). En cambio, para la misma tarea, pero con utilización de disco de lija traslapada (flap), se observa que el 100% de las mediciones registradas se encuentran bajo el 75% de las mediciones de mayor generación de ruido para el disco sólido.

Finalmente, la tarea de pulido concentra el 50% de sus valores de NPS entre 91 dB(A) y 96 dB(A), y con el 25% de los valores más altos entre 96 dB(A) y 103 dB(A).

Las incidencias encontradas para las distintas tareas fueron 57, 38, 83 y 8 para corte, pulido, desbaste con disco sólido y desbaste con disco de lija traslapada, respectivamente.

Las distribuciones de NPS asociados al uso de esmeril angular de 7", en distintas tareas, se presentan en el Gráfico 10.

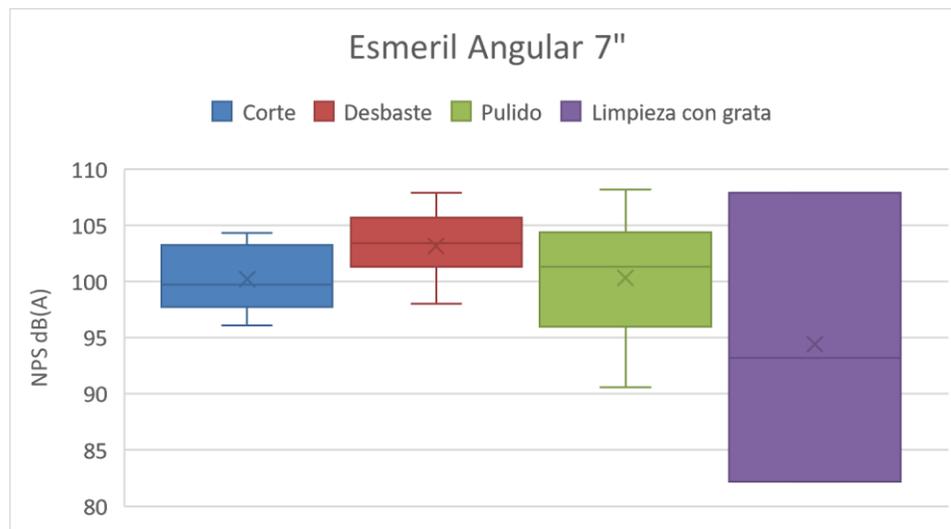


Gráfico 10. NPS asociados al uso de Esmeril angular de 7".

Para la tarea de corte, se observa que la distribución de las mediciones realizadas y contenidas en los informes técnicos, tiene baja dispersión, concentrando el 75% de las muestras con mayor NPS asociado en un rango entre 97 dB(A) y 104 dB(A), centrándose el 50% de todas las mediciones entre 97 dB(A) y 103 dB(A); el 25% de las mediciones con menor emisión de ruido se concentra entre 96 dB(A) y 97 dB(A). Se encontraron 20 mediciones para esta actividad.

El desbaste concentra el 50% de las mediciones entre 101 dB(A) y 105 dB(A), mientras que el 25% que concentra las mediciones con mayor emisión de ruido se encuentran entre 105 dB(A) y 108 dB(A). Para esta actividad se consideran 23 muestras. El pulido concentra el 50% de las muestras observadas entre 96 dB(A) y 104 dB(A), mientras que el 25% de las mediciones con mayor emisión energética se ubica entre 104 dB(A) y 108 dB(A). Para esta tarea se encontró 11 muestras. Finalmente, para la tarea de limpieza con grata, sólo se encontró 3 observaciones,

por lo que no se presenta distribuciones fuera de la caja, concentrándose entre 82 dB(A) y 108 dB(A).

Las tareas observadas para el esmeril angular de 9", y los NPS asociados a estas, se presentan en el Gráfico 11.

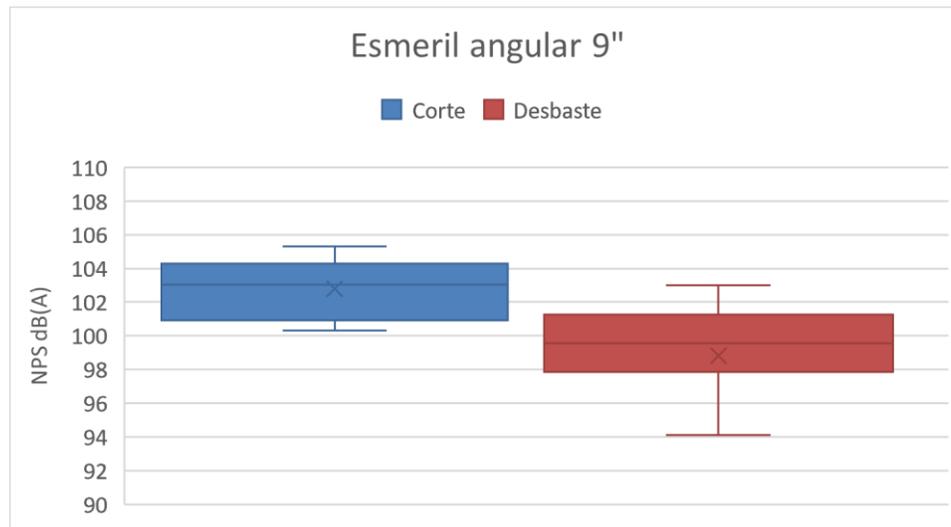


Gráfico 11. NPS asociados al uso de Esmeril angular de 9".

Las tareas identificadas para esta herramienta corresponden únicamente a corte y desbaste con disco sólido. Para la primera, las mediciones se concentran en un 50% en el rango de 100 dB(A) a 104 dB(A), y el 25% de mayor generación de ruido entre 104 dB(A) a 105 dB(A). Para esta tarea se identificaron 10 muestras.

Para la tarea de desbaste, las mediciones se concentran en un 50% dentro del rango entre 97 dB(A) a 101 dB(A), y el 25% superior se ubica entre 101 dB(A) y 103 dB(A). Para esta tarea, se encontraron 14 muestras. Se observa que el 50% de las mediciones correspondientes al desbaste se encuentra prácticamente en su totalidad bajo el 50% de las mediciones asociadas a la tarea de corte, lo que podría indicar una tendencia relativa a una menor emisión de ruido para las tareas de desbaste realizadas con esmeril angular de 9" que para la misma herramienta usada en tareas de corte.

7.3.2 Soldadora

Como se mencionó en 4.1.2.2, la soldadura se puede agrupar en básicamente 3 grupos, y cuyas distribuciones de NPS recopilados en los informes técnicos analizados, se muestran en la Gráfico 12.

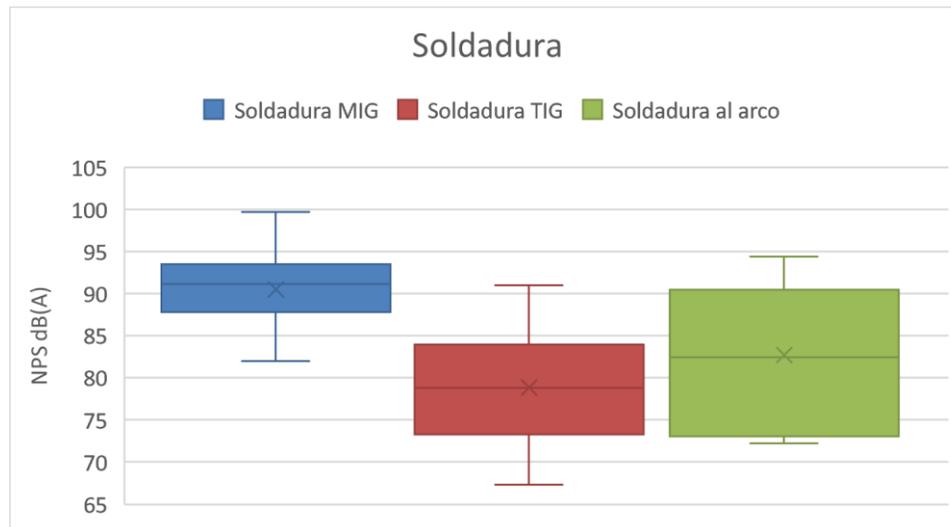


Gráfico 12. NPS asociados a la aplicación de Soldadura MIG, TIG y al arco.

Se observa que para la Soldadura MIG, el 50% de las mediciones encontradas se encuentran dentro del rango de 87 dB(A) a 94 dB(A), y el 25% de las mediciones con mayor emisión de ruido entre 94 dB(A) y 100 dB(A); la incidencia de esta fuente de ruido fue de 88 muestras, superando ampliamente a los otros tipos de soldadura, y la totalidad de mediciones identificadas se encuentran sobre 80 dB(A).

Para la Soldadura TIG, el 50% de las mediciones se concentra en el rango de 73 dB(A) a 84 dB(A), mientras que el 25% de las mediciones más altas se encuentra entre 84 dB(A) y 91 dB(A); la incidencia de esta fuente de ruido fue 15 muestras, y se destaca que prácticamente la totalidad de las mediciones bajo el 25% más alto, es decir el 75% de las muestras, se encuentra bajo las mediciones identificadas para la Soldadura MIG.

Finalmente, para la Soldadura al arco, se aprecia una gran dispersión en las mediciones, concentrando el 50% de las muestras entre 73 dB(A) y 91 dB(A), con el 25% de las mediciones de mayor NPS asociado entre 91 dB(A) y 95 dB(A); la incidencia para esta fuente de ruido fue de 12 muestras.

7.3.3 Torno

Los tipos de torno identificados en los informes técnicos corresponden a los tipos convencional y CNC; las distribuciones de los valores de NPS asociados a estas máquinas en operación se muestran en el Gráfico 13.

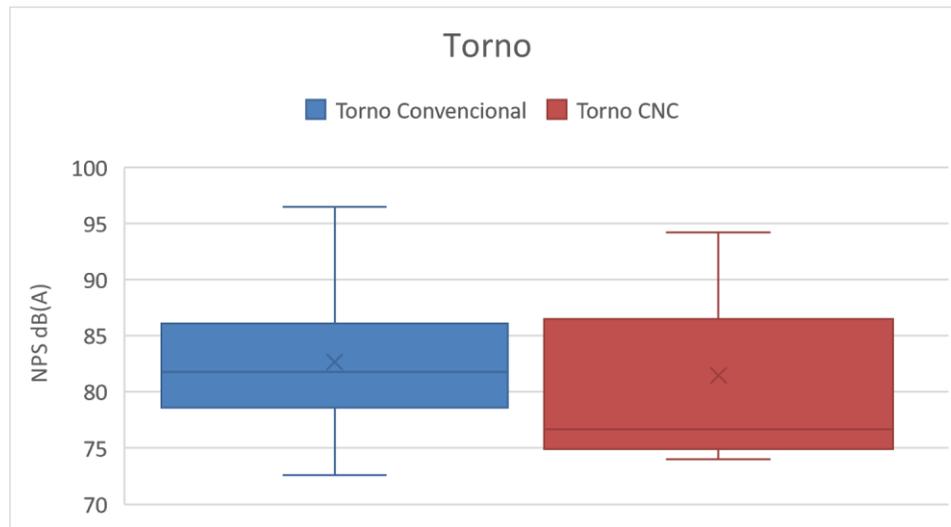


Gráfico 13. NPS asociados al uso de Torno.

Se observa que, para Torno Convencional, el 50% de las mediciones encontradas en los informes técnicos analizados, se encuentran en el rango entre 78 dB(A) y 87 dB(A), con una alta dispersión en el 25% de las mediciones con mayor nivel de ruido, ubicándose entre 87 dB(A) y 97 dB(A); es importante destacar que el 25% de las mediciones con menor NPS se encuentran entre 72 dB(A) y 78 dB(A), lo que corresponde a niveles de muy bajo impacto para los trabajadores. La incidencia para esta fuente de ruido fue de 71 muestras.

Para el torno CNC, la distribución de los NPS identificados es mucho más acotada, al igual que su incidencia, concentrando el 50% de sus muestras entre 74 dB(A) y 87 dB(A), y el 25% de las mediciones más altas entre 87 dB(A) y 95 dB(A). Para esta máquina, se identificaron 15 muestras.

7.3.4 Prensa

Los NPS identificados para prensas, tanto excéntricas como hidráulicas, se presentan en el Gráfico 14.

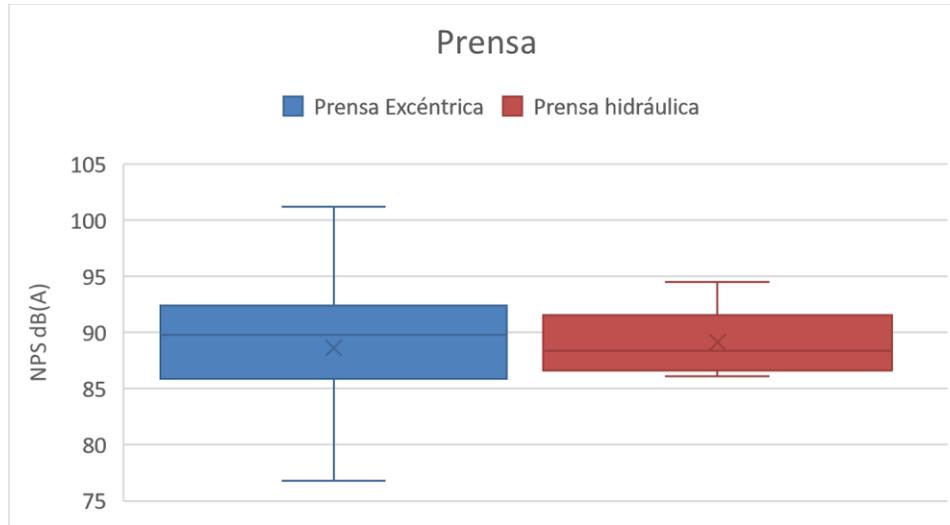


Gráfico 14. NPS asociados a la operación de prensa excéntrica e hidráulica.

Para la Prensa excéntrica, el 50% de las mediciones se concentra entre 85 dB(A) y 93 dB(A), mientras que el 25% de las mediciones con mayor NPS se encuentran entre 93 dB(A) y 102 dB(A); la incidencia de esta fuente de ruido fue de 59 muestras.

Para la Prensa hidráulica, el 50% de las mediciones se encuentran entre 86 dB(A) y 92 dB(A), con el 25% de los niveles con mayor NPS entre 92 dB(A) y 95 dB(A); la incidencia de esta máquina fue de 6 muestras, evidenciando una mucho menor presencia en la industria.

7.3.5 Sierra huincha

En la Gráfico 15 se muestra las distribuciones energéticas registradas en actividades de corte mediante Sierra Huincha.

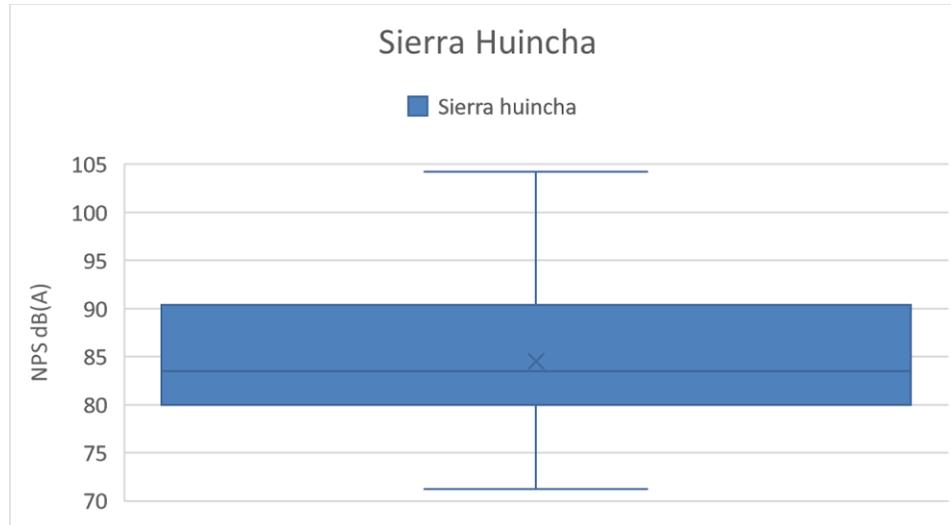


Gráfico 15. NPS asociado al uso de Sierra huincha.

Se observa que los niveles registrados tienen una alta dispersión, con NPS entre 70 dB(A) y 105 dB(A). El 50% de las mediciones efectuadas por los higienistas y depositadas en los informes técnicos analizados, se encuentran concentradas entre 80 dB(A) y 91 dB(A), mientras que el 25% de las mediciones con mayor nivel de ruido asociados se encuentran entre 91 dB(A) y 105 dB(A). La incidencia de esta fuente de ruido corresponde a 50 muestras. Las diferencias entre mediciones se pueden atribuir a los materiales intervenidos y sus características, así como el estado de la sierra huincha en sí y la forma de operación.

7.3.6 Taladro

En el Gráfico 16 se muestran las distintas dispersiones de NPS registrados para el uso de taladros de tipo de pedestal, eléctrico e inalámbrico.

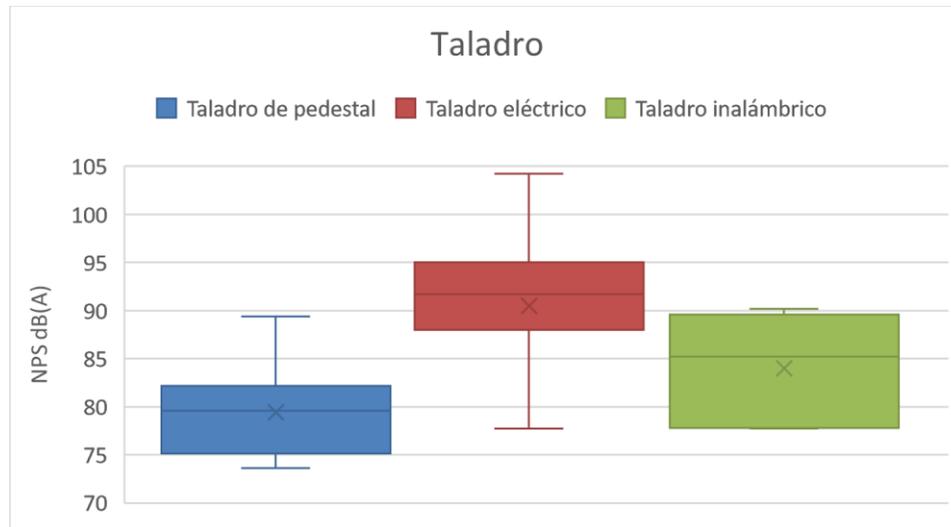


Gráfico 16. NPS asociado al uso de Taladros de pedestal, eléctrico e inalámbrico.

Para el uso de taladro de pedestal, del 75% de las mediciones registradas se encuentran bajo 85 dB(A), concentrando el 50% de ellas entre 75 dB(A) y 83 dB(A) y el 25% de las mediciones con mayor NPS entre 83 dB(A) y 90 dB(A). Para el Taladro eléctrico, la dispersión es mucho mayor, concentrando el 50% de las mediciones en el rango de 87 dB(A) a 95 dB(A), y el 25% de mayor ruido medido entre 95 dB(A) y 105 dB(A); el 25% de las mediciones con menor NPS se ubican entre 77 dB(A) y 87 dB(A).

Para el Taladro inalámbrico, el 100% de las mediciones registradas se encuentran entre 77 dB(A) y 91 dB(A). Las incidencias para estas fuentes de ruido fueron de 28, 33 y 5 muestras para los tipos de pedestal, eléctrico e inalámbrico respectivamente; por esta razón la dispersión del taladro inalámbrico es tan baja, comparada con el taladro eléctrico.

7.3.7 Pistola de aire comprimido

Para la pistola de aire comprimido, se identificaron NPS cuyas dispersiones se presentan en el Gráfico 17.

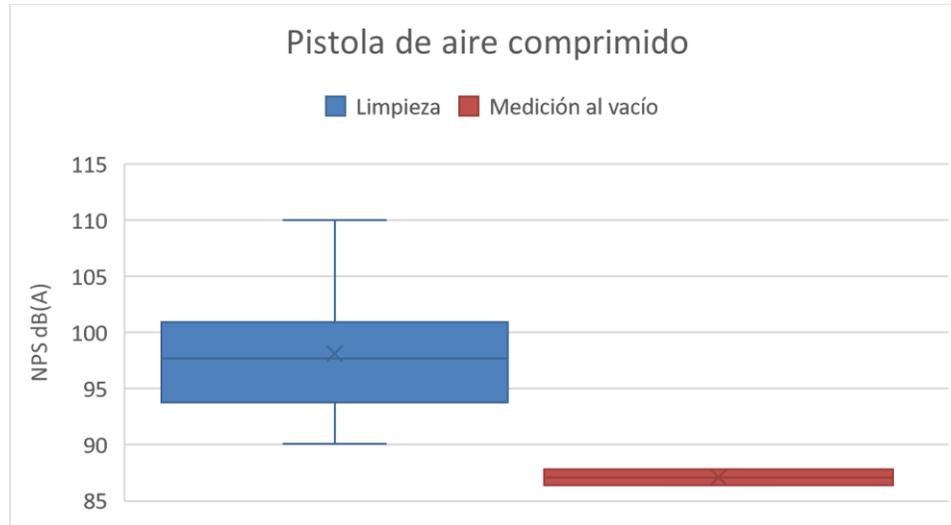


Gráfico 17. NPS asociados al uso de pistola de aire comprimido.

Aquí se observa mediciones asociadas al uso de pistola de aire comprimido en tareas de limpieza de superficies y máquinas, y de expulsión del fluido aire al vacío, es decir sin contacto con superficies a fin de determinar el aporte energético producto de las turbulencias que suelen ocurrir en el punto de expulsión.

Para las tareas de limpieza, el 100% de las mediciones corresponde a un NPS sobre 90 dB(A), lo que confirma la importancia higiénica de esta fuente de ruido. El 50% de las mediciones realizadas se encuentra entre 93 dB(A) y 101 dB(A), con el 25% de las mediciones de mayor emisión de ruido entre 101 dB(A) y 110 dB(A).

Las mediciones para la pistola de aire comprimido en operación al vacío se encuentran entre 86 dB(A) y 88 dB(A). Las incidencias de estas fuentes de ruido fueron 47 muestras para las tareas de limpieza, y 2 para la caracterización referencial al vacío.

7.3.8 Mazo metálico

Los NPS identificados para tareas en que se utiliza mazo metálico se presentan en el Gráfico 18.

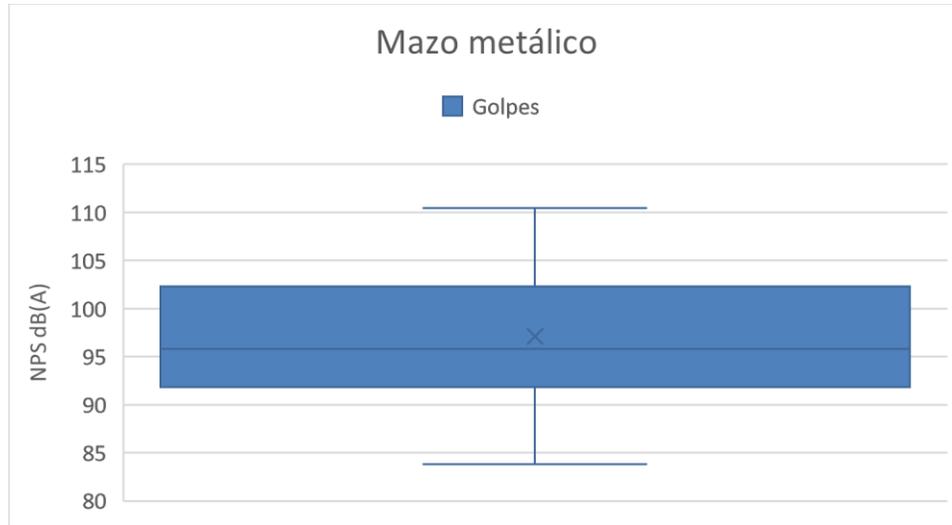


Gráfico 18. NPS asociados al uso de mazo metálico.

Se observa que los NPS se distribuyen entre 83 dB(A) y 111 dB(A), lo que responde a la aleatoriedad en la generación de ruido de esta herramienta producto de factores como peso del mazo, fuerza aplicada por el trabajador al efectuar el golpe, material a intervenir y otros. No obstante, el 75% de las mediciones registradas, correspondientes a los NPS más altos, se encuentran entre 91 dB(A) y 103 dB(A). La incidencia de esta fuente de ruido fue de 43 muestras.

7.3.9 Guillotina

Los NPS asociados a tareas de corte realizadas con guillotina se presentan en el Gráfico 19.

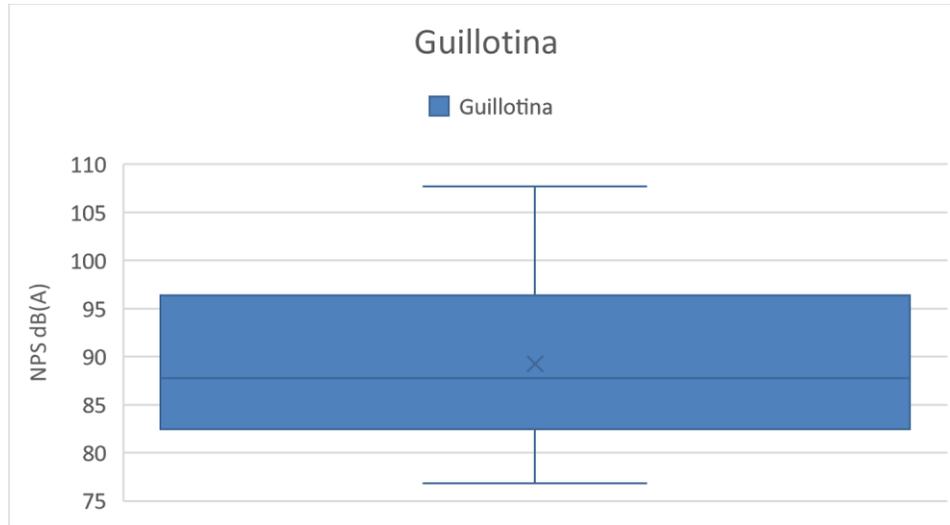


Gráfico 19. NPS asociados al uso de guillotina para tareas de corte.

Se observa que el 50% de las mediciones efectuadas se ubican en el rango entre 82 dB(A) y 97 dB(A), y el 25% de mayores NPS entre 97 dB(A) y 108 dB(A); las dispersiones son altas debido principalmente a la amplia variedad de guillotinas presentes en las empresas, y el tipo de material intervenido; esta última variante se representa en metales con espesores de entre 1,5 mm y 1 cm.

