

INFORME FINAL PROYECTO FUCYT P0132

**PROYECCION DE LA HIPOACUSIA NEUROSENSORIAL LABORAL,
RELACIONADA CON EL TRATAMIENTO DE ABSORCION ACÚSTICA EN UNA
INDUSTRIA METAL MECÁNICA EN CHILE.**

Investigador: Aldo Esteban Canales Montenegro.
Ingeniero en Sonido y Acústica.
Diplomado en Prevención de Riesgos, Medio Ambiente,
Salud Ocupacional e Higiene Industrial.

Co- Investigador 1: Aldo Mauricio Campos Pérez.
Ingeniero Acústico.
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica.

Co-Investigador 2: José Luis Cárdenas Bergmann.
Ingeniero de Ejecución en Sonido.
Magíster en Educación.

**Este Proyecto fue realizado con el financiamiento de la Asociación Chilena de
Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica, FUCYT**

**FUNDACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
Santiago de Chile, Diciembre de 2014**

Índice de Contenido

1. RESUMEN	11
1.1. Abstract	12
2. INTRODUCCIÓN	13
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	21
3.1. Objetivo General	21
3.2. Objetivos Específicos	21
4. MARCO TEÓRICO	23
4.1. Efectos del Ruido Sobre la Salud	23
4.2. Hipoacusia Profesional	24
4.2.1. Hipoacusia Conductiva.....	25
4.2.2. Hipoacusia Neurosensorial	25
4.2.3. Hipoacusia Profesional.....	26
4.3. Dosis de Exposición a Ruido	27
4.4. Distancia Crítica.....	27
5. NORMATIVAS DE REFERENCIA	31
5.1. Normas Internacionales.....	31
5.2. Normas Nacionales.....	33
5.2.1. Ley 16.744: Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.....	33
5.2.2. D.S. Nº 594/99: Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares De Trabajo	34
5.2.3. Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR)	36
6. METODOLOGÍA.....	39
6.1. Criterios de Evaluación de Exposición a Ruido	39
6.1.1. Determinación de la Exposición Ocupacional a Ruido.....	39
6.1.2. Criterio de Evaluación de la Efectividad de la Protección Auditiva en Uso	41
6.2. Desarrollo de modelo de propagación acústica.....	42
6.2.1. Mapa de Ruido Experimental.....	44
6.2.2. Modelo de Referencia.....	45

6.2.3. Procesos de Validación	45
7. RESULTADOS	47
7.1. Evaluación de la Exposición Ocupacional a Ruido.....	47
7.2. Modelo de Propagación Acústica	49
7.2.1. Mapa de Ruido Experimental y Validación 1	49
7.2.2. Mapa de Referencia y Validación 2.....	51
7.2.3. Desarrollo Caso 1	53
7.2.4. Desarrollo Caso 2	57
7.2.5. Reducción de Distancia Crítica	60
7.3. Proyección de la Pérdida Auditiva	62
8. CONCLUSIONES	65
9. RECOMENDACIONES.....	68
9.1. Recomendaciones Técnicas y de Ingeniería.	68
9.2. Recomendaciones Administrativas.....	70
9.3. Capacitación.....	71
10. GLOSARIO TÉCNICO Y ABREVIATURAS.....	72
11. BIBLIOGRAFÍA.....	76
Anexo I: Antecedentes Generales de la Evaluación de Exposición Ocupacional a Ruido	81
i. Descripción de la Empresa	81
ii. Antecedentes Específicos de Puestos de Trabajo.....	83
iii. Turnos de Trabajo.....	84
iv. Caracterización de Fuentes de Ruido.....	85
v. Tipo de Ruido.....	85
vi. Tiempos de Exposición Recomendados	86
vii. Elementos de Protección Auditiva en Uso	87
viii. Evaluación de Efectividad de Elementos de Protección Auditiva en Uso.....	87

ix. Plano Empresa.....	91
x. Imágenes de Áreas en Evaluación.....	92
Anexo II: Información Materiales Absorbentes	95
Anexo III: Especificaciones Instrumentos y Software Utilizados	97
Anexo IV: Histogramas	101
Anexo V: Análisis de Costos para cada Escenario Modelado	104

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Tabla Antecedentes del Ruido en Chile.</i>	13
<i>Tabla 2 Límites máximos permisibles a ruido estable y fluctuante D.S. Nº 594/99.</i>	35
<i>Tabla 3 Población que sufre un efecto de daño a la audición en función de la dosis diaria de ruido, a los 10 y 25 años de exposición.</i>	36
<i>Tabla 4 Condición, Calificación y Acción según Niveles de Riesgo.</i>	40
<i>Tabla 5 Niveles de seguimiento audiométrico.</i>	40
<i>Tabla 6 Resultados y evaluación de dosimetrías según Prexor.</i>	47
<i>Tabla 7 Comparación de resultados Validación 1.</i>	50
<i>Tabla 8 Resultados Validación 2: Dosimetrías.</i>	52
<i>Tabla 9 Comparación resultados para cada configuración.</i>	54
<i>Tabla 10 Resultados Caso 1.</i>	56
<i>Tabla 11 Resultados Caso 2.</i>	58
<i>Tabla 12 Proyección del índice de pérdida auditiva promedio según edad, años de exposición a ruido y Nivel de Presión Sonora.</i>	62
<i>Tabla 13 Información puestos de trabajo. (Ref. 23)</i>	84
<i>Tabla 14 Horario de Turnos.</i>	84
<i>Tabla 15 Fuentes de ruido críticas de la sección evaluada.</i>	85
<i>Tabla 16 Tiempos de Exposición recomendados.</i>	86
<i>Tabla 17 Descripción Elementos de Protección Auditiva en uso. (Ref. 1, 17, 22)</i>	87
<i>Tabla 18 EPA utilizado y características de reducción de ruido HML para 95% de rendimiento.</i>	88
<i>Tabla 19 Calificación EPA 3M 1270/1271 tipo Tapón reutilizable.</i>	89
<i>Tabla 20 Calificación EPA 3M Peltor H6P3E Optime 95 tipo Orejera para casco.</i>	89
<i>Tabla 21 Información de instrumentos utilizados.</i>	97
<i>Tabla 22 Resumen valores por escenario.</i>	104
<i>Tabla 23 Factor de importancia por Punto de Recepción.</i>	111

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Porcentaje de Hipoacusia Neurosensorial por actividad productiva. (Fuente ACHS).....	18
Gráfico 2 Número de Trabajadores con Hipoacusia. (Fuente ACHS)	19
Gráfico 3 Distribución de Enfermedades Profesionales dictaminadas por COMPIN RM entre 2005 y 2012. ...	20
Gráfico 4 Evolución de la Hipoacusia según años de exposición en sujetos normales.	26
Gráfico 5 Campo sonoro directo y reverberante vs. Distancia a la fuente de ruido.	30
Gráfico 6 Resultados y evaluación de exposición a ruido según Prexor.	48
Gráfico 7 Comparación de resultados Validación 1 según puntos de medición.	50
Gráfico 8 Resultados Validación 2: Dosimetrías.	52
Gráfico 9 Comparación Resultados.	59
Gráfico 10 Proyección del índice de pérdida auditiva promedio según edad, años de exposición a ruido y Nivel de Presión Sonora.	62
Gráfico 11 Proyección de pérdida auditiva para Op. Cortadora 4.	63
Gráfico 12 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 2.	63
Gráfico 13 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 3.	63
Gráfico 14 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 4.	63
Gráfico 15 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 5.	64
Gráfico 16 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 6.	64
Gráfico 17 Proyección de pérdida auditiva para Op. Grúa Horquilla.	64
Gráfico 18 Proyección de pérdida auditiva para Op. Puente Grúa.	64
Gráfico 19 Comparación $Te(h)$ y $Te(h)$ recomendado.	90
Gráfico 20 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 1.	105
Gráfico 21 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 2.	106
Gráfico 22 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 3.	106
Gráfico 23 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 4.	107
Gráfico 24 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 5.	107
Gráfico 25 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 6.	108
Gráfico 26 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 7.	108
Gráfico 27 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 8.	109
Gráfico 28 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 9.	109
Gráfico 29 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 10.	110
Gráfico 30 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 11.	110
Gráfico 31 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 12.	111

Gráfico 32 Atenuación ponderada vs. Costo según Puntos de Recepción 112
Gráfico 33 Eficiencia Relación Costos-Reducción 113

Índice de Imágenes

<i>Imagen 1 Sección de electrosoldadura.....</i>	<i>16</i>
<i>Imagen 2 Diagrama metodológico.....</i>	<i>43</i>
<i>Imagen 3 Sección de Electrosoldadura.....</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 4 Mapa de Ruido Experimental.....</i>	<i>49</i>
<i>Imagen 5 Mapa de Ruido de Referencia.....</i>	<i>51</i>
<i>Imagen 6 Distribución paneles laterales Caso 1.....</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 7 Mapa de Ruido Caso 1.....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 8 Configuración paneles angulares y rango de reflexiones.....</i>	<i>57</i>
<i>Imagen 9 Mapa de Ruido Caso 2.....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 10 Mapa de Atenuación, Distancia Crítica; Caso 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 11 Mapa de Atenuación, Distancia Crítica; Caso 2.....</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 12 Croquis de la sección Mallas Electrosoldadas y puntos de medición.....</i>	<i>81</i>
<i>Imagen 13 Planta detalle de la sección a evaluar.....</i>	<i>82</i>
<i>Imagen 14 Sección Electrosoldadura.....</i>	<i>83</i>
<i>Imagen 15 Electro Soldadora 4.....</i>	<i>92</i>
<i>Imagen 16 Cortadora Vitari.....</i>	<i>92</i>
<i>Imagen 17 Carga de alambre cortado a Soldadora 3 desde Puente Grúa.....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 18 Operador Puente Grúa.....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 19 Operador Electrosoldadora.....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 20 Rollo de alambre.....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 21 Anclaje rollo de alambre sin aislación.....</i>	<i>94</i>
<i>Imagen 22 Anclaje de rollo sin aislación.....</i>	<i>94</i>

1. RESUMEN

La investigación evaluará el impacto que tiene en la protección de la audición de los trabajadores, de una industria del sector metal mecánico ubicada en Santiago de Chile, la incorporación del tratamiento acústico del entorno laboral, con materiales absorbentes certificados, ubicados estratégicamente en las zonas de mayor exposición al ruido en dicha industria. El proyecto contempla la utilización y adquisición del software acústico Rap-One de la empresa canadiense Soft-dB¹ que permite ingresar las mediciones de Nivel de Presión Sonora Equivalente directamente al software desde la actividad a medir. Los resultados de la investigación realizada evidencian que diversos escenarios propuestos para el tratamiento acústico absorbente, puede llegar a valores de reducción máximos de 2dB en la exposición a ruido de algunos puestos de trabajo, concluyéndose que es una alternativa efectiva en términos de reducción de la exposición ocupacional a ruido de los trabajadores, cuando la actividad laboral y maquinarias no permite tratar acústicamente la fuente ni el receptor. Respecto de la proyección de la Pérdida Auditiva, según los criterios de la Norma ISO1999 y Prexor, se modeló una población de trabajadores varones de 50 años de edad y 30 años de exposición al ruido, la configuración modelada permite predecir una disminución de hasta 5 dB en la banda más crítica, lo que implica una disminución de 3dB promedio en la curva audiométrica, que corresponde al 50% de disminución de la energía acústica recibida en 30 años de exposición y que para el caso estudiado aleja a esta población de un daño médico-legal y con ello de las eventuales indemnizaciones correspondientes.

1 www.softdb.com/en/acoustic/products/rap-one.php

1.1. Abstract

The investigation will assess the impact on hearing protection for workers, a metal mechanic sector industry located in Santiago of Chile, the incorporation of acoustic treatment of the working environment, with certified absorbent materials, strategically located in areas greater exposure to noise in the industry. The project includes the use and acquisition of acoustic software Rap-One a Soft-dB Canadian Company, that allows input measurements Sound Pressure Level Equivalent directly to software from the activity measured. The results of the research conducted show that various scenarios proposed for the absorbent acoustic treatment, can reach maximum values of 2dB reduction in noise exposure of some jobs, concluding that it is an effective alternative in terms of reduction occupational noise exposure of workers when the work activity and machinery does not allow acoustically treat to the source or receiver. About the projection of Hearing Loss, according to the criteria of the Standard ISO1999 and Prexor, a population of male workers 50 years old and 30 years working, was modeled noise exposure, the configuration modeled to predict a decrease of up to 5dB in the most critical band, which implies a decrease of 3dB average audiometric curve, corresponding to 50% decrease of the acoustic energy received by 30 years of exposure and for the case studied this population away from harm legal medical and thus of any indemnities.

2. INTRODUCCIÓN

La estadística indica que alrededor del mundo, entre un 7 y un 21% de la pérdida de la audición son causadas por el ruido industrial (Ref. 1) y que 500 millones de individuos pueden estar con el riesgo potencial de desarrollar pérdida auditiva inducida por el ruido. Se estima, además, que en ciudades industrializadas un 33% de la población mundial padece algún grado de sordera o pérdida auditiva, causada por exposición a sonidos de alta intensidad. Las estadísticas en Estados Unidos, por ejemplo, indican que 10 millones de personas padecen pérdida auditiva inducida por ruido y 22 millones están expuestos a daños potenciales por este agente cada año.

Por su parte el Reino Unido, de acuerdo a la Encuesta de Población Activa², sugiere que el número promedio total de casos de pérdida de la audición causada o agravada por el trabajo entre los años 2009 y 2012 es de 19.000 personas, con tendencia a la baja en el último decenio. El Doctor Francisco Otárola Merino, del Hospital del Trabajador de Santiago, reportó ya en el año 2006 que en Chile la Hipoacusia causada por la exposición a ruido representaba el 80% de las incapacidades permanentes por enfermedades profesionales. (Ref. 2)

Antecedentes del ruido en Chile
De 1033 casos de enfermos profesionales dictaminados por la COMPIN RM (2005 - 2009) el 66,6% corresponde a hipoacusia neurosensorial producida por ruido.
La Hipoacusia causada por ruido es la principal causa de indemnizaciones y pensiones, con un 80 % de las incapacidades permanentes (2005 – 2009).

Tabla 1 Tabla Antecedentes del Ruido en Chile.³

2 http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-4492013000100008&script=sci_arttext

3 Urnia, José Luis: Gestión para el control, ACHS, Chile, 2012.

Para generar un aporte en la disminución y/o control de la Hipoacusia Sensorio Neural Laboral por actividades laborales, es que el presente proyecto propone evaluar de forma cuantitativa la influencia en la exposición ocupacional a ruido, mediante la incorporación de tratamiento acústico del entorno laboral, con materiales absorbentes ubicados al interior de los lugares de trabajo.

Se han considerado en la presente investigación, las variables ambientales: entorno, materialidades, geometría, tipo de actividad productiva, cantidad de trabajadores, características de los trabajadores, duración de la jornada, tipo de ruido generado y maquinaria utilizada. Para ello, el presente estudio propone la utilización de un modelamiento computacional basado en el recurso Rap-One que, utilizando los datos reales obtenidos de la industria a evaluar, genere una predicción estadística de la reducción del ruido, al incorporar virtualmente diversos escenarios acústicos tales como absortores y pantallas acústicas ubicados en las zonas críticas. Se utilizarán los descriptores de NPS, Potencia Acústica, Coeficiente de Absorción Sonora, Pérdida de Transmisión y Dosis de Ruido.

El propósito final de la investigación es dimensionar y ponderar el real aporte que pudiese tener, en la reducción de la exposición al ruido de trabajadores, la incorporación de sistemas de acondicionamiento y absorción acústica al interior de los lugares de trabajo, definiéndose estos sistemas como una medida de control de ruido efectiva para reducir los niveles de ruido, incorporados en forma complementaria al uso de EPA (Elementos de Protección Auditiva).

A partir de estadísticas sobre presencia de Hipoacusia Sensorio Neural Laboral en las diversas actividades productivas, se seleccionó un escenario industrial representativo del sector metal mecánico en Chile, para basar y levantar un modelo computacional teórico sobre el software de propagación acústica en el interior del recinto. Se considerarán las fuentes de ruido en dicha sección ocupacional, además de cualquier variable que tenga influencia directa o indirecta

en la exposición ocupacional a ruido de cada trabajador del área. Cabe mencionar que se utilizarán datos y mediciones dosimétricas en los puestos de trabajo del área, medidas con el Instrumental adquirido de la empresa Soft-dB y la empresa Quest, contemplados en el proyecto (www.softdb.com) como evidencia y base de comparación con dosimetrías y mediciones de niveles de potencia acústica (L_w) de cada fuente de ruido.

Este modelo base, o de condición inicial, será calibrado en referencia a las anteriores y nuevas mediciones, comparando los niveles de ruido equivalentes (L_{Aeq}) y Dosis de Ruido de cada puesto de trabajo. Estas mediciones fueron realizadas entre los años 2012 y 2014 en situaciones homogéneas de la actividad laboral de dicha industria. Posteriormente se diseñará un nuevo modelo matemático, a partir de la condición inicial, que incorporará distintas configuraciones de tratamiento acústico con materiales absorbentes en las superficies interiores del lugar de trabajo, donde se simulará el comportamiento real del contaminante acústico al interior del recinto, por medio del mapa de ruido que entrega el software Rap-One.

Esta herramienta permitirá visualizar los puntos sensibles de exposición, y de esta forma graficar la propagación del ruido desde las fuentes emisoras hasta los puntos de recepción, es decir los trabajadores, tomando en consideración el aporte originado por el sonido directo y por el campo reverberante de la sala producido por las propiedades acústicas de cada elemento al interior del recinto.

Otro antecedente importante a considerar es el relacionado con la Distancia Crítica, que es la cobertura de la acción directa donde el campo sonoro se genera directamente desde la fuente emisora y donde tiene casi nula efectividad la acción atenuadora de tratamientos acústicos, tales como paneles, encierros o absorbentes acústicos. El resultado de la diferencia entre la condición inicial y la simulación de una condición futura se atribuirá a la influencia de la implementación

de tratamiento acústico con materiales absorbentes, lo cual se detallará en varios escenarios de costos, impacto y dimensiones. La comparación entre escenarios y las diferencias que arrojen se traducirán a dosis de exposición, para así cuantificar el aporte del tratamiento acústico de la sala en la exposición de los trabajadores, relacionando de esta forma los descriptores acústicos con descriptores de pérdida auditiva. (Ref. 23)



Imagen 1 Sección de electrosoldadura.

La alternativa propuesta en esta investigación, de lograr una reducción de ruido mediante absorbentes acústicos, es relevante, al momento de contemplar ciertas faenas, máquinas y situaciones laborales, donde no es posible aplicar la reducción de ruido por encierros acústicos, ni protectores auditivos, y por lo tanto, la situación planteada es una alternativa efectiva en términos de la exposición ocupacional a ruido de los trabajadores, sobre todo si además se complementa con paneles instalados en las inmediaciones de la fuente con el propósito de reducir la distancia crítica de la fuente.

La Hipoacusia Sensorio Neural de origen laboral es la pérdida de la capacidad auditiva y es una de las enfermedades profesionales más común en nuestro país y en el mundo, que hoy afecta a la población juvenil con importante preocupación de las instituciones de salud. Según datos de la Sociedad Chilena de Otorrinolaringología, entregados por el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, el 30% de la población trabajadora está expuesta a niveles de ruido que provocan daño auditivo. Cabe mencionar que la pérdida de la audición por ruido es una enfermedad indolora, la mayoría de las veces imperceptible por el paciente y que es completamente evitable. Sin embargo, una vez que ésta se produce, es permanente e irreversible, por el daño de las células nerviosas, cuya solución depende únicamente de la utilización de audífonos especiales para las características propias del paciente. Además, el ruido como agente contaminante, puede acarrear otras consecuencias para la salud, como por ejemplo: efectos sobre el sistema nervioso central, el equilibrio, y otros efectos no auditivos, tales como dificultad en la comunicación, alteraciones del sueño, hipertensión arterial, disminución de la capacidad de concentración, entre otros. (Ref. 20)

La Hipoacusia Neurosensorial de origen laboral se deriva de la exposición al ruido industrial o por trauma acústico, lo que produce daño irreversible en trabajadores expuestos a ruido sobre los 85 decibeles en una jornada diaria de ocho horas (Ref. 14). El perfil de quienes la sufren son principalmente hombres de entre 50 y 65 años, que trabajan cerca de fuentes de ruido con elevados niveles de presión sonora. La Hipoacusia es la enfermedad ocupacional de mayor prevalencia en nuestro país. De hecho, según el Sistema Automatizado de Información en Salud Ocupacional (SAISO) del Instituto de Salud Pública, entre los años 1997 y 2000, el primer lugar de los diagnósticos de ingreso corresponde a las enfermedades del oído, con un 38%.

En Chile, la distribución de las actividades relacionadas con la HNS (Hipoacusia Neurosensorial), indican que el sector industrial es el más afectado por aquella patología, lo que se indica en el gráfico siguiente entregado por la Asociación Chilena de Seguridad.

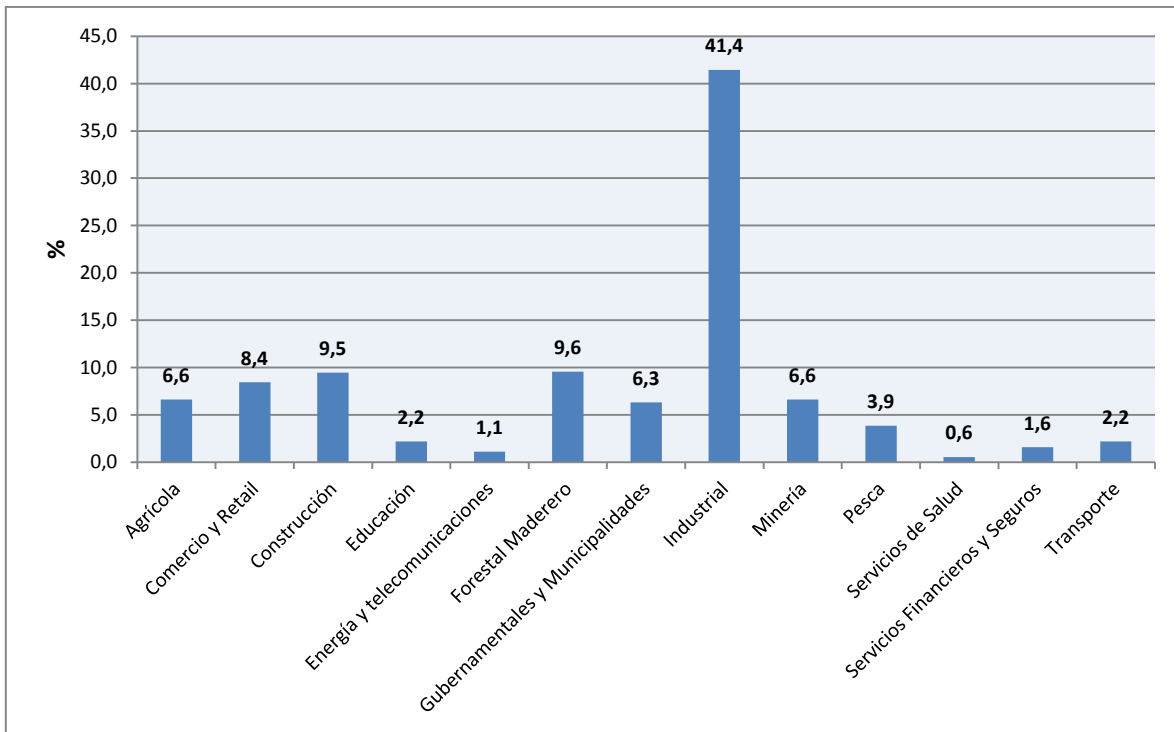


Gráfico 1 Porcentaje de Hipoacusia Neurosensorial por actividad productiva. (Fuente ACHS)

Según la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), la tasa de incapacidad por Hipoacusia, del año 2001, corresponde a 16,2 por cada 100.000 trabajadores, lo que se traduce en casos de trabajadores indemnizados, con el evidente costo económico a la institución aseguradora y al Estado por la Hipoacusia declarada.