7.3.10 Grúa horquilla

Los distintos NPS registrados para grúa horquilla se muestran en el Gráfico 20.

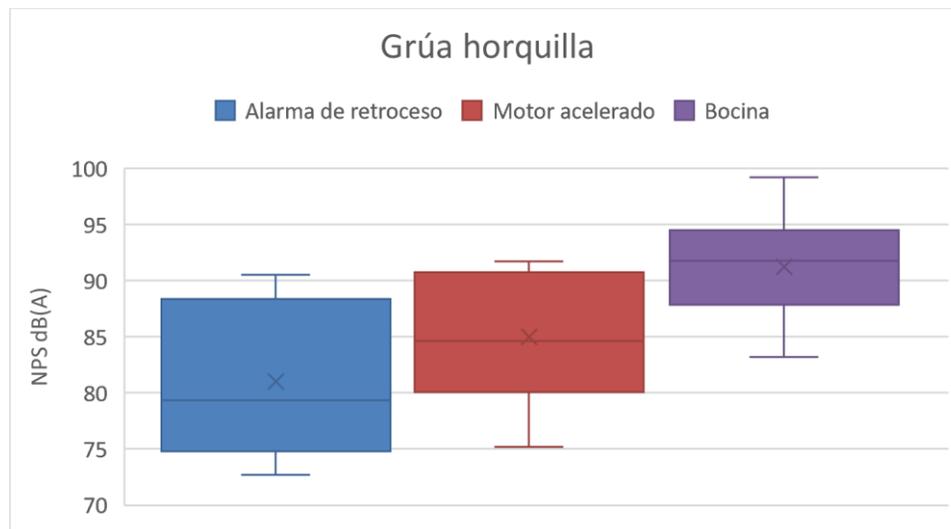


Gráfico 20. NPS asociados al funcionamiento de grúa horquilla.

Se observa que los NPS asociados al funcionamiento de alarma de retroceso se encuentran en un 50% entre 74 dB(A) y 89 dB(A), y el 25% de mayor generación de ruido entre 89 dB(A) y 91 dB(A).

Para la unidad motriz de los vehículos, en su instancia de mayor generación de ruido, que corresponde a altas revoluciones por minuto (rpm) con la grúa acelerada, el 50% de las mediciones se encuentra entre 80 dB(A) y 91 dB(A) y el 25% de las mediciones con mayor generación de ruido entre 91 dB(A) y 92 dB(A).

Las mediciones efectuadas a bocinas de grúas horquilla se encuentran en su totalidad sobre 83 dB(A), concentrándose un 50% de estas en el rango entre 87 dB(A) y 95 dB(A) y extendiéndose hasta 100 dB(A) para el 25% de las mediciones con mayor NPS asociado. Las incidencias de estas fuentes de ruido fueron de 14, 13 y 12 muestras para alarma de retroceso, motor acelerado y bocina, respectivamente.

7.3.11 Corte con oxicorte y plasma

Los NPS identificados para tareas de cortes utilizando métodos de oxicorte y plasma se presentan en el Gráfico 21.

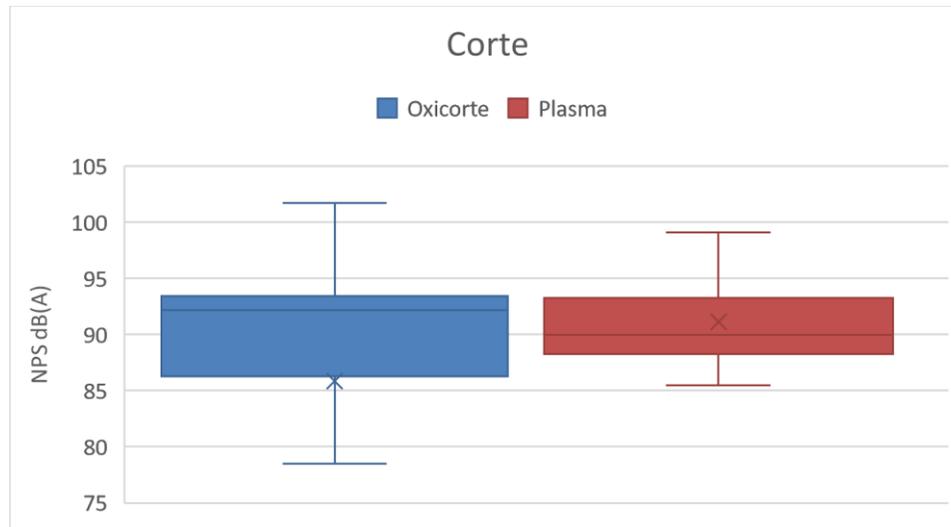


Gráfico 21. NPS asociados al uso de oxicorte y plasma.

Para el corte con oxicorte se observa una alta dispersión en los valores, concentrando el 50% entre 86 dB(A) y 94 dB(A), mientras el 25% de los NPS más altos registrados se encuentran entre 94 dB(A) y 102 dB(A); el 25% de las mediciones con menor NPS se encuentran entre 78 dB(A) y 86 dB(A).

Para el corte con plasma, el 100% de las mediciones encontradas se encuentra sobre 85 dB(A), concentrando el 50% de las muestras entre 88 dB(A) y 94 dB(A). Las incidencias de estas fuentes de ruido fueron de 16 y 24 muestras para el oxicorte y el plasma, respectivamente. Se destaca que el oxicorte presenta registros con emisión energética muy inferiores a las del plasma, atribuibles a factores como el uso de sistemas automatizados, como RANA.

7.3.12 Tronzadora

Los NPS registrados en los informes técnicos analizados se presentan en el Gráfico 22.

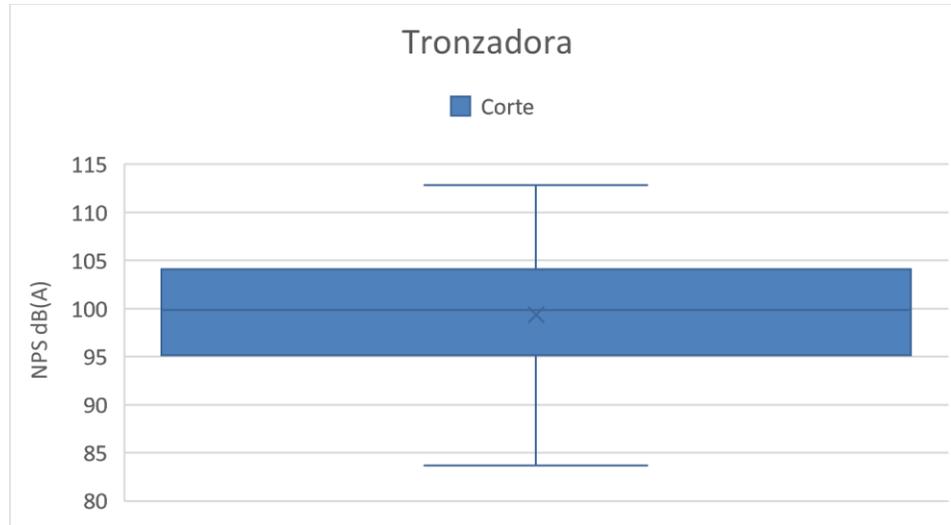


Gráfico 22. NPS asociados al uso de tronzadora.

Se observa una alta dispersión de los NPS registrados y asociados al corte de metales mediante tronzadora; estos se encuentran en su totalidad sobre 83 dB(A), y concentrando el 50% de las mediciones entre 95 dB(A) y 105 dB(A). El 25% de las mediciones con mayor emisión de ruido se encuentran entre 105 dB(A) y 113 dB(A), ubicando a esta fuente de ruido como una de las de mayor importancia higiénica por la alta emisión energética. La incidencia de esta fuente de ruido fue de 38 muestras.

7.4 Fuentes de ruido medidas en terreno

A continuación, se analizan las fuentes de ruido con mayor incidencia en la industria metalmeccánica, identificadas en el análisis efectuado a los informes técnicos que originan la base de datos que sustenta esta investigación, y que fueron sujeto de medición en terreno en las 38 empresas visitadas, considerando tareas en que se utilizan, NPS generados, espectros sonoros y condiciones de uso

7.4.1 Esmeril Angular

En el Gráfico 23 se muestra una representación gráfica de los NPS generados por el uso de esta herramienta.

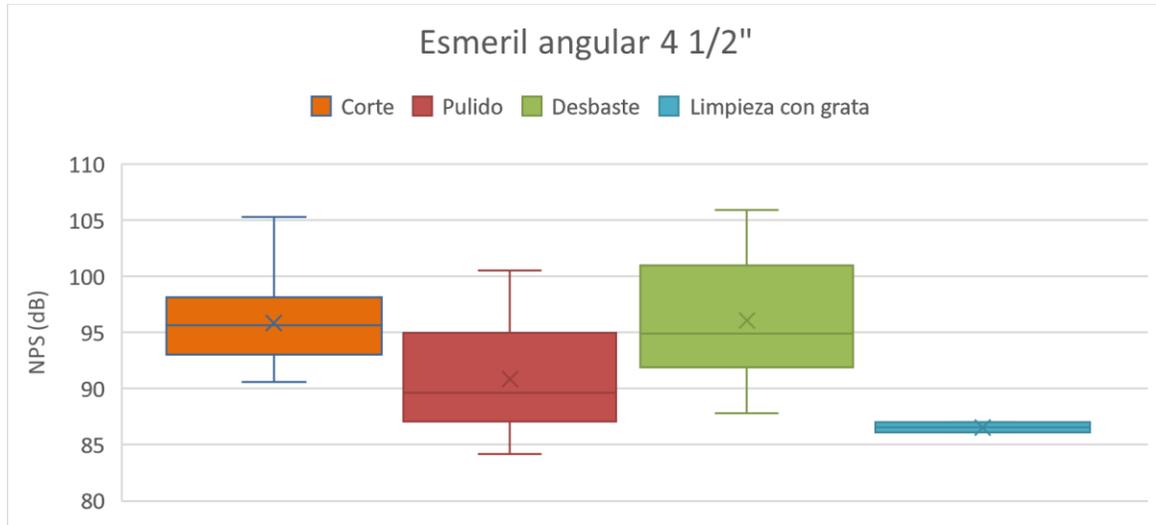


Gráfico 23. NPS asociados al uso de Esmeril angular de 4 1/2".

Aquí se puede observar que las tareas de corte y desbaste son las que tienen una emisión sonora asociada más alta, donde el 50% de las mediciones efectuadas para la tarea de corte se concentran entre 93 dB(A) y 98 dB(A) y 25% de estas muestras entre 98 dB(A) y 105 dB(A); para el desbaste, 50% de las muestras se ubican entre 91 dB(A) y 101 dB(A) y el 25% se ubica entre 101 dB(A) y 105 dB(A); cuando esta actividad es efectuada utilizando discos de lija traslapada, los NPS registrados son generalmente bajo 90 dB(A), ubicándolos principalmente bajo el primer cuartil.

Para las tareas de pulido, se observa que el 50% de las mediciones realizadas a esta tarea se encuentran en un rango entre 87 dB(A) y 95 dB(B), y el 25% entre 95 dB(A) y 101 dB(A); el pulido registrado utilizando discos de lija traslapada en ambos casos, corresponde a 88 dB(A), situándolo en el extremo inferior del 75% de las mediciones efectuadas.

Para la tarea de limpieza con accesorio grata se registraron niveles de 86 dB(A) y 87 dB(A). El corte con esmeril angular de 4 1/2" se encontró en 16 ocasiones, el pulido con accesorio de disco sólido en 4 ocasiones, pulido con disco de lija

traslapada en 2 ocasiones, el desbaste en 13 oportunidades, 4 de ellas con disco de lija traslapada, y la limpieza con accesorio grata en 2 oportunidades.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las distintas tareas identificadas en el Gráfico 23, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por las muestras asociadas al uso de esmeril angular de 4 1/2" en tareas de corte se presenta en el Gráfico 24. Aquí se observa una gran coherencia entre las muestras obtenidas, con una curva que tiene su máxima energía concentrada entre 2 kHz y 8 kHz.

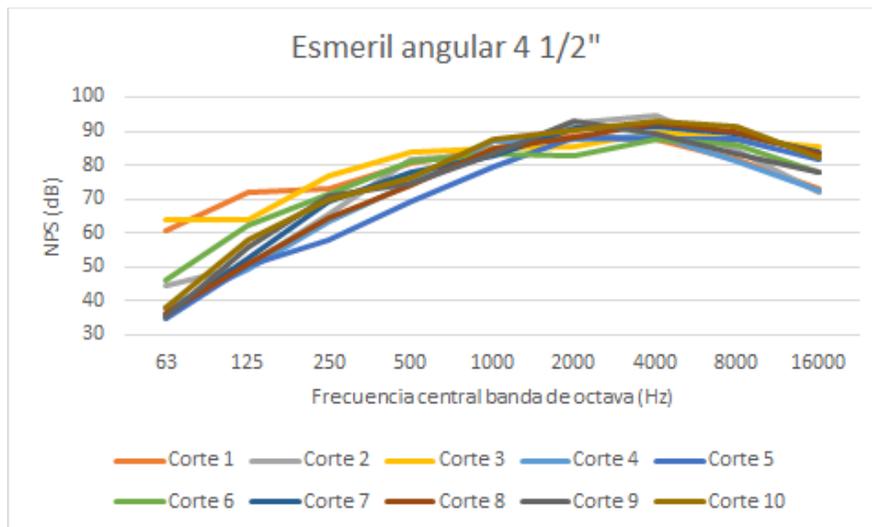


Gráfico 24. Composición espectral del ruido generado en tareas de corte para Esmeril angular de 4 1/2".

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 4 1/2" en tareas de pulido se presenta en el Gráfico 25. Se observa distribuciones similares entre las muestras, con valores ascendentes hacia los 8 kHz.

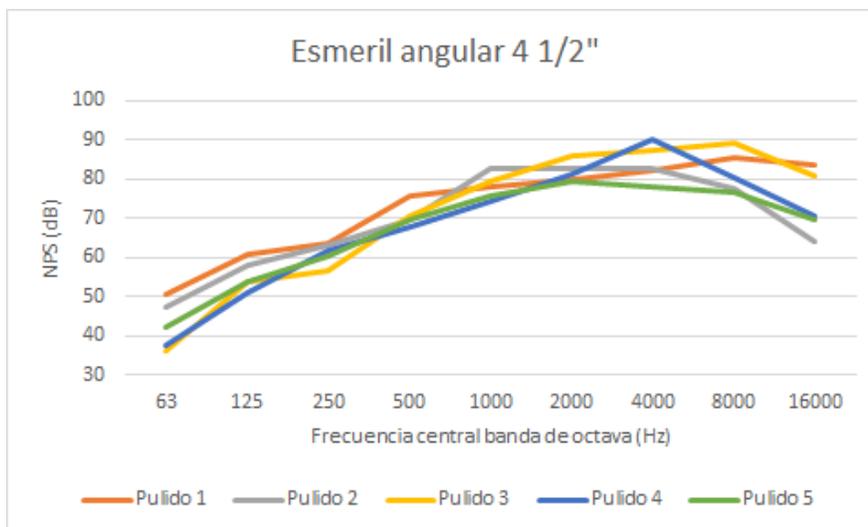


Gráfico 25. Composición espectral del ruido generado en tareas de pulido para Esmeril angular de 4 1/2".

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 4 1/2" en tareas de desbaste se presenta en el Gráfico 26. Se muestra nuevamente coherencia entre las mediciones registradas, con un comportamiento energético similar, a excepción de una leve concentración mayor en torno a los 2 kHz.

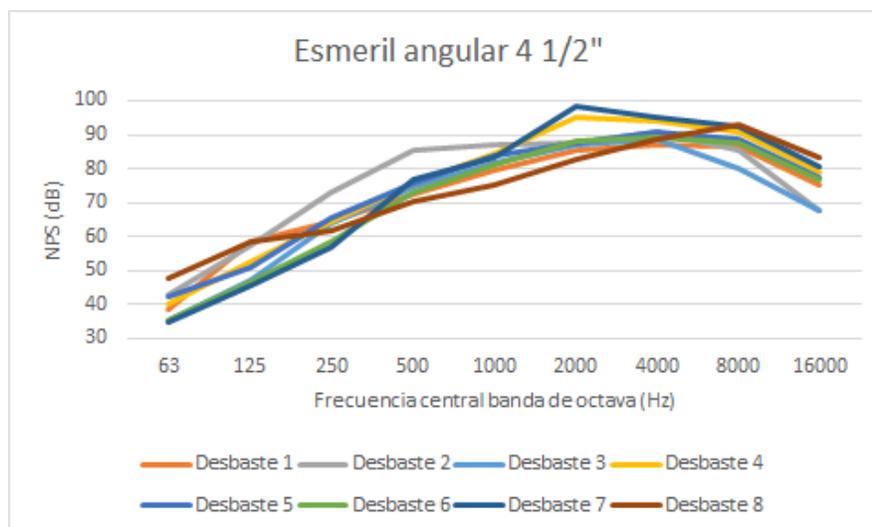


Gráfico 26. Composición espectral del ruido generado en tareas de desbaste para Esmeril angular de 4 1/2".

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 4 1/2" en tareas de limpieza con grata se presenta en el Gráfico 27. Debido a la baja cantidad de muestras obtenidas, la distribución energética entre ambas presenta grandes diferencias, no siendo posible realizar observaciones concluyentes al respecto.

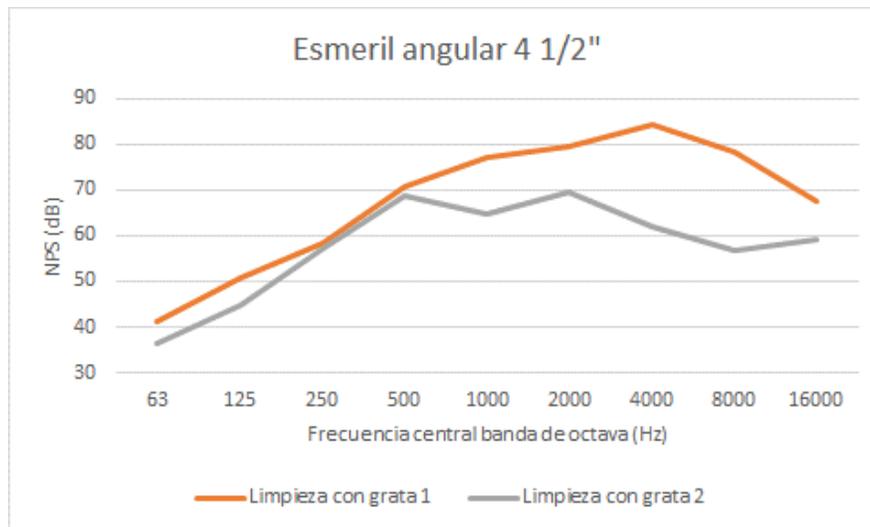


Gráfico 27. Composición espectral del ruido generado en tareas de limpieza con grata para Esmeril angular de 4 1/2".

Respecto al uso de esmeril angular de 7", los NPS se presentan en el Gráfico 28

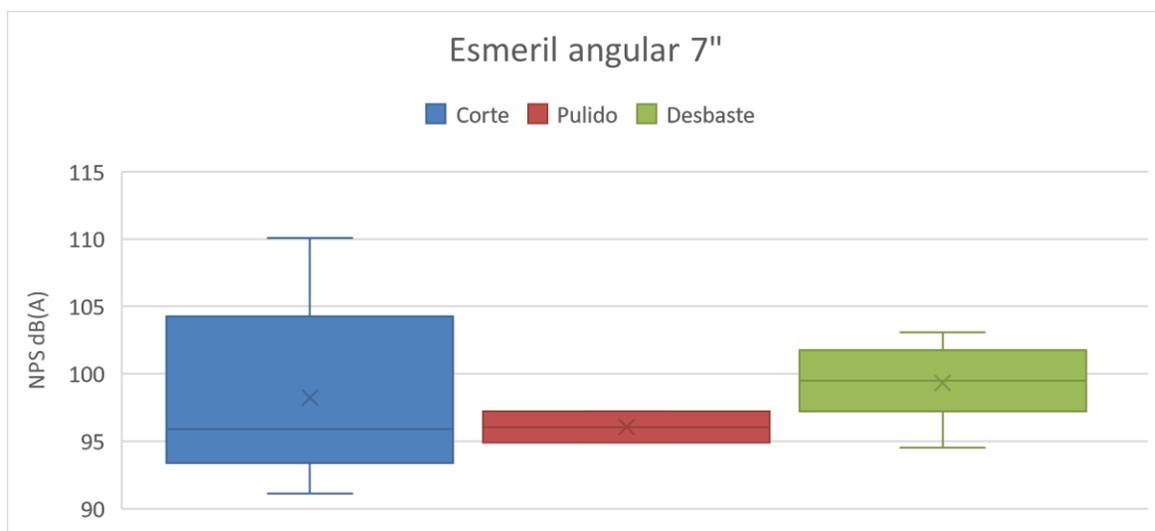


Gráfico 28. NPS asociados al uso de Esmeril angular de 7".

Se aprecia que las tareas de Corte, los NPS más elevados registrados en las empresas visitadas corresponden a las tareas de corte, donde el 50% de las mediciones se encuentran entre 93 dB(A) y 104 dB(A), y el 25% de los NPS más elevados se ubican entre 104 dB(A) y 110 dB(A). El desbaste presenta el 75% de las mediciones entre 97 dB(A) y 103 dB(A), concentrando el 50% de las mediciones entre 97 dB(A) y 102 dB(A); el pulido 94 dB(A) y 97 dB(A). Esta última actividad se presentó en 2 ocasiones, mientras que el corte en 5 ocasiones, y el desbaste en 6.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las distintas tareas identificadas en el Gráfico 28, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 7" en tareas de corte se presenta en el Gráfico 29. Se observa una mayor cantidad proporcional de energía en bajas frecuencias, alrededor de 125 Hz, mientras que la mayor concentración se ubica alrededor de 4 kHz.

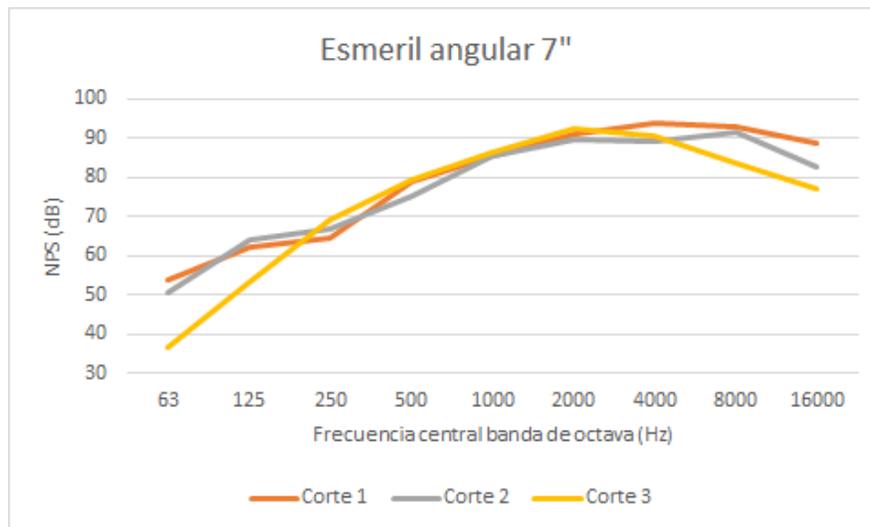


Gráfico 29. Composición espectral del ruido generado en tareas de corte para Esmeril angular de 7".

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 7" en tareas de pulido se presenta en el Gráfico 30. Si bien el NPS generado entre ambas muestras tiene una alta concordancia, la composición energética para cada una difiere en gran escala, presentando diferencias de cerca de 20 dB en torno a 125 y 250 Hz. Sin embargo, se puede observar que la mayor cantidad de energía se concentra en el espectro superior a 1 kHz.

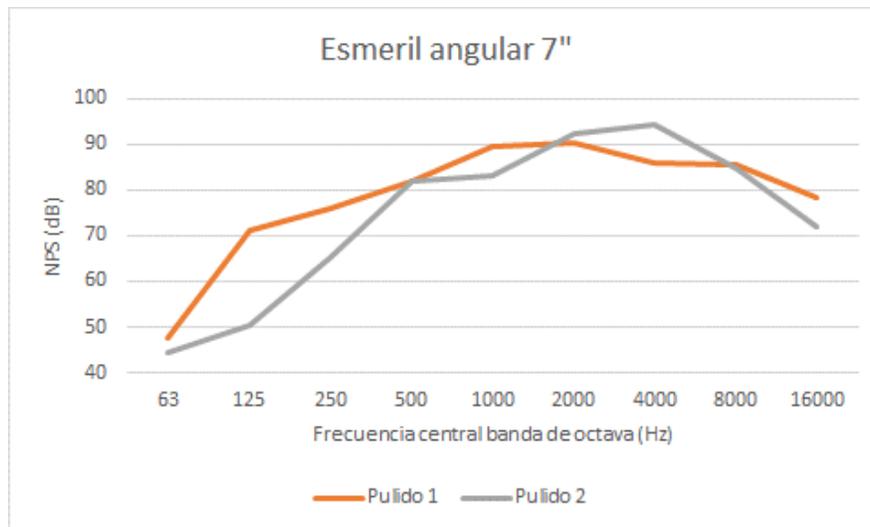


Gráfico 30. Composición espectral del ruido generado en tareas de pulido para Esmeril angular de 7".

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 7" en tareas de desbaste se presenta en el Gráfico 31. Se observa una alta coherencia entre las muestras obtenidas, con espectros que concentran la mayor cantidad de energía en torno a los 4 kHz.

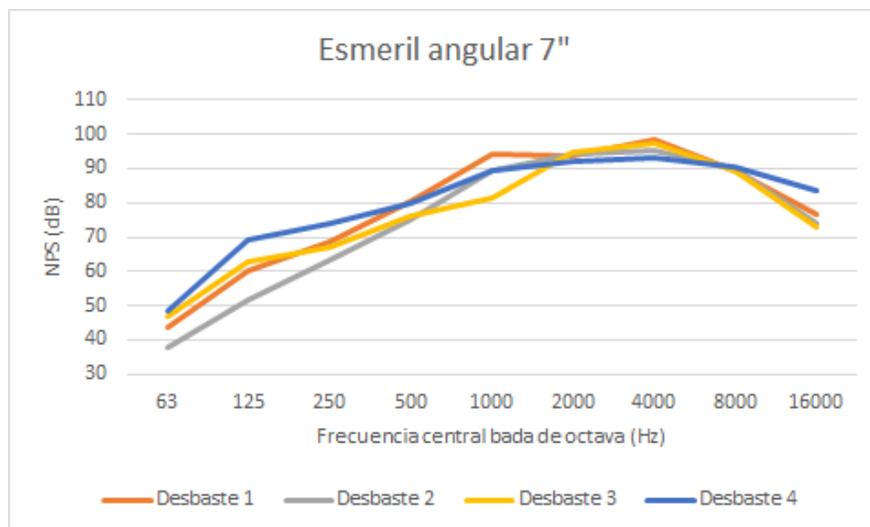


Gráfico 31. Composición espectral del ruido generado en tareas de desbaste para Esmeril angular de 7".