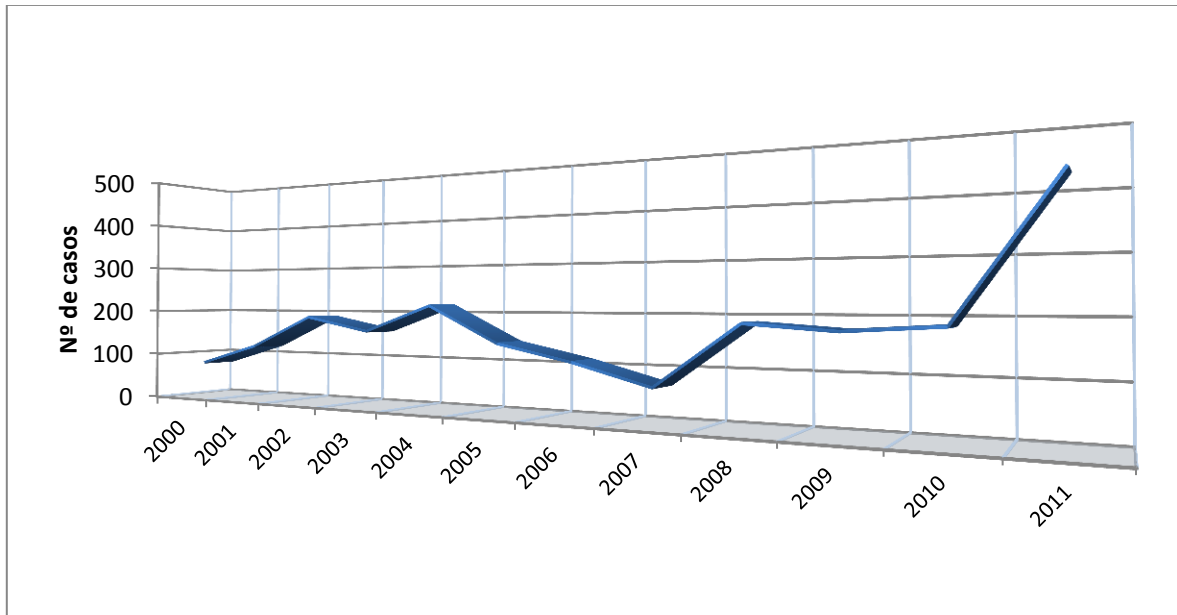


Gráfico 2 Número de Trabajadores con Hipoacusia. (Fuente ACHS)

Además, según estudios de la Seremi de Salud Metropolitana ⁴, que analiza la evolución del Trauma Acústico Crónico Ocupacional (TACO) entre el periodo 2005 y 2012, concluye que el 64% de las enfermedades profesionales dictaminadas por COMPIN corresponde a Hipoacusia Neurosensorial. Es necesario mencionar que la Comisión de Medicina Preventiva e Invalidez de Chile⁵, es un departamento técnico administrativo encargado de evaluar, constatar, declarar y certificar el estado de salud de los trabajadores, a objeto de determinar la capacidad de trabajo o posibilidad de recuperación de sus estados patológicos permanentes o transitorios, con el fin que accedan a los beneficios legales para que las autoridades administrativas, las entidades previsionales y los empleadores adopten las medidas correspondientes. Las acciones ejecutadas por las COMPIN se concretan en informes, dictámenes, resoluciones y certificaciones, que se aplican a la salud ocupacional.

4 <http://seremi13.redsalud.gob.cl/?p=722>

5 http://compin.redsalud.gob.cl/?page_id=15

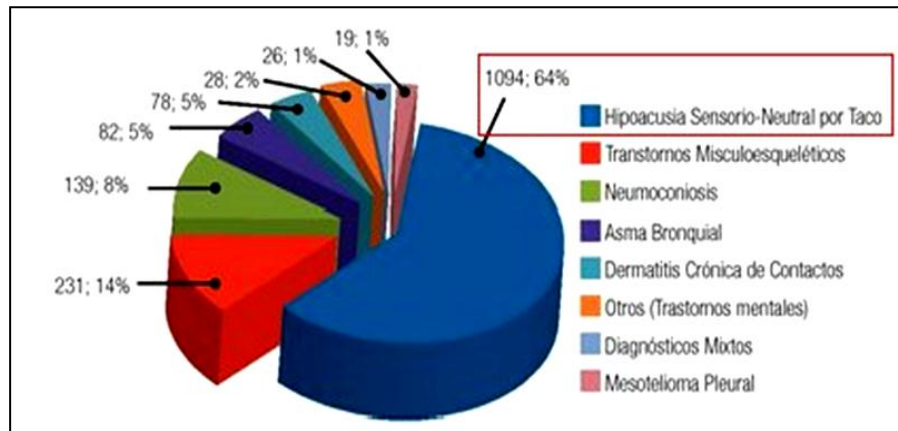


Gráfico 3 Distribución de Enfermedades Profesionales dictaminadas por COMPIN RM entre 2005 y 2012.

El principal objetivo del proyecto es evaluar la efectividad del tratamiento acústico como medida de control de ruido en los lugares de trabajo, y determinar si su efectividad está en función de otros dispositivos de control y/o mitigación de ruido. La teoría acústica indica que las reflexiones acústicas directas pueden aumentar al nivel de presión sonora en hasta 6 dB, lo cual significa la cuadruplicación de la energía de la fuente sonora. Además, se menciona en la literatura, que la eficacia reductora de ruido de los materiales absorbentes, se manifiesta únicamente a partir de una cierta distancia de la fuente de ruido, por lo que los resultados permitirán estimar el área de cobertura del tratamiento incorporado.

Estos datos arrojados por la investigación serán relevantes en múltiples propósitos, como por ejemplo, las recomendaciones de medidas de control de ingeniería con fundamento y base en el presente estudio por parte de especialistas, y a su vez la implementación de métodos de reducción de ruido, correctos y efectivos que sean acordes a las necesidades de las empresas. Además, considerando que el presente proyecto contempla la aplicación del uso de modelamiento por medio de softwares, para el cálculo de propagación acústica al interior de recintos, se dispondrá de una herramienta con fines de evaluación y predicción de exposición laboral.

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

3.1. Objetivo General

Evaluar la incidencia del tratamiento de absorción acústica en la proyección de la hipoacusia neurosensorial laboral, según la Norma ISO 1999 y Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR), correspondiente a la sección de Electrosoldadura de una industria representativa del sector metal mecánico en Santiago de Chile.

3.2. Objetivos Específicos

- i. Describir el entorno operativo de la actividad productiva de la Sección Mallas Electrosoldadas, de una empresa tipo, correspondiente al rubro metal mecánico en Santiago de Chile.
- ii. Determinar mediante mediciones los parámetros de L_{eq} , L_w , Dosis de Exposición a Ruido, de un entorno laboral típico de una empresa metal mecánica, aplicando instrumental acústico certificado.
- iii. Seleccionar materiales acústicos certificados, modelando diversos escenarios en puestos de trabajo, para determinar la magnitud en la reducción del Nivel de Presión Sonora de la sección industrial seleccionada.
- iv. Evaluar la incidencia del tratamiento de absorción acústico propuesto, aplicando el modelo computacional a partir del software de modelación y la Norma ISO 1999, para proyectar la progresión de la enfermedad profesional en el lugar de trabajo.

- v. Validar los parámetros de L_{eq} , L_w , Dosis de Exposición a Ruido y Coeficientes de Absorción Sonora, de un entorno laboral típico de una empresa metal mecánica, aplicando instrumental acústico utilizados en un modelo computacional predictivo.

- vi. Aplicar la Norma ISO1999 para estimar la efectividad de tratamientos acústicos en la empresa en la proyección de pérdida auditiva.

- vii. Comparar los resultados de exposición a ruido entregados por el software de modelamiento con las mediciones reales para fines de evaluación de condiciones laborales.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Efectos del Ruido Sobre la Salud

Existen diversas alteraciones a la salud las cuales son producidas por efectos del ruido, como lo son: la alteración del sueño, los trastornos en la capacidad de atención y memorización, las alteraciones cardiovasculares, alteraciones nerviosas, digestivas y hormonales. Además existen alteraciones más específicas como la alteración en conversaciones y traumas acústicos como la Hipoacusia. El trauma acústico es un daño permanente para la salud que se manifiesta en trabajadores sometidos a elevados niveles de ruido como consecuencia de su actividad laboral. Cuando un trabajador se encuentra expuesto de manera consecutiva durante periodos de tiempo prolongados a ruidos elevados, la energía sonora recibida en su oído, produce fatiga y destrucción de las células ciliadas auditivas, situadas en el oído interno, que trae como consecuencia la pérdida de la capacidad auditiva, calificándose a esta patología como Neurosensorial. Esta lesión se produce de forma lenta, progresiva y sigilosa, a lo largo de los años. La mayor parte de las actividades laborales van acompañadas de la producción de ruido, el cual es tanto más manifiesto cuanto mayores y numerosos elementos mecánicos intervienen.

La intensidad del ambiente sonoro está sujeta a diversos factores, entre los que destacan: el número de elementos mecánicos, la ubicación de locales, los materiales que se emplean, etc., por lo que existen industrias con mayor contaminación sónica que otras, sobresaliendo por su importancia y grupos laborales expuestos: metalúrgicas, metalmecánicas, las textiles e imprentas.
(Ref. 20)

4.2. Hipoacusia Profesional

La hipoacusia es la disminución de la sensibilidad auditiva. Puede presentarse en forma unilateral, cuando afecta a un solo oído, o ser bilateral cuando los dos oídos se encuentran afectados. Las hipoacusias presentan diferentes grados o niveles y su clasificación se realiza teniendo en cuenta cuánto hayan descendido los umbrales auditivos⁶.

- Hipoacusia leve: (umbrales entre los 20 y 40 dB): La persona que la padece puede mantener una conversación frente a frente con una persona o un grupo pequeño en un ambiente tranquilo aunque presenta dificultades para escuchar en reuniones, en ambientes ruidosos y a distancia.
- Hipoacusia moderada: (umbrales entre 40 y 70 dB) Existen dificultades de audición frente a frente aunque el ambiente sea tranquilo.
- Hipoacusia severa: (umbrales entre 70 y 90 dB) No percibe la voz, salvo que ésta sea fuerte.
- Hipoacusia profunda: (umbrales que superan los 90 dB) No percibe la voz aunque sea fuerte.
- Anacusia o cofosis: Pérdida total de la audición.

Asimismo, las hipoacusias se clasifican de acuerdo a la parte del oído que esté afectada:

- Hipoacusia conductiva o de transmisión: debido a una alteración del oído externo y/o medio.
- Hipoacusia perceptiva o neurosensorial: a causa de una lesión en el oído interno y/o las vías nerviosas auditivas, que son las afectadas mayoritariamente por la actividad laboral.

⁶ www.joseluiscardenas.com/ruido

- Hipoacusia mixta: debido a alteraciones simultáneas en la transmisión y percepción del sonido, es decir, por patología que afecta a estructuras del oído.

4.2.1. Hipoacusia Conductiva

La Hipoacusia conductiva puede deberse a obstrucciones del canal auditivo causadas por algún objeto, cuerpo extraño o tapón de cerumen, o bien por lesión o destrucción del tímpano, o por el endurecimiento o pérdida de funcionalidad de los huesecillos, o por supuración del oído medio a causa de alguna infección otorrinolaringológica como la otitis media. (Ref.13)

4.2.2. Hipoacusia Neurosensorial

Esta enfermedad puede deberse a la alteración que está en el oído interno y/o en la vía auditiva central. Se llama también Hipoacusia de percepción. Existe una alteración en las células sensoriales o en las vías nerviosas que conducen el estímulo hacia el sistema nervioso central.

Cualquier sordera superior a 60 dB indica una pérdida Neurosensorial pura o mixta. (Ref.15). La Hipoacusia conductiva es a menudo reversible, mientras que la Neurosensorial no lo es. Se dice que las personas que tienen ambas formas de Hipoacusia padecen Hipoacusia mixta⁷.

⁷ <http://ruidoocupacional.cl/ruido-ocupacional/hipoacusia-neurosensorial/>

4.2.3. Hipoacusia Profesional

Se denomina Hipoacusia profesional o profesoacusia a la pérdida auditiva permanente o irreversible, causada por la exposición prolongada durante años a niveles de ruido excesivos en ambientes laborales, es decir durante varias horas por día. No debe confundirse esto con el Trauma Acústico Crónico Ocupacional (TACO), que es la pérdida repentina de la audición a causa de una exposición accidental a ruidos excepcionalmente fuertes, como explosiones, disparos, etc., sin la debida protección auditiva. La Hipoacusia profesional tiene, con el tiempo, una evolución bastante característica. Comienza afectando las altas frecuencias, luego se propaga y profundiza hacia las frecuencias esenciales para la comprensión de la palabra, es decir entre 500 Hz y 2 KHz. (Ref. 8, 30).

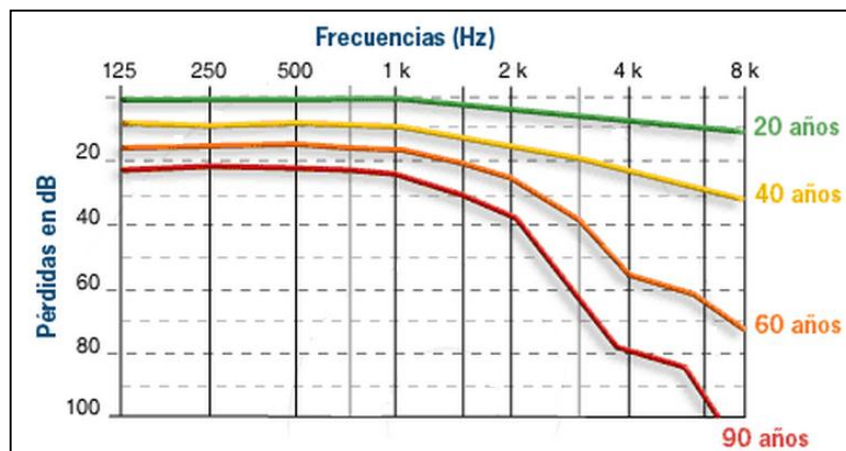


Gráfico 4 Evolución de la Hipoacusia según años de exposición en sujetos normales.

4.3. Dosis de Exposición a Ruido

La dosis de ruido corresponde a la energía sonora total, expresada en porcentaje o en forma unitaria, que un trabajador recibe durante su jornada de trabajo diaria. Esta dosis sirve para establecer criterio de acciones para la prevención de la hipoacusia. La normativa chilena establece un diagnóstico y las medidas dirigidas a reducir los distintos niveles de exposición al ruido durante una jornada laboral, para cumplir los reglamentos de salud y seguridad ⁸.

El estudio de dosis de ruido laboral es realizado tanto por empresas privadas, mutuales administradoras del seguro social según Ley N° 16.744 ó entidades fiscalizadoras a través del Decreto Supremo 594/99 del MINSAL. (Ref.11). Técnicamente estas mediciones se realizan mediante un sonómetro integrador o dosímetro, que cumpla las exigencias señaladas para los tipos 0, 1 ó 2, establecidas en las normas: IEC 651-1979, IEC 804-1985 y ANSI S. 1.4-1983. (Ref. 19).

4.4. Distancia Crítica

La unidad de absorción es el Sabin, que equivale a una superficie de un pie cuadrado que tenga un coeficiente de absorción de la unidad. También existe el Sabin MKS, que hace referencia a una superficie de un metro cuadrado. En la mayor parte de las situaciones prácticas, en el interior del local se logra una distribución homogénea de la energía sonora, cumpliendo las condiciones de campo difuso.

Además, un campo directo generado por la energía sonora radiada por la fuente y que se propaga en el aire alejándose de ésta. El nivel de potencia sonora en

⁸ http://www.ispch.cl/sites/default/files/u5/Guia_Preventiva.pdf

cualquier punto interior de un recinto cerrado, será pues el resultado de las contribuciones de los campos directo y reverberante.

Se expresa mediante:

$$L_w = L_p - 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{K} \right)$$

Donde:

L_w : Nivel de Potencia Sonora de la fuente (dB).

L_p : nivel de presión sonora en el punto considerado (dB).

Q: factor de directividad de la fuente.

r: distancia entre la fuente sonora y el punto (m)

K: constante del local (m^2).

La constante de un local, K mide la capacidad de un recinto para la absorción del sonido, y puede calcularse como:

$$K = \frac{\alpha_m \cdot S}{1 - \alpha_m}$$

Donde α_m es el coeficiente de absorción medio, que se calcula según:

$$\alpha_m = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Donde S es la superficie en m^2 .

Dentro de un campo acústico existe una distancia a la que el nivel de presión sonora debido a las ondas reflejadas se hace igual al de las ondas directas. Es la

distancia crítica, y dentro de ella no es apreciable el acondicionamiento acústico de las paredes, ya que dominan las ondas directas.

Se calcula como:

$$r = 0.14 \sqrt{K \cdot Q}$$

Donde:

r: distancia crítica, en metros

K: constante del local, en m²

Q: factor de directividad de la fuente emisora

La anterior ecuación describe de forma sencilla el campo sonoro en cualquier punto interior del recinto, y permite conocer la importancia relativa de las contribuciones de los campos directo y reverberante, concluyéndose que:

- Si la absorción acústica es mínima, K es pequeña y predomina el término $4/K$, con lo que el nivel sonoro en cualquier punto del recinto será aproximadamente constante, independiente de la distancia (condición reverberante).

Esta condición es la más efectiva para realizar la disminución de la energía en un tratamiento acústico, que se realizará en el modelamiento del presente proyecto.

- Si existe una gran absorción acústica, K es grande y predomina el término $Q/(4\pi \cdot r^2)$ con lo que el nivel de presión sonora disminuye con la distancia (condición anecoica), situación donde la efectividad de los paneles acústicos no son relevantes en la protección auditiva del trabajador.

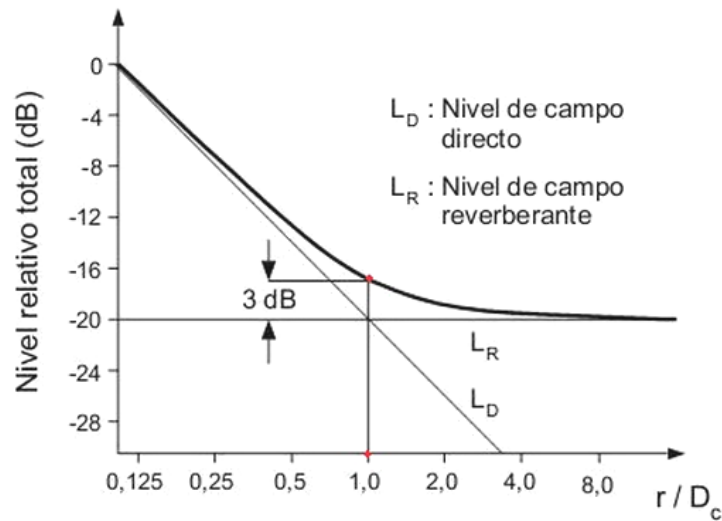


Gráfico 5 Campo sonoro directo y reverberante vs. Distancia a la fuente de ruido.

El Gráfico 5 muestra la relación entre el campo sonoro directo y el reverberante, en función de la distancia desde la fuente de ruido. El término D_c indica la distancia crítica, que es la distancia dentro de la cual el campo sonoro total se comporta muy parecido al campo directo o anecoico.

5. NORMATIVAS DE REFERENCIA

5.1. Normas Internacionales

Chile ha adoptado diversas normativas internacionales para generar los estándares respecto de la evaluación y control de la salud ocupacional. En particular la Organización Internacional para la Estandarización - ISO - es uno de los organismos encargados de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional. Las normas internacionales ISO son de adhesión voluntaria ya que es un organismo no gubernamental y no depende de ningún otro organismo internacional, por lo tanto, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país, sin embargo, a menudo pasan a formar parte de las legislaciones locales, nacionales y/o internacionales. Esta organización internacional ha establecido una serie de normas con respecto a la exposición a ruido laboral, algunas de ellas se mencionan más adelante.

También existen otras normas internacionales que abarcan el mismo tema y describen especificaciones y/o métodos para audiometrías tales como la ANSI (American National Standard Institute), la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), además de la ISO.

A su vez en Chile, este tipo de normativa la genera y supervisa el Instituto Nacional de Normalización INN⁹ que es una fundación de derecho privado sin fines de lucro, creada por CORFO.

⁹ www.inn.cl

Su rol es contribuir al desarrollo productivo del país, fomentando la elaboración y uso de normas chilenas, coordinando la Red Nacional de Metrología y acreditando organismos de evaluación de la conformidad. El INN es continuador legal del Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas, INDICTECNOR, cuya génesis se remonta a 1944. Desde su creación en 1973, el INN ha trabajado en torno a la elaboración y difusión de las normas chilenas (NCh). Lo anterior, con el fin de fortalecer los componentes de la calidad nacional, favoreciendo su competitividad en el mercado interno e internacional. A través del Instituto Nacional de Normalización, Chile cuenta con reconocimiento internacional en materias de normalización, acreditación y metrología, y a su vez el INN es miembro de la International Organization for Standardization ISO, principal ente normalizador internacional, de la que es fundador a partir de 1947. Desde 1949 es fundador y parte de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT.

Ambas instituciones se preocupan de promover, incentivar y desarrollar estudios de normas en el ámbito internacional. A continuación se indican las características generales de algunos de estos documentos utilizados como marco en la elaboración de esta investigación:

- a. ISO 1999-1990 Acoustics – Determination Of Occupational Noise Exposure An Estimate Of Noise Induced Hearing Impairment.

El principal objetivo de esta norma es dar una distribución estadística del desplazamiento permanente del umbral a distintas frecuencias en función de la edad y del nivel de exposición a ruido normalizado a una jornada laboral de 8 horas. Esta norma no propone determinar directamente si existe daño auditivo o no, sino que deja en manos de los entes de aplicación tal determinación, sean estas reparticiones gubernamentales nacionales, regionales o locales u otros.

Las razones de esto se deben, esencialmente, a la gran cantidad de criterios de discapacidad existentes, muchos de los cuales pueden estar plenamente justificados según el contexto. (Ref. 8, 13, 17, 30)

- b. ISO 7029:2000 Acoustics – Threshold Of Hearing By Air Conduction As A Function Of Age And Sex For Ontologically Normal Persons.**

El principal objetivo de esta norma es dar una distribución estadística del desplazamiento permanente del umbral a distintas frecuencias en función solo de la edad, para personas otológicamente normales.

5.2. NORMAS NACIONALES

5.2.1. Ley 16.744: Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales

Esta ley establece Normas Sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales y estipula la exigencia del seguro social que proporciona las prestaciones médicas, subsidios por incapacidad temporal e indemnizaciones dependiendo del caso. La administración del seguro según la Ley N° 16.744¹⁰, estará a cargo del Instituto de Previsión Social (ex INP) (www.ips.gob.cl) organismo del Ministerio del Trabajo y Previsión Social. También participan en esta Ley las Cajas de Previsión y las Mutualidades de Empleadores. Estos organismos tienen además la misión de entregar información necesaria a sus empresas afiliadas, ya sea cuando haya ocurrido un accidente de trabajo, para otorgar asistencia técnica y para capacitaciones informativas. (Ref. 16)

¹⁰ www.mutual.cl/Portals/0/seguros_afp/preguntas_frecuentes_ley_16744.pdf

5.2.2. D.S. N° 594/99: Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares De Trabajo

Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, establece en el Título IV, Párrafo 3° de los Agentes Físicos; 1. del Ruido, disposiciones generales para la evaluación y determinación de la exposición a ruido de los trabajadores en sus lugares de trabajo, estableciendo de esta forma los límites horarios máximos permitidos de exposición a ruido relativos al nivel de presión sonora presente en las respectivas ubicaciones.

Para una correcta medición se debe tomar en consideración una serie de factores, tales como el tiempo de medición, el número de muestras, las condiciones de operación y tipo de ruido, entre otros. Las entidades correspondientes a aquellas instituciones públicas pertenecientes al Servicio de Salud, y en la Región Metropolitana al Servicio de Salud del Ambiente, les corresponderá fiscalizar y controlar el cumplimiento de las disposiciones del reglamento y las del Código Sanitario en la misma materia, todo ello de acuerdo con las normas e instrucciones generales que imparta el Ministerio de Salud. (Ref. 14)

Las exigencias se encuentran en el Título IV, Párrafo 3° Artículo 75° y/o Artículo 80° dependiendo de la característica de estabilidad del ruido, lugar donde se indican y establecen los tiempos máximos permisibles de exposición de acuerdo al nivel de presión sonora presente.

La dosis de exposición ocupacional a ruido se determina comparando la dosis de ruido diaria medida o calculada para los trabajadores evaluados con la Dosis Máxima Permisible (1 ó 100%).

El Instituto de Salud Pública de Chile, bajo resolución oficial, creó el documento denominado “Instructivo para la aplicación del D.S. N° 594/99 del MINSAL ¹¹, en el que busca homogenizar una metodología básica para la evaluación del ruido ocupacional, debido a que no existe una metodología establecida en el D.S. N°594/99 del MINSAL.

Leq dBA	Hora	Minuto	Seg
80	24		
81	20,16		
82	16		
83	12,7		
84	10,08		
85	8		
86	6,35		
87	5,04		
88	4		
89	3,17		
90	2,52		
91	2		
92	1,59		
93	1,26		
94	1		
95	47,4	47,7	
96	37,8	37,8	
97		30	

Leq dBA	Hora	Minuto	Seg
98		23,8	
99		18,9	
100		15	
101		11,9	
102		9,4	
103		7,5	
104		5,9	
105		4,7	
106		3,75	
107		2,97	
108		2,36	
109		1,88	
110		1,49	
111		1,18	
112			56,4
113			44,84
114			35,43
115			29,12

Tabla 2 Límites máximos permisibles a ruido estable y fluctuante D.S. N° 594/99.

La relación de cambio indica en qué medida debería variar el nivel de presión sonora para mantener un riesgo de pérdida auditiva cuando se duplica la duración de la exposición. Se utilizan relaciones de cambio de 3, 4 y 5 dB, para cambios en el nivel de presión sonora correspondiente a la duplicación (o reducción a la mitad) de la duración de la exposición.

¹¹ http://200.91.44.234/wp-content/uploads/2012/09/DS_594.pdf

En Chile la relación de cambio aplicable para la exposición al ruido es de 3dB, esto quiere decir que cada vez que aumenta el nivel de ruido en 3 dB, el tiempo de exposición permitido disminuye a la mitad.

La estimación del riesgo de pérdida auditiva según Instituto de Salud Pública de Chile, en relación al tiempo de exposición y el nivel de presión sonora equivalente diario, para una jornada laboral de 8 horas, se indica a través de la Tabla 3.

Dosis de ruido diaria 8 hrs. dB(A)	Pérdida a 4KHz. Caída de 20dB bajo lo normal		Pérdida a 0,5 - 1 y 2KHz. Caída 25dB bajo lo normal	
	% de población presenta efectos 10 años	% de población presenta efectos 25 años	% de población presenta efectos 20 años	% de población presenta efectos 25 años
80	5	10	0	0
85	10	20	3	10
90	20	35	10	20
95	35	55	15	30
100	55	75	30	45
105	75	90	40	60
110	90	95	55	70
115	95	99	70	75

Tabla 3 Población que sufre un efecto de daño a la audición en función de la dosis diaria de ruido, a los 10 y 25 años de exposición.

5.2.3. Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR)

El Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR)¹² es elaborado en conjunto con el Instituto de Salud Pública de Chile y el Ministerio de Salud, siendo declarado el Decreto Exento 1052, en el año 2011.

¹² <http://www.ispch.cl/noticia/17087>

En este documento se estandarizan los procedimientos para prevenir y evaluar los daños en la salud auditiva de los trabajadores y también establece criterios de acción. La Vigilancia de la Salud Auditiva, inserta en este Protocolo, está compuesta por cuatro etapas:

1. Evaluación auditiva: En esta etapa se les debe realizar a los trabajadores audiometrías base, seguimiento, confirmación y egreso, según corresponda, para detectar el inicio de una pérdida auditiva o evitar el avance de ella. Estos exámenes audiométricos, además, permiten evaluar cómo se están implementando las medidas de control de ruido.
2. Ficha epidemiológica: relacionado a los datos, identificación del trabajador y antecedentes como enfermedades que puedan sumarse a una eventual Hipoacusia Neurosensorial laboral.
3. Historia ocupacional: Información sobre exposición ocupacional a ruido que permite hacer el cruce causa efecto y se convierte en un procedimiento necesario antes de una evaluación médica.
4. Evaluación médica: Etapa en que el clínico procede a hacer el diagnóstico de Hipoacusia Neurosensorial laboral y tratar al trabajador, aunque nunca a revertir la patología auditiva que pasa a ser crónica. (Ref. 3, 6, 26)

Además PREXOR (Ref. 3, 9, 26) establece grados interpretables como Niveles de Riesgo, con el objetivo de calificar la exposición ocupacional a ruido, para que las empresas gestionen las acciones de control, como también la vigilancia de la salud de sus trabajadores expuestos. Los Niveles de Riesgo se definen a continuación:

- **Nivel 1:** exposiciones cuyas dosis de ruido se encuentran bajo la Dosis de Acción (0,5).
- **Nivel 2:** comprende aquellas exposiciones cuyas dosis de ruido se encuentran en o sobre la Dosis de Acción y bajo 10 veces la Dosis Máxima Permisible (DPM) de 1. Implementación de medidas de control de ruido con un plazo de 12 meses desde emisión de informe técnico respectivo.
- **Nivel 3:** exposiciones cuyas dosis se encuentran en o sobre 10 veces la DMP igual a 1. Implementación de medidas de control de ruido con un plazo de 12 meses desde emisión de informe técnico respectivo.

Las técnicas de control de ruido se basan principalmente en tres criterios de control ordenados jerárquicamente de acuerdo a la prioridad exigida en PREXOR:

1. Control de ruido en la fuente.
Incorporación de sistemas de mitigación sobre la fuente emisora.
2. Control de ruido en el medio.
Incorporación de sistemas de mitigación en las vías de transmisión entre fuente y receptor.
3. Control de ruido en el receptor.
Incorporación de sistemas de mitigación de ruido o aplicación de Elementos de Protección Auditiva.

Además, se indica que la instalación de sistemas de control de ruido son prioridad, y de existir imposibilidad justificada, corresponde el estudio de la implementación de medidas administrativas, dejando en último lugar el uso de elementos de protección auditiva, debido a que no garantizan la protección auditiva del usuario.

6. METODOLOGÍA

6.1. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN A RUIDO

Con el objetivo de evaluar y determinar la exposición de los trabajadores y el nivel de riesgo que le implican sus respectivos puestos de trabajo, se realizarán mediciones mediante dosímetro a cada uno de los trabajadores considerados los más expuestos y/o representativos en términos de exposición a ruido dentro de su grupo homogéneo, en los horarios definidos como de mayor demanda y durante un periodo considerado representativo de su jornada laboral habitual. Paralelamente se realizaron mediciones ambientales en cada fuente de ruido con el objeto de evaluar la eventual exposición más crítica de los trabajadores a la fuente. Todas las mediciones se realizaron con ponderación en las curvas A y C.

6.1.1. Determinación de la Exposición Ocupacional a Ruido

En el protocolo PREXOR (Ref. 3, 9, 26) se establecen Niveles de Riesgo con el objetivo de calificar la exposición ocupacional a ruido, para que las empresas gestionen las acciones de control, como también la vigilancia de la salud de sus trabajadores expuestos. Los Niveles de Riesgo se definen a continuación:

- **Nivel 1:** exposiciones cuyas dosis de ruido se encuentran bajo la Dosis de Acción (0,5).
- **Nivel 2:** comprende aquellas exposiciones cuyas dosis de ruido se encuentran en o sobre la Dosis de Acción y bajo 10 veces la Dosis Máxima Permisible (DPM) de 1.
- **Nivel 3:** exposiciones cuyas dosis se encuentran en o sobre 10 veces la DMP igual a 1.

La Tabla 4 señala la calificación y las acciones asociadas a cada nivel de riesgo descrito.

Nivel de Riesgo	Condición	Calificación	Acción
1	Dosis < 0,5	Aceptable	Mantener o mejorar condiciones de exposición. La evaluación tendrá una periodicidad de 3 años.
2	$0,5 \leq \text{Dosis} < 10 \text{ DMP}$	Importante	Plazo máximo de 1 año para desarrollar medidas de control eficaces. A partir de este nivel los trabajadores son ingresados a programa de vigilancia médica.
3	Dosis $\geq 10 \text{ DMP}$	Crítica	Plazo máximo de 6 meses para desarrollar medidas de control eficaces. A partir de este nivel los trabajadores son ingresados a programa de vigilancia médica.

Tabla 4 Condición, Calificación y Acción según Niveles de Riesgo.

En las situaciones anteriores, PREXOR contempla 4 Niveles de Seguimiento que se realizan aplicando Pruebas Audiométricas regulares, para obtener la incidencia de la pérdida auditiva de cada trabajador.

Nivel de Seguimiento	Exposición Ocupacional a Ruido	Periodicidad de Audiometrías
I	$0,5 \leq \text{DRD} \leq 1$	Cada 3 años
II	$1 < \text{DRD} \leq 10$	Cada 2 años
III	$\text{DRD} > 10$	Cada 2 años
IV	Ruido Impulsivo $\geq 135\text{dB(C) Peak}$	Cada 6 meses

Tabla 5 Niveles de seguimiento audiométrico.

El nivel de riesgo a los que se encuentran expuestos los trabajadores evaluados, guarda directa relación con la periodicidad de la evaluación y con el plazo para la implementación de medidas de control de ruido. Para aquellos casos en que la dosis de ruido resulte menor a 0,5 se deberá constatar en un plazo de 3 años si las condiciones se mantienen con respecto a esta evaluación.

6.1.2. Criterio de Evaluación de la Efectividad de la Protección Auditiva en Uso

La reducción de la exposición a ruido que se logra con un determinado protector auditivo depende de sus características individuales de atenuación sonora, de su uso correcto durante la exposición, de los niveles de ruido y de las características y componentes frecuenciales a las que se encuentran expuestos los trabajadores en sus lugares de trabajo.

La estimación de la reducción de ruido que otorga la protección auditiva en uso en la empresa se obtuvo utilizando el método de cálculo HML, contenido en la Norma NCh N°1331/6.Of2001 INN¹³ y en la Guía para la Selección y Control de Protectores Auditivos, ISPCh.

Los métodos de cálculo señalados consideran todos los factores acústicos que tienen una participación fundamental en la obtención de la reducción de ruido, tales como; nivel de presión sonora en el puesto de trabajo; valores L_C-L_A ; características de atenuación sonora del protector auditivo: atenuación y desviación estándar, considerando que el protector auditivo se encuentra en buenas condiciones y se utiliza correctamente.

Un protector auditivo es considerado *Adecuado* cuando el nivel de presión sonora efectivo calculado (L'_A) se encuentra entre 60 y 80 dB(A), los valores sobre o bajo este rango son considerados *Excesivos* (sobrepotección auditiva) o *Insuficientes*. Es importante señalar que la atenuación sonora informada por el fabricante de un protector auditivo, se obtiene de ensayos realizados bajo condiciones controladas de laboratorio, con un grupo de personas entrenadas en el correcto uso del protector auditivo.

¹³ Protectores auditivos –Parte 6: Estimación de los niveles de presión sonora ponderados A cuando se utilizan protectores auditivos. Instituto de Normalización. Homóloga ISO 4869-2:1994

6.2. DESARROLLO DE MODELO DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA

La metodología de la investigación corresponde a una primera parte de Investigación de Campo, donde se recopilarán los antecedentes desde la empresa, y en una segunda parte, se procederá a una Investigación Cuantitativa, aplicando los modelos computacionales adecuándolos a la normativa chilena, referida al D.S. 594/99 y PREXOR (Ref. 3, 4, 26). El plan de trabajo a desarrollar, contempla los siguientes procedimientos:

- a. Determinar y seleccionar la condición acústica del recinto representativo para el estudio.
- b. Modelar teóricamente el campo sonoro en los recintos seleccionados aplicando el software de la empresa Soft-dB para modelar las condiciones.
- c. Estimar teóricamente las variaciones en las exposiciones a ruido al modificar los parámetros acústicos del recinto.
- d. Entregar lineamientos cuantitativos en relación al impacto del acondicionamiento acústico de un recinto en la exposición a ruido ocupacional.
- e. Proyectar la conservación de la audición de trabajadores en la situación planteada, de acuerdo a la normativa ISO 1999.

Para completar los procedimientos planteados, se han definido cronológicamente las siguientes etapas de trabajo.

- i. Estudio de Acercamiento y Antecedentes
- ii. Análisis de estadística
- iii. Planimetría
- iv. Estudio y definición de variables, escenarios y descriptores
- v. Modelación escenario base y calibración de modelo
- vi. Validación mediante estudio de escenarios similares con parámetros de control.

- vii. Estudio y definición de materialidades
- viii. Modelación de escenarios acondicionados acústicamente
- ix. Elaboración, ajuste y calibración de modelos
- x. Análisis y comparación de resultados
- xi. Estudio de costos beneficio

La población a estudiar corresponde a 27 trabajadores cuyos puestos se encuentren situados al interior del recinto cerrado descrito y cuenten con la influencia de fuentes de ruido significativas para su actividad ocupacional.

El siguiente diagrama corresponde a los procesos de elaboración del modelo:

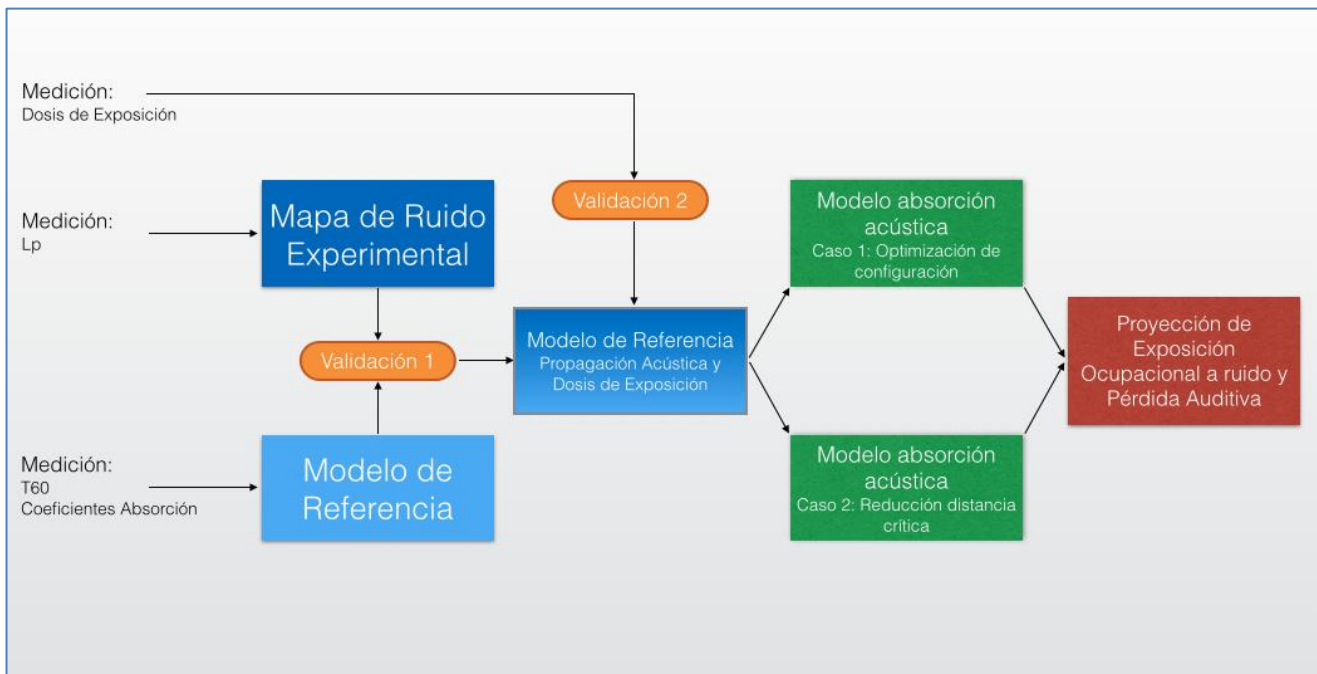


Imagen 2 Diagrama metodológico.

6.2.1. Mapa de Ruido Experimental

A partir de datos estadísticos sobre enfermos de Hipoacusia Neurosensorial Laboral por cada actividad productiva, se seleccionará un escenario representativo y general para basar el estudio. De este análisis estadístico se definirán variables como la Actividad y Proceso Productivo, número de trabajadores, maquinaria y fuentes de ruido relacionada, materialidades del recinto seleccionado y sus características acústicas, geometría del área, etc. para posteriormente levantar un modelo computacional teórico sobre el software Rap-One de modelación y propagación acústica en interiores. Los resultados de dicho modelo en términos acústicos (L_{Aeq}) y de Dosis se compararán con mediciones realizadas en cada puesto de trabajo a fin de calibrar el modelo, además se utilizarán datos históricos como evidencia, sobre niveles de presión sonora equivalente en cada puesto de trabajo y audiometrías realizadas a los trabajadores para obtener tasas de enfermos y relacionarlos así con su exposición. Paralelamente serán caracterizadas todas las fuentes de ruido presentes en el área mediante el cálculo del nivel de potencia acústica (L_w).



Imagen 3 Sección de Electrosoldadura.

6.2.2. Modelo de Referencia

Como segunda etapa, se diseñará un nuevo modelo a partir del modelo base ya calibrado, que incorporará distintas configuraciones de tratamiento acústico con materiales absorbentes de las superficies interiores del lugar de trabajo, donde se simulará el comportamiento esperado del sonido al interior del recinto.

De esta forma, mediante un mapa de ruido generado por el modelo computacional se podrán visualizar los puntos sensibles de exposición, y de esta forma graficar la propagación del ruido desde las fuentes emisoras hasta los puntos de recepción, tomando en consideración el aporte causado por el sonido directo y por el campo reverberante de la sala producido por las propiedades acústicas de cada elemento al interior del recinto. El resultado de la diferencia entre la condición inicial y la simulación de una condición futura se atribuirá a la influencia de la implementación de tratamiento acústico con materiales absorbentes.

Será la comparación entre escenarios y las diferencias que arrojen, las que cuantificarán el aporte del tratamiento acústico de la sala en la exposición de los trabajadores, relacionando de esta forma los descriptores acústicos y de dosis de exposición, con descriptores de pérdida auditiva.

6.2.3. Procesos de Validación

De manera general, los procesos de validación corresponden a la comparación de resultados entre un escenario en donde fueron realizadas mediciones (Mapa de Ruido Experimental) y otro en donde los resultados fueron obtenidos mediante la simulación por software de la propagación acústica al interior del recinto denominado Caso de Referencia o Mapa de Ruido de Referencia.

En una primera etapa, posterior al cálculo de Niveles de Potencia Acústica mediante el software para cada fuente de ruido identificada, se contrastarán los resultados obtenidos de las mediciones de Nivel de Presión Sonora en distintas ubicaciones del recinto con los valores de NPS resultantes y arrojados por el cálculo del Mapa de Ruido de Referencia en las mismas ubicaciones de la medición.

Posteriormente, en función de los niveles obtenidos de cada dosímetro se confeccionarán histogramas de nivel para cada trabajador, con el fin de aproximar el tiempo de exposición a cada fuente de ruido mediante los niveles obtenidos y las caracterizaciones de fuentes realizadas, con el objetivo de contrastar los valores L_{Aeq} obtenidos de la medición con niveles L_{Aeq} simulados en el modelo.

De esta manera el modelo pasará por dos procesos de validación: 1) Validación por NPS; y 2) Validación por Dosis.

7. RESULTADOS

7.1. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A RUIDO

En la Tabla 6 se presentan los niveles de presión sonora en A (L_{Aeq}), Dosis y Nivel de Riesgo obtenidas en la medición de la exposición ocupacional a ruido en los puestos de trabajo y actividades evaluadas, además de la calificación de los Niveles de Riesgo. Los resultados presentados corresponden a la evaluación de la condición en el puesto de trabajo respectivo.

Medición N°	Puesto de Trabajo	NPS dB(A)	Te [h]	Tp [h]	Dosis total	Nivel de Riesgo
1	Op. Soldadora 2	92,8	7,50	1,32	5,67	2
2	Op. Soldadora 3	91,1	7,50	1,98	3,79	2
3	Op. Soldadora 4	90,6	7,50	2,20	3,41	2
4	Op. Soldadora 5	92,8	7,50	1,32	5,68	2
5	Op. Soldadora 6	91,7	7,50	1,70	4,40	2
6	Op. Cortadora 4	93,3	7,50	1,16	6,44	2
7	Op. Grúa Horquilla	88,3	7,50	3,71	2,02	2
8	Op. Puente Grúa	92,1	7,50	1,56	4,82	2

Tabla 6 Resultados y evaluación de dosimetrías según Prexor.

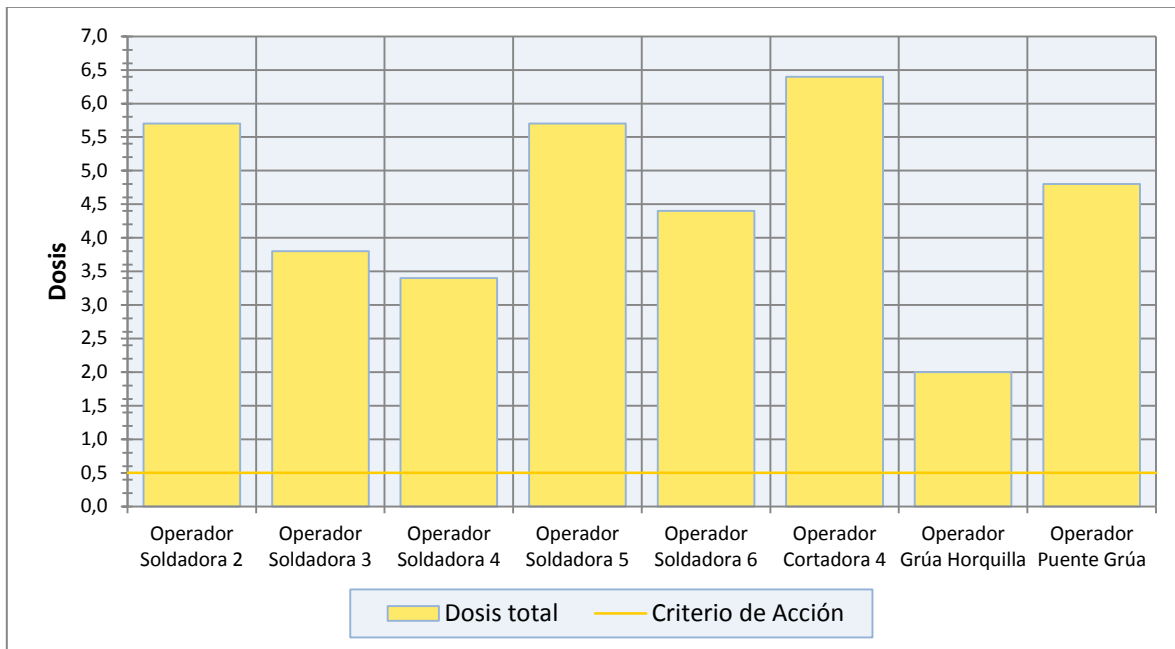


Gráfico 6 Resultados y evaluación de exposición a ruido según Prexor.

Los colores de las barras están en relación al Nivel de Riesgo según la dosis resultante.

Cabe mencionar que los resultados se entenderán representativos para los puestos de trabajo respectivos sin considerar el uso de elementos de protección auditiva.

7.2. MODELO DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA

7.2.1. Mapa de Ruido Experimental y Validación 1

Fueron efectuadas 40 mediciones de Nivel de Presión Sonora ($L_{p_{eq}}$) en el escenario real, de las cuales 12 fueron seleccionadas como puntos representativos, los que serán usados para calibrar el modelo simulado y obtener los Niveles de Potencia Acústica (L_w) de cada fuente de ruido presente en el área. Una vez calculados los L_w de cada fuente, se realizó un modelo simulado del escenario real, que además se complementó con mediciones de Tiempo de Reverberación y Coeficiente de Absorción de los principales materiales constructivos presentes, considerando que ambas variables están implícitas en las iniciales mediciones de $L_{p_{eq}}$.

El siguiente plano corresponde a la visualización de los $L_{p_{eq}}$ obtenidos en la medición de 40 puntos en la sección evaluada.

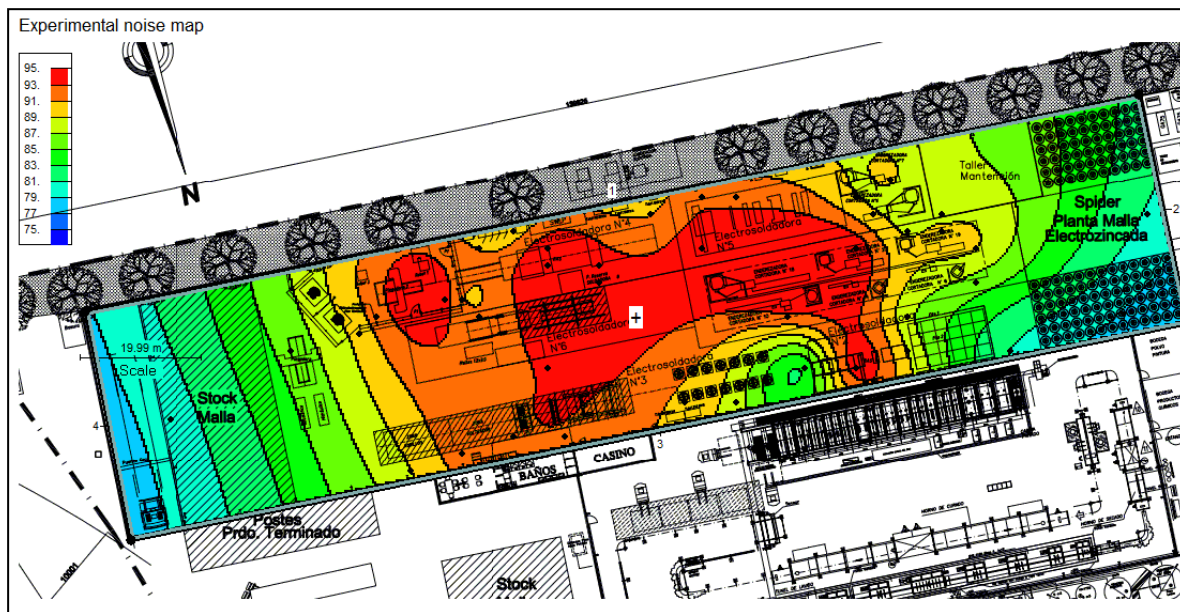


Imagen 4 Mapa de Ruido Experimental.

Los resultados obtenidos de la comparación entre los niveles de ruido medidos y los niveles simulados para la misma ubicación se muestran en la Tabla 7 y Gráfico 7 respectivamente.

Nº Punto de Medición	Medición $L_{p_{eq}}$ dB(A)	Modelo $L_{p_{eq}}$ dB(A)	Diferencia dB(A)
1	93,0	93,5	-0,5
2	93,9	94,4	-0,5
3	88,8	91,4	-2,6
4	89,3	89,8	-0,5
5	94,6	92,2	2,4
6	93,0	92,7	0,3
7	89,4	91,3	-1,9
8	89,3	91,0	-1,7
9	94,3	91,6	2,7
10	93,3	93,8	-0,5
11	95,7	98,0	-2,3
12	94,4	95,4	-1

Tabla 7 Comparación de resultados Validación 1.