El resumen de los NPS registrados en actividades llevadas a cabo con esmeril angular de 9" se muestra en el Gráfico 32.

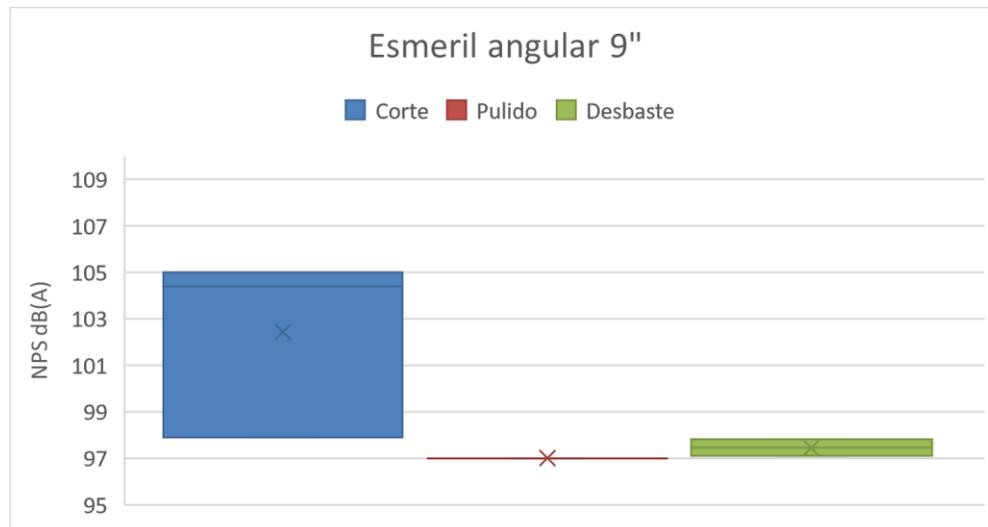


Gráfico 32. NPS asociados al uso de Esmeril angular de 9".

Debido a que este tipo de esmeril angular tuvo una incidencia mucho menor en las empresas visitadas, se aprecia que los gráficos de distribución de los NPS registrados, asociados a las tareas de Corte, Pulido y Desbaste, no presentan distribuciones fuera de las cajas. Así, el Corte con esmeril angular de 9" presenta NPS entre 97 dB(A) y 105 dB(A), el desbaste entre 97 dB(A) y 98 dB(A) y el pulido un único valor, de 97 dB(A); el corte se presentó en 3 oportunidades, y el Desbaste en 2 oportunidades.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las distintas tareas identificadas en el Gráfico 32; debido al menor número de muestras obtenidas, se graficará la totalidad de los espectros correspondientes a las mediciones mencionadas.

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 9" en tareas de corte se presenta en el Gráfico 33. Se observa espectros con energía principalmente en el rango entre 1 kHz y 8 kHz.

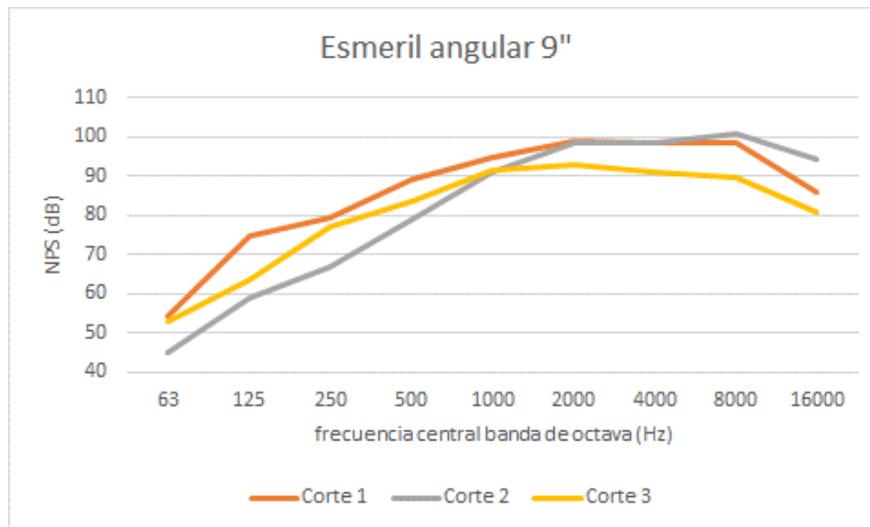


Gráfico 33. Composición espectral del ruido generado en tareas de corte para Esmeril angular de 9".

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 9" en tarea de pulido se presenta en el Gráfico 34. Ya que solo se logró obtener una muestra, no es posible realizar mayor análisis de tendencia; se observa una mayor concentración energética en torno a los 2 kHz.

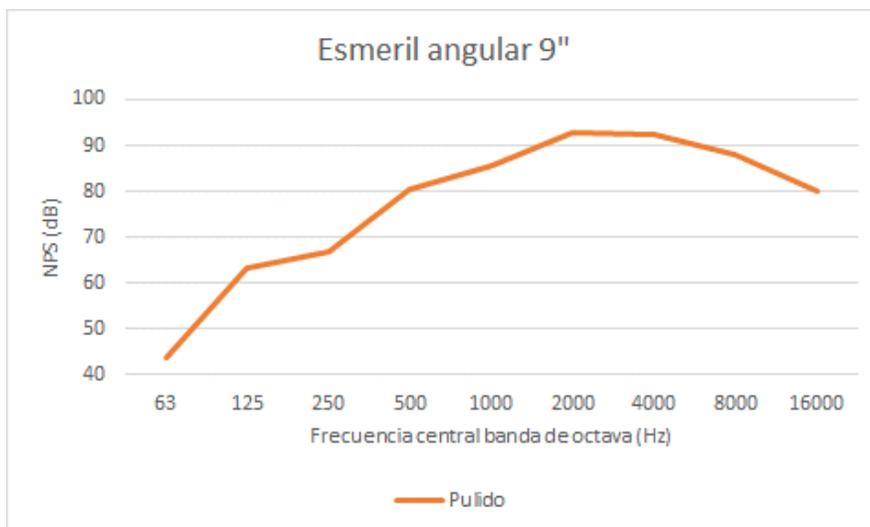


Gráfico 34. Composición espectral del ruido generado en tarea de pulido para Esmeril angular de 9".

La composición energética del ruido generado por el esmeril angular de 9" en tareas de desbaste se presenta en el Gráfico 35. A pesar de tratarse de solo dos muestras, se puede observar una coherencia entre las curvas, presentando una concentración energética en torno a los 2 kHz principalmente, extendiéndose hasta los 4 kHz.

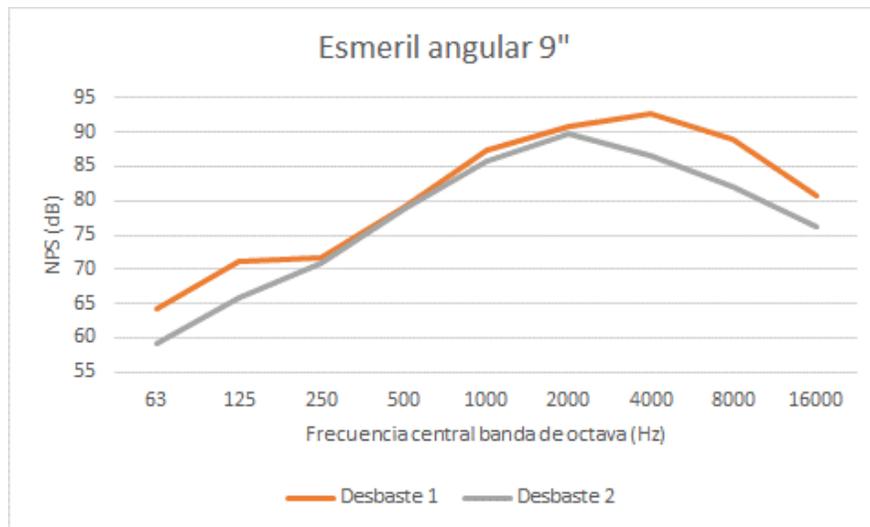


Gráfico 35. Composición espectral del ruido generado en tareas de desbaste para Esmeril angular de 9”.

7.4.2 Soldadora

En el Gráfico 36 se muestran las distribuciones de los distintos NPS medidos en tareas de soldadura para tipos Al Arco, MIG y TIG.

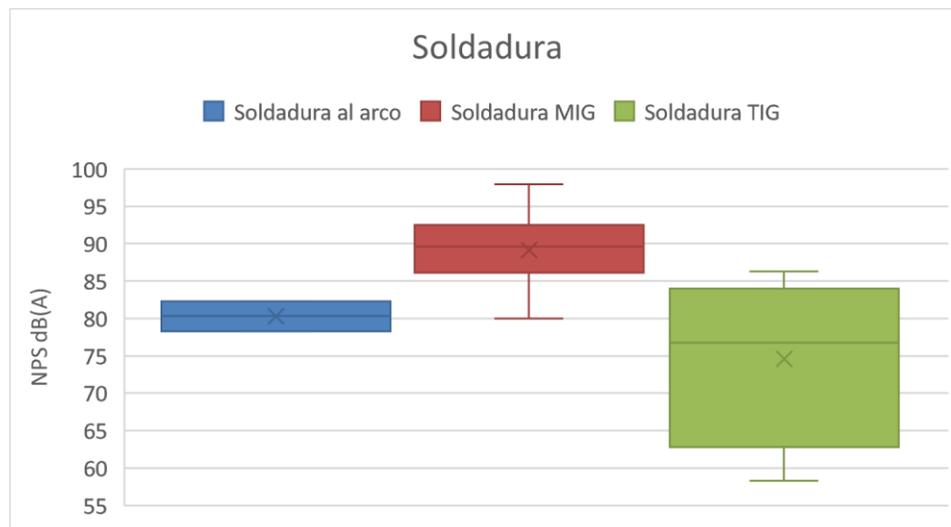


Gráfico 36. NPS asociados a la generación de soldadura de distintos tipos

Se puede observar que los NPS asociados a tareas de soldadura de tipo Al Arco registrados, se encuentran entre valores de 78 dB(A) y 82 dB(A), sin presentar mediciones fuera de este rango por haberse encontrado en únicamente 2 empresas. Por otra parte, para las soldaduras MIG y TIG se cuenta con mayor incidencia (36 y 4 oportunidades respectivamente).

Dentro de las mediciones efectuadas a Soldadura mediante técnica MIG, se aprecia que el 50% de estas se encuentran entre 86 dB(A) y 93 dB(A) y el 25% entre 93 dB(A) y 98 dB(A). Para la aplicación de Soldadura TIG, el 50% de las mediciones efectuadas entregaron valores entre 62 dB(A) y 84 dB(A) y el 25% de los NPS registrados se encontraron ente 84 dB(A) y 86 dB(A). Así, se puede observar que la Soldadura MIG tiene NPS asociados muy por sobre los generados por procesos de Soldadura al Arco y TIG.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las distintas tareas identificadas en el Gráfico 36, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por soldadura Al Arco se presenta en el Gráfico 37. Ambas muestras presentan coherencia respecto a la composición energética, existiendo diferencias basadas en la cantidad de energía emitida para cada una de ellas.

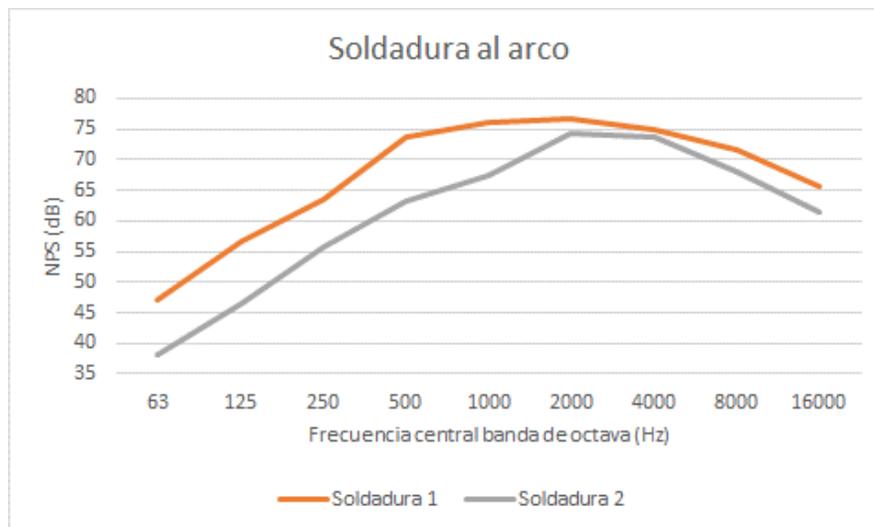


Gráfico 37. Composición espectral del ruido generado en tareas de Soldadura Al Arco.

La composición energética del ruido generado por soldadura MIG se presenta en el Gráfico 38. Se observa una alta coherencia entre muestras, las que presentan una distribución energética a lo largo del espectro considerada como estable, sin zonas máximas evidentes. Este tipo de distribución tiene semejanza con la composición

del ruido blanco, donde cada frecuencia tiene la misma cantidad de energía, mostrando un aumento progresivo en las bandas de octavas, ya que por cada segmento se agrupa una mayor cantidad de frecuencias (125 frecuencias entre las octavas de 125 Hz y 250 Hz, versus 4000 frecuencias entre las octavas de 4 kHz y 8 kHz).

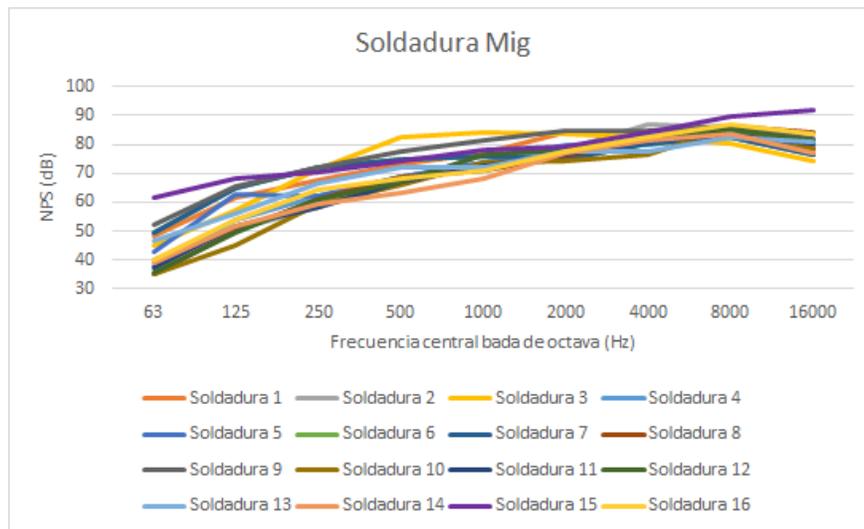


Gráfico 38. Composición espectral del ruido generado en tareas de Soldadura MIG.

La composición energética del ruido generado por soldadura TIG se presenta en el Gráfico 39. Se observa una concentración energética a partir de los 500 Hz, decayendo a partir de 8 kHz aproximadamente.

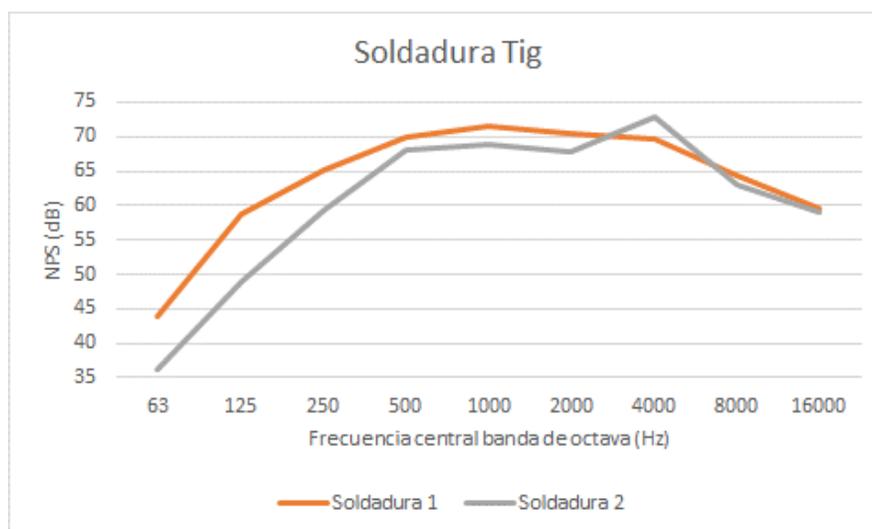


Gráfico 39. Composición espectral del ruido generado en tareas de Soldadura TIG.

7.4.3 Torno

En la Gráfico 40 se muestran las distribuciones de los distintos NPS registrados en las empresas visitadas que presentaron actividades con uso de Torno.

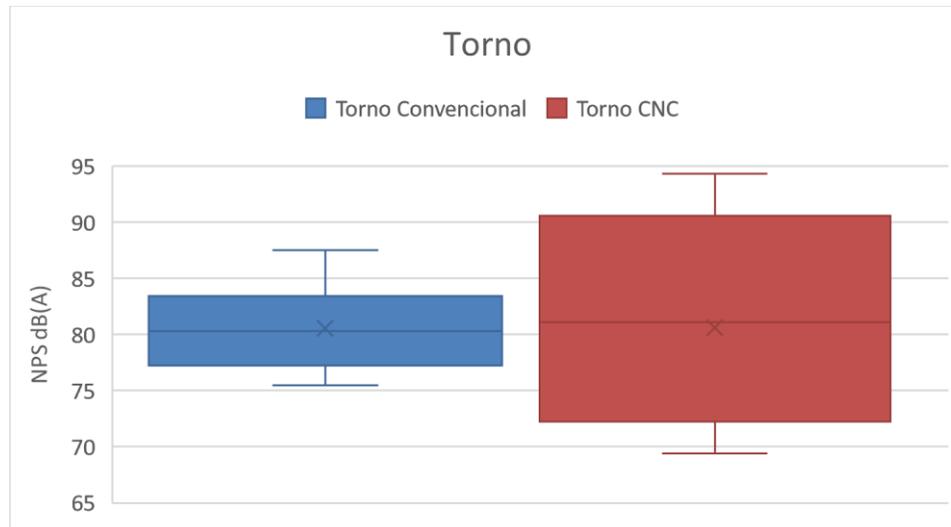


Gráfico 40. NPS asociados a la utilización de Torno.

Se aprecia que, para el uso de Torno convencional, el 50% de las mediciones efectuadas se encuentran entre 77 dB(A) y 84 dB(A), mientras que el 25% de las muestras con mayor generación de ruido se encuentran entre 84 dB(A) y 87 dB(A). Para el Torno CNC, el 50% de las muestras obtenidas se ubican entre 72 dB(A) y 91 dB(A) y el 25% de las mediciones con mayores emisiones energéticas se encuentran entre 91 dB(A) y 94 dB(A). Las incidencias encontradas para ambas máquinas son 17 y 10 muestras para Torno Convencional y Torno CNC respectivamente.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las distintas tareas identificadas en el Gráfico 40, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por Torno convencional se presenta en el Gráfico 41. Se observa alta coherencia entre las muestras obtenidas, mostrando una mayor cantidad de energía en el rango entre 500 Hz y 4000 Hz, y mostrando un aumento en torno a los 8 kHz relativo a las frecuencias colindantes.

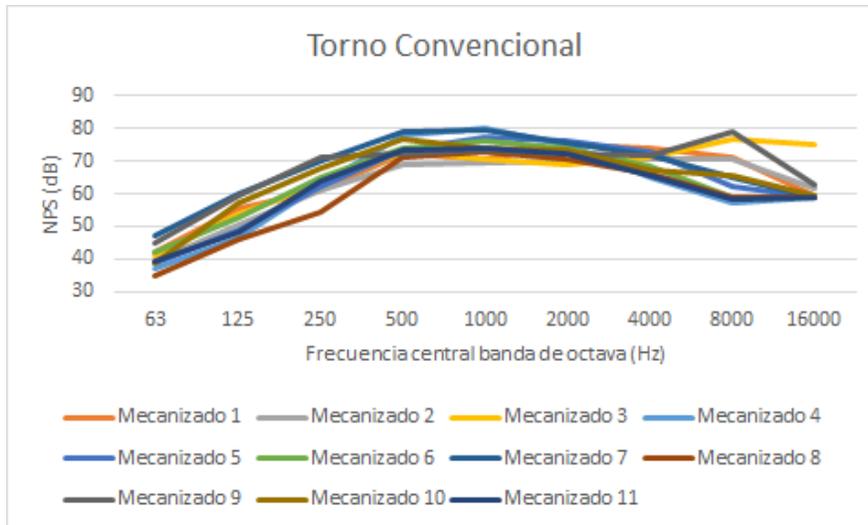


Gráfico 41. Composición espectral del ruido generado en Torno convencional.

La composición energética del ruido generado por Torno CNC se presenta en el Gráfico 42. Se observa una mayor presencia energética a partir de los 500 Hz hasta los 4000 Hz.

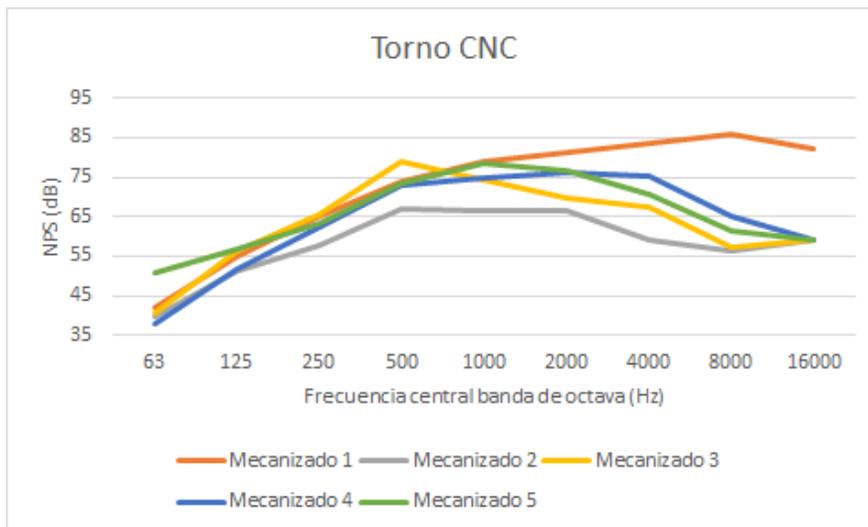


Gráfico 42. Composición espectral del ruido generado en Torno CNC.

7.4.4 Prensa

A continuación, en la Gráfico 43 se presentan las distribuciones de los NPS registrados en las visitas para Prensa, tanto Excéntricas, de distintos tonelajes, como para Prensas Hidráulicas.

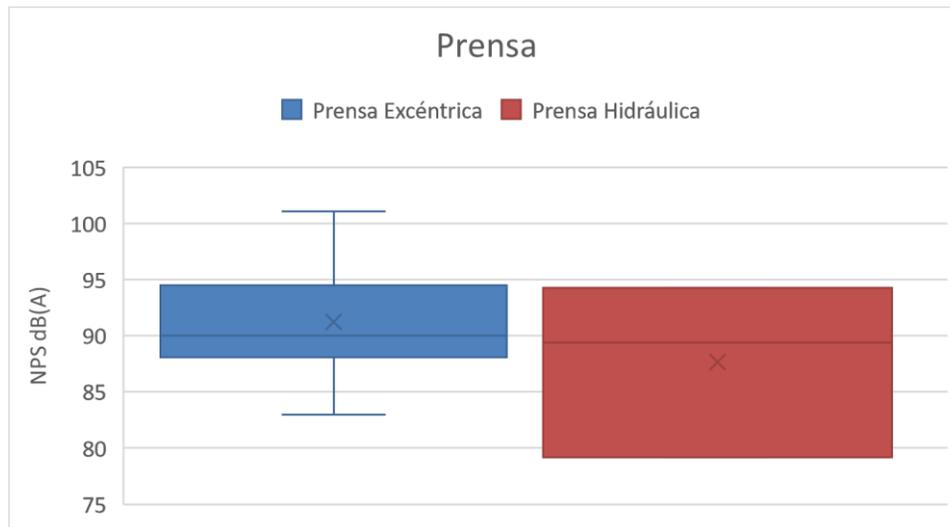


Gráfico 43. NPS asociados a la operación de Prensa.

Se aprecia que para la Prensa Excéntrica, los NPS se concentran en un 50% entre 88 dB(A) y 95 dB(A) y el 25% de las mediciones con mayor generación de ruido entre 95 dB(A) y 101 dB(A).

La incidencia de esta máquina, en distintos tonelajes, fue de 22 oportunidades, encontrándose ejemplares de 25T hasta 630T. La Prensa Hidráulica se encontró en 3 ocasiones, con tonelajes de 50T y 60T, y los NPS registrados se encuentran entre 79 dB(A) y 94 dB(A).

Para ambos tipos de prensas, debido a que suele ser una máquina de larga vida útil, se encontraron diversas unidades en que no fue posible determinar marca ni tonelaje.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las distintas tareas identificadas en el Gráfico 43, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por Prensa excéntrica se presenta en Gráfico 44. Se observa una curva muy definida, mostrando la máxima energía en torno a los 2 kHz.

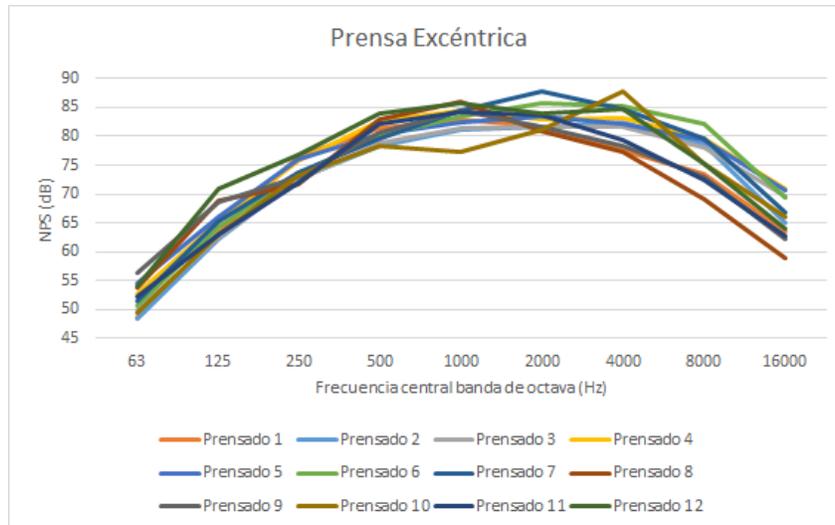


Gráfico 44. Composición espectral del ruido generado en Prensa excéntrica.