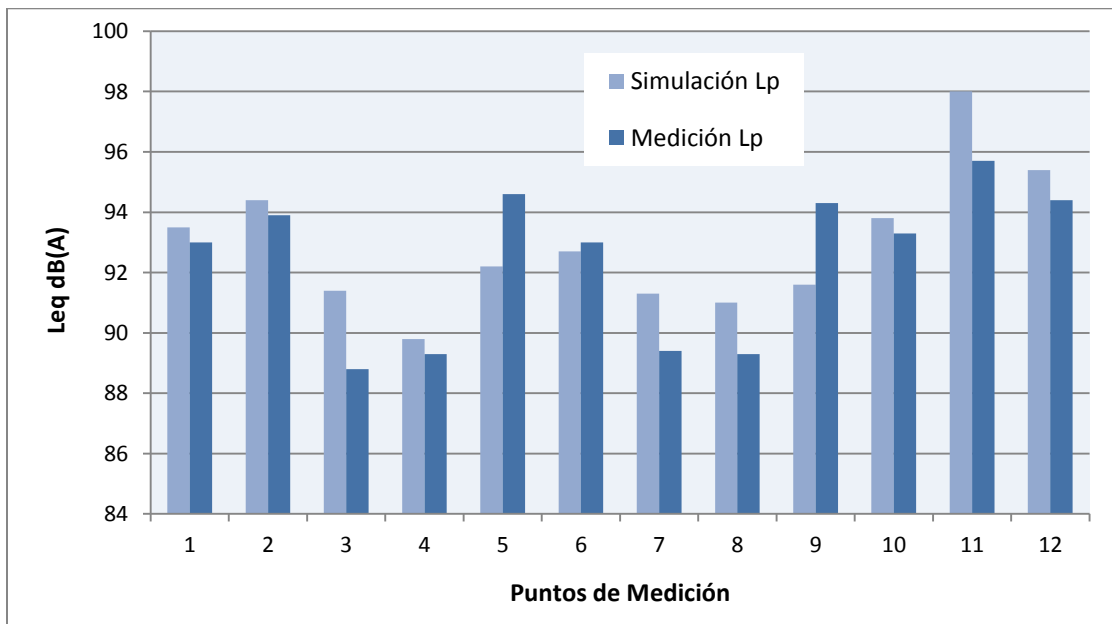


Gráfico 7 Comparación de resultados Validación 1 según puntos de medición.

7.2.2. Mapa de Referencia y Validación 2

El segundo proceso de validación corresponde a la comparación entre los Niveles de Presión Sonora Equivalentes (L_{eq}) de 8 puestos críticos de trabajo evaluados, lo cual fue realizado mediante dosímetros marca Quest¹⁴, modelo Q400, certificados por el Laboratorio de la ACHS durante un periodo representativo de la jornada de trabajo de cada trabajador, versus los niveles L_{eq} simulados con el software Rap-One en el escenario anteriormente validado.

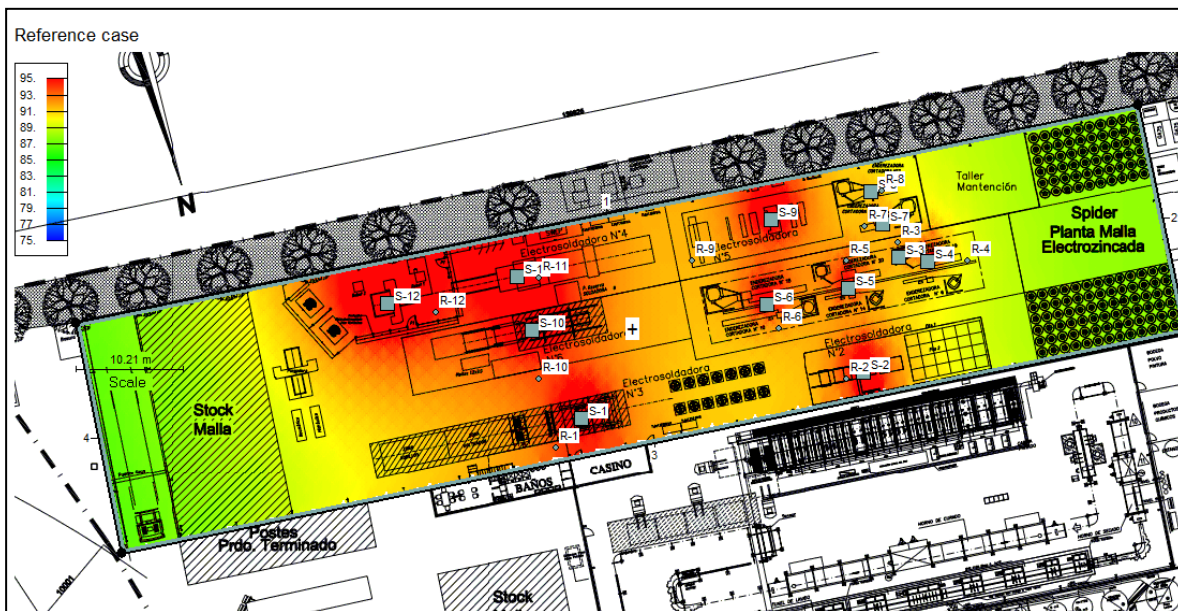


Imagen 5 Mapa de Ruido de Referencia.

14 <http://usenvironmental.com/air/noise-monitors/quest-technologies-q400/>

Nº	Puesto De Trabajo	Medición Leq dB(A)	Simulación Leq dB(A)	Diferencia dB(A)
1	Operador Cortadora 4	93,3	93,4	-0,1
2	Operador Soldadora 2	93,3	92,9	0,4
3	Operador Soldadora 3	91,4	91,6	-0,2
4	Operador Soldadora 4	93,3	93	0,3
5	Operador Soldadora 5	93	92,8	0,2
6	Operador Soldadora 6	92,1	91,9	0,2
7	Operador Grúa Horquilla	88,7	88,3	0,4
8	Operador Puente Grúa	92,5	92,5	0

Tabla 8 Resultados Validación 2: Dosimetrías.

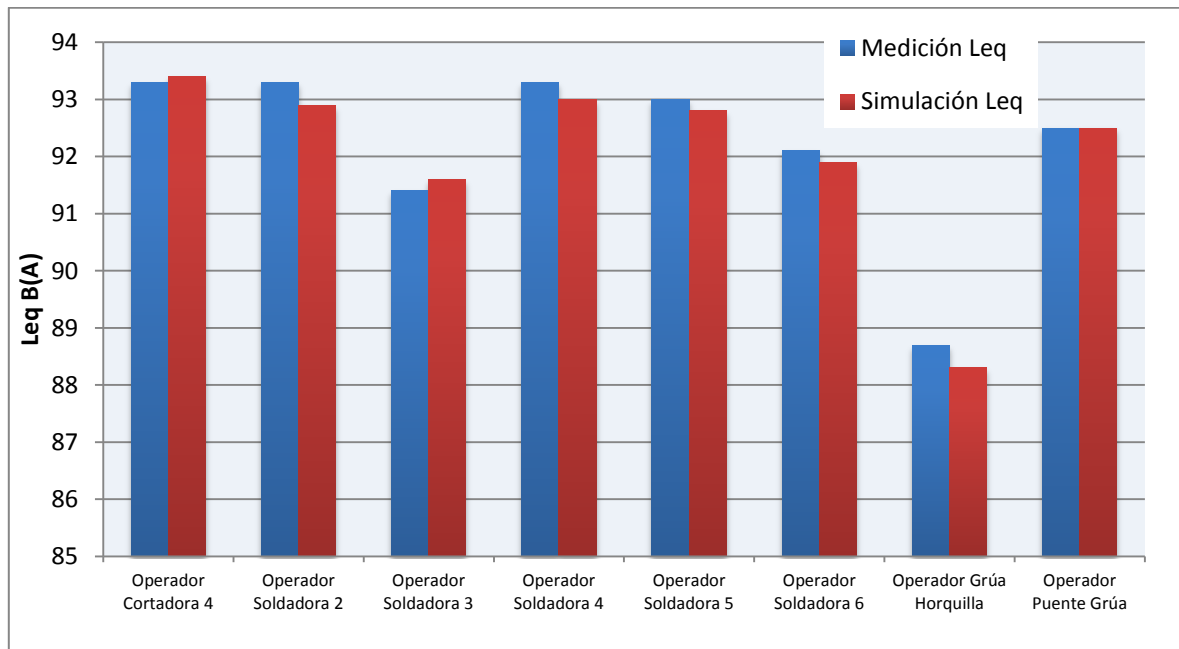


Gráfico 8 Resultados Validación 2: Dosimetrías.

7.2.3. Desarrollo Caso 1

A partir del Modelo de Referencia ya validado, se incorporan al modelo materiales con características absorbentes de ruido, a fin de crear un nuevo modelo llamado *Caso 1* que mantiene las características del *Modelo de Referencia* pero que agrega materiales constructivos con propiedades de absorción acústica para el interior del recinto. De esta manera se busca predecir la influencia de dicho material en el nivel L_{eq} exposición ocupacional a ruido de los trabajadores que allí realizan sus labores.

Con el objetivo de seleccionar el material y dimensiones óptimas se ha evaluado su comportamiento en términos de absorción acústica en función de los resultados de nivel exposición ocupacional a ruido (L_{eq}) para: distintos espesores (50mm y 100mm); superficies de aplicación con variación de altura (3,5m, 4m, 4,5m, 5m, 5,5m, 6m, 6,5m Y 7m); además de la combinación de superficies de ambos materiales intercalados para cada uno de los casos, considerando también el factor de costo monetario.

Como medida de seguridad y además para evitar derrames, impactos de objetos, deterioro, etc. se ubicaron los paneles a una altura de 0,5m desde el piso.

	Caso Referencia		Caso 1.1			Caso 1.2			Caso 1.3			Caso 1.4			Caso 1.5			Caso 1.6			Caso 1.7			Caso 1.8		
	Dimensiones		h (m)	A (m)	S (m ²)	h (m)	A (m)	S (m ²)	h (m)	A (m)	S (m ²)	h (m)	A (m)	S (m ²)	h (m)	A (m)	S (m ²)	h (m)	A (m)	S (m ²)	h (m)	A (m)	S (m ²)	h (m)	A (m)	S (m ²)
			3,5	60	210	4	60	240	4,5	60	270	5	60	300	5,5	60	330	6	60	360	6,5	60	390	7	60	420
	Total M\$		18,90			21,60			24,30			27,00			29,70			32,40			35,1			37,80		
100% Panel Hipertec 100	Leq dB(A)		Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB	Leq dB(A)	dif dB
	Puestos de trabajo	1	93,3	92,2	1,1	92,1	1,2	92,0	1,3	92,0	1,3	91,9	1,4	91,9	1,4	91,8	1,5	91,7	1,6							
		2	92,8	91,7	1,1	91,5	1,3	91,5	1,3	91,4	1,4	91,3	1,5	91,2	1,6	91,2	1,6	91,0	1,8							
		3	91,4	90,4	1,0	90,2	1,2	90,2	1,2	90,1	1,3	90,0	1,4	89,9	1,5	89,9	1,5	89,7	1,7							
		4	92,7	91,9	0,8	91,7	1,0	91,7	1,0	91,6	1,1	91,6	1,1	91,5	1,2	91,5	1,2	91,3	1,4							
		5	92,7	91,6	1,1	91,4	1,3	91,4	1,3	91,3	1,4	91,3	1,4	91,2	1,5	91,1	1,6	91,0	1,7							
		6	91,5	90,9	0,6	90,7	0,8	90,7	0,8	90,6	0,9	90,6	0,9	90,5	1,0	90,5	1,0	90,3	1,2							
		7	88,3	86,9	1,4	86,6	1,7	86,5	1,8	86,5	1,8	86,3	2,0	86,2	2,1	86,2	2,1	86,0	2,3							
		8	92,2	91,3	0,9	91,2	1,0	91,1	1,1	91,1	1,1	91,0	1,2	90,9	1,3	90,9	1,3	90,8	1,4							
100% Panel Hipertec 50mm	Leq dB(A)		Total M\$ 15,96			Total M\$ 18,24			Total M\$ 20,52			Total M\$ 22,8			Total M\$ 25,08			Total M\$ 27,36			Total M\$ 29,64			Total M\$ 31,92		
	Puestos de trabajo	1	93,3	92,2	1,1	92,1	1,2	92,1	1,2	92,0	1,3	92,0	1,3	91,9	1,4	91,8	1,5	91,7	1,6							
		2	92,8	91,7	1,1	91,6	1,2	91,5	1,3	91,5	1,3	91,4	1,4	91,3	1,5	91,2	1,6	91,1	1,7							
		3	91,4	90,4	1,0	90,3	1,1	90,2	1,2	90,2	1,2	90,1	1,3	90,0	1,4	89,9	1,5	89,8	1,6							
		4	92,7	91,9	0,8	91,8	0,9	91,7	1,0	91,7	1,0	91,6	1,1	91,6	1,1	91,5	1,2	91,2	1,5							
		5	92,7	91,6	1,1	91,5	1,2	91,4	1,3	91,4	1,3	91,3	1,4	91,3	1,4	91,2	1,5	91,2	1,5							
		6	91,5	90,9	0,6	90,8	0,7	90,7	0,8	90,7	0,8	90,6	0,9	90,6	0,9	90,5	1,0	90,0	1,5							
		7	88,3	87,0	1,3	86,7	1,6	86,6	1,7	86,6	1,7	86,4	1,9	86,3	2,0	86,2	2,1	86,3	2,0							
		8	92,2	91,4	0,8	91,2	1,0	91,2	1,0	91,1	1,1	91,1	1,1	91,0	1,2	90,9	1,3	90,6	1,6							
50% Panel Hipertec 100mm + 50% Hypertec 50mm	Leq dB(A)		Total M\$ 17,43			Total M\$ 19,92			Total M\$ 22,41			Total M\$ 24,9			Total M\$ 27,39			Total M\$ 29,88			Total M\$ 32,37			Total M\$ 34,86		
	Puestos de trabajo	1	93,3	92,2	1,1	92,1	1,2	92,1	1,2	92,0	1,3	92,0	1,3	91,9	1,4	91,8	1,5	91,7	1,6							
		2	92,8	91,7	1,1	91,6	1,2	91,5	1,3	91,5	1,3	91,4	1,4	91,3	1,5	91,2	1,6	91,1	1,7							
		3	91,4	90,4	1,0	90,3	1,1	90,2	1,2	90,2	1,2	90,1	1,3	90,0	1,4	89,9	1,5	89,8	1,6							
		4	92,7	91,9	0,8	91,8	0,9	91,7	1,0	91,7	1,0	91,6	1,1	91,6	1,1	91,5	1,2	91,4	1,3							
		5	92,7	91,6	1,1	91,5	1,2	91,4	1,3	91,4	1,3	91,3	1,4	91,2	1,5	91,1	1,6	91,0	1,7							
		6	91,5	90,9	0,6	90,8	0,7	90,7	0,8	90,7	0,8	90,6	0,9	90,6	0,9	90,5	1,0	90,4	1,1							
		7	88,3	87,0	1,3	86,6	1,7	86,6	1,7	86,5	1,8	86,4	1,9	86,3	2,0	86,2	2,1	86,1	2,2							
		8	92,2	91,3	0,9	91,2	1,0	91,2	1,0	91,1	1,1	91,0	1,2	91,0	1,2	90,9	1,3	90,8	1,4							

Tabla 9 Comparación resultados para cada configuración.

En base a la optimización de recursos y material en función de la reducción de ruido en los puestos de trabajo se desarrolló un Estudio de Costos Preliminares [ver Anexo V: Análisis de Costos para cada Escenario Modelado] del cual no se aprecia un punto de corte óptimo con los escenarios modelados.

A partir de esto, se definió en base a la comparativa de resultados de reducción de Niveles de Exposición a ruido y costos de materiales según la Tabla 9 el uso del material Hipertec¹⁵ Wall Sound de 50mm de espesor y densidad de 100kg/m³. Cada panel presenta dimensiones de 1x7m y se ubica en los muros adyacentes a las principales fuentes de ruido. De esta forma cada muro contempla 420m² de material absorbente sonoro. Esta configuración resulta ser una de las más favorables en términos de absorción sonora y la de menor costo dentro de las alternativas de 420m² de superficie absorbente.

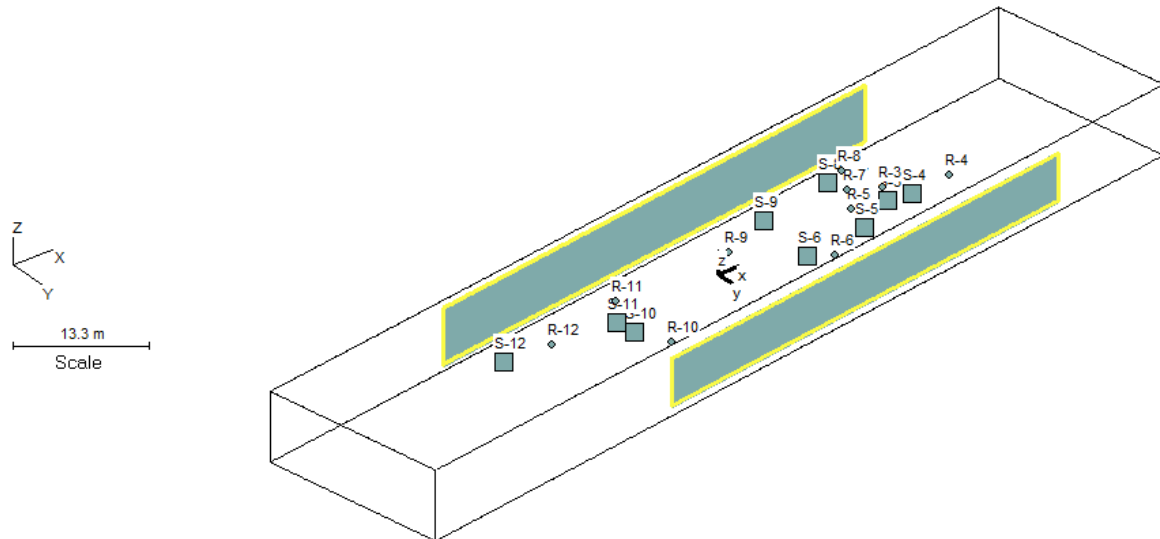


Imagen 6 Distribución paneles laterales Caso 1.

¹⁵ <http://www.metecno.cl/productos/fuego/hipertecwall.html>

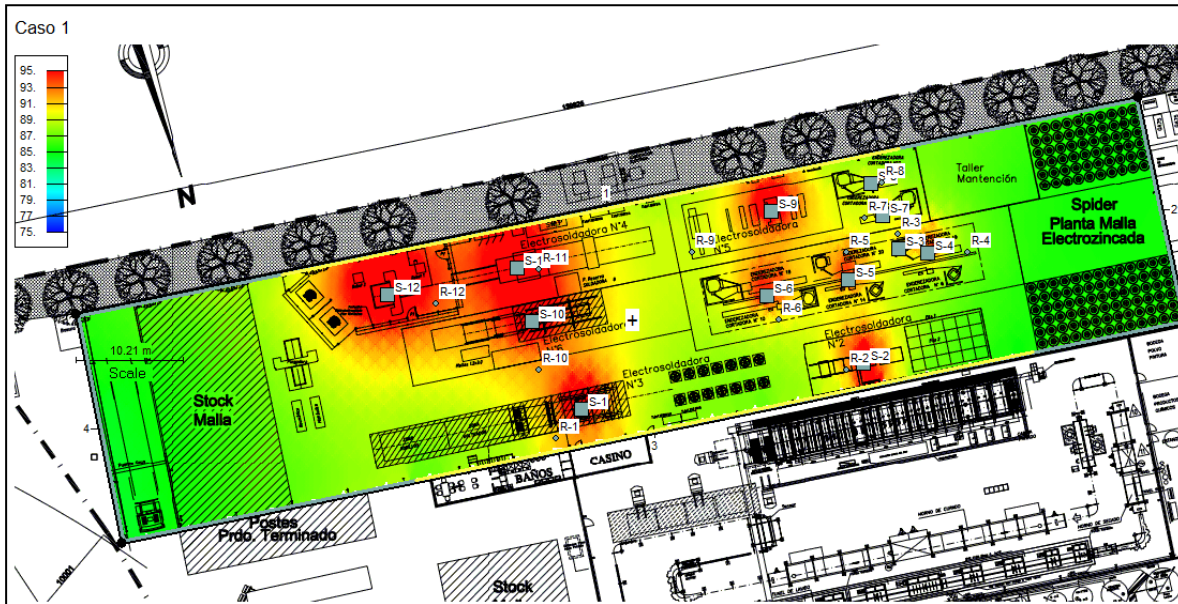


Imagen 7 Mapa de Ruido Caso 1.

Nº	Puesto de Trabajo	Medición L_{eq} dB(A)	Simulación L_{eq} dB(A)	Diferencia dB
1	Operador Cortadora 4	93,3	91,7	1,7
2	Operador Soldadora 2	93,3	91,1	1,8
3	Operador Soldadora 3	91,4	89,8	1,8
4	Operador Soldadora 4	93,3	91,4	1,6
5	Operador Soldadora 5	93	91,1	1,7
6	Operador Soldadora 6	92,1	90,4	1,5
7	Operador Grúa Horquilla	88,7	86,1	2,2
8	Operador Puente Grúa	92,5	90,8	1,7

Tabla 10 Resultados Caso 1.

Según los resultados obtenidos de la simulación del Caso 1, se obtuvieron 1,8dB promedio de reducción del nivel de exposición ocupacional a ruido en los puestos de trabajo.

7.2.4. Desarrollo Caso 2

A fin de reducir la Distancia Crítica (r) de emisión de ruido de las principales fuentes es que se incorporan en un Caso 2 paneles de las mismas características de los anteriormente utilizados ahora en ubicaciones cercanas a la fuente, teniendo en consideración la correcta operación de la maquinaria y el contacto visual entre el operador y la producción. Los paneles tienen una altura de 1 metro y su ancho depende de la geometría de la máquina correspondiente, además se encuentran instalados con un ángulo de 20° de inclinación al exterior, para lograr que la energía no absorbida refleje hacia un eventual “techo acústico” ubicado sobre cada sistema.

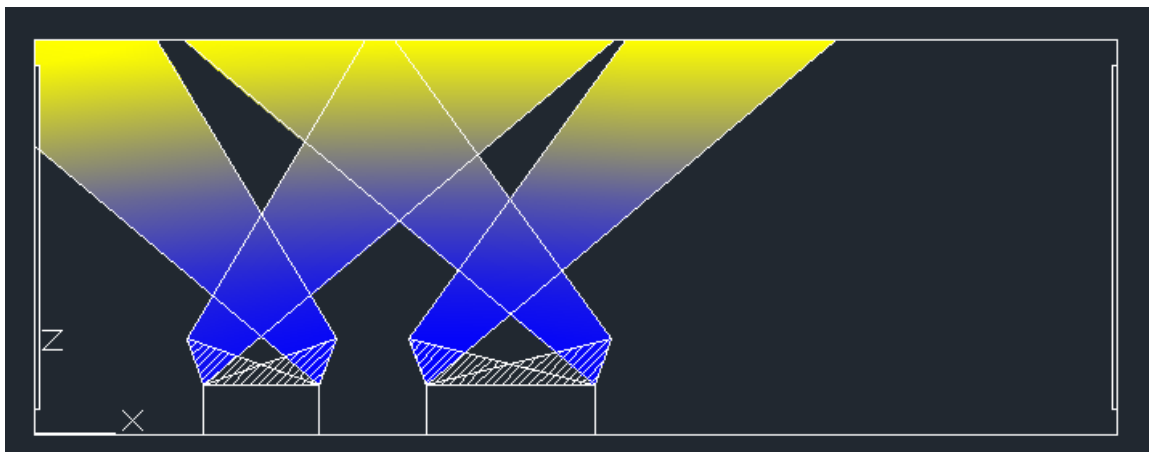


Imagen 8 Configuración paneles angulares y rango de reflexiones.
 Vista de Sección Transversal de la nave.

Cabe mencionar que la cara absorbente de los paneles se ha ubicado hacia el exterior de la fuente de ruido, con el fin de contribuir a la absorción exterior.

No ha sido considerado en el cálculo el eventual techo acústico debido que, en el caso particular de la nave en tratamiento, la distancia de las fuentes al techo es significativamente alta y la influencia de éste se vería reducida, sin embargo es una alternativa a considerar en escenarios en los cuales la nave presente una menor altura de techo.

Caso 2

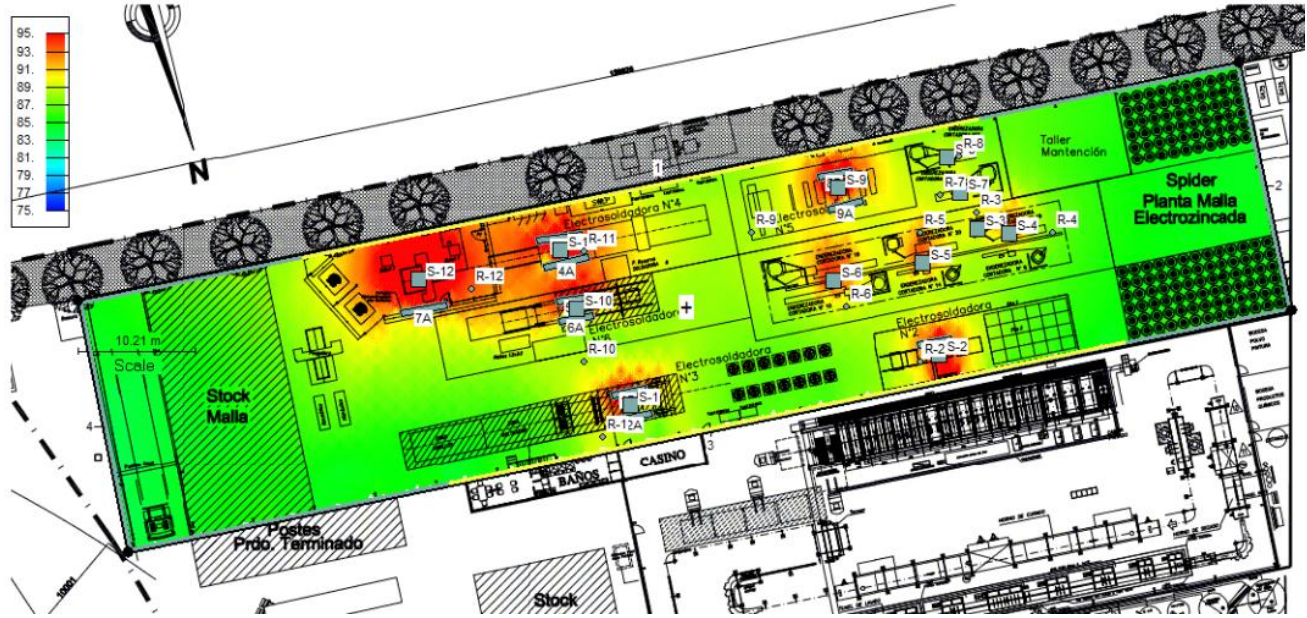


Imagen 9 Mapa de Ruido Caso 2.

Nº	Puesto de Trabajo	Medición L_{eq} dB(A)	Simulación L_{eq} dB(A)	Atenuación total dB
1	Op. Cortadora 4	93,3	91,3	2,1
2	Op. Soldadora 2	93,3	90,5	2,4
3	Op. Soldadora 3	91,4	89,2	2,4
4	Op. Soldadora 4	93,3	90,8	2,2
5	Op. Soldadora 5	93	90,5	2,3
6	Op. Soldadora 6	92,1	89,8	2,1
7	Op. Grúa Horquilla	88,7	85,8	2,5
8	Op. Puente Grúa	92,5	90,3	2,2

Tabla 11 Resultados Caso 2.

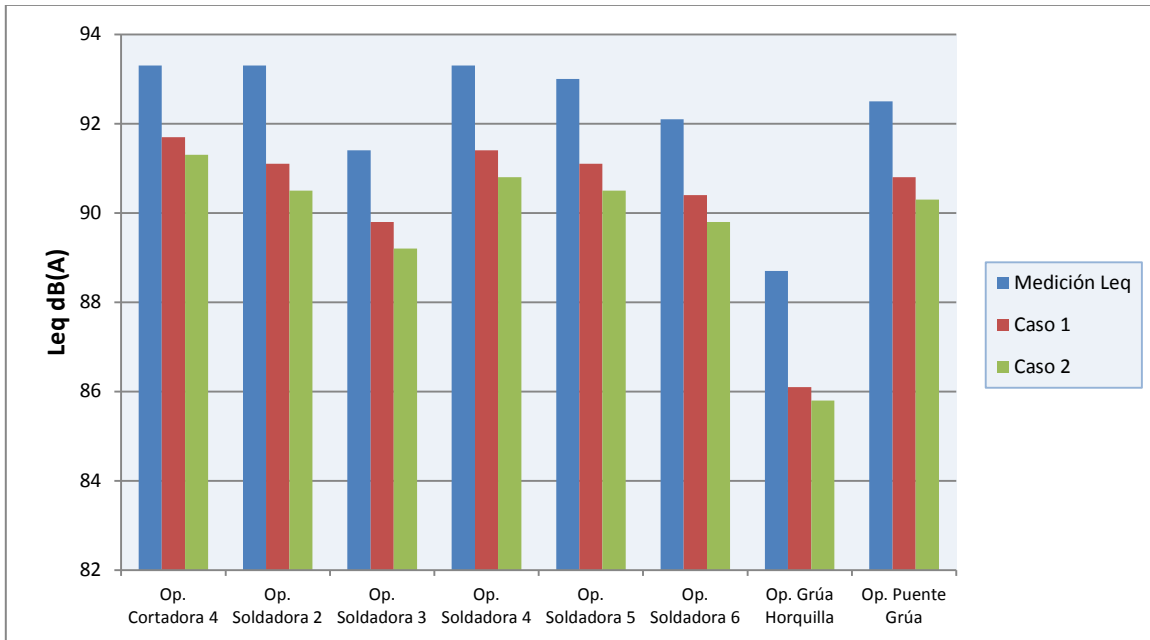


Gráfico 9 Comparación Resultados.

7.2.5. Reducción de Distancia Crítica

De la diferencia entre los mapas de ruido generados en el Caso 1 y Caso 2 contra el Mapa de Referencia se obtienen Mapas de Atenuación con los cuales es posible visualizar las zonas con influencia de la absorción otorgada por los paneles, además de representar la Distancia Crítica de cada fuente para cada uno de los Casos.

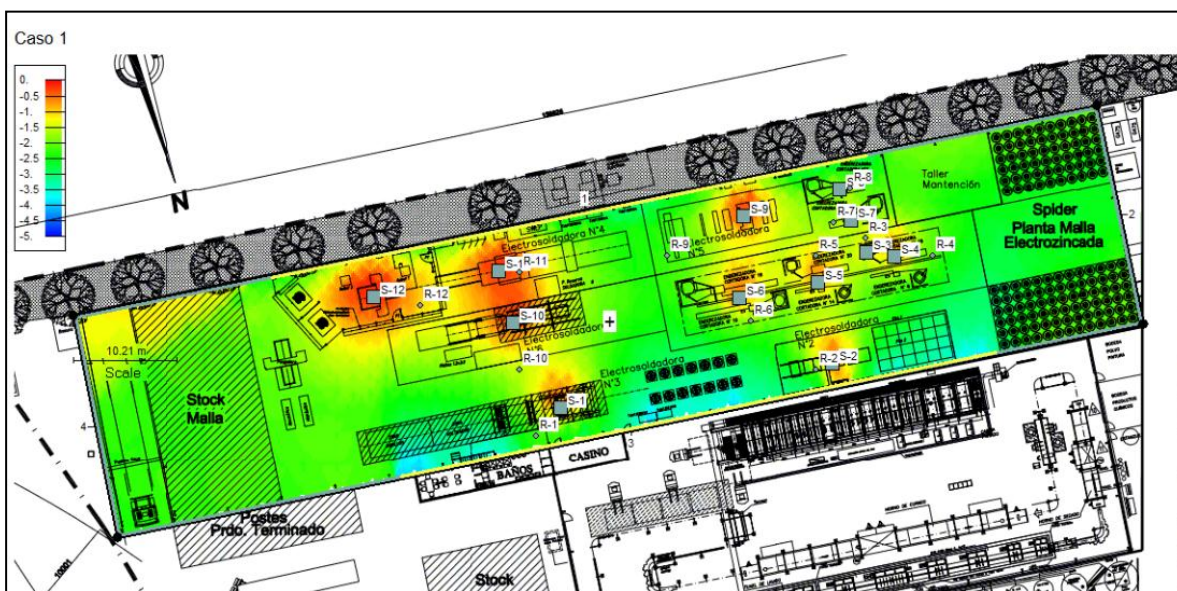


Imagen 10 Mapa de Atenuación, Distancia Crítica; Caso 1.

Considerando el tratamiento acústico de absorción según la configuración asignada al Caso 1, se observa la reducción de ruido en el área de trabajo en hasta 3dB, sin embargo la absorción no afecta al entorno cercano de las fuentes, pues los niveles máximos de reducción alcanzados se ubican generalmente desde los 5 metros aproximadamente de cada fuente de ruido. Es la Distancia Crítica la que puede ser interpretada en los Mapas de Atenuación con el color rojo, en donde el sonido directo de la fuente emisora es quien domina el área y los materiales de absorción instalados no tienen influencia. Generalmente esta área se logra reducir mediante dispositivos de control de ruido instalados en la fuente, logrando altos niveles de reducción de ruido, sin embargo, tal como anteriormente

fue mencionado, es común en plantas metalmeccánicas y/o de procesos productivos continuos que estas medidas de control no puedan implementarse sin entorpecer el proceso productivo.

No obstante lo anterior, el Mapa de Atenuación realizado al Caso 2 considera la implementación de pantallas acústicas absorbentes en las inmediaciones de las fuente de ruido.

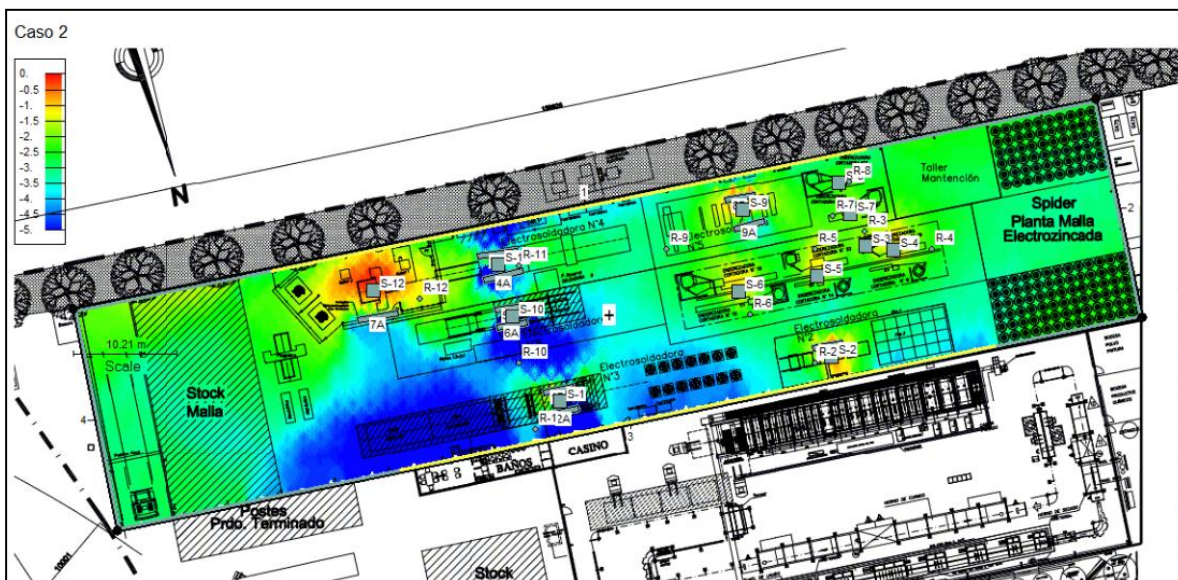


Imagen 11 Mapa de Atenuación, Distancia Crítica; Caso 2.

Es posible observar en el Mapa de Atenuación de ruido calculado sobre el Caso 2, una reducción de ruido de hasta 5dB en sectores del área de trabajo, producto de la absorción y difracción del sonido, además de una importante reducción de la distancia crítica en las fuentes que consideran los paneles absorbentes.

7.3. PROYECCIÓN DE LA PÉRDIDA AUDITIVA

En base a la norma *ISO1999:1990 Acoustics – Determinations of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment* (Ref. 30) se desarrolló un modelo mediante *Excel* para estimar y predecir el daño auditivo que podría adquirir un trabajador considerando variables etarias, nivel de exposición y años de exposición. La Tabla 12 corresponde a una proyección del índice de pérdida auditiva promedio entre las bandas de 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz. que es representada en el Gráfico 10.

Edad		19	24	29	34	39	44	49	54	60
Años de exposición		1	5	10	15	20	25	30	35	40
Nivel de Presión Sonora de Exposición dB(A)	82	0	1	2	4	6	9	12	16	21
	85	1	2	4	5	8	10	14	17	22
	88	1	4	5	7	10	13	16	20	25
	91	2	5	8	10	13	16	19	23	28
	94	3	8	11	14	17	20	23	27	32
	97	4	11	15	19	22	25	29	32	37
	100	5	14	20	24	28	31	35	39	43

Tabla 12 Proyección del índice de pérdida auditiva promedio según edad, años de exposición a ruido y Nivel de Presión Sonora.

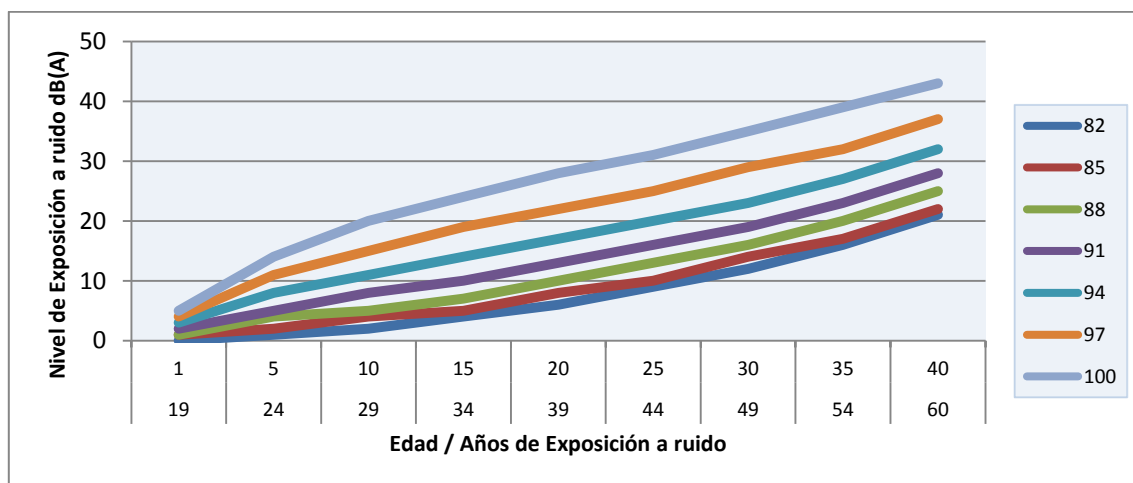


Gráfico 10 Proyección del índice de pérdida auditiva promedio según edad, años de exposición a ruido y Nivel de Presión Sonora.

Los siguientes gráficos corresponden a la simulación y proyección de la pérdida auditiva de cada puesto de trabajo en función del nivel L_{eq} observado de la medición y el nivel L_{eq} obtenido como resultado del tratamiento acústico simulado en el Caso 2, para las constantes etarias de 55 años y 30 años de exposición. La proyección es válida sólo para hombres y considera el fractil 0,5.

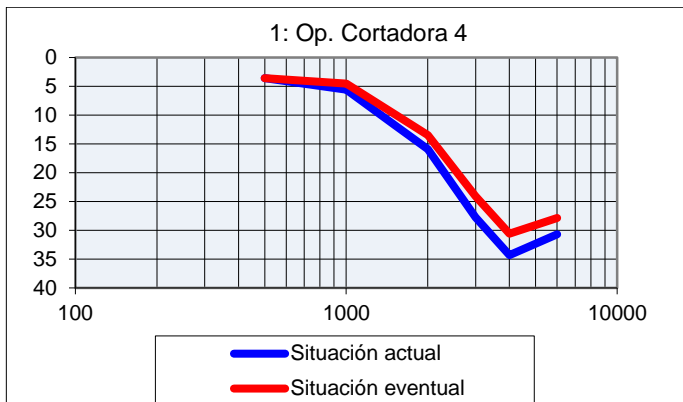


Gráfico 11 Proyección de pérdida auditiva para Op. Cortadora 4.

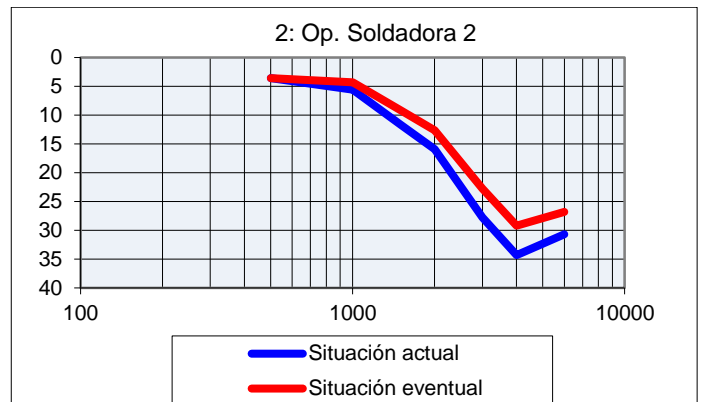


Gráfico 12 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 2.

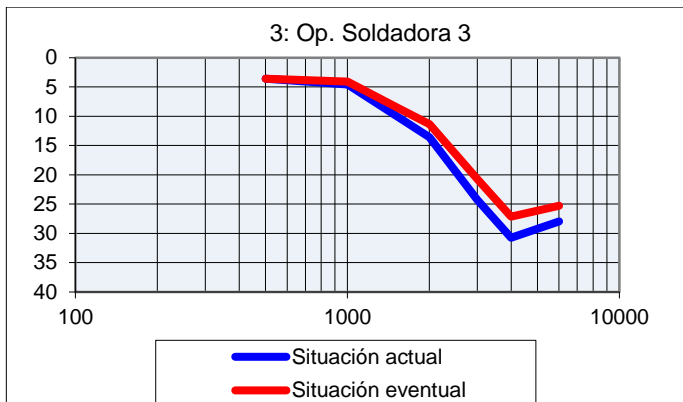


Gráfico 13 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 3.

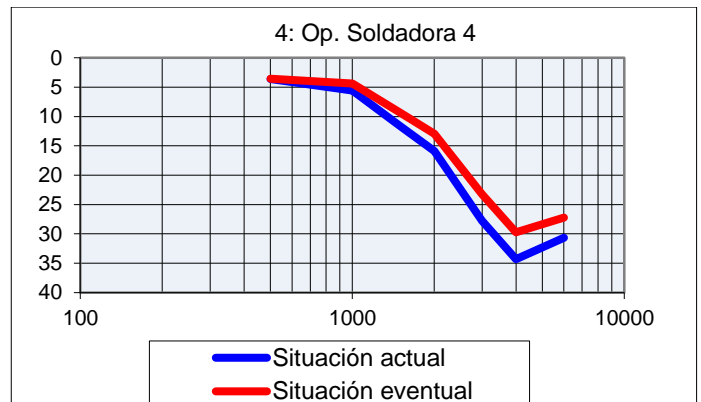


Gráfico 14 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 4.

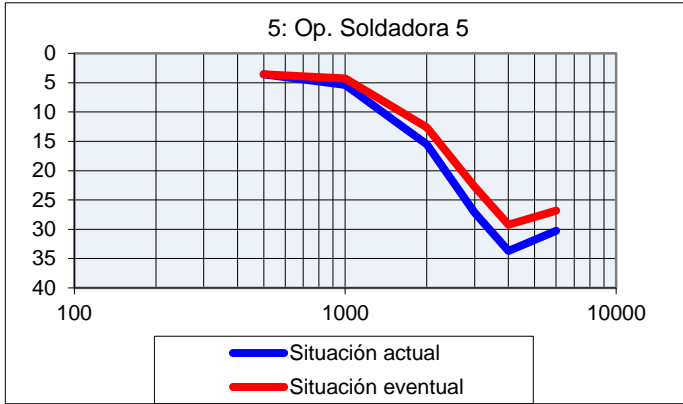


Gráfico 15 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 5.

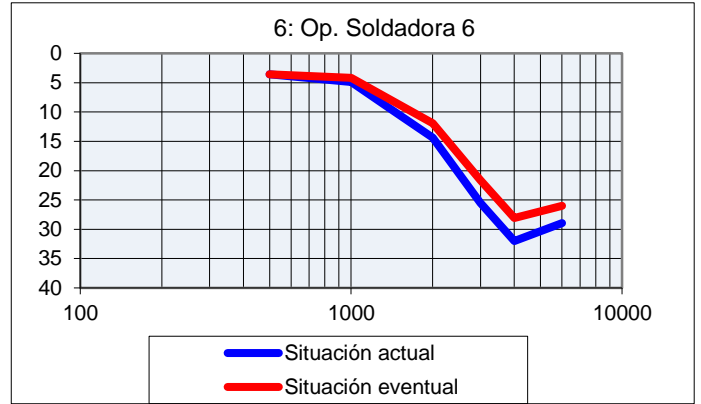


Gráfico 16 Proyección de pérdida auditiva para Op. Soldadora 6.

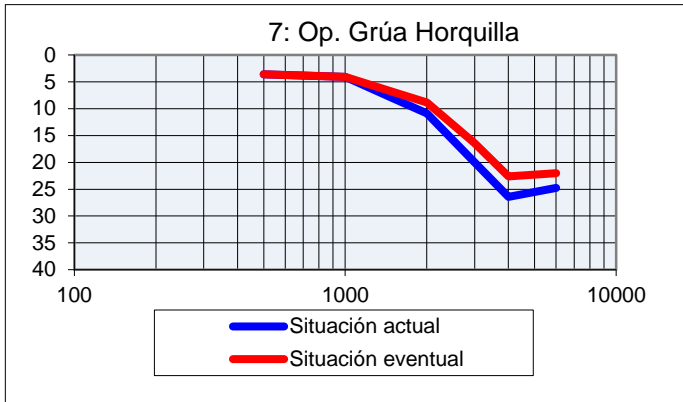


Gráfico 17 Proyección de pérdida auditiva para Op. Grúa Horquilla.

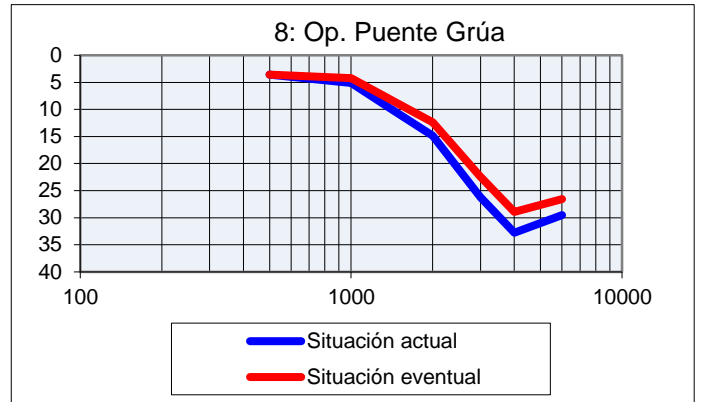


Gráfico 18 Proyección de pérdida auditiva para Op. Puente Grúa.

8. CONCLUSIONES

- De acuerdo con la jerarquía definida en la norma chilena Prexor para la implementación de sistemas de control de ruido, la instalación de tratamiento acústico de absorción en recintos ocupa el segundo lugar de prioridad siendo una medida de control en el medio de transmisión entre la fuente y el receptor. Esta situación se confirma según los resultados obtenidos, puesto que la implementación de tratamiento acústico absorbente puede llegar a valores de reducción máximos de 2dB en la exposición a ruido de algunos puestos de trabajo. Esta magnitud está muy por debajo de la reducción alcanzable por sistemas de aislación de fuentes de ruido, tales como encierros acústicos u otros, los que podrían llegar a valores de 10dB. Lo anterior es debido a que, al instalarse precisamente en la fuente emisora, podrían reducir el nivel de potencia acústica (L_w). Sin embargo, en industrias con ciertos procesos productivos, no es posible modificar ni intervenir la fuente emisora, debido a las características de la faena y maquinarias usadas. Se concluye entonces, que la situación planteada en la presente investigación, acerca de incorporar tratamiento acústico en el recinto, es una alternativa efectiva en términos de reducción de ruido y de la exposición ocupacional a ruido de los trabajadores, sobre todo si además se complementa con paneles instalados en las inmediaciones de la fuente con el propósito de reducir la distancia crítica de la fuente.
- Según lo establecido en el D.S. N°594/1999, Párrafo III; de los Agentes Físicos; del Ruido, Artículo 75°, indica que los niveles de presión sonora continua equivalentes superiores a 85 dB(A) lento, se permitirán siempre que el tiempo de exposición a ruido del trabajador no exceda los valores indicados en dicho artículo equivalentes a la dosis diaria permitida de 1 ó 100%.

De acuerdo a lo establecido en el PREXOR, los niveles de presión sonora continua equivalente superiores a 82 dB(A) Lento, se permitirán siempre que el tiempo de exposición no exceda los tiempos permitidos en función de los NPS presentes en el lugar de trabajo y equivalentes a una dosis diaria permitida no superior a 0,5 ó 50%.

Los resultados arrojados por la evaluación de exposición laboral a ruido para los puestos de trabajo evaluados y ubicados en el área de Mallas Electrosoldadas obtuvieron una Dosis de Ruido Diaria sobre el criterio preventivo establecido como Dosis de Acción (DA) en PREXOR tanto para turnos diurnos y nocturnos, por lo que su clasificación de riesgo es de 2, correspondiente a una dosis Importante. Es decir, los puestos de trabajo se encuentran sobre el límite permisible y con riesgo de adquirir Hipoacusia laboral en relación con lo establecido en el D.S. N°594/99 MINSAL. De acuerdo con lo establecido en PREXOR deben implementarse métodos de mitigación de ruido en un plazo no superior a 12 meses. Los resultados se entenderán representativos para los puestos de trabajo respectivos sin considerar el uso de elementos de protección auditiva.

- A partir de la comparativa entre el Análisis de Costos y atenuación ponderada obtenida no se aprecia un punto de corte óptimo con los escenarios modelados, sin embargo se estableció el corte para un tratamiento de paneles absorbentes de 50mm de espesor (Hipertec Wall 50mm) en base a dos paneles opuestos de 60m x 7m de altura, privilegiando los niveles de atenuación obtenida en los puestos de trabajo. Se aprecia un incremento de tipo lineal entre el aumento de la superficie absorbente y la atenuación alcanzada. (Anexo V: Análisis de Costos para cada Escenario Modelado)
- De la proyección de la Pérdida Auditiva realizada mediante ISO1999, con variables definidas para hombres de 50 años de edad y 30 años de exposición al ruido, entre el escenario actual y un escenario eventual que considera la

configuración modelada con materiales absorbentes, se obtuvo una disminución de hasta 5dB en la banda más crítica, lo que implica una disminución de 3dB promedio, que corresponde al 50% de disminución de la energía acústica recibida en 30 años de exposición y que para el caso estudiado aleja a la población de un daño médico-legal y con eso las eventuales indemnizaciones correspondientes.