La composición energética del ruido generado por Prensa hidráulica se presenta en Gráfico 45. Se observa una curva menos pronunciada que para la prensa excéntrica, con un máximo entre 500 Hz y 2 kHz.

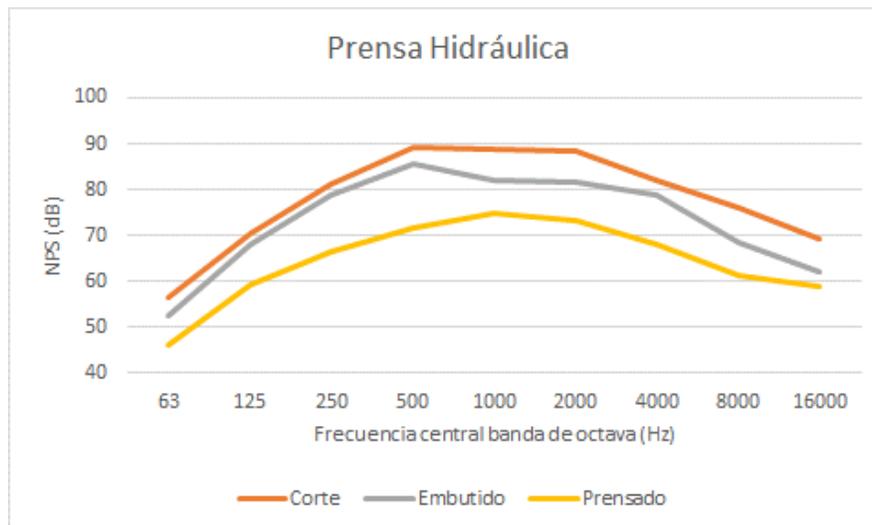


Gráfico 45. Composición espectral del ruido generado en Prensa hidráulica.

7.4.5 Sierra huincha

En el Gráfico 46 se presentan las distribuciones de NPS registrados en tareas de corte con Sierra huincha medidas en las visitas a terreno.

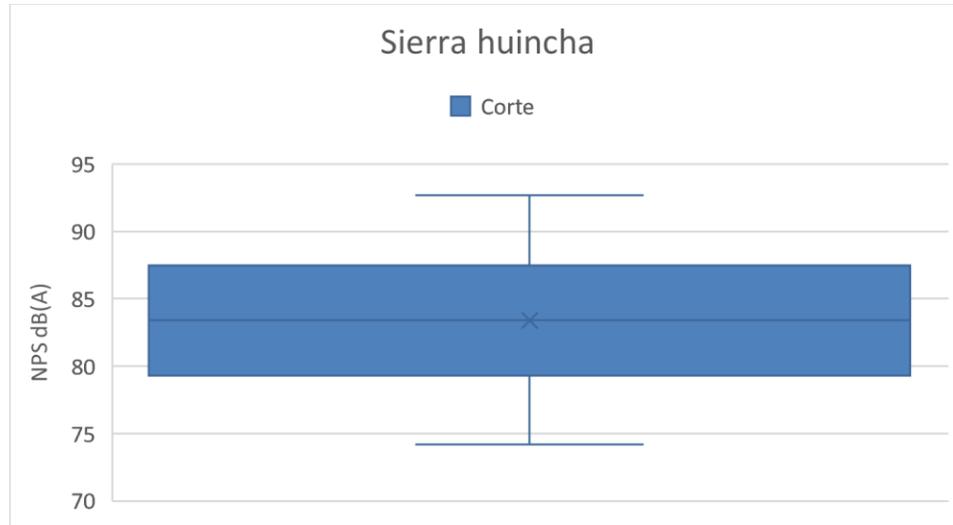


Gráfico 46. NPS asociados al uso de Sierra huincha en tareas de corte.

Se observa que el 50% de las mediciones realizadas corresponden a NPS entre 79 dB(A) y 88 dB(A) y el 25% superior registrado se ubica entre este último valor y 92 dB(A). La incidencia de este método de corte dentro de las 38 empresas visitadas fue de 15 veces.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de la tarea identificada en el Gráfico 46, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por sierra huincha se presenta en el Gráfico 47. Se observa una mayor concentración energética en el rango entre 1 kHz y 4 kHz principalmente.

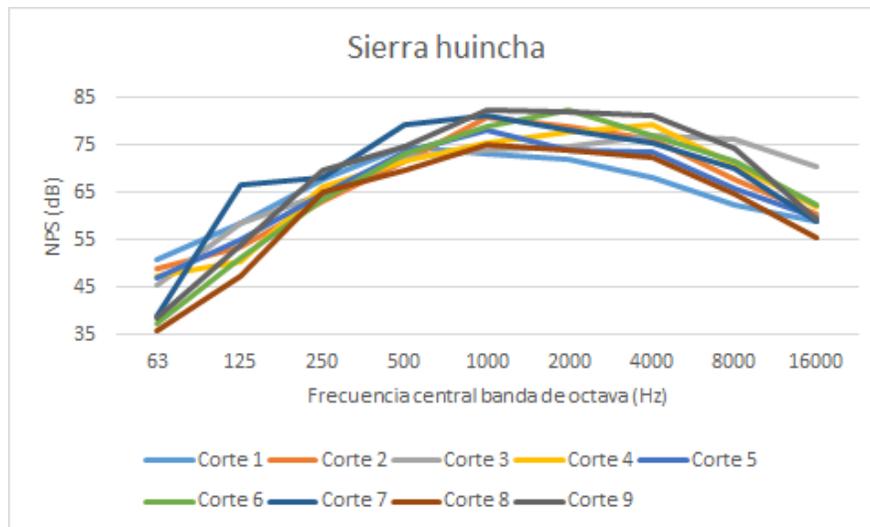


Gráfico 47. Composición espectral del ruido generado en corte con sierra huincha.

7.4.6 Taladro

El taladro se puede agrupar en 2 tipos principales según lo observado en las visitas efectuadas: taladro de pedestal y taladro eléctrico. Sus NPS asociados se muestran en el Gráfico 48 .

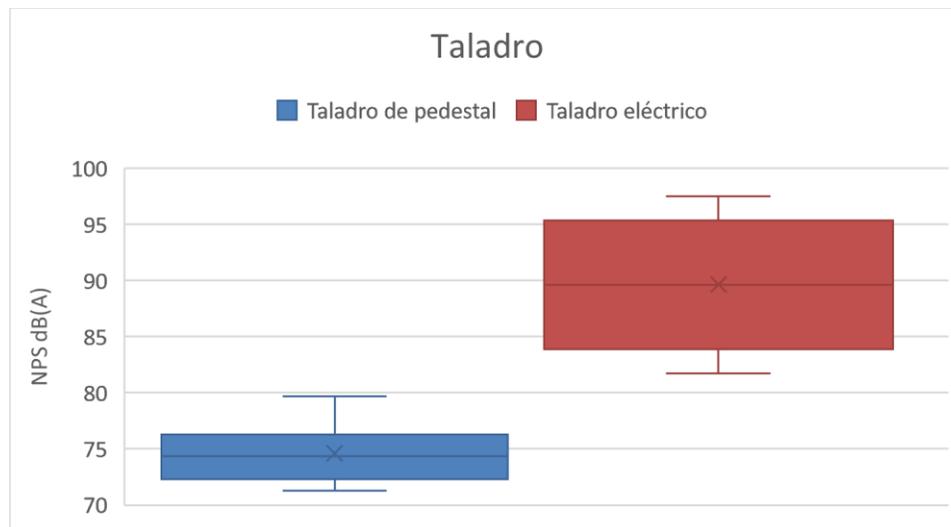


Gráfico 48. NPS asociados al uso de Taladro (pedestal y eléctrico).

Se aprecia que los NPS emitidos por la operación de Taladro de pedestal, y registradas en empresas pertenecientes al grupo de las 38 visitadas, son en su totalidad menores a las registradas para el uso de Taladro eléctrico. Así, el 100% de las mediciones efectuadas para Taladro de pedestal se encuentra entre 71 dB(A)

y 80 dB(A), mientras que, para el Taladro eléctrico, el 50% de las mediciones se encuentra entre 83 dB(A) y 96 dB(A), con el 25% de las mediciones con mayor generación de ruido ubicadas sobre el segundo cuartil, entre 96 dB(A) y 98 dB(A).

Las incidencias fueron 10 y 5 para las versiones de pedestal y eléctrico, respectivamente. No se muestran en el Gráfico 48 las mediciones realizadas a las versiones de Taladro Radial y Taladro Inalámbrico, pues se encontró solo una muestra para cada uno, con NPS asociados de 77 dB(A) y 83 dB(A) respectivamente.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las tareas identificadas en el Gráfico 48, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por el taladro de pedestal se presenta en Gráfico 49. Se observa que en 3 de las muestras obtenidas se presenta un aumento abrupto en la banda de los 4 kHz, y un alto grado de coherencia entre los registros.

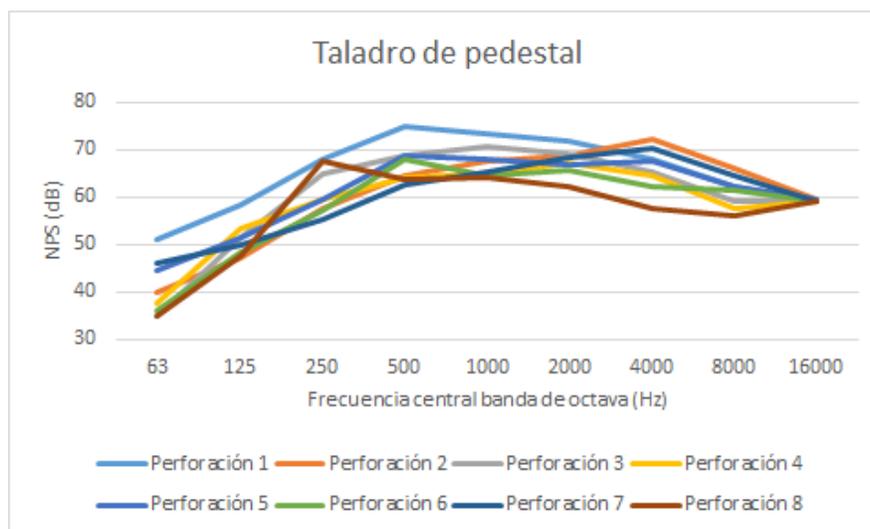


Gráfico 49. Composición espectral del ruido generado en tareas de perforación con taladro de pedestal.

La composición energética del ruido generado por el taladro de pedestal se presenta en el Gráfico 50. Se observa un aumento progresivo hasta los 1000 Hz, para

estabilizarse hasta los 4000 Hz, a partir de donde se muestra una disminución en la energía emitida.

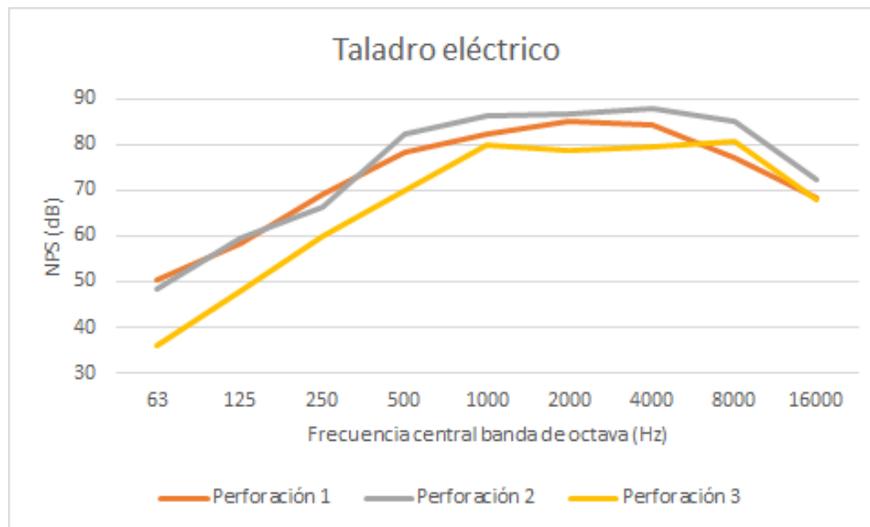


Gráfico 50. Composición espectral del ruido generado en tareas de perforación con taladro eléctrico.

7.4.7 Pistola de aire comprimido

A continuación, en el Gráfico 51, se presentan las distribuciones de NPS registrados para esta herramienta, considerando tanto su uso en actividades de limpieza, como en mediciones realizadas de forma referencial al vacío, para identificar su contribución energética sin considerar el efecto de las turbulencias generadas en el punto de impacto del fluido aire expulsado a alta velocidad con las superficies irregulares en que se aplica.

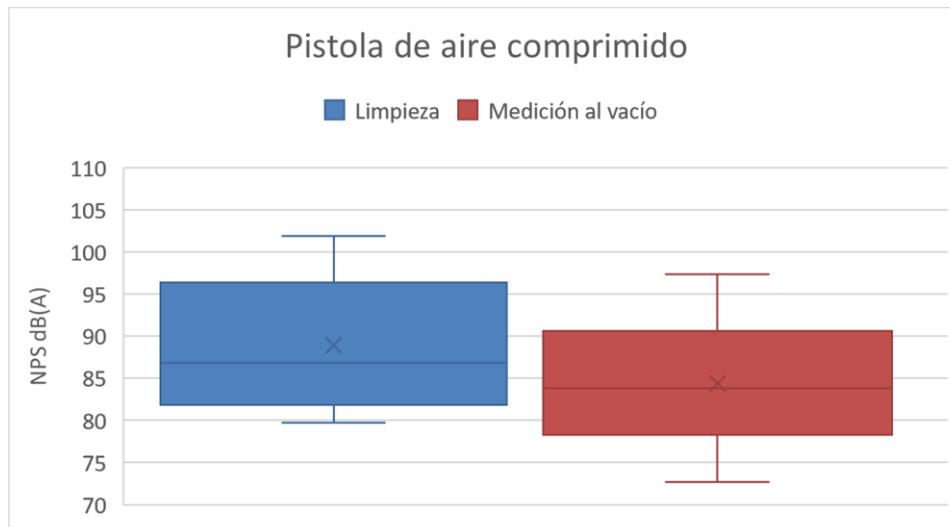


Gráfico 51. NPS asociados al uso de pistola de aire comprimido.

Se observa que las tareas de limpieza tienen asociada una mayor emisión de ruido que en su operación al aire libre (al vacío), por la aparición de turbulencias en el punto de impacto mencionado, que se suma al ruido de turbulencias generado en el punto de expulsión del fluido; en su totalidad, a excepción de un caso, el uso de pistola de aire comprimido no consideró el uso de dispositivo silenciador en su boquilla.

Al efectuar la limpieza de una máquina sin silenciador, se registró sobre 94 dB(A), mientras que al utilizar el silenciador el NPS se redujo en aproximadamente 12 dB(A). Al comparar las emisiones de dicha pistola al aire libre (en vacío) en ambos escenarios, la disminución del ruido fue de aproximadamente 22 dB(A). Este dato (de la pistola sin silenciador al vacío) no se consideró en la elaboración del gráfico por alterar notoriamente la distribución por su elevada carga energética. De esta forma, el 50% de las mediciones realizadas ubican los NPS entre 81 dB(A) y 97 dB(A) para la limpieza de superficies, y entre 78 dB(A) y 91 dB(A) en el soplado al vacío.

La incidencia de mediciones realizadas para esta herramienta fue de 12 muestras para limpieza y 8 para soplado al vacío.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las tareas identificadas en el Gráfico 51, considerando aquellas mediciones que se encuentran

dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por la pistola de aire comprimido en tareas de limpieza se presenta en el Gráfico 52. Se observa un comportamiento de aumento constante hasta los 8 kHz, a partir de donde se presenta una reducción en la energía emitida. En esta banda de octava se alcanza los máximos NPS, correspondientes a aproximadamente 40 dB sobre los valores mínimos.

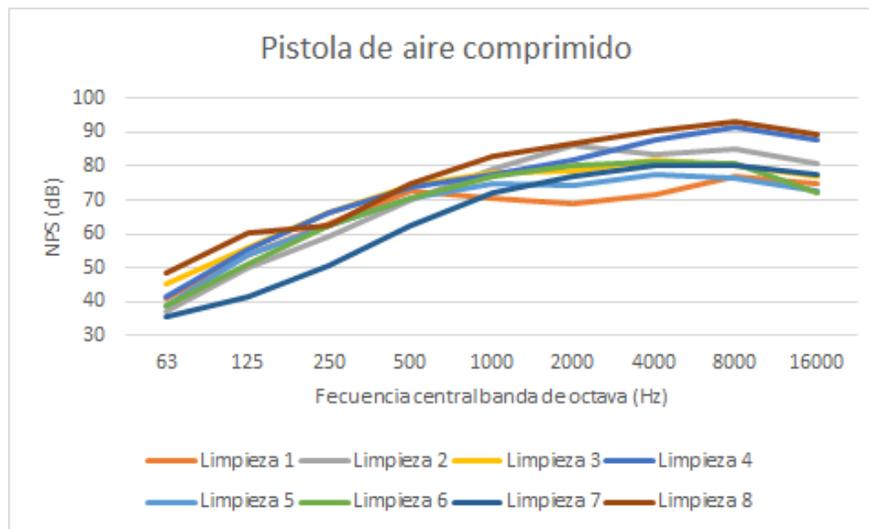


Gráfico 52. Composición espectral del ruido generado en tareas de limpieza con pistola de aire comprimido.

La composición energética del ruido generado por pistola de aire comprimido en operación al vacío se presenta en el Gráfico 53. Se observa una composición similar al del ruido generado en los procesos de limpieza, diferenciándose principalmente en la cantidad de energía emitida.

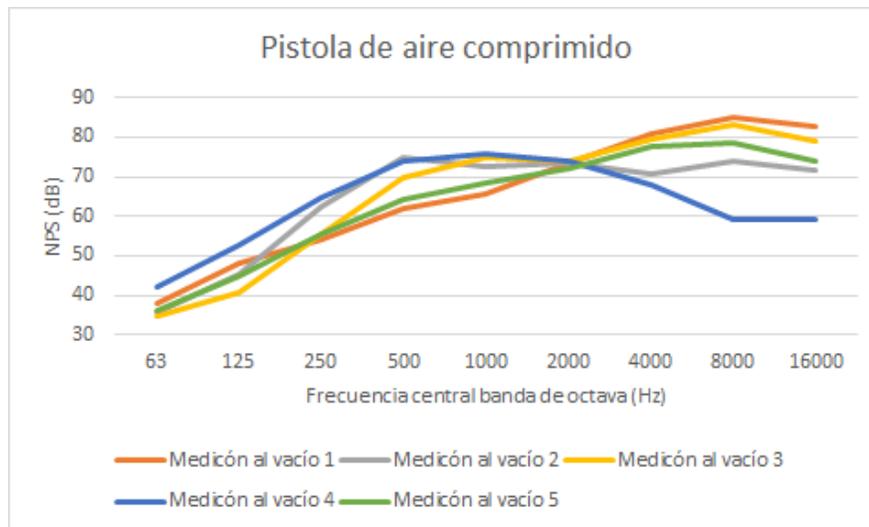


Gráfico 53. Composición espectral del ruido generado en tareas de soplado al vacío con pistola de aire comprimido.

7.4.8 Mazo metálico

Las mediciones efectuadas para mazo metálico en tareas de golpe de pieza para distintos fines se muestran en el Gráfico 54.

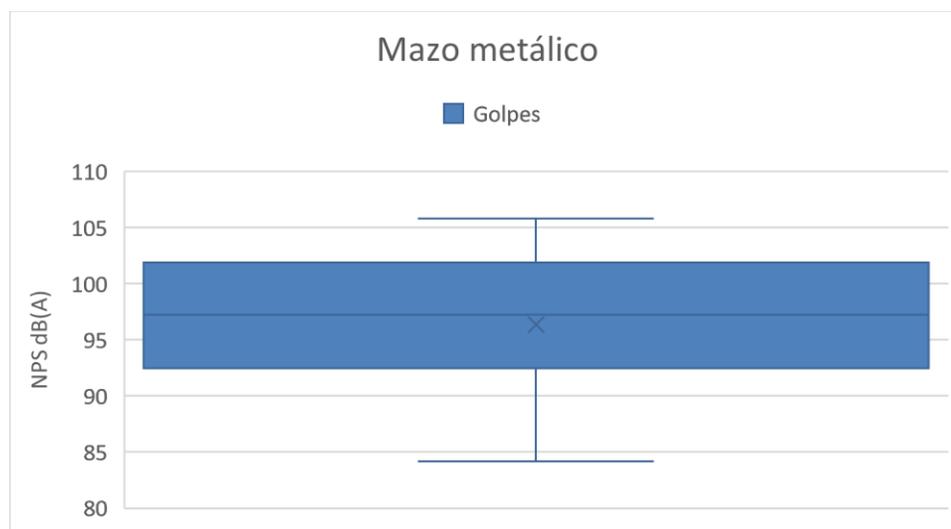


Gráfico 54. NPS asociados al uso de Mazo metálico.

Se observa que el 50% de las mediciones efectuadas (14 en total) se ubican en el rango de 92 dB(A) a 102 dB(A) y el 25% de los NPS más elevados corresponden a mediciones de entre 102 dB(A) y 106 dB(A). El valor de NPS más bajo registrado corresponde a 84,2 dB(A). Así, se distingue una diferencia de más de 20 dB(A) entre el valor máximo y el mínimo registrados, lo que se puede atribuir a la aleatoriedad

en las condiciones de uso de la herramienta, dependiendo altamente de la fuerza empleada por parte del trabajador, la materialidad de la pieza sobre la que se está efectuando los golpes, la estructura en que se encuentra ubicada esta pieza, el peso del mazo propiamente tal, y otros factores.

A continuación, se presenta un gráfico con la composición espectral de la tarea identificada en el Gráfico 54, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por mazo metálico en tareas de golpes en metales se presenta en Gráfico 55. Se observa una composición agrupada principalmente a partir de los 500 Hz, hasta los 8000 Hz.

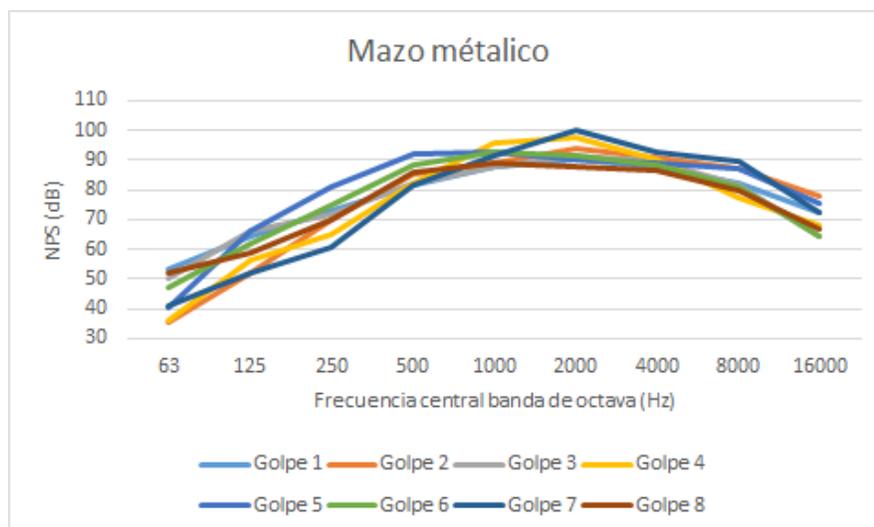


Gráfico 55. Composición espectral del ruido generado en tareas de golpes de metales con mazo metálico.

7.4.9 Guillotina

En las visitas efectuadas a las 38 empresas, se registró el uso de Guillotina en 19 oportunidades, y los NPS asociados se presentan en el Gráfico 56.

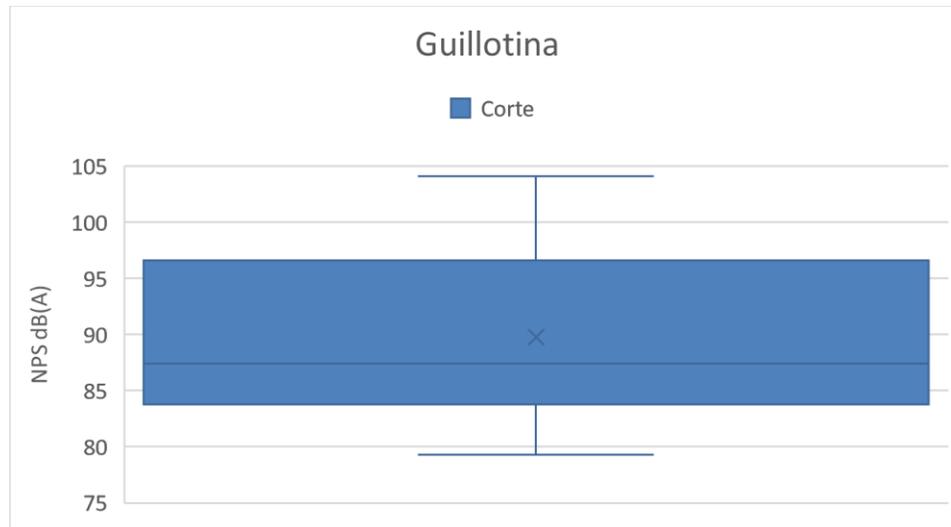


Gráfico 56. NPS asociados al uso de Guillotina en tareas de corte.

Aquí se puede observar que el 50% de las mediciones efectuadas se concentra entre 83 dB(A) y 97 dB(A), mientras que el 25% de NPS más altos se encuentra entre 97 dB(A) y 104 dB(A). En general, se puede ver que los menores NPS corresponden a cortes efectuados a piezas de bajos espesores, ya que el ruido generado por estas máquinas tiene origen tanto en la acción del corte efectuado, como en la caída de la pieza dimensionada en la parte posterior, la que generalmente es de materialidad metálica sin intervención para permitir el deslizamiento de la pieza para su posterior retiro.

A continuación, se presenta un gráfico con la composición espectral de la tarea identificada en el Gráfico 56, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por guillotina en tareas de cortes de metales se presenta en Gráfico 57. Se observa una alta coherencia entre las muestras obtenidas, con una mayor concentración de energía a partir de los 250 Hz, disminuyendo entorno a los 4 kHz.