- Se desarrolló la metodología planteada inicialmente, que busca traspasar desde descriptores acústicos iniciales presentes en un área de evaluación, usando el NPS para obtener los niveles L_w de cada fuente, para luego predecir el nivel L_{eq} de exposición, de cada trabajador y con esto su Dosis de Exposición. Finalmente es posible estimar la pérdida auditiva de un trabajador en función de variables como el NPS de exposición, años de edad, años de exposición a ruido y género para un fractil determinado.

Parte de la metodología comprende una etapa de validación que considera la comparación de valores medidos con valores simulados, en primera instancia a fin de calibrar el modelo y posteriormente a validarlo. La primera etapa de validación corresponde a la comparación entre NPS en distintos lugares de la planta. De 40 mediciones realizadas para la elaboración del Mapa Experimental, se definieron 12 ubicaciones como las más representativas a fin de comparar los resultados proyectados arrojados por el modelo. Finalmente el modelo utilizado como referencia para los posteriores cálculos fue validado mediante la comparación de L_{eq} de exposición con un error estimado en $\pm 0,4$ dB. A partir de esto es posible obtener resultados válidos de simulaciones y proyecciones tanto acústicas mediante el software de acústica de locales, como para posteriormente proyectar o simular la pérdida auditiva de un trabajador.

9. RECOMENDACIONES

Las técnicas de control de ruido se basan principalmente en tres criterios de control ordenados jerárquicamente de acuerdo a la prioridad exigida en PREXOR:

1. Control de ruido en la fuente.
Incorporación de sistemas de mitigación sobre la fuente emisora.
2. Control de ruido en el medio.
Incorporación de sistemas de mitigación en las vías de transmisión entre fuente y receptor.
3. Control de ruido en el receptor.
Incorporación de sistemas de mitigación de ruido o aplicación de Elementos de Protección Auditiva.

Además se indica que la instalación de sistemas de control de ruido son prioridad, y de existir imposibilidad justificada de implementación, corresponde el estudio de la ejecución de medidas administrativas, dejando en último lugar el uso de elementos de protección auditiva, debido a que no garantizan la protección auditiva del usuario.

9.1. RECOMENDACIONES TÉCNICAS Y DE INGENIERÍA.

En la medida de lo posible, considerar al interior de la planta de producción la separación de áreas por medio de pantallas acústicas completas o parciales con el objeto de evitar la contribución cruzada de ruido entre maquinarias y puestos de trabajo cercanos.

Implementar cerramientos acústicos considerando la factibilidad técnica y de operación para las máquinas y motores.

Considerar el tratamiento acústico del recinto mediante el revestimiento interior con materiales con propiedades absorbentes para evitar el incremento de los niveles de ruido producto de las reflexiones internas en el recinto.

Como medida de reducción de ruido complementaria, se sugiere el desacoplamiento mecánico de motores y sistemas rotatorios con el fin de evitar el puente acústico entre la maquinaria y la estructura soportante, evitando de esta forma la generación de ruido por vías aéreas y estructurales, producto de la vibración inducida.

A partir de la metodología empleada se hace posible predecir los niveles de ruido en las plantas de trabajo y con ello obtener una estimación de la exposición ocupacional a ruido en los puestos de trabajo y sus respectivas proyecciones de eventuales pérdidas auditivas en el tiempo. Por esto la importancia de considerar el aspecto acústico dentro de los proyectos de construcción de recintos laborales. Que además de optimizar recursos posibilitará la optimización en términos de exposición a ruido de la distribución de fuentes de ruido al interior de la planta por medio del desarrollo de mapas estratégicos de ruido que permitan la comparación de resultados de diversos escenarios de configuración de la planta.

Este estudio inclusive podría ser desarrollado como una asesoría por parte de las unidades de estudio y de especialidad técnica de las mutualidades correspondientes.

Para dar cumplimiento al punto 7 del Prexor, que establece el desarrollo de un “sistema de gestión para la vigilancia de los trabajadores expuestos a ruido”, programa en que entre otros puntos comprende el diseño de un mapa de riesgo por exposición a ruido tanto cualitativo como cuantitativo. Es la metodología y software empleado en el presente estudio un procedimiento preciso para dar cumplimiento a dicho objetivo.

9.2. RECOMENDACIONES ADMINISTRATIVAS

Realizar audiometrías de ingreso al personal nuevo que se contrate, para detectar anomalías o susceptibilidades que puedan presentar estos trabajadores a la exposición a ruido.

Los trabajadores de los puestos de trabajo evaluados, cuyas exposiciones a ruido resultaron con dosis de ruido diarias mayores a la Dosis de Acción de 0,5, deberán ingresar a un programa de vigilancia médica o mantenerlos si ya han ingresado, con el objeto de evaluar sus características de audición a través de exámenes audiométricos periódicos, para así controlar la evolución de la enfermedad a través del tiempo. Esta medida se debe hacer extensible al grupo homogéneo de trabajadores correspondientes a cada uno de los puestos de trabajo evaluados.

Para que la empresa logre controlar eficazmente los niveles de riesgo existentes, es necesario que implemente un programa de conservación auditiva interno, haciéndose cargo de:

- a) Velar por el cumplimiento de las medidas de control de ruido propuestas, manteniendo los correspondientes registros.
- b) Que a los trabajadores no solo se les entregue el elemento de protección auditiva adecuado, sino también instrucción respecto a su mantenimiento, uso correcto y permanente, deterioros debidos a causas mecánicas, suciedad, recambio oportuno y sobre el agente de riesgo contra el cual se les está protegiendo, manteniendo registros de estas actividades.

9.3. CAPACITACIÓN

Se debe capacitar a los operadores con respecto al correcto uso y aplicación de los elementos de protección personal con el objeto de asegurar y lograr la efectividad ideal en la reducción de ruido.

Establecer la obligatoriedad del uso permanente de la protección auditiva evaluada, mediante instructivo interno y señalizaciones claras en cada maquinaria, en forma de carteles visibles. Esta medida deberá, además, encontrarse claramente estipulada en el Reglamento Interno de Orden y Seguridad Industrial de la empresa y ser controlada periódicamente.

10. GLOSARIO TÉCNICO Y ABREVIATURAS

Absorción Acústica:	Medida porcentual o unitaria de la absorción sonora normado por alguna certificación y normativa internacional.
ACHS:	Asociación Chilena de Seguridad.
COMPIN:	Comisión de Medicina Preventiva e Invalidez de Chile, organismo que determina los protocolos de aplicación para pesquisar Enfermedades o Incapacidades Laborales
CORFO:	Corporación de Fomento de la Producción, agencia del Gobierno de Chile a cargo de apoyar el emprendimiento y la innovación en el país.
Distancia Crítica:	Distancia de la fuente en la cual el aporte de energía es la mitad debido al campo libre y la mitad debida al campo reverberante.
Dosis de ruido:	Expresión porcentual o unitaria de los niveles máximos permitidos de NPS en función del tiempo de una actividad laboral
EPA; EPP:	Elementos de Protección Auditiva, considera todo tipo de orejera o tapón normados, que se utilizan para reducir la exposición al ruido.

Grupo Homogéneo:	Cantidad de trabajadores que comparten un mismo perfil de exposición hacia un agente o conjunto de agentes.
Hipoacusia:	Pérdida de la capacidad Auditiva debido a múltiples factores, expresadas en dB.
HML:	Método de estimación de la atenuación efectiva de protectores auditivos.
INN:	Instituto Nacional de Normalización, INN, es una fundación de derecho privado en Chile sin fines de lucro, creada por CORFO.
ISO:	International Organization for Standardization.
NPS_{eq} ; L_{eq} :	Nivel de Presión Sonora equivalente expresado en dB con ponderación A mediante sonómetro integrador.
Lw:	Nivel de Potencia Acústica Expresado en dB. Valor intrínseco de emisión de una fuente.
NCh:	Norma Chilena. INN.
Osha:	Occupational Safety and Health Administration, organismo norteamericano que genera normativas e investigaciones acerca de la seguridad laboral.
PREXOR:	Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido, Ministerio de Salud de Chile, Decreto Exento 1052.

- Ruido:** Consideración subjetiva: Señal percibida por el órgano auditivo calificada como no deseada.
- Consideración Ocupacional: Nivel de Presión Sonora que sobrepasa magnitudes normadas según Reglamentos asociados a la actividad laboral.
- Consideración Legal: Niveles de Presión Sonora, que sobrepasan los reglamentados para la salud y convivencia de las personas en un entorno, zona y horario específico.
- Consideraciones de Inteligibilidad: Señales externas a la transmisión de información, que interrumpen o menoscaban la comprensión del mensaje original en un receptor.
- Consideraciones de Salud: Niveles de Presión sonora donde el órgano auditivo pierde su capacidad funcional generando hipoacusia.
- Ruido Estable:** Aquel que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora instantáneo inferiores o iguales a 5 dB(A) lento, durante un período de observación de 1 minuto.
- Ruido Fluctuante:** Es aquel que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora instantáneo superiores a 5 dB(A) lento, durante un período de observación de 1 minuto.

Ruido Impulsivo:	Es aquel ruido que presenta impulsos de energía acústica de duración inferior a 1 segundo a intervalos superiores a 1 segundo. Las mediciones de ruido estable, ruido fluctuante y ruido impulsivo se efectuarán con un sonómetro integrador o con un dosímetro que cumpla las exigencias señaladas para los tipos 0, 1 ó 2, establecidas en las normas: IEC 651-1979, IEC 804-1985 y ANSI S. 1.4-1983.
TACO:	Trauma Acústico Crónico Ocupacional.
Te:	Tiempo total de exposición a un determinado NPSeq.
Tp:	Tiempo total permitido de exposición a ese NPSeq
TL:	Transmission Loss, expresión de la pérdida de transmisión acústica en dB de un material normado por certificación.
TR60:	Tiempo de Reverberación de un local, donde la energía acústica se extingue 60 dB después de apagada la fuente emisora de sonido.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. - Reddy RK, Welch D, Thorne P, Ameratunga S.: Hearing protection use in manufacturing Workers: A qualitative study. Noise Health, 2012.
- 2.- Otárola M. F., Otárola Z. F., Finkelstein A.: Ruido Laboral y su Impacto en Salud. Revista Ciencia & Trabajo, ACHS (Asociación Chilena de Seguridad), Junio, Chile, 2006. www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/2567.pdf
- 3.- Valenzuela, Juan Carlos; Sánchez Mauricio; Fontecilla Hernán: Fontecilla: Diseño e Implementación de un estudio de diagnóstico de la exposición a ruido Laboral de los trabajadores de la región metropolitana en Chile. Depto. De Salud Ocupacional, Instituto de Salud Pública, 2012.
- 4.- Ministerio de Salud, Chile: Decreto Supremo N° 594/99, Condiciones sanitarias y Ambientales básicas en los lugares de trabajo. Diario Oficial de Chile, Abril, 2000.
- 5.- Decreto Exento 1029: 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.
www.ispch.cl/sites/default/files/protocolo_vigilancia_expuestos_a_ruido_minsal.pdf
- 6.- REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60 11/03/2006, España, 2006.
- 7.- Bravo, María Teresa: Guía preventiva para los trabajadores expuestos a ruido, ISP Instituto de Salud Pública de Chile, 2012.

8.- Miyara, Federico: Estimación del riesgo auditivo por exposición a ruido según la Norma ISO 1999:1990, IRAM, Instituto Argentino de Normalización, 1999.

9.- Ministerio de Salud, Chile: Protocolo de control y seguimiento a trabajadores expuestos a ruido y/o sordera laboral, 1995.

10.- Instituto de Salud Pública de Chile: “Instructivo para la aplicación del Decreto Supremo N° 594/99, título IV, párrafo 3º, Agentes Físicos – Ruido”, Santiago, 2004.

11.- Instituto Nacional de Normalización: “NCh 2502-1 (2000), Acústica – Descripción y Medición del Ruido Ambiental – Parte 1: Magnitudes Básicas y Procedimientos”, Parte 2: Recolección de Datos Pertencientes al Uso de Suelo” y Parte 3: Aplicación a Límites de Ruido”.

12.- ISOVER: “Manual de aislamiento en la industria”, Madrid, España, 2007.

13.- Jensen Paul, Jokel Charles, Miller Laymon: “Industrial noise control manual, revised edition”, Bolt, Beranek, and Newman, Inc., Cambridge, MA., 1978.

14.- Ministerio de Salud: “Decreto Supremo N° 594/99: “Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo”, título IV, párrafo 3º, artículos 70-82.

15.- Ministerio de Salud: “Instructivo para la calificación y evaluación de las Enfermedades Profesionales del Reglamento D.S. N° 109/1968 de la Ley N° 16.744”, Chile, 1983. www.tesis.uchile.cl/handle/2250/107537

16.- Ministerio del Trabajo y de Previsión Social: “Ley N° 16.744, Legislación Chilena sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales”, Santiago, 1968.

17.- Cárdenas Bergmann, José L., Aguilera B., Cristian: Tesis: “Evaluación del ambiente sonoro en área de instalación de equipos de perforación Hopper y equipo N°6 en ENAP Magallanes”, UDLA, Chile, 2009.

www.joseluiscardenas.com/tesis

18.- Instituto de Salud Pública de Chile: “Guía técnica para la evaluación de los trabajadores expuestos a ruido y/o con sordera profesional”, Chile, 2005.

www.ispch.cl/saludocupacional/material_referencia

19.- Instituto de Salud Pública de Chile: “Instructivo para la aplicación del Decreto Supremo N° 594/99, título IV, párrafo 3º, Agentes Físicos – Ruido”, Chile, 2004.

www.ispch.cl/salud_ocup/doc/INSTRUCTIVO_594.pdf

20.- Martínez, María del Carmen: “Efectos del ruido por exposición laboral”, Salud de los Trabajadores, Volumen 3, N° 2, Julio, Chile, 1995.

www.ingenieroambiental.com/4014/eruido.pdf

21. Sánchez, Alejandro Mauricio: “Estrategia Frente a la Problemática del Ruido Ocupacional”, Revista Ciencia y trabajo, ACHS, Chile, 2006.

22.- Pacheco, Gonzalo: “Guía para la selección y control de protectores auditivos”, tesis, UACH, 2006.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmficip116g/doc/bmficip116g.pdf>

23.- Canales Montenegro, Aldo Esteban: INFORME TÉCNICO N° 201301011558 sobre Evaluación de la Exposición Ocupacional a Ruido de la Empresa Acmanet, según D.S. N°594/99 del Ministerio de Salud de Chile, Asociación Chilena de Seguridad, Chile, 2013.

24.- Centro Privado de Investigaciones Acústicas: Catálogo Acústico, Chile, 2010.
<http://www.cpia.cl/index.php/catalogo-acustico>

25. - Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication, 2008: Simulador Pérdida Auditiva Laboral (ANSI). www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2008-119_sp

26.- Urnia, José Luis: Prexor, Gestión para el control, Subgerencia de Desarrollo Preventivo, Gerencia de Prevención de la Asociación Chilena de Seguridad ACHS, Chile, 2012. www.uchile.cl/documentos/prexor_74636_7_0013.pdf

27.- Sánchez, Mauricio et al: Guía para la selección y control De Protectores Auditivos según Resolución N°1391-007, ISP, Chile, 2007
www.ispch.cl/elementos-de-proteccion-personal-epp

28.- Norma Chilena Oficial NCh 1331: Protectores auditivos - Requisitos y métodos de ensayo, Instituto Nacional de Normalización INN, Chile, 1999.

29.- Cárdenas Bergmann, José Luis; Ordinola A., Juan; Bravo G., Juan; Candia G., Orlando; Rojas M., Alexis: Tesis Evaluación y control de dosis de ruido en trabajadores de la Empresa Puratos Chile S.A., UDLA, Chile, 2010.
www.joseluiscardenas.com/tesis

30. - ISO 1999:1990: Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noiseinduced hearing impairment. International Organization for Standardization, Genève, Suiza, 1990.

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=6759

31. - ISO 7029:2000 Acoustics -- Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age, Suiza, 1990.

32.- Canales Montenegro, Aldo; Figueroa Jaluff, Julio; Cárdenas Bergmann, José L.: Tesis: Caracterización acústica de transformadores AT, evaluación de impacto acústico en subestación Apoquindo y propuesta de metodología de monitoreo de ruido en subestaciones de Chilectra S.A., UDLA, Chile, 2009.

Anexo I: Antecedentes Generales de la Evaluación de Exposición Ocupacional a Ruido

i. Descripción de la Empresa

La actividad económica de la empresa corresponde a la producción y elaboración de Mallas de alambres y productos derivados, que se emplaza en una superficie rectangular de 100 x 22 metros, equivalentes a una superficie de 2.200 m². El proceso productivo que comprende el presente estudio, corresponde a la Planta de Mallas Electrosoldadas, donde se fabrican productos derivados del alambre como mallas, cercos y rejas. La principal labor que se realiza al interior del área es la soldadura para la fabricación de mallas y rejas donde existen puestos fijos de trabajo para realizar funciones de control de las máquinas de Cortado de alambre, Electrosoldadura, Puente grúa y Grúa horquilla, donde cada grupo de trabajadores opera una máquina específica.



Imagen 12 Croquis de la sección Mallas Electrosoldadas y puntos de medición.

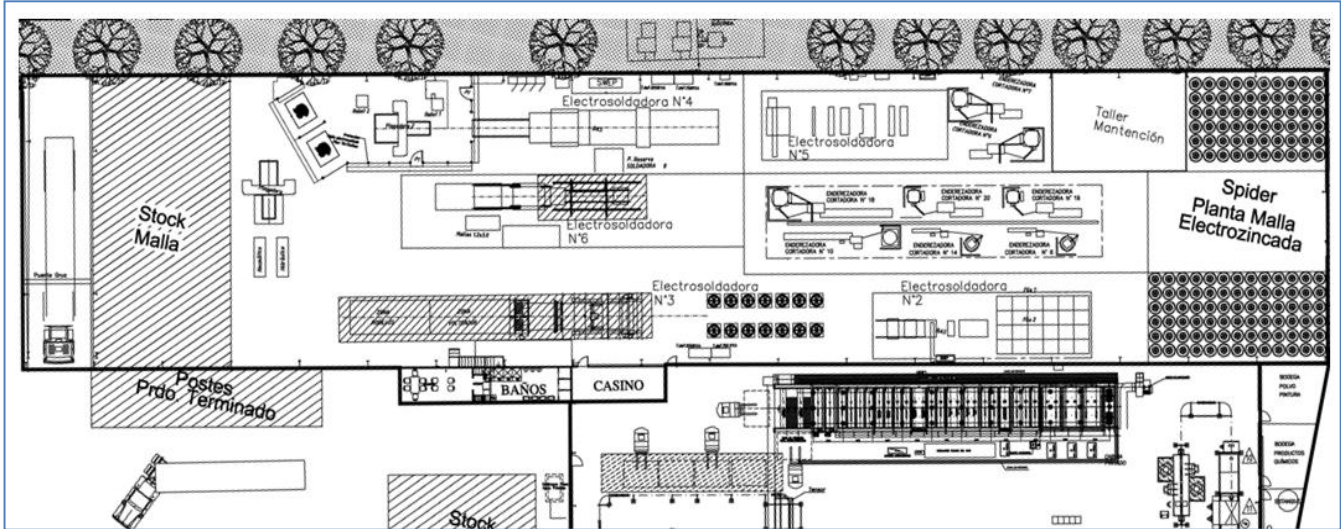


Imagen 13 Planta detalle de la sección a evaluar.

El proceso realizado en la planta se inicia con el retiro de alambres desde rollos para ser cortados en segmentos de largo establecido según el producto a fabricar. Los rollos de cableado son llevados a las máquinas de electrosoldado donde son utilizados como travesaños de rejas y soldados de forma perpendicular a los alambres retirados de forma continua desde otros rollos. Finalmente las rejas son apiladas y enviadas al robot de plegado y luego paletizadas para ser despachadas al área de pintura, contigua a la planta de electrosoldado, por medio de grúas horquillas. (Ref. 23)



Imagen 14 Sección Electrosoldadura.

Los puestos de trabajo se encuentran asociados a máquinas asignadas a un operador dentro de la línea de producción, cada encargado de área es responsable del correcto funcionamiento de su sección y del abastecimiento de los insumos necesarios para la continuidad del proceso.

ii. Antecedentes Específicos de Puestos de Trabajo

En la Tabla 13 se identifican, los puestos de trabajo a evaluar en materia de exposición a ruido, se describen las tareas habituales, el tiempo de exposición efectivo en la jornada laboral y el número de trabajadores que compone el grupo homogéneo de exposición del turno evaluado.

Área	Puesto de Trabajo	Función	Tiempo De Exposición (Te) Hrs.	Grupo Homogéneo		
				Turno 1	Turno 2	Turno 3
Planta Mallas Electrosoldadas	Operador Cortadora	Monitoreo, control y mantenimiento de máquina	7,5	2	2	2
	Operador Soldadora	Monitoreo, control y mantenimiento de máquina	7,5	8	5	4
	Operador Puente Grúa	Control maquinaria, carga y descarga de elementos	7,5	1	1	1
	Operador Grúa Horquilla	Carga y descarga de productos	7,5	1	-	-
Total de trabajadores en la sección				27		

Tabla 13 Información puestos de trabajo. (Ref. 23)

iii. Turnos de Trabajo

Con excepción del Operador de Grúa Horquilla, todos los puestos de trabajo en la planta de producción cuentan con turnos diurnos y nocturno definido a continuación.

Planta Mallas Electrosoldadas	
Turno 1	07:00 a 15:00 horas.
Turno 2	15:00 a 23:00 horas.
Turno 3	23:00 a 07:00 horas.

Tabla 14 Horario de Turnos.

El puesto de trabajo de Operador de Grúa Horquilla solo está presente durante el turno 1. Todos los puestos incluyen 30 minutos de colación.

iv. Caracterización de Fuentes de Ruido

Las fuentes de ruido críticas que contribuyen a la exposición a ruido en los puestos de trabajo en las áreas evaluadas corresponden a la operación de la maquinaria y el funcionamiento del proceso respectivo. Las maquinarias son movidas en su totalidad por energía eléctrica, por ello se descartan aspectos de contaminantes químicos ambientales de combustiones. Esta situación hace propicia la aplicación de paneles o tabiques que absorban las proyecciones de las ondas sonoras, el cual es el objetivo de este estudio.

Área	Fuentes de ruido críticas	NPSeq dB(A)
Planta Mallas Electrosoldadas	Soldadora 4	97,2
	Soldadora 5	99,5
	Ubicación Operador Cortadora 4	97,7
	Soldadora 2	101,2
	Máquina Cortadora Wafios	95,6
	Máquina Cortadora Vitari	97,4
	Rollo de alambre	96,1
	Soldadora 3	97,8

Tabla 15 Fuentes de ruido críticas de la sección evaluada.

v. Tipo de Ruido

En general el nivel de ruido existente en el área de producción y en condiciones normales de operación, presenta un comportamiento temporal de tipo fluctuante, con variaciones de los niveles de presión sonora mayores a 5 dB(A) lento, durante períodos de observación de un minuto. (Ref. 19).

http://200.91.44.234/wp-content/uploads/2012/09/DS_594.pdf

vi. Tiempos de Exposición Recomendados

En el caso de mantener las condiciones presentes en cada máquina al momento de la medición y de no hacer uso del EPA por parte del operador, se recomienda reducir los tiempos de exposición de los operadores, distribuyendo la exposición en turnos rotativos entre operadores para completar la labor cada vez que se cumpla con el tiempo de exposición máximo de acuerdo al criterio de acción establecido en PREXOR. En la Tabla 16 se indican los tiempos de exposición recomendados para cada puesto de trabajo evaluado por sobre el criterio de acción y la reducción con respecto al tiempo de exposición efectivo. (REF. 14)

N°	Puesto De Trabajo	NPS dB(A)	Te (h)	Tp (h)	Te (h) máximo	Reducción Te (h)
1	Operador Soldadora 2	92,8	7,50	1,2	0,57	6,93
2	Operador Soldadora 3	91,1	7,50	3,7	1,82	5,68
3	Operador Soldadora 4	90,6	7,50	1,6	0,76	6,74
4	Operador Soldadora 5	92,8	7,50	1,3	0,65	6,85
5	Operador Soldadora 6	91,7	7,50	2,0	0,97	6,53
6	Operador Cortadora 4	93,3	7,50	2,2	1,08	6,42
7	Operador Grúa Horquilla	88,3	7,50	1,3	0,65	6,85
8	Operador Puente Grúa	92,1	7,50	1,7	0,83	6,67

Tabla 16 Tiempos de Exposición recomendados.

vii. Elementos de Protección Auditiva en Uso

De acuerdo a lo observado durante la visita efectuada a la empresa es posible afirmar que los operadores de las áreas evaluadas utilizan elementos de protección auditiva (EPA) de forma permanente durante el desarrollo de su labor.