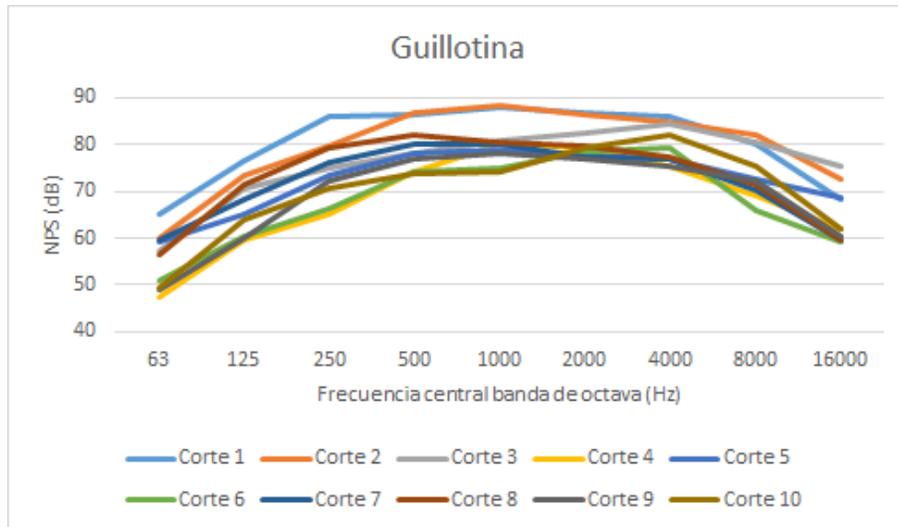


Gráfico 57. Composición espectral del ruido generado en tareas de corte de metales mediante guillotina.

7.4.10 Grúa horquilla

La grúa horquilla corresponde a una fuente de ruido con diversos orígenes, como su unidad motriz, y sistemas de alerta de desplazamiento, como bocinas y alarmas de retroceso. Los NPS registrados para estas distintas etapas de generación de ruido se muestran en el Gráfico 58.

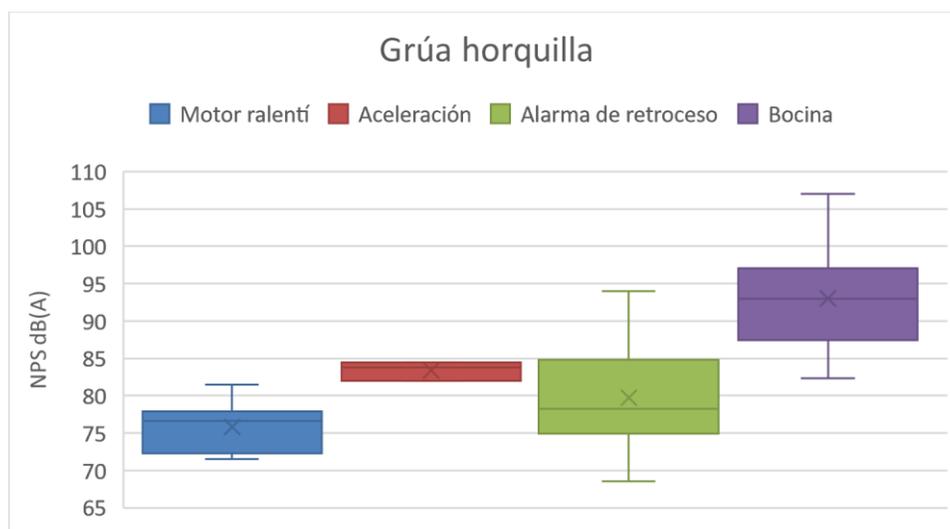


Gráfico 58. NPS asociados al uso de Grúa horquilla.

Se aprecia que los mayores NPS asociados a la operación de grúa horquilla tienen relación con el accionamiento de bocinas, principalmente para indicación de proximidad en cruces; el 50% de los valores registrados asociados a esta condición

se encuentran entre 87 dB(A) y 97 dB(A), elevándose hasta 107 dB(A), con el valor mínimo registrado de 82 dB(A). Solo el 25% de las muestras registradas tiene un NPS de entre 82 dB(A) y 87 dB(A).

Otra condición de generación de ruido de importancia corresponde a la presencia de alarmas de retroceso, cuyos NPS registrados se encuentran mayoritariamente (50% de las muestras) entre 74 dB(A) y 85 dB(A), pero con 25% de niveles que se elevan hasta 94 dB(A).

Por otra parte, las unidades motrices generan ruido al encontrarse encendidas sin carga (ralentí) y bajo operación; se observa que los NPS registrados para los motores en aceleración superan en todos los escenarios al del motor en ralentí. Bajo esta última condición, los NPS registrados presentan valores principalmente (50% de las muestras) en el rango de 72 dB(A) a 78 dB(A), con el 25% de las muestras más altas entre 78 dB(A) y 81 dB(A). Para los motores en revoluciones de aceleración, se encontró NPS entre 82 y 85 dB(A), medidos a la altura del oído más expuesto del trabajador operando el vehículo. Esta última estadística no presenta desviaciones por la dificultad que se presenta en la medición de un vehículo en movimiento, versus la condición de ralentí (incidencias de 12 y 3 para ralentí y acelerado respectivamente).

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las fuentes de ruido asociadas a la operación de grúa horquilla, identificadas en el Gráfico 56, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por grúa horquilla, mediante su motor en modalidad ralentí, se presenta en Gráfico 59. Se observa una curva con alta energía a partir de los 125 Hz, y una disminución entorno a los 4 kHz aproximadamente.

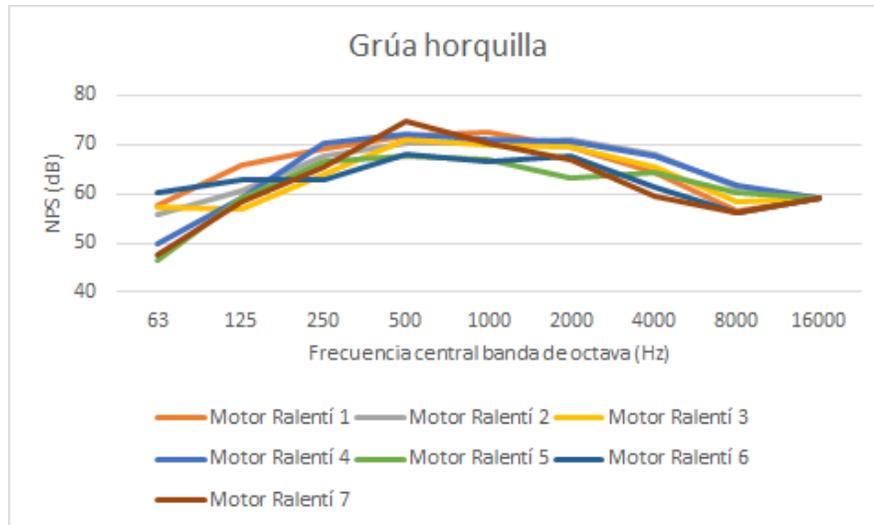


Gráfico 59. Composición espectral del ruido generado por el motor de las grúas horquilla en estado ralentí.

La composición energética del ruido generado por grúa horquilla, mediante su motor en modalidad acelerado, se presenta en Gráfico 60. A diferencia del estado ralentí, se aprecia una marcada concentración entorno a los 500 Hz.

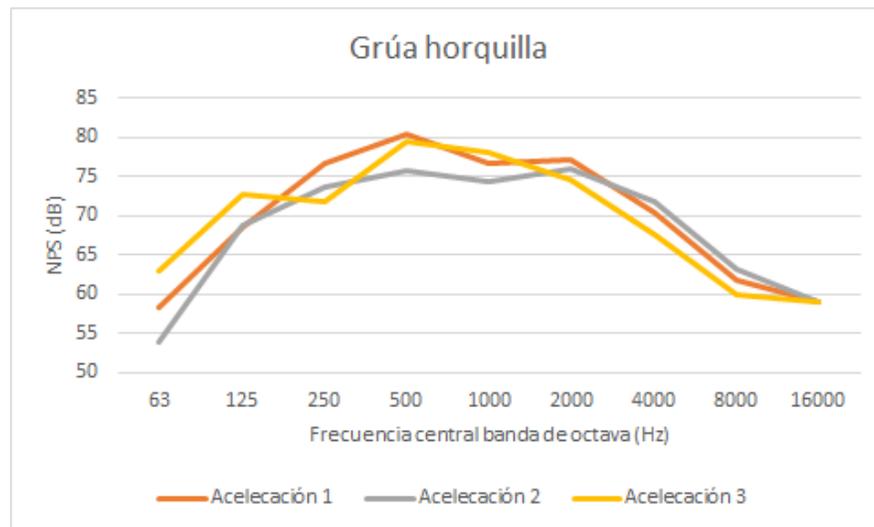


Gráfico 60. Composición espectral del ruido generado por el motor de las grúas horquilla en estado acelerado.

La composición energética del ruido generado por grúa horquilla, mediante su alarma de retroceso, se presenta en Gráfico 61. Se observa un aumento en torno a los 1000 Hz hasta los 2000 Hz, correspondiente con la zona de mayor sensibilidad del oído humano.

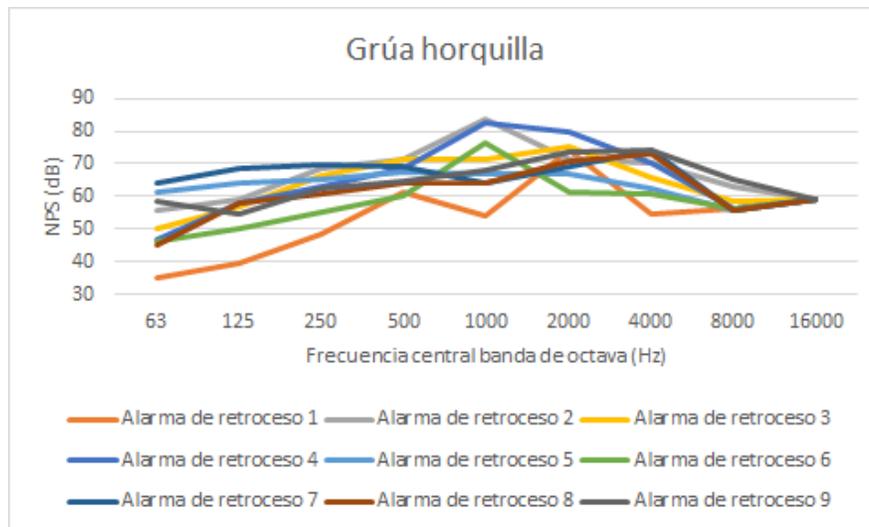


Gráfico 61. Composición espectral del ruido generado por la alarma de retroceso de las grúas horquilla.

La composición energética del ruido generado por grúa horquilla, mediante su bocina, se presenta en Gráfico 62. Se observa aumentos abruptos en torno a los 500 Hz y en torno a los 4 kHz.

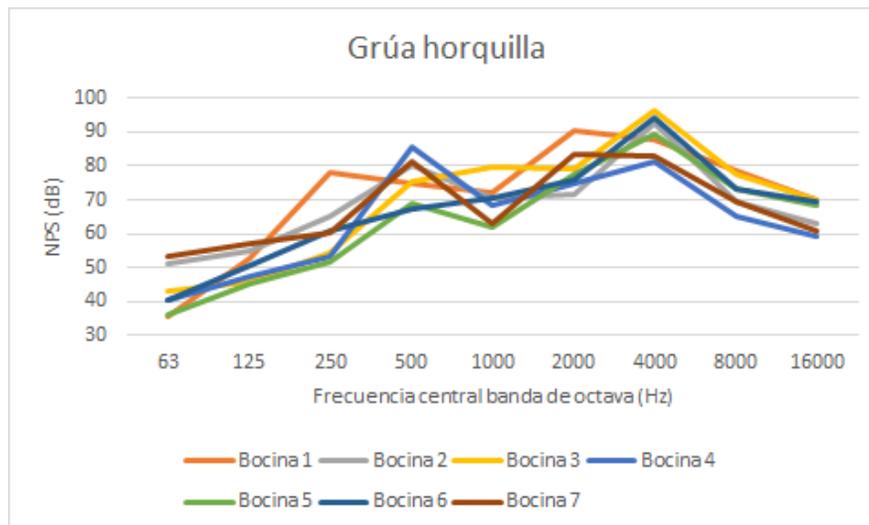


Gráfico 62. Composición espectral del ruido generado por la bocina de las grúas horquilla.

7.4.11 Corte con oxicorte y plasma

La realización de corte de metales se realiza habitualmente mediante técnicas de oxicorte y plasma, y cuyos NPS emitidos y registrados en las visitas se presentan en el Gráfico 63.

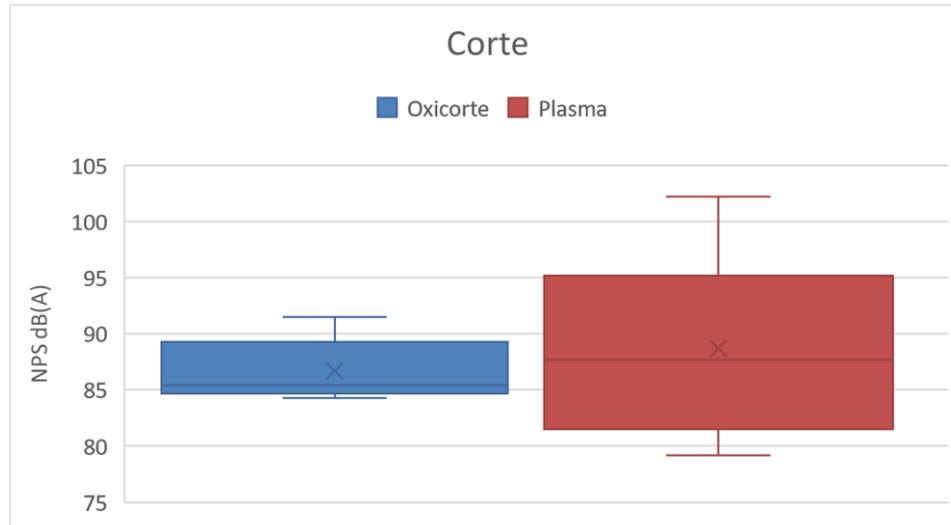


Gráfico 63. NPS asociados a la aplicación de oxicorte y plasma para el corte de metales.

La incidencia para ambas técnicas fue de 5 y 9 para oxicorte y plasma, respectivamente.

Para el oxicorte, el 50% de las mediciones registradas poseen NPS entre 84 dB(A) y 90 dB(A), mientras que el 25% de las mediciones más altas se encuentran entre 90 dB(A) y 92 dB(A).

Para el corte con Plasma, el rango es mayor, ubicando el 50% de las mediciones entre 81 dB(A) y 96 dB(A), mientras que los NPS más elevados (cuartil superior), se ubican entre 96 dB(A) y 103 dB(A).

En ambos métodos de corte, se observa una relación directa entre las características del material a cortar (espesor), con la generación de ruido, debido principalmente a la potencia empleada.

Finalmente, en estos resultados se incluyen metodologías de corte, tanto para Oxicorte como para Plasma, manuales y automatizadas, de control numérico principalmente; entre estas no se observa una tendencia respecto a que una

entregue mayores NPS en el trabajador a cargo de realizar la tarea sobre otra, a diferencia de la mencionada con anterioridad.

A continuación, se presentan gráficos con la composición espectral de las fuentes de ruido asociadas a la acción de corte mediante oxicorte y plasma, identificadas en el Gráfico 63, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por corte utilizando oxicorte, se presenta en Gráfico 64. Se observa una concentración principalmente en torno a los 4 kHz.

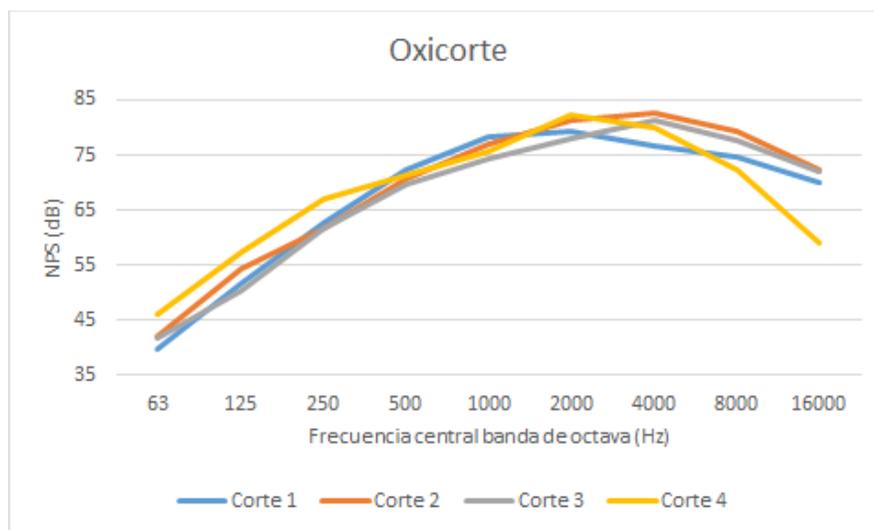


Gráfico 64. Composición espectral del ruido generado por la acción de corte mediante oxicorte.

La composición energética del ruido generado por corte utilizando plasma, se presenta en Gráfico 65. Se observa una curva suave (con baja pendiente) a través de todo el espectro, presentando un decaimiento a partir de los 8 kHz.

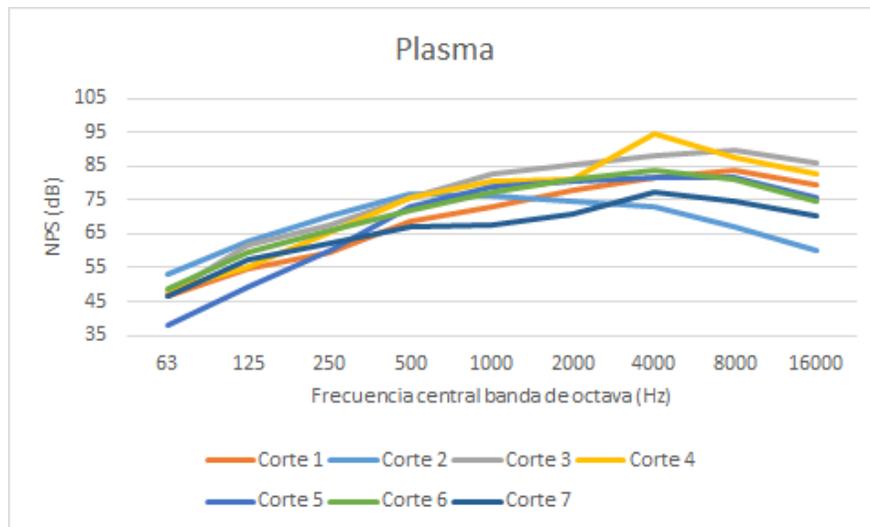


Gráfico 65. Composición espectral del ruido generado por la acción de corte mediante plasma.

7.4.12 Tronzadora

El uso de tronzadora encontrado en las visitas a las empresas seleccionadas, y los NPS generados por el mismo, se presentan en el Gráfico 66.

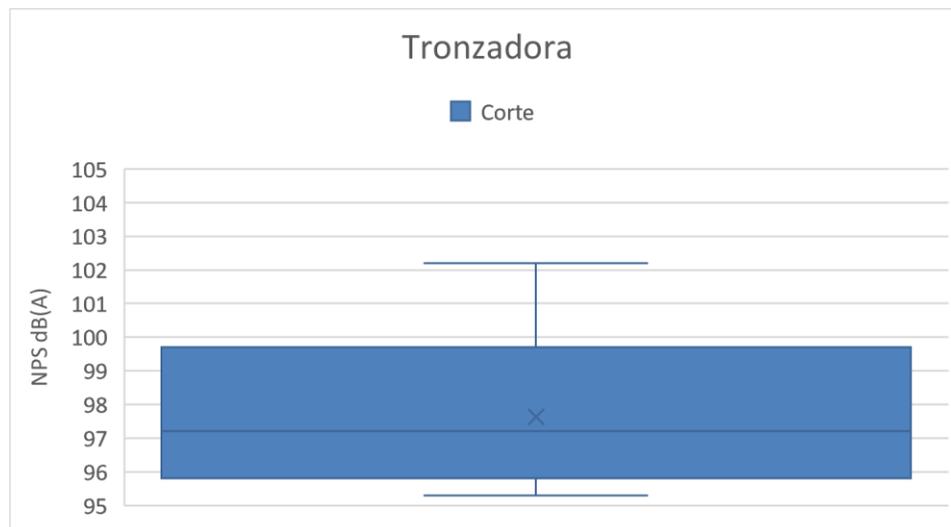


Gráfico 66. NPS asociados a la utilización de Tronzadora para corte de metales.

Se observa que el 100% de las mediciones efectuadas para esta máquina efectuando cortes de metales se encuentra sobre 95 dB(A), siendo la medición más baja de 95 dB(A), y la más alta de 102 dB(A). El 50% de las mediciones se ubica entre 95 dB(A) y 100 dB(A).

A continuación, se presenta un gráfico con la composición espectral de la tarea identificada en el Gráfico 66, considerando aquellas mediciones que se encuentran dentro del 50% central de las muestras obtenidas, correspondientes a la caja del gráfico de distribución de NPS.

La composición energética del ruido generado por corte utilizando oxicorte, se presenta en Gráfico 67. Se observa una mayor concentración a partir de los 500 Hz hasta los 8000 Hz, desde donde decae la energía emitida.

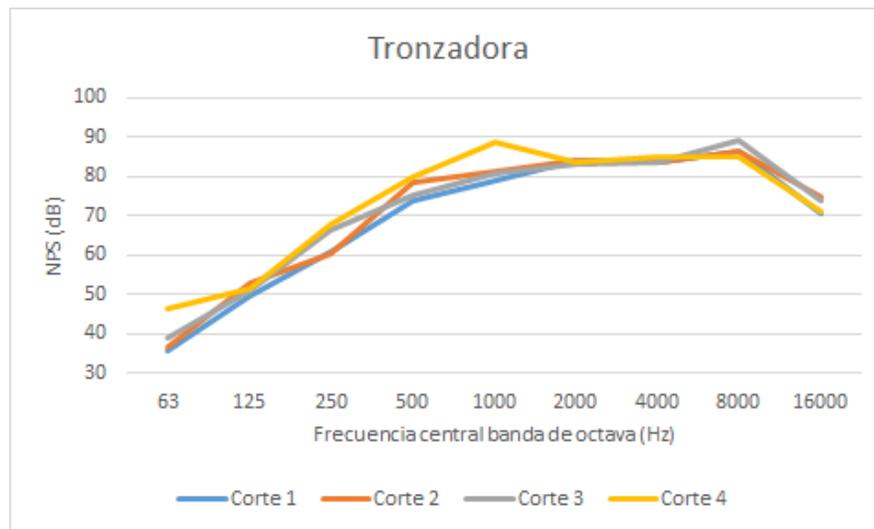


Gráfico 67 Composición espectral del ruido generado por el corte de metales mediante tronadora.

7.5 Modelaciones

Las empresas de metalmecánica se caracterizan por ser recintos con gran reverberación debido a su volumen y materialidad constructiva, donde se priorizan los espacios amplios, abiertos y materiales con alta dureza para prolongar su vida útil ante condiciones de alto deterioro; igualmente, estos recintos albergan máquinas y elementos metálicos con una alta reflectividad. Los volúmenes de las empresas modeladas varían entre 1140 m³ y 190620 m³; la materialidad habitual es hormigón en sus pisos, con cielos y muros conformados por, o una combinación de, zinc ranurado, ladrillo y yeso cartón. En todos los casos, el techo no cuenta con cielo falso y los espacios se definen como cerrados o semicerrados, no existiendo muestras que se consideren espacios abiertos.

Los materiales que componen los techos y pisos (hormigón y zinc ranurado) tienen un muy bajo coeficiente de absorción bajo, a diferencia de las paredes compuestas por ladrillo y yeso cartón, materiales que poseen un coeficiente de absorción más alto; esto contribuye en cierta medida a reducir el tiempo de reverberación (TR) del recinto; el caso extremo corresponde a las zonas o superficies verticales (muros) abiertos, los que proporcionan una absorción perfecta, donde el 100% de la onda sonora incidente traspasa el área y no es reflejada.

Los tiempos de reverberación medidos fluctúan entre los 1,65 s y 3,41 s, correspondiendo a las muestras con menor y mayor volumen respectivamente (muestras 2 y 3).

Igualmente se observa que existe una correlación entre los TR con las características constructivas de los recintos respecto a sus materialidades y su configuración, donde las construcciones cerradas aumentan el número de superficies en las que se generan reflexiones sonoras y las materialidades con menor capacidad de absorción sonora aumentan la concentración energética. Estos aspectos propician altos grados de dispersión sonora al interior de los centros de trabajo, lo que se demuestra en las simulaciones como altos NPS en zonas alejadas a los principales puntos de emisión de ruido, las que son identificadas en cada simulación de acuerdo con las características de emisión de cada fuente de ruido.

8 MEJORAS Y SOLUCIONES

A continuación, se muestra un conjunto de medidas, para disminuir los niveles de presión sonora, tanto a nivel de fuente, como en el medio de transmisión.

Las medidas estudiadas correspondieron a:

- Discos de desbaste de 4 ½" con tecnología de menor emisión sonora.
- Variación de parámetros en procesos de soldadura.
- Mazo con cabeza de nylon y mesa de trabajo con sistema de amortiguación.
- Pistola con menor emisión de ruido para soplado con aire comprimido,
- Barreras acústicas móviles.
- Pantalla traslúcida.
- Encierro acústico a tronzadora.
- Encierro de cabina de grúa horquilla.

8.1 Discos desbaste con esmeril angular 4 ½" de menor emisión sonora

Se efectuaron mediciones de los niveles de ruido que generan los procesos de desbaste de cordones de soldadura, en placas de acero de 5 mm de espesor, utilizando esmeriles angulares de las marcas Bosch, Makita y Metabo y discos de desbaste tradicionales o rígidos, traslapados o flap y discos de lija de la marca Pferd.

Las mediciones efectuadas para los esmeriles marca Bosch y Makita se desarrollaron en laboratorio de pruebas de la empresa 3M, en tanto las mediciones asociadas al esmeril Metabo y a los discos de la marca Pferd, se efectuaron en dependencias de la empresa Aceros Oteros, distribuidores de los discos señalados. Adicionalmente, en dependencias de la empresa Makita, se efectuaron mediciones con esmeril del tipo inalámbrico, para compararlo con uno de tipo eléctrico convencional.

En relación con las marcas de los discos utilizados, para las pruebas efectuadas en laboratorio de 3M se utilizaron discos de marcas: Rasta, 3M y DeWalt como discos rígidos, y de marcas 3M y Pferd como discos Flap. Para las pruebas en la empresa Aceros Otero se utilizaron discos de marcas: Indura, Bauker y Pferd (Whisper) como discos rígidos, y Pferd como disco de lija. Para las pruebas en la empresa Makita, se utilizaron discos de marca Makita, tanto del tipo rígido, como del tipo Flap.

La Figura 29 muestra los discos utilizados y la placa de acero (desbastada) que se utilizó en la empresa Aceros Otero.



Figura 29. Discos utilizados en las pruebas (izquierda) y placa de acero utilizada

Los resultados de las mediciones descritas se presentan en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 5. Resultados de las mediciones efectuadas en Laboratorio de empresa 3M.

Esmeril	Tipo de disco	NPSeq dB(A)
Bosch GWS11-125 (Eléctrico, 1100 W)	Sin disco	91,8
	Disco rígido o tradicional	103,9
	Disco traslapado o Flap	95,4
Makita 9005B (Eléctrico, 1200 W)	Sin disco	90,7
	Disco rígido o tradicional	101,5
	Disco traslapado o Flap	93,1

Tabla 6. Resultados de las mediciones efectuadas en empresa Aceros Otero.

Esmeril	Tipo de disco	NPSeq dB(A)
Metabo WA12-125 (Eléctrico, 1250 W)	Sin disco	94,7
	Disco rígido o tradicional	103,4
	Disco rígido, Pferd Whisper	98,3
	Disco lija, Pferd Victor Graind	95,4

Tabla 7. Resultados de las mediciones efectuadas en la empresa Makita.

Esmeril	Tipo de disco	NPSeq dB(A)
Makita 9557HN (Eléctrico, 840 W)	Sin disco	87,1
	Disco rígido o tradicional	100,8
	Disco traslapado o Flap	97,3
Makita DGA 458 (Inalámbrico)	Sin disco	82,4
	Disco rígido o tradicional	98,0
	Disco traslapado o Flap	90,6

De los resultados expuestos en las tablas se observa lo siguiente:

- En procesos de desbaste, la utilización de discos Flap emiten, en promedio, 8 dB(A) menos que los discos tradicionales o rígidos.
- Entre los discos considerados como rígidos, el disco Whisper de la marca Pferd, en la prueba con el esmeril Metabo, emitió 5 dB(A) menos que el disco rígido tradicional, mientras que el disco lija Victor Graind 36g, se comporta como un disco de lija traslapada, ya que produce 8 dB(A) menos.
- Las mediciones efectuadas en la empresa Makita, indican que el esmeril inalámbrico, emitió menores niveles de ruido que los eléctricos, característica atribuible a que su motor funciona sin carbones, siendo su funcionamiento en vacío el menor de todos los esmeriles medidos.

8.2 Variación de parámetros en procesos de soldadura

Se efectuaron mediciones de los niveles de ruido que genera el proceso de soldadura tipo MIG, al variar los parámetros de voltaje y velocidad de trabajo en la máquina soldadora. Para tal efecto, en dependencias de la empresa Indura y utilizando una máquina soldadora marca Kemppi, modelo Fastmig MSF 55, se realizaron 5 cordones de soldadura sobre una placa de 5mm de espesor y se midieron los niveles de ruido que se producían a la altura del oído más expuesto de la persona que desarrollaba la prueba.

En cada una de las pruebas, se seleccionó un voltaje de partida y una velocidad de salida del cable, con la intención de mantener el mismo ancho del cordón de soldadura en cada una de ellas. Las pruebas se iniciaron con un voltaje de 17 V y una velocidad de 3,4 m/min, luego el voltaje se fue aumentando en pasos de 1 V, y las velocidades se fueron ajustando en relación con este parámetro, mientras que el amperaje se ajustaba automáticamente en la máquina. Los resultados de estas pruebas se muestran en la Tabla 8.

En la Figura 30 se muestran los cordones de soldadura que se realizaron en la empresa Indura.



Figura 30. Cordones de soldadura efectuados en la empresa Indura.

Tabla 8. Resultados de emisión de ruido variando Voltaje y Velocidad de cordón.

Prueba	Velocidad (m/min)	Amperaje (A)	Voltaje (V)	NPSeq dB(A)
1	3,4	100	16	85,4
2	3,8	130	17	86,4
3	4,6	150	18	88,2
4	5,8	170	19	89,6
5	7,5	200	20	91,7

Se observa una relación directa entre los parámetros de voltaje/amperaje y el nivel de ruido, y que, al aumentar el voltaje en pasos de 1 V, el amperaje aumenta entre 20 A a 30 A aproximadamente, lo que se traduce en aumentos de entre 1 a 2 dB(A) en el nivel de ruido.

En la Tabla 9 se muestran algunas recomendaciones de parte de Indura, para considerar en esta tarea.

Tabla 9. Recomendaciones de voltaje según espesor del metal a soldar, entregados por Indura.

Voltaje (V)	Espesor (mm)
15-16	1
16-17	3
17-18	5-6
18-19	10
19-20	15
20-21	20
21-22	25

8.3 Mazo de nylon y mesa de trabajo con sistema amortiguado

Se efectuaron mediciones de los niveles de ruido que genera el proceso de martilleo de piezas metálicas, utilizando para ello martillo convencional (de cabeza metálica) y mazo de cabeza de nylon (marca Halder, modelo Supecraft), sobre una mesa metálica convencional y una mesa con sistema amortiguado. De esta forma, en

este punto se efectuaron 4 mediciones, de acuerdo con las distintas combinaciones que proporcionaron las medidas de control.

La mesa con sistema amortiguado se confeccionó adicionando a la mesa convencional una placa de caucho de 10 mm de espesor y sobre esta, otra placa metálica.

La Figura 31 muestra el martillo y el mazo utilizados para las mediciones y la Figura 32 la mesa con sistema amortiguado.

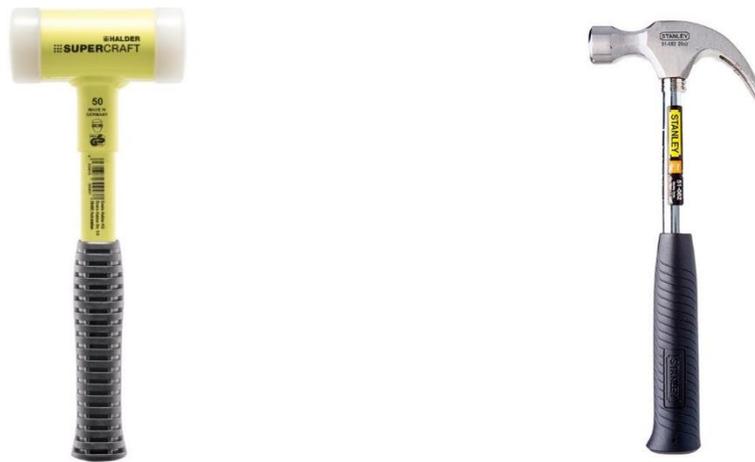


Figura 31. Mazo de nylon marca Halder (izquierda) y martillo metálico marca Stanley (derecha) utilizados en las pruebas.



Figura 32. Mesa con sistema amortiguado utilizado en las pruebas.

Los resultados de las mediciones efectuadas se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Prueba medida de control mazo Halder y martillo Stanley.

Tipo de martillo	Tipo de mesa	NPSeq dB(A)
Cabeza metálica	Metálica	98,3
Cabeza de nylon	Metálica	95,4
Cabeza metálica	Sistema amortiguado	94,7
Cabeza de nylon	Sistema amortiguado	88,5

De la tabla de resultados, se observa:

El uso de mazo con cabeza de nylon disminuyó en aproximadamente 3 dB(A), el nivel de ruido que se produce en el proceso de martilleo a una pieza metálica, respecto a un mazo con cabeza metálica, diferencia que aumenta considerablemente, casi 10 dB(A), cuando además se acondiciona la mesa de trabajo a una mesa con sistema amortiguado.

8.4 Pistola con menor emisión de ruido para soplado con aire comprimido

Se efectuaron mediciones de los niveles de ruido que generó el proceso de limpieza de piezas metálicas con aire comprimido, utilizando para ello pistola de soplado convencional marca DG-10 y una pistola con tecnología de menor emisión sonora, marca Silvent, modelo 007-L.

La Figura 33 muestra las pistolas utilizadas.



Figura 33. Pistola de aire comprimido convencional (izquierda), pistola de aire comprimido con tecnología de menor emisión de ruido (central) y uso de pistola en tareas de limpieza (derecha).

La Tabla 11 presenta los resultados de las mediciones efectuadas.

Tabla 11. Comparación de emisión de niveles de presión sonora de pistolas de soplado de aire comprimido, trabajo y al vacío.

Tipo de Pistola	Proceso	NPSeq dB(A)
DG-10	Soplado sin carga	80,5
Silvent 007-L	Soplado sin carga	77,8
DG-10	Limpieza de piezas metálicas	89,5
Silvent 007-L	Limpieza de piezas metálicas	88,8

De la tabla de resultados, se observa que en la condición de vacío o sin carga, la pistola de marca Silvent produce casi 3 dB(A) menos que la pistola convencional DG-10, diferencia que luego se minimiza a 0,7 dB(A) al efectuar el proceso de limpieza de máquinas, situación atribuible a que los NPS de ruido que se producen, dependen, en mayor medida de las formas y materialidades de las superficies donde impacta el aire comprimido que a la pistola que se utiliza.

8.5 Barreras acústicas

Para determinar el efecto que produce la instalación de barreras acústicas en la exposición directa e indirecta de trabajadores, se efectuaron mediciones con y sin barreras, de los niveles de ruido que produce el proceso de desbaste de piezas metálicas utilizando esmeril angular de 7", tanto en el lugar del trabajador que opera el esmeril, como en lugares donde se ubican trabajadores cercanos que se exponen indirectamente.

Las barreras acústicas fueron diseñadas con un espesor de 50 mm, y estuvieron conformadas por una placa de acero microperforada de 0,5 mm de espesor con 15% de área libre, lana mineral de 50 mm de espesor y placa de acero sólida de 0,5 mm de espesor. Estas dimensiones se seleccionaron por presentar buena disponibilidad comercial y adecuadas características de pérdida de transmisión para el metal, y de absorción sonora para la lana mineral; el porcentaje de área libre del metal microperforado permite el ingreso de las ondas sonoras junto con la protección del material fonoabsorbente encerrado, prolongando su vida útil.

La Figura 34 muestra las vistas isométricas del diseño de la barrera acústica, y la Figura 35 muestra las barreras fabricadas.

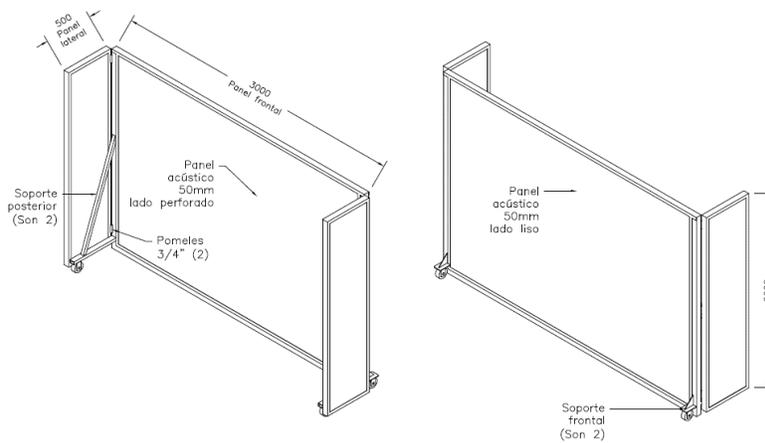


Figura 34. Vistas isométricas del diseño de la barrera acústica.



Figura 35. Fotografías de las barreras acústicas fabricadas.

La Figura 36 muestra un esquema de ubicación del operador expuesto directamente y los operadores que trabajan cerca de él.

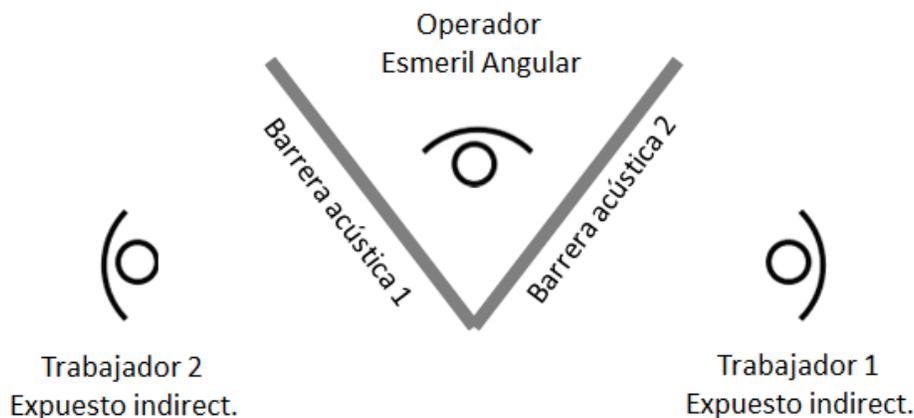


Figura 36. Esquema de utilización de barreras acústicas.

En la Tabla 12 se presentan los NPS obtenidos en esta prueba.

Tabla 12. Niveles de presión sonora a los que se exponen trabajadores según la utilización de barrera acústica.

Forma de exposición	Trabajador	NPSeq dB(A)
Sin barrera acústica	Trabajador expuesto directamente	101,2
	Trabajador 1 expuesto indirectamente	92,0
	Trabajador 2 expuesto indirectamente	90,3
Con barrera acústica	Trabajador expuesto directamente	102,1
	Trabajador 1 expuesto indirectamente	88,0
	Trabajador 2 expuesto indirectamente	84

De los resultados de la Tabla 12, se observa que el trabajador que opera el esmeril no presenta una disminución de su exposición cuando se instalan las barreras acústicas, manteniéndose prácticamente inalterada lo que es atribuible a la adecuada absorción de las ondas sonoras incidentes sobre la barrera (diferencia de 0,9 dB(A) atribuible a la variabilidad en la manipulación del esmeril) y disminuye en 4 dB(A) y casi 6 dB(A) a los trabajadores expuestos indirectamente 1 y 2 respectivamente, por la presencia de las pantallas acústicas.

8.6 Pantalla móvil traslúcida

Para determinar el efecto que produce la utilización de la pantalla móvil traslúcida en la exposición directa del trabajador encargado de realizar tareas con utilización de esmeriles, se efectuaron mediciones con y sin pantallas, de los niveles de ruido que produce el proceso de desbaste de piezas metálicas utilizando esmeril angular de 4 ½” y realizando el pulido de piezas metálicas con esmeril de pedestal, en el lugar del trabajador.

La pantalla móvil fue diseñada utilizando una placa de acrílico traslúcida tipo polimetilmetacrilato con un espesor de 15 mm, 900 mm de ancho y 500 mm de alto, montada sobre una estructura metálica que permite su ajuste, tanto en altura como en inclinación, además de contar con un sistema de ruedas para su fácil reubicación. Las dimensiones se consideran suficientes para proveer una sombra acústica sobre los órganos auditivos del trabajador, mientras que el espesor del PMM entrega una adecuada pérdida por transmisión en base a cálculos teóricos.

En la Figura 37 se muestra las vistas isométricas del diseño descrito.

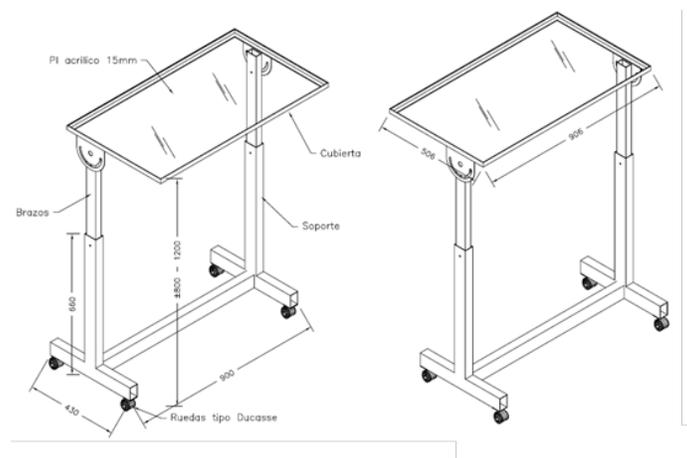


Figura 37. Vistas isométricas de diseño para Pantalla móvil traslúcida.

Se determinó el efecto que produce en la disminución de los niveles de exposición a ruido, la implementación de una pantalla móvil traslúcida en trabajos con esmeril de pedestal y esmeril angular 4 ½”. Para tal efecto, se realizaron mediciones del NPSeq que produce, tanto el esmeril de pedestal, como el angular, a nivel del oído

del operador, por un tiempo de 1 minuto de duración cada una, efectuando trabajos con y sin la pantalla.

La Figura 38 muestra la utilización de la medida para el pulido de piezas metálicas con esmeril de pedestal y para el desbaste de metales con esmeril angular de 4 ½”.

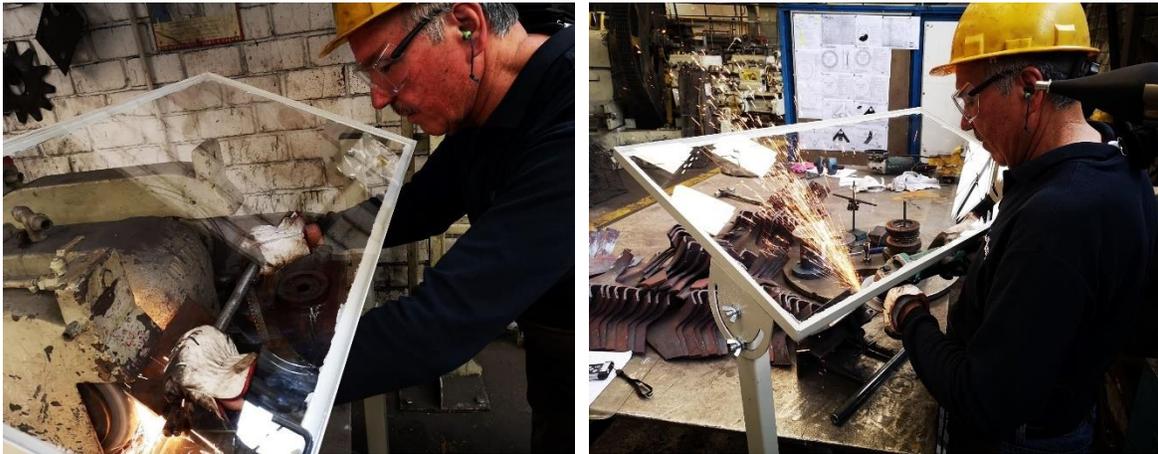


Figura 38. Utilización de pantalla acústica móvil en tareas de pulido con esmeril de pedestal (izquierda) y esmeril angular (derecha).

En la Tabla 13, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 13. Niveles de presión sonora a los que se exponen trabajadores según la utilización de pantalla traslúcida móvil.

Tipo de esmeril	Condición de medición	NPSeq dB(A)
Esmeril de pedestal	Sin pantalla acústica móvil traslúcida	98,1
	Con pantalla acústica móvil traslúcida	92,6
Esmeril angular	Sin pantalla acústica móvil traslúcida	100,3
	Con pantalla acústica móvil traslúcida	93,3

De los resultados que se presentan en la Tabla 13, se observa que el uso de la pantalla móvil traslúcida produce una disminución de 5,5 dB(A) cuando se ocupa con un esmeril de pedestal, y 7 dB(A) cuando se utiliza con un esmeril angular.

8.7 Encierro de tronzadora

Se determinó el efecto que produce la instalación de un encerramiento acústico, en la disminución de los niveles de exposición a ruido que genera el proceso de corte mediante la utilización de tronzadora. Para tal efecto, se realizaron mediciones del NPSeq que produce la tronzadora a nivel del oído de su operador, efectuando el corte de un perfil metálico de 2 mm de espesor, sin encerramiento y, posteriormente con el encerramiento acústico instalado. La construcción de este elemento consideró materialidad en sus caras laterales, trasera y superior similar a la utilizada en la construcción de las barreras acústicas descritas en el punto 8.5, mientras en su cara frontal se utilizó acrílico translúcido tipo polimetilmetacrilato de 15 mm de espesor.

La Figura 39 muestra las vistas isométricas del diseño mencionado.

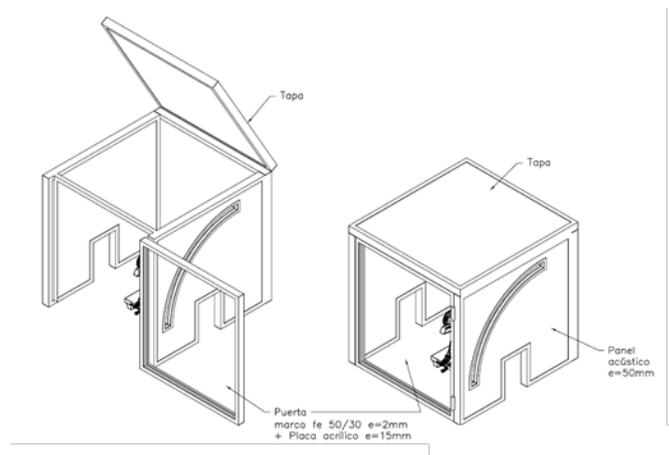


Figura 39. Vistas isométricas de diseño para encierro de tronzadora.

En la Tabla 14 se presentan los resultados de las mediciones efectuadas.

Tabla 14. Niveles de presión sonora a los que se exponen trabajadores según la utilización de encierro para tronzadora.

Condición de medición	NPSeq dB(A)
Tronzadora sin encerramiento acústico	101,1
Tronzadora con encerramiento acústico	78,7

De los resultados presentados en la Tabla 14, se desprende que el encerramiento acústico proporciona una disminución de los niveles a los que se expone el trabajador de 22,4 dB(A).

8.8 Encierro de cabina de grúa horquilla

Para determinar el efecto que produce el cierre de la cabina de una grúa horquilla en la disminución del ruido presente en las áreas en que se desplaza, y que afecta en el trabajador a cargo de su operación, se realizaron mediciones del NPSeq a nivel del oído de su operador, desarrollando tareas de levante y traslado de material paletizado al interior del centro de trabajo.

El encerramiento se conformó por placas de acrílico de 15 mm de espesor instaladas en la estructura metálica propia de la grúa.

En la Figura 40 se presentan fotografías de la grúa en estado original, y en la Figura 41 imágenes del vehículo intervenido.



Figura 40. Estado original de grúa horquilla sujeta a intervención.



Figura 41. Cabina implementada en grúa horquilla.

Los resultados de las mediciones realizadas antes y después de la implementación del cierre de la cabina se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Niveles de presión sonora a los que se exponen trabajadores según la utilización de grúa horquilla con cabina abierta y cerrada.

Condición de medición	NPS _{eq} dB(A)
Operación de grúa horquilla con cabina abierta	91,1
Operación de grúa horquilla con cabina cerrada	84,7

El resultado de esta implementación arrojó como resultado una reducción de 6,4 dB(A) respecto al ruido exterior, atribuido a la mayor aislación

8.9 Modelación de soluciones

Para cada muestra evaluada en el punto 5.4.3 se proponen, a lo menos una de las soluciones que se presentan a continuación:

1. Segregación de fuentes móviles mediante barreras acústicas. El propósito de esta medida es segregar ambientes de trabajo ruidosos, para disminuir la exposición indirecta que presentan puestos de trabajo cercanos y que no presentan fuentes propias de ruido.

Las barreras acústicas móviles se conformaron por placa microperforada de acero de 1mm de espesor (placa orientada hacia la fuente de ruido), material absorbente acústico (lana mineral) de 50 mm espesor y placa de acero de 1 mm de espesor. La placa perforada que se orienta hacia la fuente de ruido tiene la finalidad de evitar el deterioro de la lana mineral debido a la proyección de partículas incandescentes desde la fuente de ruido. En la mayoría de las modelaciones, las dimensiones de la barrera fueron de 2 m de alto y 2,5 m de ancho, medidas suficientes para generar sombra acústica y así disminuir las reflexiones en los trabajadores contiguos a la fuente a controlar. En la Figura 42 se muestra un ejemplo de barrera acústica mencionada.

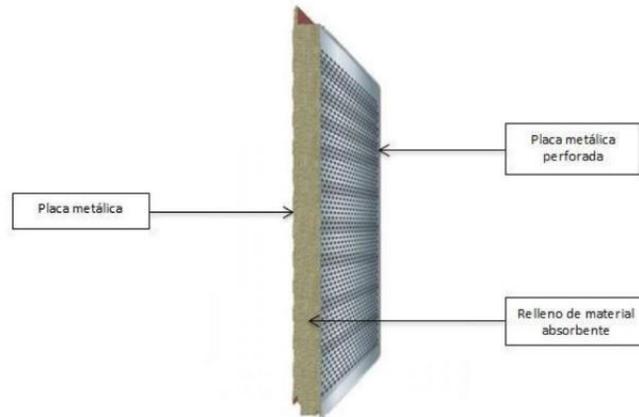


Figura 42. Esquema de configuración de barrera descrita.

2. Segregación de fuentes fijas mediante un recinto con características acústicas. Al igual que la medida anterior, el propósito de esta medida es segregarse ambientes de trabajo ruidosos, para disminuir la exposición indirecta que presentan puestos de trabajo cercanos y que no presentan fuentes propias de ruido.

Esta cabina fue construida en base a planchas de zinc de 0.8 mm en sus paredes y techo, revestidas con material fonoabsorbente tipo cuña y una puerta de madera sólida, con la intención de disminuir la energía sonora reflejada hacia el interior del recinto. Las dimensiones de esta cabina correspondieron a 10 m de largo, 3,5 m de ancho, 3 m de alto y la puerta de 2,1 m de alto, 0,7 m de ancho y espesor 50 mm. En la Figura 43 se muestra un esquema computacional del recinto descrito, con su pared izquierda presentada en transparencia con la finalidad de mostrar el interior de la sala.

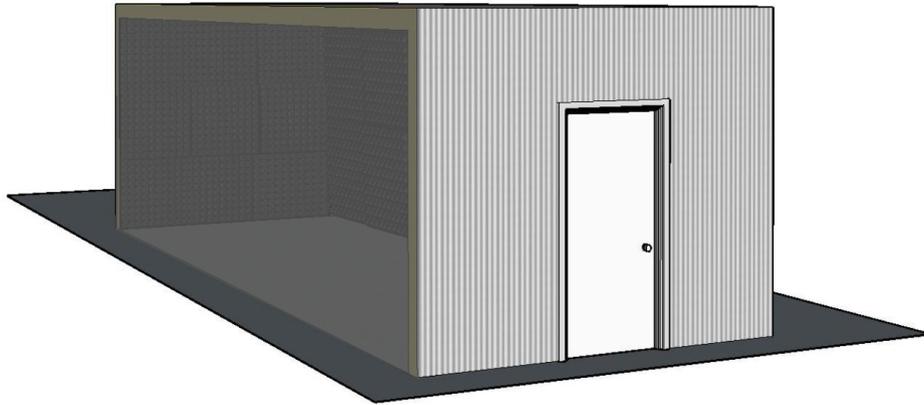


Figura 43. Esquema computacional de recinto para segregación de fuentes fijas.