Área	Puestos de Trabajo	Protección Auditiva En Uso		Observación
		Marca	Modelo	
Planta Mallas Electro soldadas	Operador Cortadora	3M Peltor	H6P3E Optime 95	Estado regular: almohadillas
	Operador Soldadora	3M Peltor	H6P3E Optime 95	Buen estado
		3M	1270/1271	Buen estado
	Operador Puente grúa	3M	1270/1271	Buen estado
	Operador Grúa Horquilla	3M Peltor	H6P3E Optime 95	Buen estado

Tabla 17 Descripción Elementos de Protección Auditiva en uso. (Ref. 1, 17, 22)

viii. Evaluación de Efectividad de Elementos de Protección Auditiva en Uso

La atenuación sonora es el principal factor a considerar en la selección de un protector auditivo. Éste permite garantizar una protección eficaz en términos de reducir el nivel de ruido a niveles de presión sonora bajo el Nivel de Acción, sin obstaculizar la percepción del habla, señales de peligro o señales necesarias para el ejercicio correcto de la actividad laboral. Existen diversos procedimientos para calcular el Nivel de Presión Sonora Efectivo Ponderado “A” otorgado por un protector auditivo. Éstos tienen distintos grados de exactitud y están condicionados por la información disponible tanto del protector auditivo, como del

grado de protección utilizado, nivel de presión sonora medido y ponderación en frecuencia utilizada para efectuar la medición en cada puesto de trabajo. (Ref. 28). En la Tabla 18 se muestran los resultados de la calificación de los EPA mediante el método HML (Ref. 22) de los elementos de protección auditiva utilizados al interior de las áreas en evaluación para cada fuente de ruido presente por sector, y considerando la peor condición de emisión sonora y el correcto uso, colocación y permanencia del EPA. (Ref.3).

Para efectos de cálculo se utilizaron valores constantes de $\alpha=1,64$ asociados a un valor de rendimiento de los elementos de 95%. Los valores de atenuación por bandas de octava de los protectores auditivos son proporcionados por el respectivo fabricante y son usados para recalcular los valores HML con un factor de eficiencia mayor (95%). Solo se realizó el cálculo de calificación de EPA en los puestos de trabajo donde se encontró presente el elemento de protección auditiva personal. (Ref. 27). Los siguientes tapones corresponden a modelos de la empresa 3M ¹⁶

Protección Auditiva En Uso					
Marca	Modelo	Tipo	H	M	L
3M	1270/1271	Tapón	21,4	16,5	14,0
3M Peltor	H6P3E Optime 95	Orejera para casco	30,3	22,1	13,4

Tabla 18 EPA utilizado y características de reducción de ruido HML para 95% de rendimiento.

¹⁶ www.3mseguridadindustrial.cl/wp-content/uploads/2011/01/Tapones-1270-1271.pdf
www.3mseguridadindustrial.cl/wp-content/uploads/2011/01/Fono-H6-OPTIME-95.pdf

Fuente de Ruido	L _A	L _C	PNR	L' _A	Calificación de la Atenuación Sonora EPA
Soldadora 4	97,2	98,0	18	79,2	Adecuada
Soldadora 5	99,5	98,3	20	79,1	Adecuada
Ubicación Operador Cortadora 4	97,7	98,2	18	79,4	Adecuada
Soldadora 2	101,2	101,6	18	82,7	Insuficiente
Máquina Cortadora Wafios	95,6	100,4	16	80,0	Adecuada
Máquina Cortadora Vitari	97,4	101,4	16	81,5	Insuficiente
Rollo de alambre	96,1	97,6	17	79,0	Adecuada
Soldadora 3	97,8	99,1	17	80,4	Insuficiente

Tabla 19 Calificación EPA 3M 1270/1271 tipo Tapón reutilizable.

Fuente de Ruido	L _A	L _C	PNR	L' _A	Calificación de la Atenuación Sonora EPA
Soldadora 4	97,2	98,0	25	72,5	Adecuada
Soldadora 5	99,5	98,3	29	71,0	Adecuada
Ubicación Operador Cortadora 4	97,7	98,2	25	72,4	Adecuada
Soldadora 2	101,2	101,6	25	75,7	Adecuada
Máquina Cortadora Wafios	95,6	100,4	19	76,6	Adecuada
Máquina Cortadora Vitari	97,4	101,4	20	77,4	Adecuada
Rollo de alambre	96,1	97,6	23	72,7	Adecuada
Soldadora 3	97,8	99,1	24	74,0	Adecuada

Tabla 20 Calificación EPA 3M Peltor H6P3E Optime 95 tipo Orejera para casco.

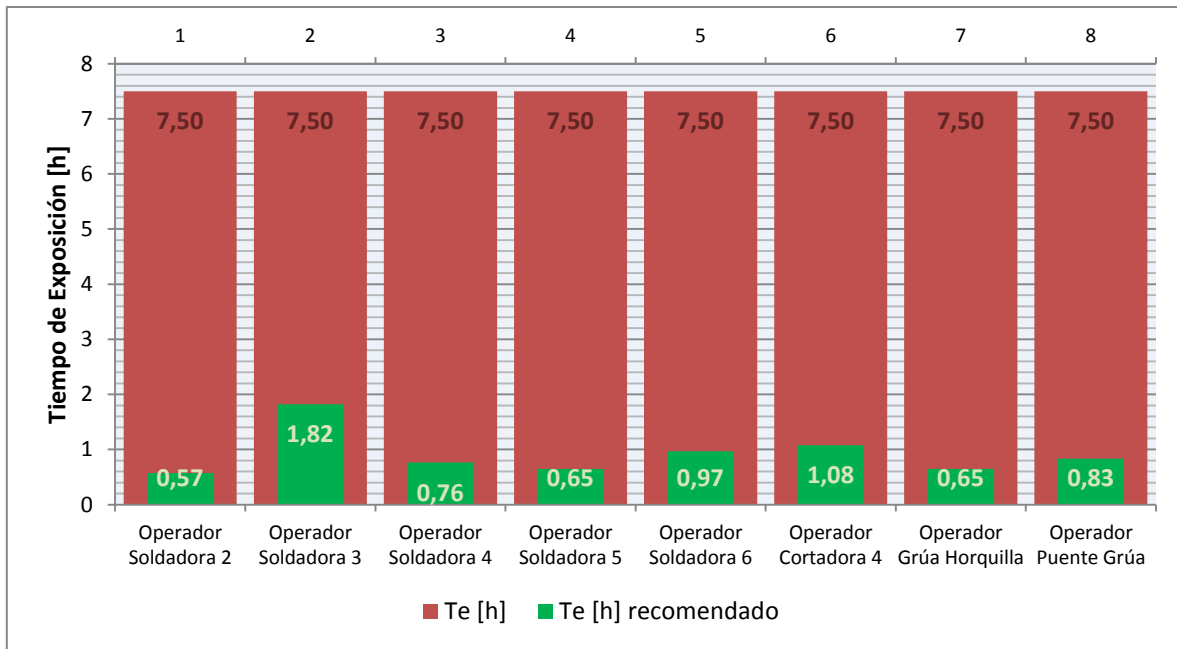
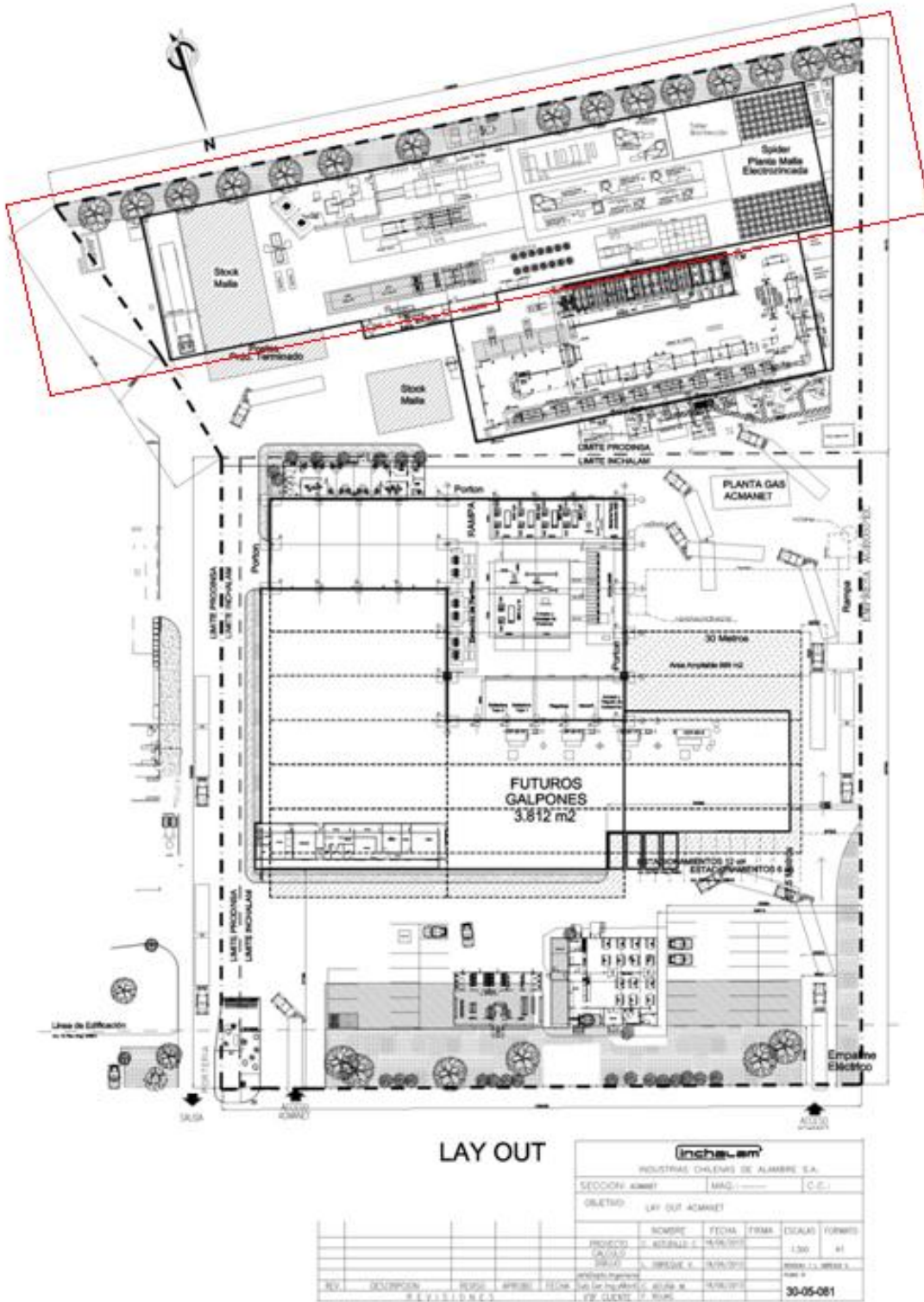


Gráfico 19 Comparación Te(h) y Te(h) recomendado.

www.ispch.cl/salud_ocup/epp/epp/Guia%20de%20Seleccion%20EPA.%20ISP.%20Final.pdf

www.ispch.cl/sites/default/files/documento/2010/01/Guia_Seleccion_EPA.pdf

ix. Plano Empresa



x. Imágenes de Áreas en Evaluación



Imagen 15 Electro Soldadora 4.



Imagen 16 Cortadora Vitari.



Imagen 17 Carga de alambre cortado a Soldadora 3 desde Punte Grúa.



Imagen 19 Operador Electrosoldadora.



Imagen 18 Operador Punte Grúa.



Imagen 20 Rollo de alambre.



Imagen 21 Anclaje rollo de alambre sin
aislación.



Imagen 22 Anclaje de rollo sin aislación.

Anexo II: Información Materiales Absorbentes

Metecno, Hipertec Sound Wall 100mm.

REPORTE DE ENSAYO ABSORCIÓN SONORA SEGÚN NORMA ISO 354

Solicitada por: Metecno S.A.	Reporte N°: 2559 - AB - ME
Rut: 99.500.750-9	Fecha de ensayo: 31-dic-09

Nombre Comercial Muestra: Hipertec Wall Sound 100 mm

Descripción: Panel metálico con ambas caras en láminas de acero galvanizado prepintado (chapa sup. 0,6 mm / chapa inf. 0,5 mm) una cara con perforaciones de 3 mm con distancia entre perforaciones de 5 mm relleno con lana mineral de 100 mm de espesor y densidad de 100 kg/m³.

Tamaño(m²): 11.3

Ubicación Ensayo: Cámara Reverberante Laboratorio CPIA - San Francisco 1138, Santiago de CHILE

Datos de Sala:

Volumen	173	m ³
T°	23.5	°C

Coeficiente de Absorción Sonora

Frecuencia [Hz]	α
100	0.37
125	0.42
160	0.56
200	0.73
250	0.82
315	0.96
400	1.02
500	1.04
630	1.11
800	1.08
1000	1.06
1250	1.02
1600	0.97
2000	0.97
2500	0.91
3150	0.91
4000	0.87
5000	0.91

NRC 0.97
según ASTM C423

Frecuencia Hz

— Coeficiente de Absorción Sonora

Leonardo Palma Salazar
Representante Laboratorio

Felipe Rivas Villarroel
Ingeniero Civil Acústico (E)

Laboratorio CPIA, Institución Oficial de Control Técnico de Calidad de los Materiales y Elementos Industriales para la Construcción Resolución N° 533 /1995 MINVU

Laboratorio CPIA Código 2559-AB-ME

Metecno, Hipertec Sound Wall 50mm.

REPORTE DE ENSAYO
ABSORCIÓN SONORA SEGÚN NORMA ISO 354

Solicitada por: Metecno S.A.	Reporte N°: 2561 - AB - ME	
Rut: 99.500.750-9	Fecha de ensayo: 04-ene-10	

Nombre Comercial Muestra: Hipertec Wall sound 50 mm

Descripción: Panel metálico con ambas caras en láminas de acero galvanizado prepintado (chapa sup. 0,6 mm / chapa inf. 0,5 mm) una cara con perforaciones de 3 mm, con distancia entre perforaciones de 5mm relleno con lana mineral de 50 mm de espesor y densidad de 100 kg/m ³ .	Tamaño(m²): 10.7
---	------------------------------------

Ubicación Ensayo: Cámara Reverberante Laboratorio CPIA - San Francisco 1138, Santiago de CHILE

Datos de Sala:

Volumen	173	m ³
Tº	23.6	°C

Coefficiente de Absorción Sonora

Frecuencia [Hz]	α
100	0.12
125	0.21
160	0.32
200	0.45
250	0.57
315	0.81
400	0.92
500	1.01
630	1.11
800	1.06
1000	1.08
1250	1.03
1600	1.01
2000	0.90
2500	0.90
3150	0.87
4000	0.86
5000	0.79

NRC 0.90
según ASTM C423

Frecuencia Hz

Leonardo Parma Salazar
Representante Laboratorio

Felipe Rivas Villarroel
Ingeniero Civil Acústico (E)

Laboratorio CPIA, Institución Oficial de Control Técnico de Calidad de los Materiales y Elementos Industriales para la Construcción Resolución N° 533 /1995 MINVU

Laboratorio CPIA Código 2561-AB-ME

Anexo III: Especificaciones Instrumentos y Software Utilizados

N° Item	Tipo de Instrumento	Marca	Modelo	N° serie	Valor Calibración	Valor Verificación
1	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-060003	114,0	114,0
2	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-060017	114,0	114,0
3	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-060005	114,0	113,9
4	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-120009	114,0	114,0
5	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-060002	114,0	113,9
6	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-060007	114,0	114,0
7	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-120003	114,0	113,9
8	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-120010	114,0	114,0
9	Dosímetro	Quest	Q-400	QDE-060014	114,0	114,1
10	Sonómetro	Soft-dB	SLM-P3	130927018	94,0	94,0
11	Calibrador	Quest	QC-10	QIE-080113	114dB @ 1000Hz	
12	Calibrador	Soft-dB	TM-100	130703404	114dB – 94dB @ 1000Hz	

Tabla 21 Información de instrumentos utilizados.

El sonómetro SoftdB modelo Piccolo SLM-P3, corresponde a un sonómetro integrador de Tipo 2, que además cuenta con la característica de conectarse con el Software Rap-One y en conjunto generar un mapa de ruido en tiempo real denominado Mapa Experimental.

Piccolo

Integrating SLM & Datalogger

The *Piccolo* is an easy to use, professional integrating SLM. Using state of the art technology, the *Piccolo* provides:

- Compact and Lightweight Construction
- Low-Cost Measurement Instrument
- Ultra-Low Power Consumption
- Advanced Post-Processing Software
- 10000 Values Memory

Applications:

- Environmental Noise Survey
- Noise Ordinance
- Machine Noise Evaluation
- Sound Exposure Evaluation
- Noise Alert
- Long-Term Noise Monitoring



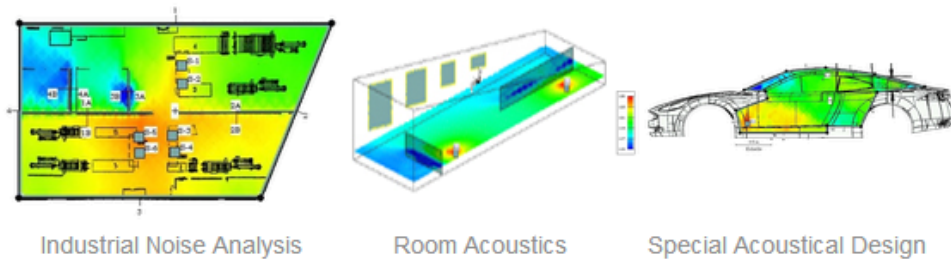
Measurement Specifications		Physical Specifications	
Standards	IEC 651/804 & ANSI S1.4 Class 2	Microphone	MEMS
Measurement	Leq, Lfast, Lslow, SEL, Lmax, Lmin and L%	Display	4 Digit and Bar Graph (3 dB / Step)
Frequency Range	31.5 Hz to 8 kHz Octave Band	Connection	USB
Dynamic Range	37 to 105 dBA	Weight	120g
Weighting	A and C	Dimensions	132 x 59 x 15 mm (5 3/16" X 2 5/16" X 5/8")
Resolution	0.1 dB	Tripod	1/4-20 tripod screw
Accuracy	±1.5 dB (94 dB @ 1 kHz)	Battery	CR-2450
Display Rate	0.250 s	Autonomy	200 hours
Range Indicators	Over/Under Range	Operating	0 to 60°C (32 to 140°F) 90% humid.
Memory	10000 values	Storage	-20 to 70°C (-4 to 158°F) 75% humid.

SOFTWARE RAP-ONE

Soft dB

RAP-ONE

RAP-ONE (Room Acoustics Prediction and Occupational Noise Exposure), is an innovative easy-to-use designed for use by acoustics consultants, engineers, and industrial hygienists to analyze and manage sound in an industrial setting.



RAP-ONE quickly and precisely determines sound levels at every location in a room, the contribution of each sound source to these locations, and the noise dose level perceived by workers.

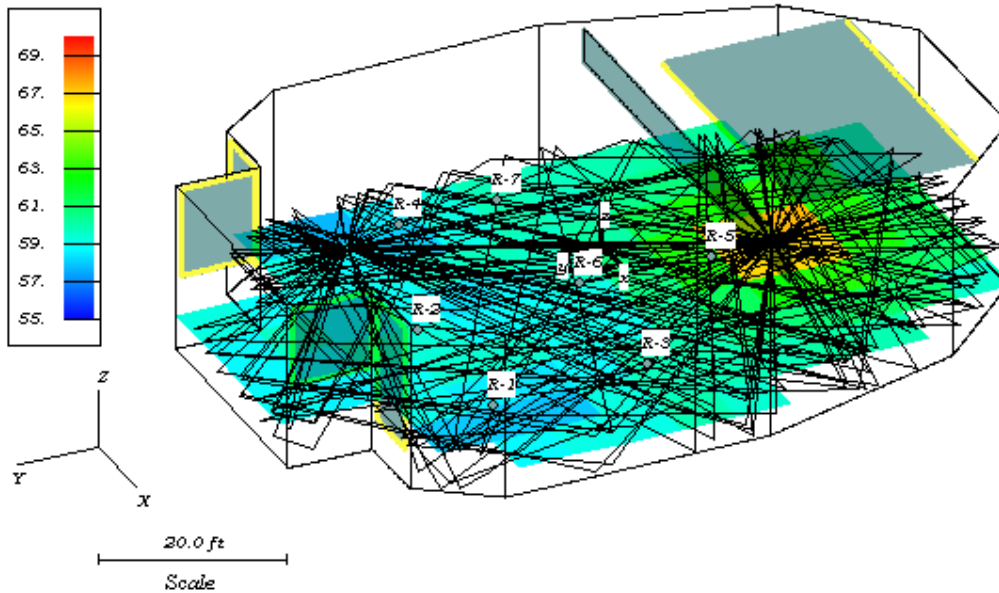
Industrial Noise Analysis

Often, when noise reduction treatments are applied, they do not produce the expected results. RAP-ONE eliminates this problem evaluating the efficiency of a treatment or of a treatment combination in real-time, before it is implemented.

- Frequently asked questions that can be answered by RAP-ONE:
- What will the noise increase be if another machine is added?
- What will the impact of this new machine be on the noise doses levels perceived by workers?
- What will the noise reduction be if a silencer is installed on a vacuum cleaner or if I add an acoustic treatment is added to the ceiling?
- How can I be sure my noise reduction process is well structured?

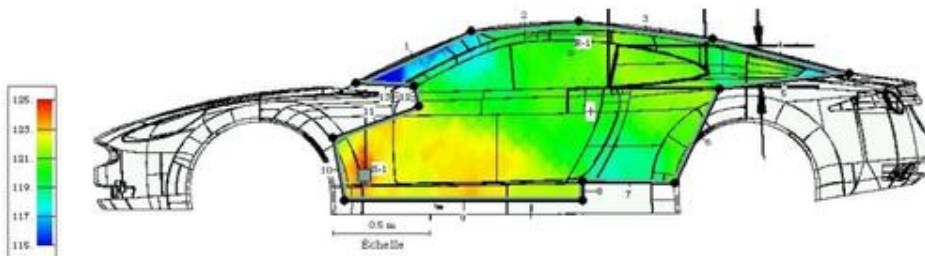
The evaluation of the performance of various possible treatments is easy: simply apply the acoustic treatments being considered for the room using the Absorbing Panel or Acoustic Barrier tools and then click on the Calculate Noise Map button. The room's new noise map displays the noise levels obtained with the added treatments. A similar process can be applied to the room's noise sources (e.g. adding a silencer).

Acoustical Room Design



- RAP-ONE can be used to improve the acoustics of performance and art centers
- RAP-ONE is a powerful tool for improving the acoustic design of any room type or size
- RAP-ONE rapidly and precisely determines the noise levels at every location in a room, as well as the contribution of every noise source at those locations
- RAP-ONE can perform RT60 calculations (Reverberation Time)
- RAP-ONE can be used to improve the acoustics of a theater i.e., identifying treatments applied to mechanical, electrical, plumbing, heating, and ventilation systems

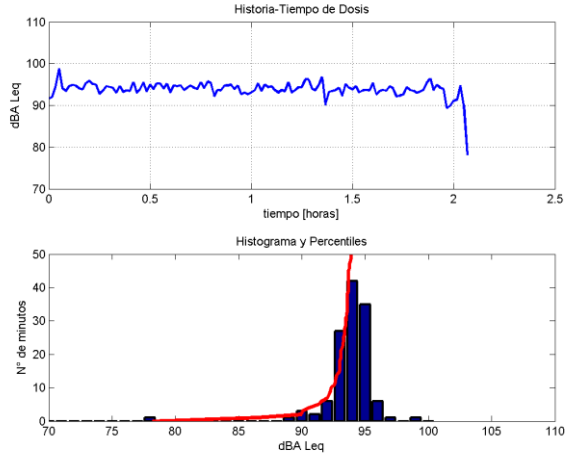
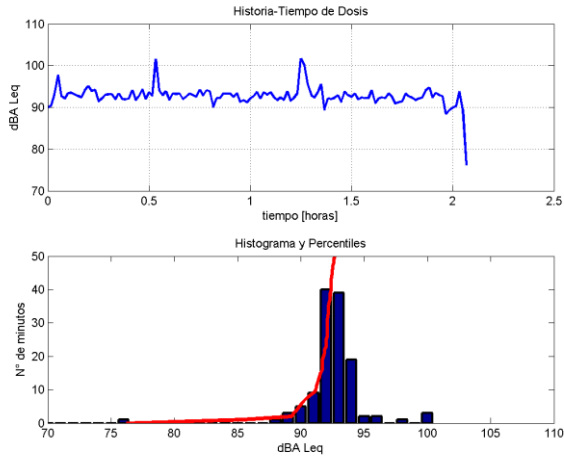
Other Acoustical Designs



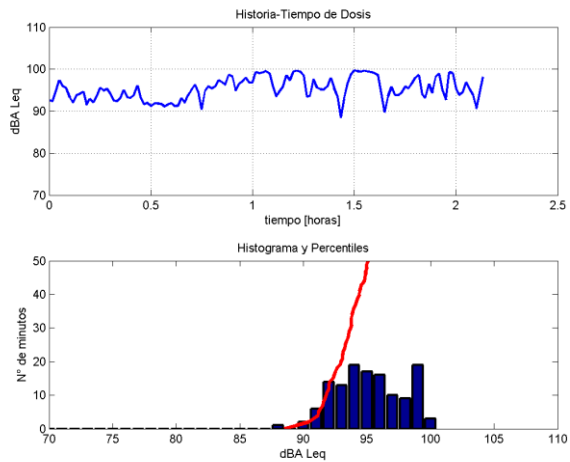
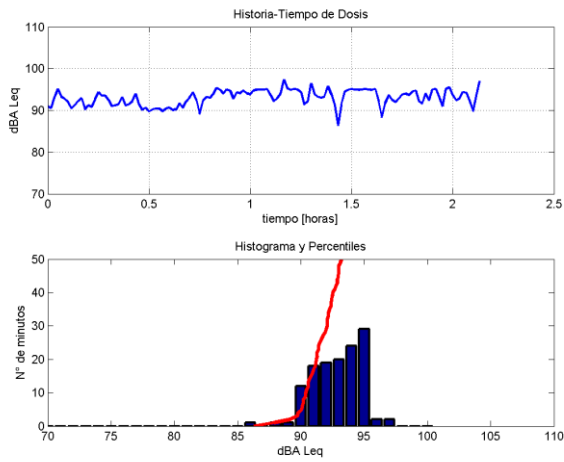
RAP-ONE can also be used in many other acoustical applications. For example, RAP-ONE has been used in the acoustical design of the new BMW 3 series.