3. Revestimiento de paredes con material absorbente acústico. El propósito de esta medida fue disminuir la energía sonora asociada a las múltiples reflexiones que las fuentes de ruido producen, principalmente, en sus paredes y con ello disminuir la exposición sonora que presentan los trabajadores expuestos directamente.

Se simuló el revestimiento de paredes con material absorbente acústico tipo lana mineral y, para su protección de las proyecciones de partículas incandescentes u otras que puedan afectar dicho material, se incorporó una placa de acero microperforado. Las dimensiones del área revestida se detallan en cada muestra según sea el caso. En la Figura 44 se muestran ejemplos de lana mineral de características similares a la utilizada en las simulaciones, y de acero microperforado.

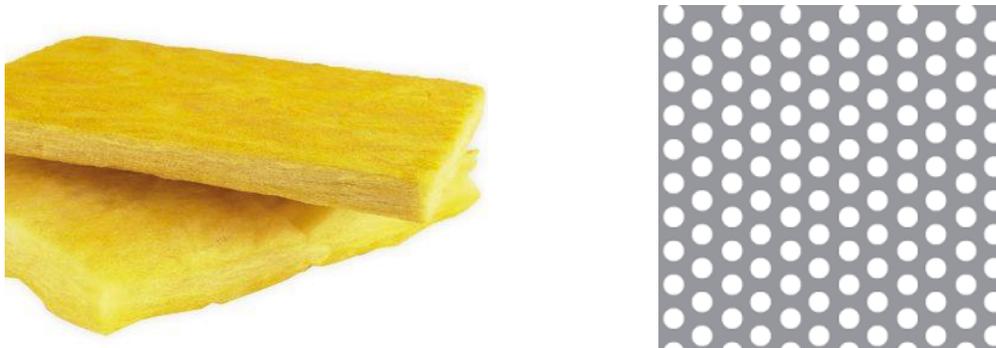


Figura 44. Ejemplo de lana mineral (izquierda) y de placa de acero microperforada (derecha).

4. Implementación de cielo falso con material absorbente acústico. El objetivo de esta medida de control fue el mejoramiento de las características acústicas del recinto, aumentando las capacidades de disipación sonora del mismo mediante la disminución de la concentración de la energía sonora asociada a las múltiples reflexiones que las fuentes de ruido producen sobre las superficies originales.

Este cielo falso fue construido con paneles de lana de vidrio revestido con PVC gofrado de color blanco en la cara visible, sobre perfilaría a la vista. Las dimensiones de este cielo falso son 108 m de largo y 73 m de ancho; el espesor del panel es de 20 mm.

En la Figura 45 se muestra el material usado en la simulación



Figura 45. Ejemplos de la materialidad utilizada para las simulaciones.

8.9.1 Soluciones muestra N°1

Las medidas que se modelaron en esta muestra correspondieron a:

- Segregación del área donde se desarrollan procesos de corte y desbaste con esmeril angular, representado por cuadrado negro, mediante la simulación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.
- Segregación del área donde se desarrollan procesos de soldadura MIG, representado por cuadrado rojo, mediante la simulación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.

En la Figura 46 se muestra, en la imagen superior, la simulación sin intervención, mientras en la imagen inferior el resultado de la propagación del ruido luego de implementar las segregaciones mencionadas.

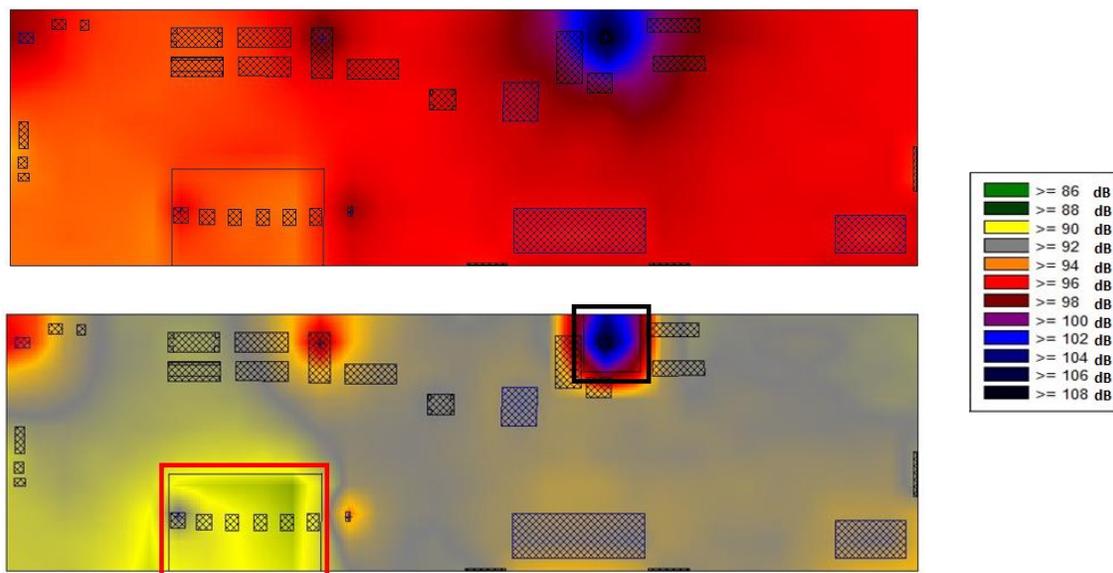


Figura 46. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

En la modelación original (imagen superior) se muestra la presencia de ruido en la cercanía a la zona de corte y desbaste con esmeril angular de 100 dB(A). Estos niveles disminuyen a 90 dB(A) en la modelación con la segregación de áreas implementadas.

En el área de soldadura MIG, el nivel de ruido modelado es de 94 dB(A). Al implementar las barreras acústicas móviles descritas, el NPS proyectado disminuye a 90 dB(A).

En base a estas dos implementaciones, se observa una reducción en el NPS presente en zonas ajenas a la generación de ruido, con variación de valores de 96 dB(A) a 92 dB(A) en la parte derecha del centro de trabajo.

8.9.2 Soluciones muestra N°2

Las medidas que se modelaron, y muestran en la Figura 47, correspondieron a:

- Segregación del área donde se desarrollan procesos de limpieza con aire comprimido (cuadrado negro), mediante la simulación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2 m de ancho.
- Revestimiento con material fonoabsorbente de la pared que enfrenta el área donde se ubican los esmeriles de banco (cuadrado rojo). El área revestida es de dimensiones, 3,8 m de alto y 2,5 m de ancho

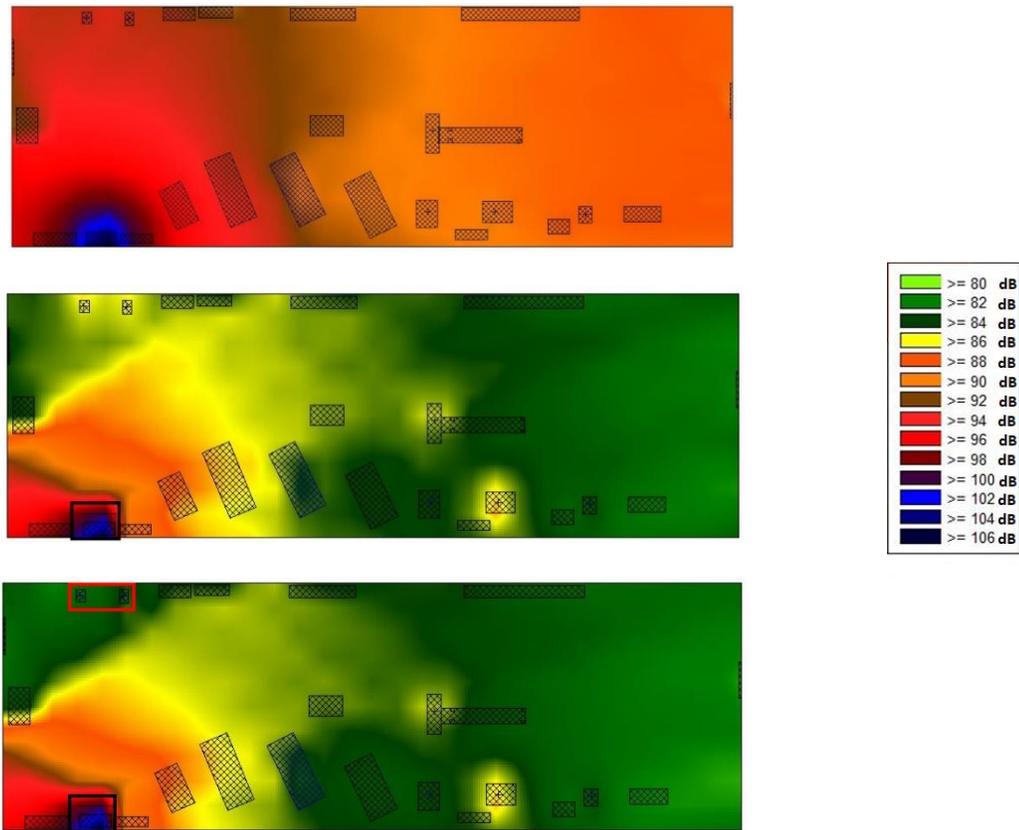


Figura 47. Simulación original (arriba), simulación con implementación de encierro en soplado (medio) y simulación con encierro y acondicionamiento acústico (abajo).

Se observa que el nivel de ruido en el área de limpieza con pistola de aire comprimido, sin solución acústica, es de 100 dB(A). Al implementar las barreras acústicas, imágenes central e inferior, el NPS presente en la zona donde se ubican los trabajadores disminuye a 94 dB(A).

En el área de esmeriles de banco, se observa que el nivel de ruido, en la imagen superior, es de 96 dB(A). Al incorporar barreras acústicas en el área de limpieza (imagen central), se obtiene una disminución en el área de esmeril de banco de 10 dB(A) (86 dB(A)); al complementar esta medida de control con la instalación de material fonoabsorbente en la pared del área de esmeril de banco, imagen inferior, el nivel de ruido es de 82 dB(A), lo que representa una disminución de 4 dB(A) atribuibles a la disminución de reflexiones de las ondas sonoras incidentes en la pared original, cuya materialidad posee baja capacidad de disipación sonora.

8.9.3 Soluciones muestra N°3

Las medidas que se modelaron en esta muestra correspondieron a:

- Segregación de áreas de trabajo donde se desarrollan procesos de corte y desbaste con esmeril angular, golpes de mazo metálico, uso de soplete oxicorte y corte con plasma CNC, mediante la utilización de tabiques divisorios de 15 m de alto (altura del recinto) y 16 m de ancho, representadas por rectángulos negros en la Figura 48.
- Segregación de áreas de trabajo mencionadas, mediante la utilización de barreras acústicas móviles de 2 m de alto y 16 m de ancho (representadas por rectángulos negros en la Figura 48), y material absorbente en el techo (perímetro rojo en la misma figura) con las dimensiones y características mencionadas al inicio de la sección 8.9.

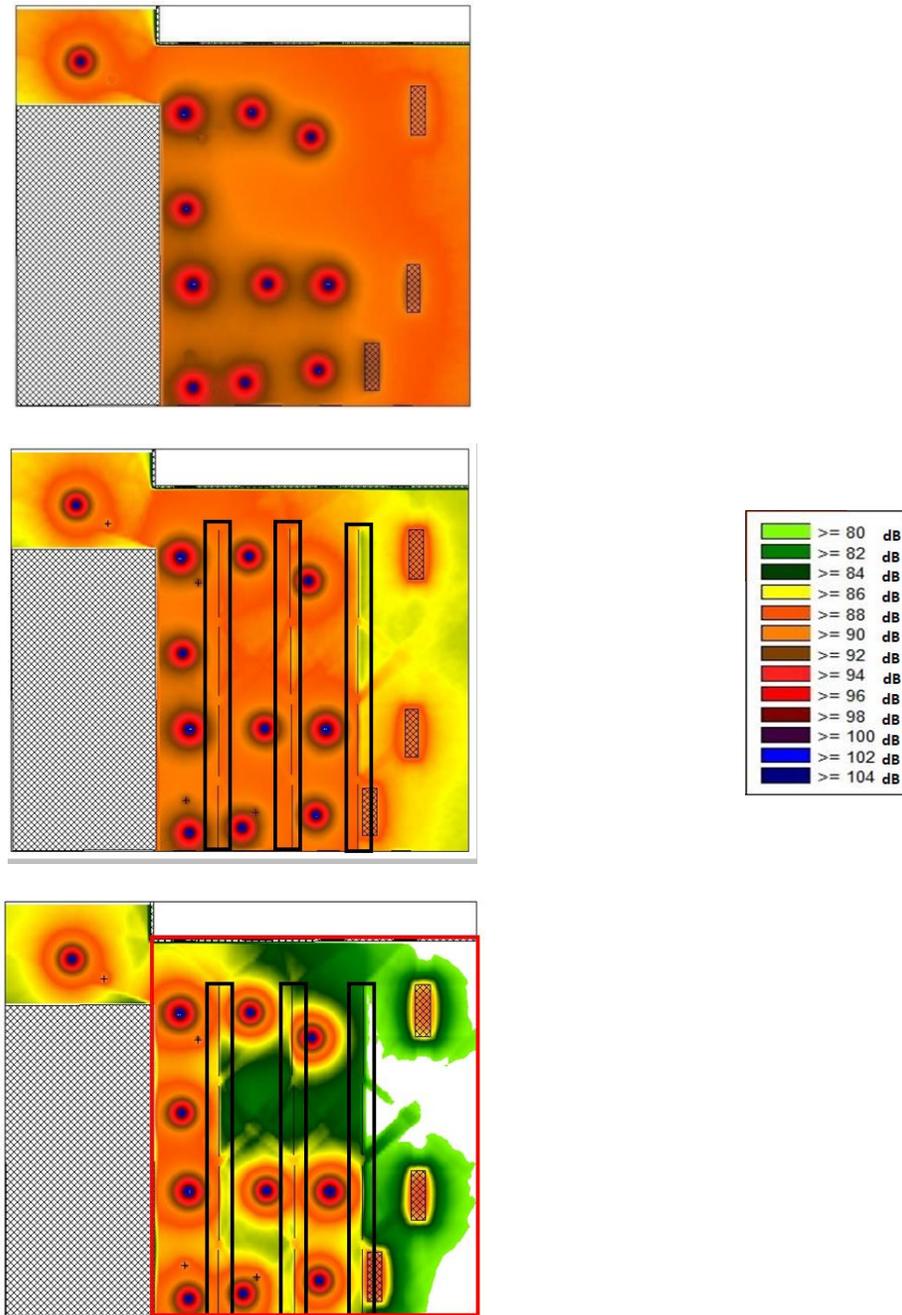


Figura 48. Simulación original (arriba), simulación de barreras de 2 m (centro) y simulación barreras con implementación de cielo falso (abajo).

Para esta muestra se analizan 2 escenarios resultantes de la implementación de distintas medidas de control.

Para el primer caso, imagen central de Figura 48, utilizando barreras acústicas de 2 m, se puede evidenciar una disminución del nivel de presión sonora en el área de

corte con plasma a 86 dB(A), representando una diferencia de 4 dB(A) en comparación al mapa de ruido sin medidas de control.

En el caso 2, correspondiente a la imagen inferior de la Figura 48, se realiza una simulación correspondiente a la combinación de barreras acústicas móviles de 2 m, como las simuladas en la imagen central, más la adición de material fonoabsorbente en el techo, generando un cielo falso, el que es instalado a 14,5 cm del techo original. Se observa que el complemento de estas dos medidas de control produce una notoria disminución del nivel de presión sonora en el área de corte con plasma, resultando en 80 dB(A), además de una gran reducción en los NPS entre estaciones de trabajo, resultantes de una menor propagación del ruido al interior del centro de trabajo.

Este tipo de mejora supone un beneficio a los trabajadores al interrumpir la ejecución de actividades con generación de ruido, proporcionando eventualmente períodos de descanso auditivo.

8.9.4 Soluciones muestra N°4

La medida modelada corresponde a la segregación del área donde se desarrollan procesos de soldadura MIG (cuadrado negro en imagen inferior), mediante la implementación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho, instaladas tanto de forma perimetral, como entre estaciones de soldadura. En la Figura 49 se muestra la comparación en escenarios modelados, encontrándose en la imagen superior la modelación original, y en la imagen inferior la modelación con la implementación de medida indicada.

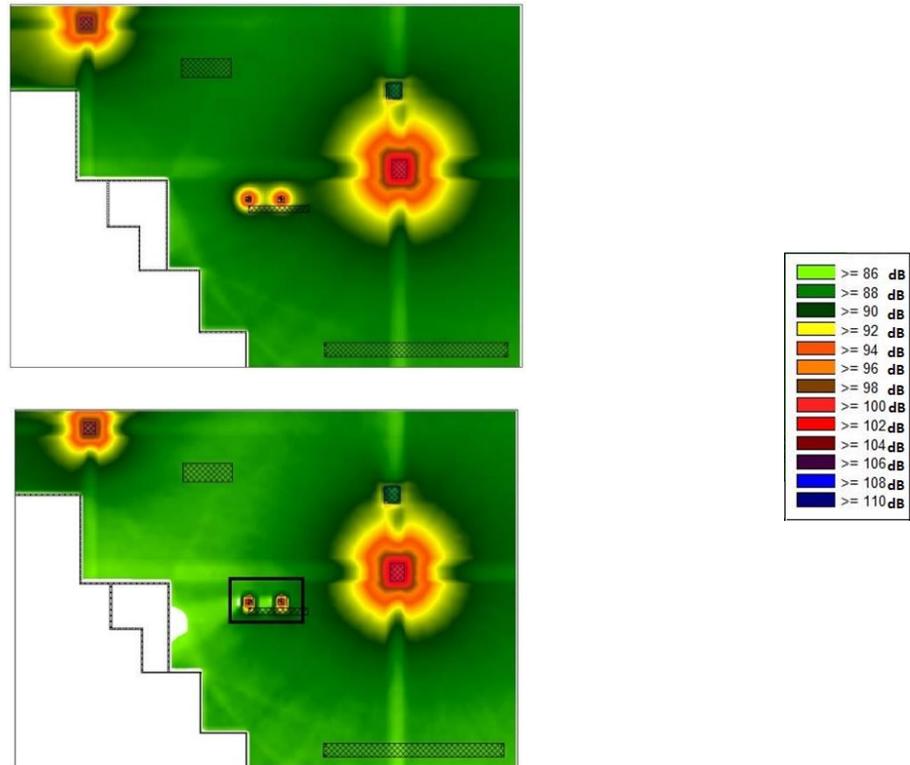


Figura 49. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

Se evidencia una disminución en la contaminación cruzada entre la estación de soldadura MIG y prensas excéntricas, además de una reducción en los NPS presentes en los procesos de soldadura, producto de la menor suma energética que se presenta al coexistir ambas fuentes de ruido. Los niveles de presión sonora antes de la implementación de barreras acústicas, imagen superior de la Figura 49, fluctúan alrededor de 92 dB(A), mientras que, con la implementación de la medida disminuye a valores cercanos a 88 dB(A).

8.9.5 Soluciones muestra N°5

La medida que se modeló en esta muestra correspondió a la segregación del área donde se desarrollan procesos de emparejado y unión mediante mazo metálico (cuadrado negro en la imagen inferior en Figura 50), mediante la utilización de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.

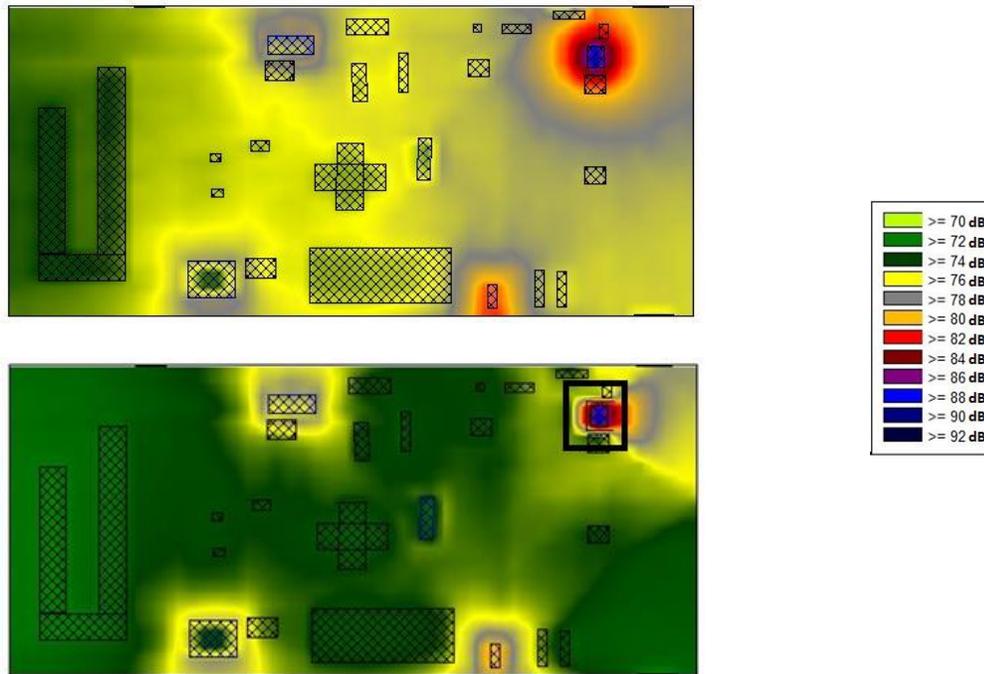


Figura 50. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

Se observa que los NPS presentes en el área de golpes con mazo metálico, imagen superior, son de 82 dB(A); al implementar la medida de control, si bien el nivel de ruido generado no disminuye, sí lo hace su entorno inmediato, al mejorarse las características acústicas del recinto en que este se utiliza, evidenciándose en la imagen inferior una disminución en la zona izquierda del mesón de 84 dB(A) a 80 dB(A); de igual manera, el ruido simulado en los puntos cercanos disminuye a valores de 76 dB(A) donde antes existía 82 dB(A).

8.9.6 Soluciones muestra N°6

Las medidas que se modelaron en esta muestra y que se presentan en la Figura 51, correspondieron a:

- Segregación del área donde se desarrollan procesos de desbaste y corte con esmeril angular, delimitado por el cuadro negro en la imagen inferior de la Figura 51, mediante la implementación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho, tanto de forma perimetral al sector, como entre estaciones de trabajo.
- Segregación del área donde se desarrollan procesos de soldadura MIG, correspondiente al cuadro rojo de la imagen inferior en la Figura 51, mediante la utilización de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.

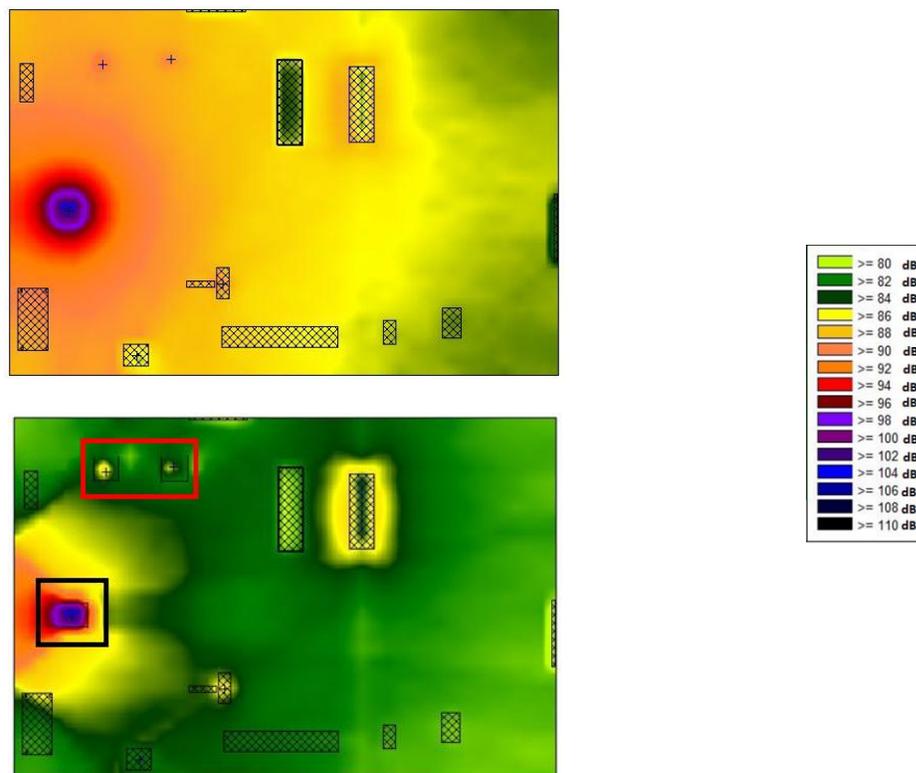


Figura 51. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

Con la implementación de las medidas de control, en la imagen inferior se observa que los NPS presentes en la zona segregada demarcada con el cuadrado rojo, decaen de 92 dB(A) a 86 dB(A), resultantes tanto de la mejora en las características

acústicas del ambiente en que estas se desarrollan (aumentando la capacidad de disipación acústica de las ondas sonoras incidentes), como por la reducción en la suma energética de las fuentes de ruido, al no existir separación en las estaciones de trabajo antes de la implementación de las barreras.

En el área de corte y desbaste con esmeril angular (cuadro negro), se observa que el NPS presente, de 94 dB(A), se reduce a 88 dB(A), producto de la reducción en la concentración energética que ocurre por las múltiples reflexiones sonoras en las superficies originales del recinto.

8.9.7 Soluciones muestra N°7

La medida simulada es similar a la descrita en 0, generando un encierro perimetral en el área donde se desarrollan procesos de desbaste y corte con esmeril angular (cuadro negro en imagen inferior de la Figura 52).

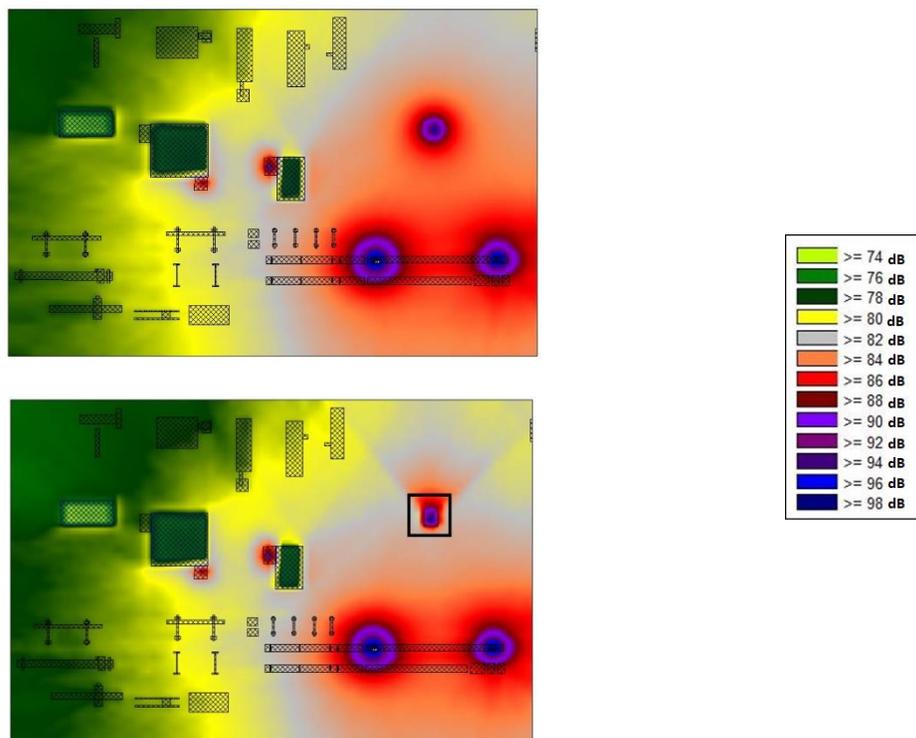


Figura 52. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

Debido al encierro perimetral que se realizó en el sector demarcado (imagen inferior), los NPS presentes al interior de esta delimitación, presentaron una

reducción de 88 dB(A) a 82 dB(A), principalmente por la reducción en las reflexiones sonoras generadas por la radiación de la fuente de ruido

8.9.8 Soluciones muestra N°8

Las medidas que se modelaron en esta muestra y que se presentan en la Figura 53, corresponden a:

- Segregación del área donde se desarrollan procesos de desbaste con esmeril angular (cuadrado negro en imagen inferior de figura mencionada), mediante la implementación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.
- Segregación del área donde se desarrollan procesos de afilado de piezas con esmeril de banco (cuadro rojo en imagen inferior de figura mencionada), mediante la implementación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.
- Segregación del área donde se desarrollan procesos de corte con esmeril angular (cuadro azul en imagen inferior de la misma figura), mediante barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.

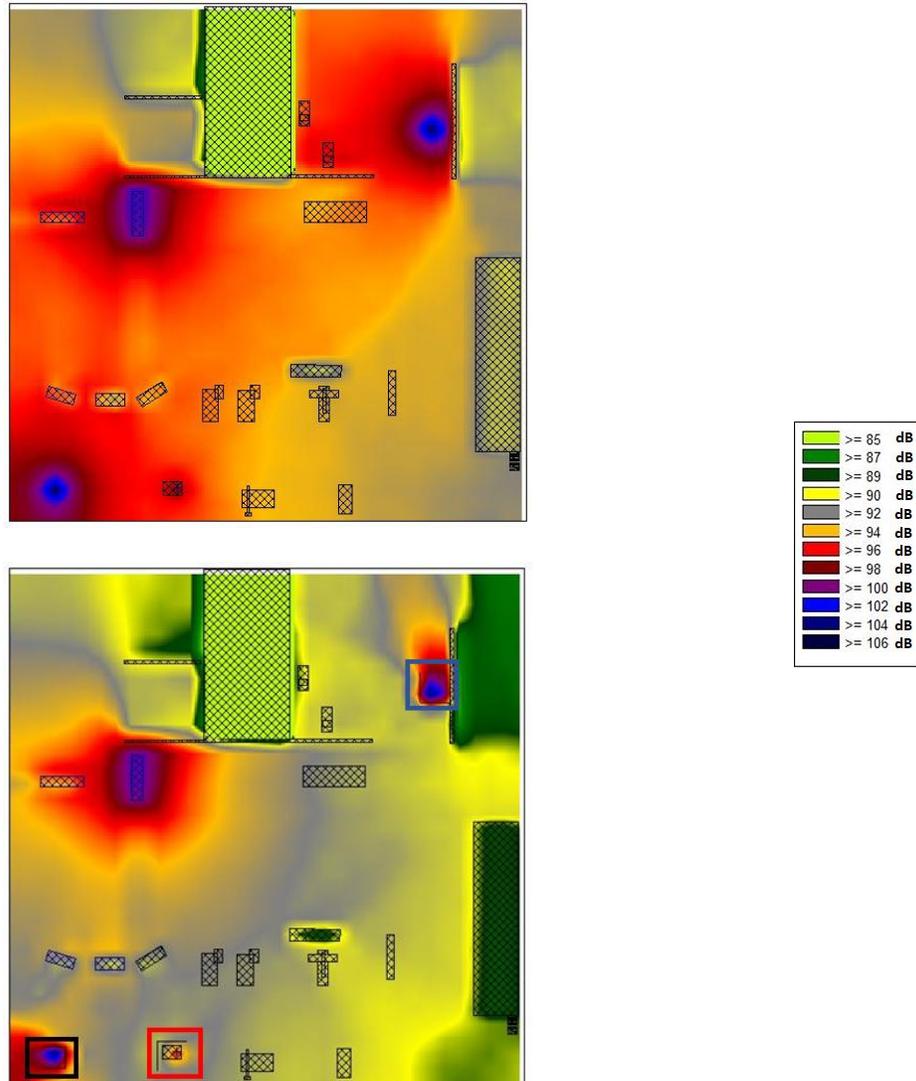


Figura 53. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

Se evidencia en la imagen superior que la zona de desbaste con esmeril angular presenta niveles de ruido de 98 dB(A). Luego de la implementación de la medida de control, la imagen inferior de la Figura 53, el ruido decae a 92 dB(A).

En la zona de afilado de piezas, se presenta ruido cuyo NPS es de 96 dB(A); luego de implementar la medida indicada, en la imagen inferior se observa que el nivel de ruido disminuye a 92 dB(A).

En el área de corte con esmeril angular, en su condición inicial representada en la imagen superior de la Figura 53, se observa la presencia de ruido cuyo NPS es de 98 dB(A); al implementar la medida de control descrita, la modelación presenta una

disminución de 8 dB(A), resultando en NPS de 90 dB(A). Esta mejoría es consecuencia de la mejora en las condiciones acústicas que presenta el aumento en la superficie fonoabsorbente del centro de trabajo, la que está ligada a la utilización de barreras con características de disipación energética.

8.9.9 Soluciones muestra N°9

Las medidas que se modelaron en esta muestra son:

- Segregación del área donde se desarrollan procesos de desbaste y corte con esmeril angular (cuadro negro en imagen inferior de Figura 54), mediante la implementación de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.
- Segregación del área donde se desarrollan procesos de soldadura MIG (cuadro rojo en imagen inferior de Figura 54), mediante la utilización de barreras acústicas de 2 m de alto y 2,5 m de ancho.

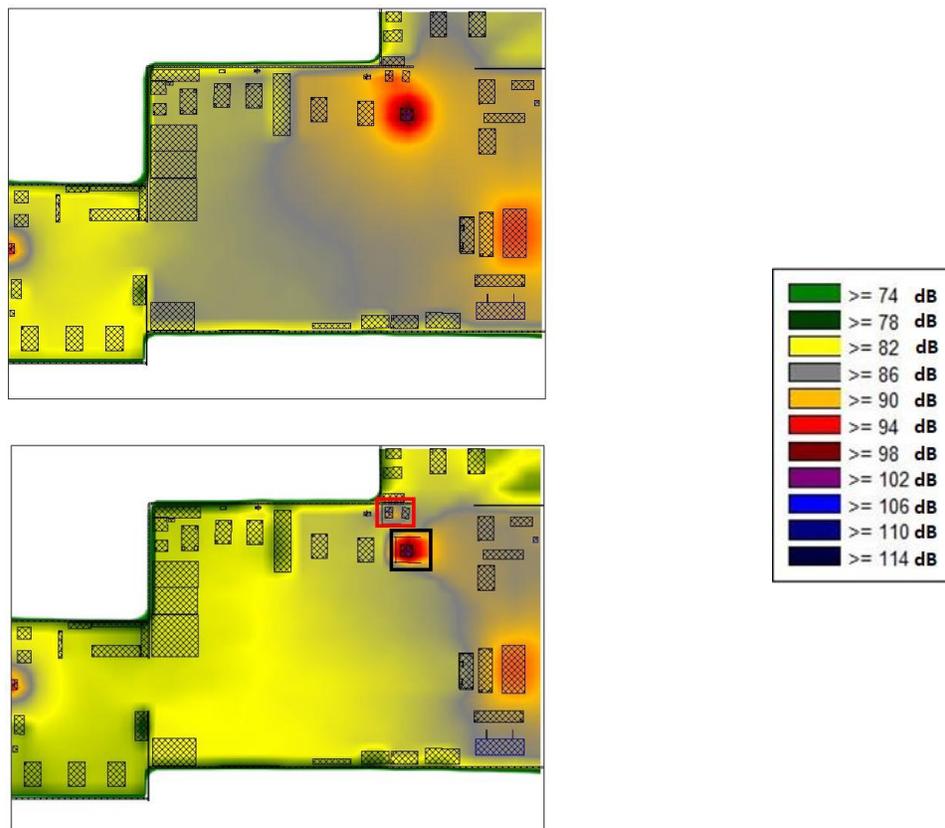


Figura 54. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

El nivel de ruido presente en el área de soldadura MIG, presentado en la imagen superior de la Figura 54, es de 90 dB(A). Al simular el efecto de la implementación de la medida descrita, el nivel de ruido disminuye a 82 dB(A).

En el área de corte y desbaste con esmeril angular, el nivel de ruido inicial es de 94 dB(A). Al implementar las barreras acústicas móviles, se observa en la imagen inferior de la Figura 54 que el nivel de presión sonora disminuye a 90 dB(A).

En ambos casos, la mejoría en las condiciones ambientales está dada por la reducción en la contaminación cruzada entre ambientes, el menor efecto combinado producto de la suma energética de las fuentes de ruido, y la disminución de la concentración de la energía emitida por las herramientas involucradas en los procesos indicados.

8.9.10 Soluciones muestra N°10

La medida modelada corresponde a segregación del área donde se desarrollan procesos de corte (cuadro negro en la imagen inferior de la Figura 55), mediante la implementación de una cabina de 10 m de largo, 3,5 m de ancho, 3 m de alto

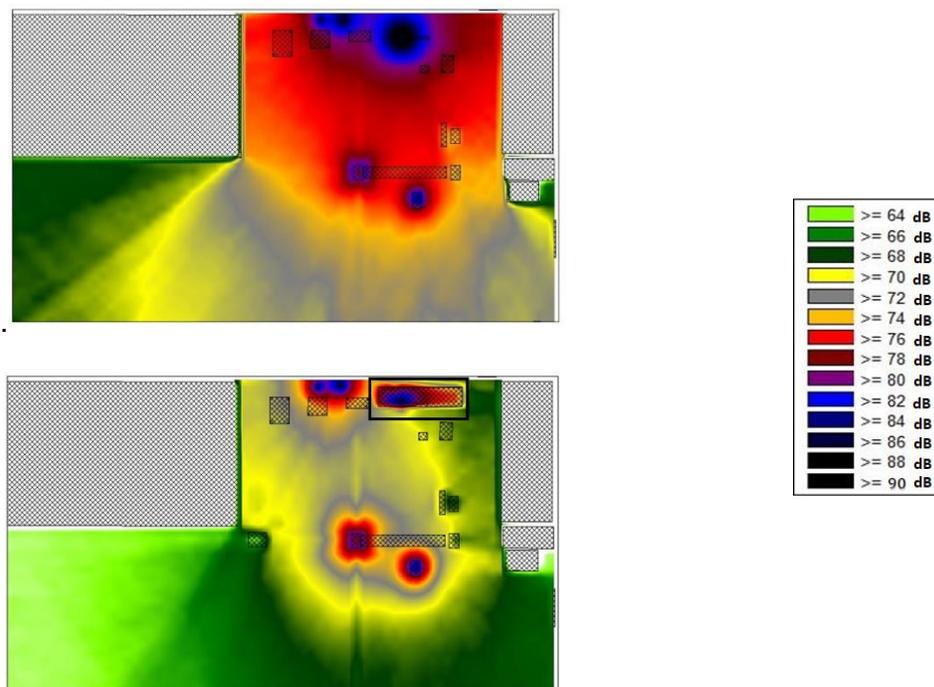


Figura 55. Modelación original (arriba) y modelación con medidas de control implementadas (abajo).

Se observa en la imagen inferior de la Figura 55 una reducción en los NPS presentes en las áreas contiguas al sector de corte sujeto a la intervención descrita, desde 84 dB(A) en las condiciones originales, a 72 dB(A) en los puntos inmediatamente exteriores al encierro simulado. De igual forma, el NPS presente en gran parte del centro de trabajo disminuye de 78 dB(A) a 70 dB(A). Finalmente, la contaminación cruzada presente entre las estaciones de trabajo de máquina cortadora y de limpieza con pistola de aire comprimida, presenta una notable reducción.

9 CONCLUSIONES

9.1 Grupo de exposición similar, GES

No existen GES que presenten, de manera integral, exposiciones bajo 80 dB(A), por lo tanto, que se puedan considerar sin riesgo de adquirir sordera profesional.

En este sentido, los GES Bodeguero, Operador de Perforadora y Control de Calidad, destacan por presentar su primer cuartil bajo 80 dB(A).

Por el contrario, es muy importante señalar que los GES Soldador, Operador de Grúa de Horquilla, Operador Oxicorte/Plasma, Operador Guillotina, Pulidor, Operador de Granallado, Operador de Cilindrado y Operador Punzonadora, presentaron todas sus exposiciones sobre 80 dB(A), y su primer cuartil en y sobre 85 dB(A), razón por la que se propone dejar en discusión, la pertinencia de continuar efectuando evaluaciones en estos GES, con la intención de orientar los esfuerzos, principalmente, al control de la exposición.

En relación con los GES restantes correspondientes a: Operador de Torno, Supervisor, Técnico en Mantenimiento, Operador de Prensa, Pintor, Operador de Sierra, Eléctrico, Operador de Fresadora, Operador de Mecanizado, Operador de Plegadora, Operador de Perforadora y Control de Calidad, presentan exposiciones variadas, en función de factores como los niveles que generan sus propias fuentes de ruido, el ruido de fondo en el lugar donde desarrollan sus actividades y los tiempos de exposición. En relación con lo anterior, se deberá seguir evaluando y estudiando estos puestos de trabajo de manera más detallada, con la intención de obtener conclusiones más precisas y robustas respecto a sus exposiciones.

9.2 Fuentes de ruido

Todas las fuentes de ruido calificadas como habituales en este rubro cuentan con caracterizaciones sobre 80 dB(A), es decir, todas son de interés higiénico, y además con una distribución energética característica, acentuada en el rango de frecuencia media-alta.

Las fuentes que en todas sus caracterizaciones produjeron niveles de ruido sobre 80 dB(A) corresponden a: esmeril angular, pistola con aire comprimido, mazo metálico, guillotina y tronzadora, encontrándose, además, que en todas ellas se identificaron emisiones superiores a 105 dB(A).

Se destaca el esmeril angular, ya que presenta una incidencia muy superior al resto, caracterizada casi en 300 oportunidades, seguida por la soldadora, con menos de la mitad de las caracterizaciones, lo que junto con el nivel de ruido que produce, 95 dB(A) como mediana, la sitúa como la principal fuente de ruido de este rubro.

En segundo lugar, destacadas principalmente por los niveles de ruido que emiten, se encuentran la tronzadora, la pistola con aire comprimido y el mazo metálico, con medianas en 100 dB(A), 98 dB(A) y 95 dB(A), respectivamente.

Para las fuentes de ruido señaladas en los párrafos anteriores, independiente de la existencia o no de evaluaciones cuantitativas en el centro de trabajo y en ausencia de elementos para su control de ruido, se deberán adoptar medidas que reduzcan los niveles de exposición de los trabajadores.

9.3 Medidas de control

A continuación, se establecen las conclusiones obtenidas para las mejoras y soluciones estudiadas.

9.3.1 Discos de desbaste de 4 ½" con tecnología de menor emisión sonora

- En el desbaste de piezas metálicas mediante esmeril angular de 4 ½", el disco traslapado emite, aproximadamente, 8 dB(A) menos que un disco de desbaste rígido o tradicional, presentando importantes beneficios, tanto para el trabajador involucrado en esta actividad, como para aquellos expuestos de forma indirecta. Se debe considerar que este disco tiene sus limitaciones para trabajar en superficies acanaladas y la remoción de soldadura en ángulos.
- Entre los discos considerados como rígidos, el disco Whisper de la marca Pferd, en la prueba con el esmeril Metabo, emitió 5 dB(A) menos que el disco rígido tradicional, mientras que el disco lija Victor Graind 36g,

se comporta como un disco de lija traslapada, ya que produce 8 dB(A) menos.

- El esmeril angular a batería presenta una considerable reducción en el NPS del ruido emitido, en comparación a equipos equivalentes con funcionamiento a corriente alterna, característica atribuible a que su motor funciona sin carbones, generando el menor nivel de todos los medidos.

9.3.2 Variación de parámetros en procesos de soldadura

Existe una relación directa entre los parámetros de voltaje/amperaje y el nivel de ruido emitido. En relación con las pruebas efectuadas, aumentando el voltaje en pasos de 1 V, el amperaje aumenta entre 20 A a 30 A aproximadamente, lo que se traduce en aumentos de entre 1 a 2 dB(A) en el nivel de ruido.

En tal sentido, la recomendación está orientada a que cuando se desarrolle este proceso, variables como Voltaje, Amperaje y Velocidad de Trabajo, sean los mínimos necesarios especificados por fabricantes y no mayores.

9.3.3 Mazo de nylon y mesa de trabajo con sistema amortiguado

El uso de mazo con cabeza de nylon disminuyó en aproximadamente 3 dB(A), el nivel de ruido que se produce en el proceso de martilleo a una pieza metálica, respecto a un mazo con cabeza metálica, diferencia que aumenta considerablemente, casi 10 dB(A), cuando además se acondiciona la mesa de trabajo como una mesa con sistema amortiguado con material elastómero.

9.3.4 Pistola con menor emisión de ruido para soplado con aire comprimido

De las pruebas efectuadas, se observa que en la condición de vacío o sin carga, la pistola de marca Silvent produjo casi 3 dB(A) menos que la pistola convencional DG-10, diferencia que luego se minimizó a 0,7 dB(A) al efectuar el proceso de limpieza de máquinas, situación atribuible a que los NPS de ruido que se producen, dependen, en mayor medida de las formas y materialidades de las superficies donde impacta el aire comprimido que a la pistola que se utiliza.

De acuerdo a lo anteriormente expresado, se recomienda que antes de adquirir una pistola con tecnología de menor emisión sonora, se efectúen pruebas en los procesos en que habitualmente ocupan esta fuente de ruido, para determinar la efectividad en su implementación.

9.3.5 Barreras acústicas móviles

Las barreras acústicas móviles son efectivas al segregar ambientes para reducir la contaminación cruzada que se produce entre distintos GES; es así como para las pruebas efectuadas en terreno, la instalación de barreras acústicas disminuyó entre 4 dB(A) y 6 dB(A) los niveles de exposición de trabajadores expuestos indirectamente.

La disminución señalada, varía en función de la ubicación de los trabajadores expuestos indirectamente y el tamaño y posición de las barreras acústicas utilizadas.

9.3.6 Pantalla móvil traslúcida

La pantalla traslúcida móvil provee una importante disminución de los NPS recibidos por los trabajadores a cargo de la realización de tareas con esmeril de pedestal y de esmeril angular. Es así como en las pruebas efectuadas en terreno, se observa que el uso de la pantalla móvil traslúcida produjo una disminución de 5,5 dB(A) cuando se ocupó con un esmeril de pedestal, y 7 dB(A) cuando se utilizó con un esmeril angular.

9.3.7 Encierro de tronzadora

La implementación encierros a tronzadoras resulta en una notoria reducción de los NPS producidos por operación, lo que proporciona beneficios tanto para los trabajadores involucrados en la tarea, como para aquellos expuestos indirectamente y ubicados en la misma área. Es así como el encerramiento implementado para esta investigación proporcionó una disminución de 22,4 dB(A), de los niveles a los que se expone directamente su respectivo operador.

9.3.8 Encierro de cabina de grúa horquilla

La implementación de una cabina hermética en grúa horquilla, se presenta como una alternativa eficaz en la reducción de la exposición del operador del vehículo ante el ruido ambiente presente en las áreas de desplazamiento, observándose una reducción en el NPS de 6,4 dB(A). Se recomienda que, al llevar a cabo esta modificación de forma posterior a la adquisición o arriendo del vehículo, y en base a los NPS asociados a esta máquina, se tenga en consideración factores como:

- Ubicación de transductores acústicos de alarma de retroceso y bocina, asegurándose que no compartan el espacio con el operador
- Utilización de un sistema de acondicionamiento térmico, si las condiciones de operación lo requieren
- Exclusión de la sección motriz del vehículo del encierro de la cabina, si su funcionamiento es en base a combustión interna

9.4 Modelación de soluciones

Previo al desarrollo de las simulación de las soluciones, se efectuó una modelación de la condición actual en que se encontraban los 10 centros de trabajo, encontrándose que las características acústica-arquitectónicas de todos ellos, propician la existencia de contaminación cruzada o exposición indirecta entre los distintos GES.

Posteriormente a lo señalado, se efectuaron modelaciones computacionales de mejoras acústicas a 10 centros de trabajo, consistentes en la inserción de barreras, implementación de encerramientos y revestimiento de superficies con material fonoabsorbente, en relación con las distintas realidades de cada centro, obteniéndose, en GES con exposición indirecta, disminuciones de hasta 10 dB(A) en los niveles de presión sonora.

Es importante señalar que tales medidas debiesen estar consideradas en el diseño de estos espacios, mediante la modelación de los mismos, ya que al implementar algunas de ellas posteriormente a su construcción, como por ejemplo el revestimiento de un techo con material absorbente, se podrían presentar dificultades en su ejecución.

9.5 Corolario

- Actualmente, la normativa nacional en relación con el agente ruido, PREXOR, establece la obligación de realizar una evaluación cuantitativa para calificar la exposición de un GES, y con ello prescribir medidas de control y su ingreso a vigilancia de la salud

El presente estudio demostró que en los GES Soldador, Operador de grúa horquilla, Operador oxicorte/plasma, Operador guillotina, Pulidor, Operador granallado, Operador cilindrado y Operador punzonadora, no se justifica continuar realizando evaluaciones cuantitativas, debiendo redirigir ese recurso directamente al control de la exposición a ruido y al ingreso inmediato a los programas de vigilancia de la salud.

Lo anterior se sostiene en la posibilidad de homologación de los resultados obtenidos respecto a la evaluación de sus exposiciones, los que deberán ser validados con la autoridad correspondiente.

- De no constatar la existencia de algún dispositivo de reducción de ruido, las siguientes fuentes: esmeril angular, pistola con aire comprimido, mazo metálico, guillotina y tronzadora, siempre deben estar sujetas a la implementación de medidas de control como las señaladas en el presente estudio, independiente de la existencia de evaluaciones cuantitativas de exposición o caracterizaciones sonoras.
- De manera complementaria a la señalado en párrafo anterior, se reitera la importancia de que, en el diseño de centros de trabajo del rubro en estudio, sean consideradas medidas de control en el recinto, para así disminuir la contaminación cruzada o exposición indirecta que hoy en día existen en estos espacios de trabajo.

- Finalmente, en relación con las importantes conclusiones obtenidas en este estudio y que serán aplicadas en la prevención de la hipoacusia neurosensorial de los trabajadores asociados a este sector de la industria, es muy importante continuar replicándolo en otros rubros productivos, que tienen escenarios de exposición y fuentes de ruido recurrentes y homologables.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. Instructivo para la aplicación del D.S.N°594/99 del Minsal, Título IV, Párrafo 3° Agentes Físicos- Ruido. Instituto de Salud Pública de Chile, 2012.
2. Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.
3. Decreto Supremo N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente - Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica.
4. ¿Cómo funciona la amoladora?. De Máquinas y Herramientas. Enero 2011. Disponible en la web <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/amoladora>
5. ¿Que es una tronzadora y como usarla? Leroy Merlin. Enero 2016. Disponible en la web <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Bricolaje/C%C3%B3mo-usar-una-tronzadora/ta-p/55721>
6. Mazo metálico. EcuRed. Noviembre 2018. Disponible en la web <https://www.ecured.cu/Mazo>
7. Cizalla. EcuRed. Noviembre 2018. Disponible en la web <https://www.ecured.cu/Cizalla#:~:text=Las%20cizallas%20de%20guillotina%20para,Cizallas%20mec%C3%A1nicas>
8. Electrotecnia Industrial. Carlos Mora Vera. Septiembre 2015. Disponible en la web <https://es.slideshare.net/braxian/la-plegadora>
9. “Introducción a la sierra cinta”. De Máquinas y Herramientas. Abril 2012. Disponible en la web <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-corte/sierra-de-cinta-huinch>
10. Aire comprimido. Mundo compresor. Noviembre 2018. Disponible en la web <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/aire-comprimido>
11. Protocolo sobre normas mínimas para el desarrollo de programas de vigilancia de la pérdida auditiva por exposición a ruido en lugares de trabajo (Prexor), Ministerio de Salud, Chile, 2011.

12. Ley N° 16744 establece Normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, Ministerio del trabajo y previsión social; subsecretaría de previsión social
13. ¿Cómo funcionan los taladros de columna y en que aplicarlos? Maquituls. Abril 2014. Disponible en la web. <https://www.maquituls.es/noticias/como-funcionan-los-taladros-de-columna-y-en-que-aplicarlos/>
14. Sánchez I. D, “Evaluación de la Exposición a Ruido en Lugares de Trabajo, Usando Estimaciones Estadísticas de un Muestreo Semi-Aletorio de Niveles de Presión Sonora”. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia 2005
15. Guía preventiva para los trabajadores expuestos a ruido, Instituto de Salud Pública, Ministerio de Salud, 2012
16. Gerges, S.N.Y. y Arenas, J.P., “Fundamentos y Control del Ruido y Vibraciones”. NREditora, Florianópolis, Brasil 2004.
17. A century of trends in adult human height, eLife. Noviembre 2018. Disponible en la web <https://elifesciences.org/articles/13410#s2>
18. Grupos de exposición similar para la evaluación de ruido ocupacional, Instituto de Salud Pública de Chile, 2016.