Anexo IV: Histogramas

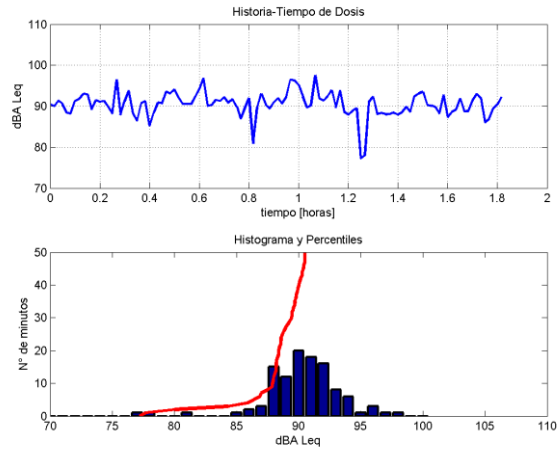
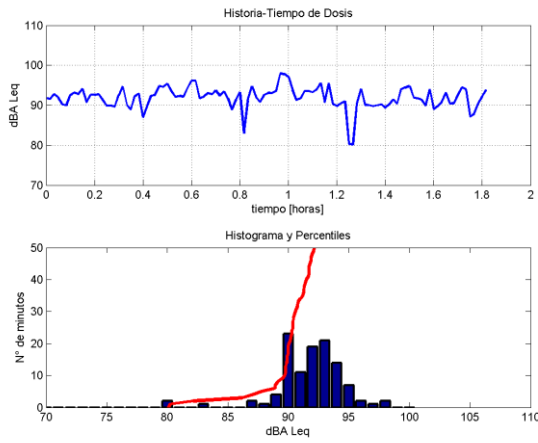
Operador Cortadora 4



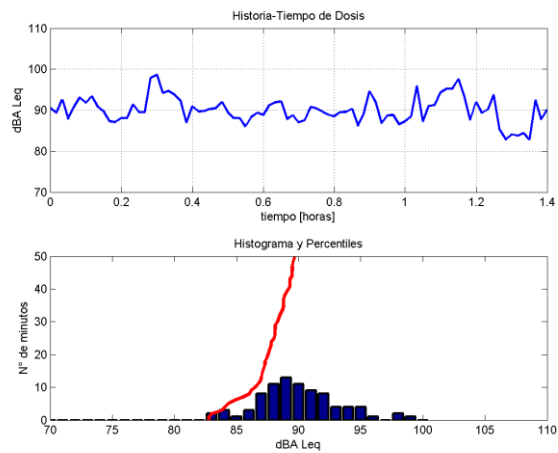
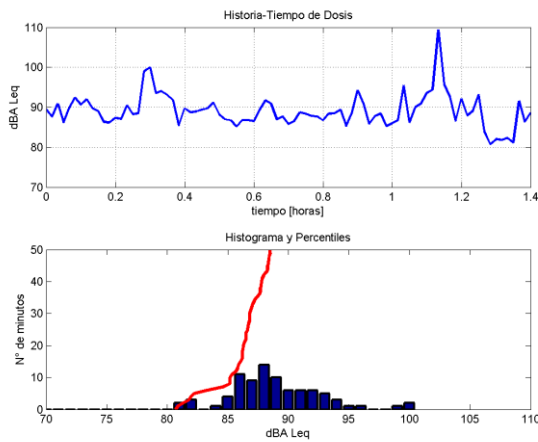
Operador Soldadora 2



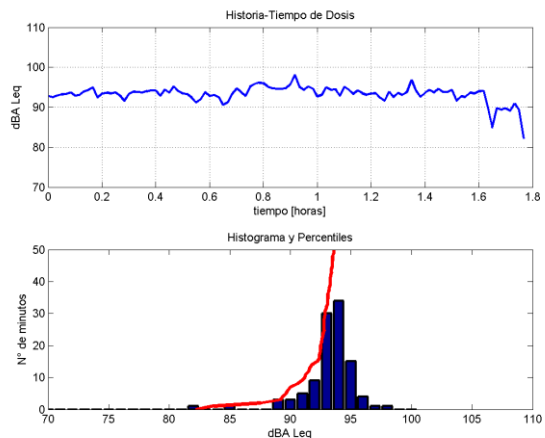
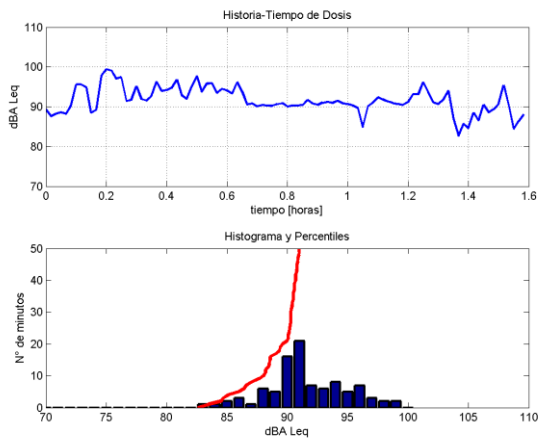
Operador Soldadora 3



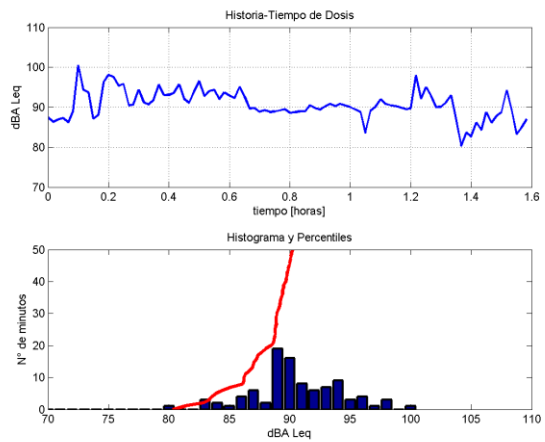
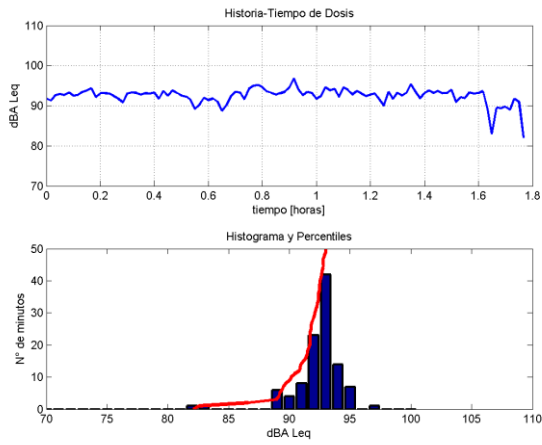
Operador Soldadora 4



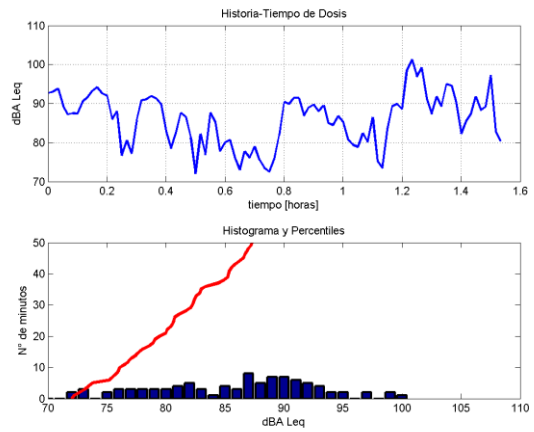
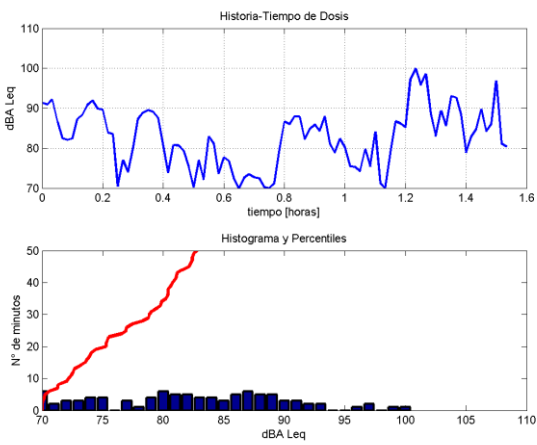
Operador Soldadora 5



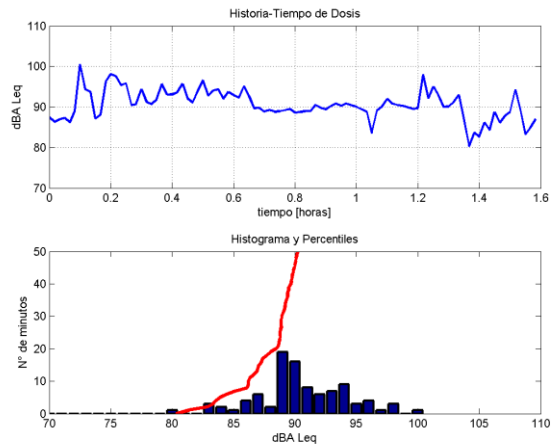
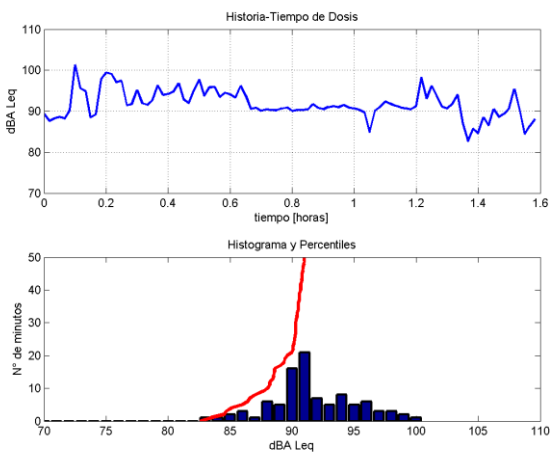
Operador Soldadora 6



Operador Grúa Horquilla



Operador Puente Grúa



Anexo V: Análisis de Costos para cada Escenario Modelado

La tabla de resumen muestra los valores de precio de venta sin IVA, y en Millones de Pesos Chilenos para cada escenario modelado.

Código de Solución	muro1	muro2	muro1	muro2	Costo CL\$ MM
	Panel	Panel	Panel	Panel	
	Dimensiones	Dimensiones	Dimensiones	Dimensiones	
SOL420-100	60X3,5	60X3,5			36.660
SOL480-100	60x4	60x4			40.230
SOL528-100	60X4,4	60X4,4			42.268
SOL600-100	60X5	60X5			46.007
SOL660-100	60X5,5	60X5,5			49.123
SOL720-100	60X6	60X6			52.239
SOL780-100	60X6,5	60X6,5			55.355
SOL840-100	60X7	60X7			58.471
SOL420-50			60X3,5	60X3,5	33.337
SOL480-50			60x4	60x4	35.979
SOL528-50			60X4,4	60X4,4	38.073
SOL600-50			60X5	60X5	41.261
SOL660-50			60X5,5	60X5,5	43.903
SOL720-50			60X6	60X6	46.544
SOL780-50			60X6,5	60X6,5	49.185
SOL840-50			60X7	60X7	51.826
SOL210-100-210-50	30X3,5	30X3,5	30X3,5	30X3,5	37.159
SOL240-100-240-50	30X4	30X4	30X4	30X4	42.106
SOL264-100-264-50	30X4,4	30X4,4	30X4,4	30X4,4	42.896
SOL300-100-300-50	30X5	30X5	30X5	30X5	46.721
SOL330-100-330-50	30X5,5	30X5,5	30X5,5	30X5,5	49.908
SOL360-100-360-50	30X6	30X6	30X6	30X6	53.096
SOL390-100-390-50	30X6,5	30X6,5	30X6,5	30X6,5	56.283
SOL420-100-420-50	30X7	30X7	30X7	30X7	59.470

Tabla 22 Resumen valores por escenario.

A partir de estos valores, se asigna un valor ponderado de acuerdo a la importancia del receptor, tomando como parámetro de valoración la cantidad de ruido inicial. El receptor con el valor máximo pondera un factor de peso igual a dos (2), y el receptor con menor nivel de ruido pondera un factor de peso uno (1).

Las siguientes gráficas muestran los valores de ruido de cada receptor versus el costo de venta de las medidas de control:

Punto negro: condición inicial

Puntos Rojos: iteraciones con Hipertec Wall – 100

Puntos Verdes: Iteraciones con Hipertec Wall – 50

Puntos Azules: Iteraciones con Hipertec Wall – 50 y con Hipertec Wall – 100

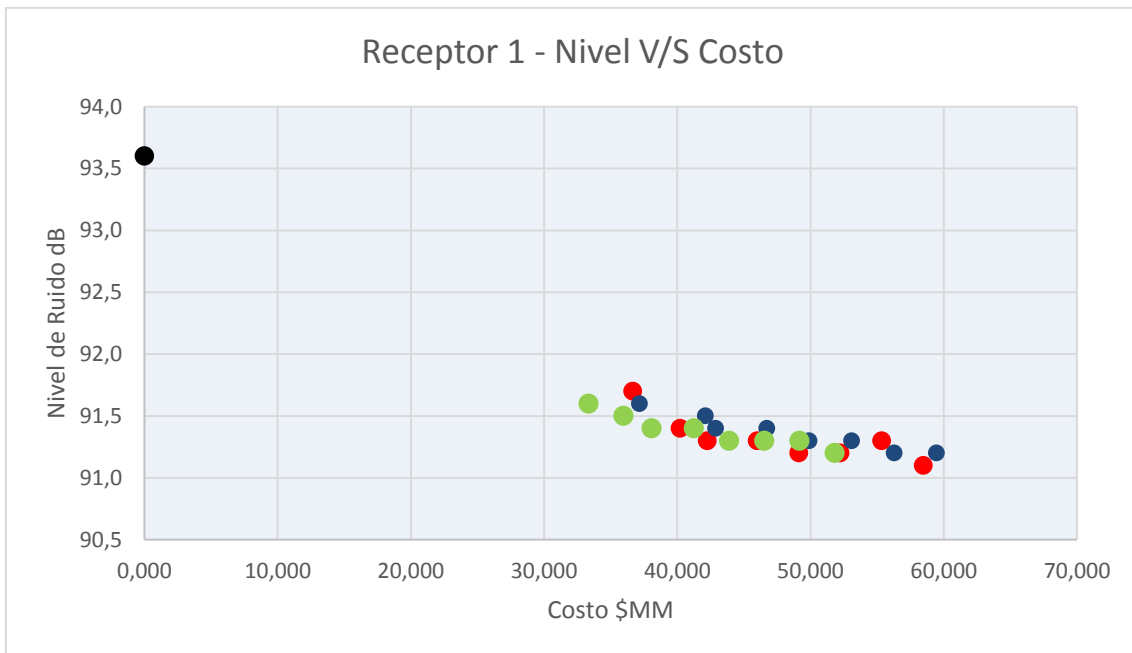


Gráfico 20 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 1.

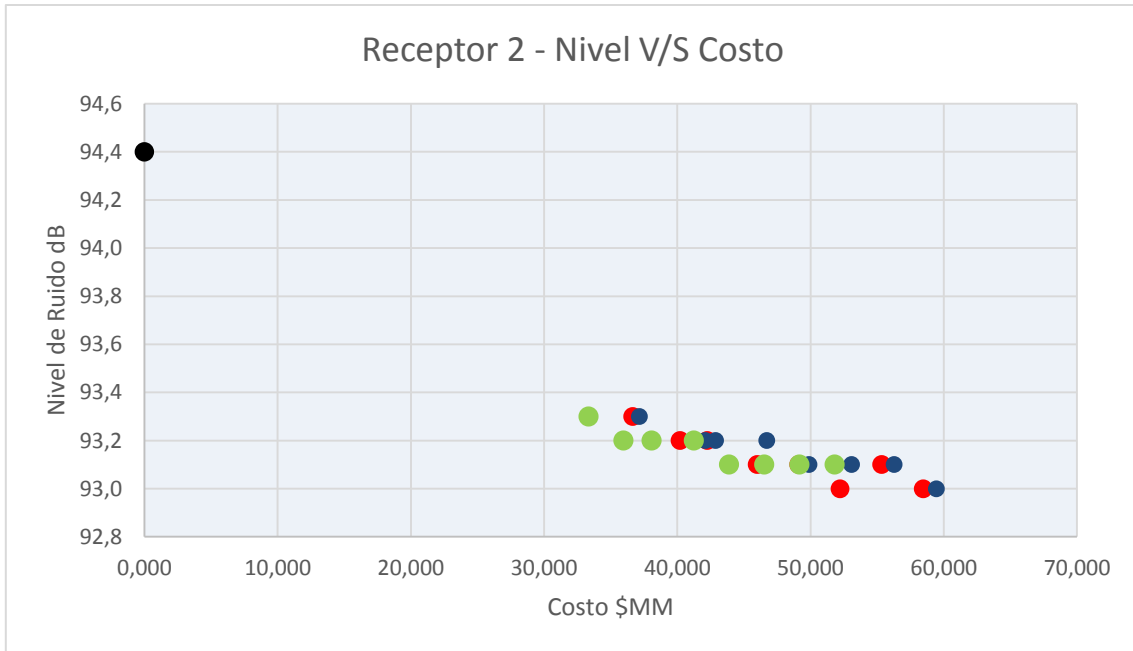


Gráfico 21 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 2.

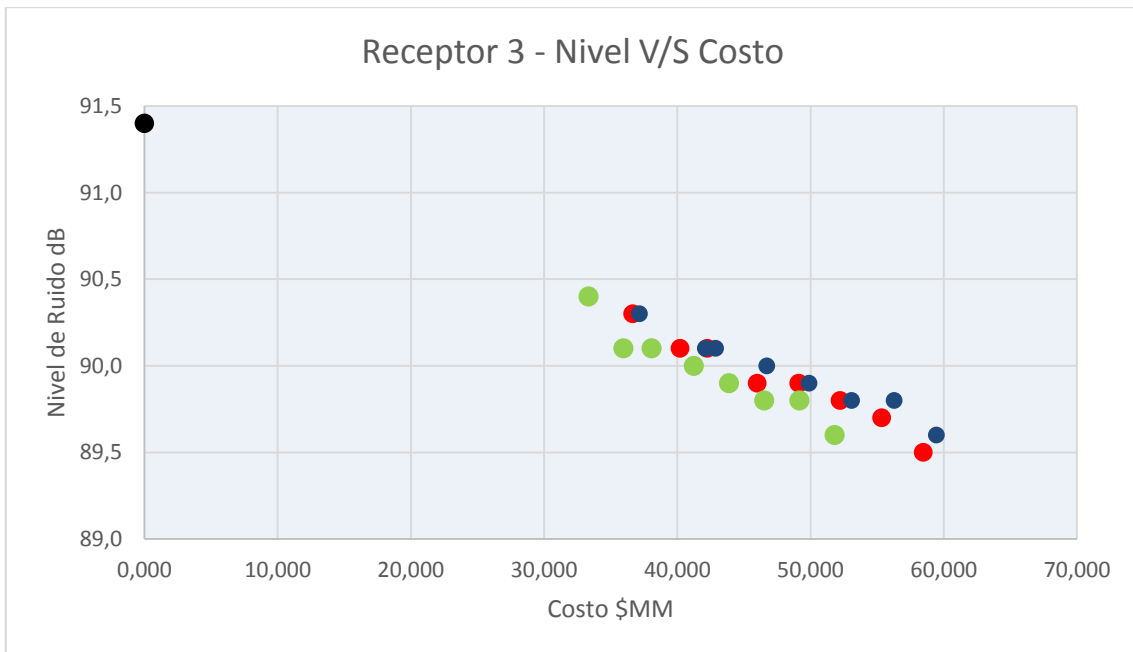


Gráfico 22 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 3.

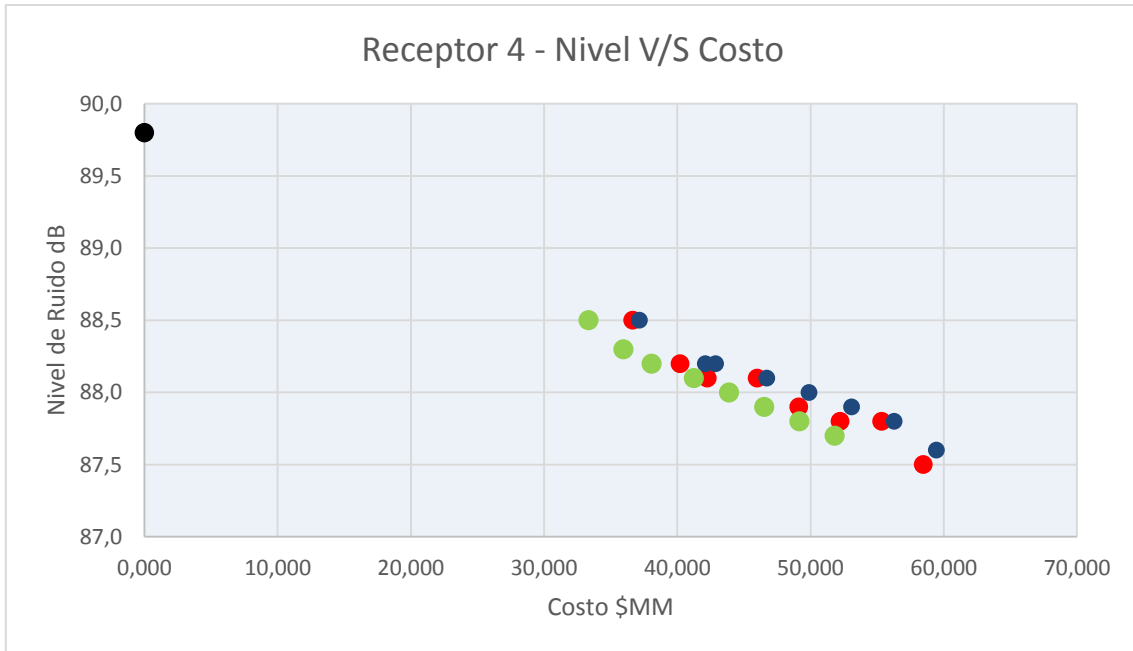


Gráfico 23 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 4.

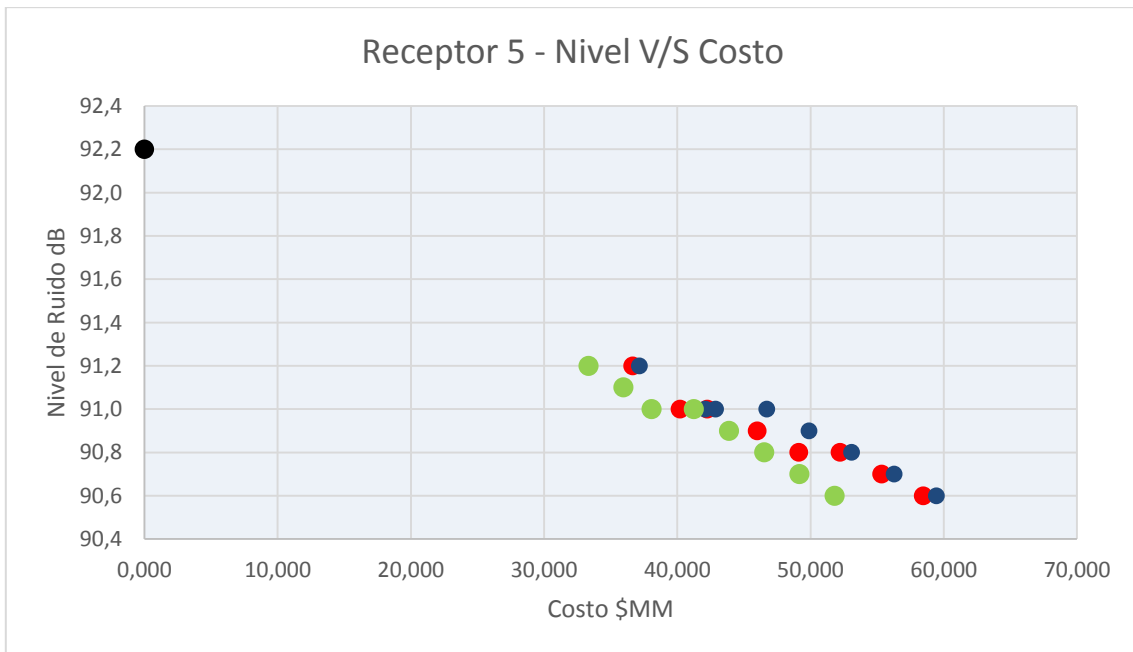


Gráfico 24 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 5.

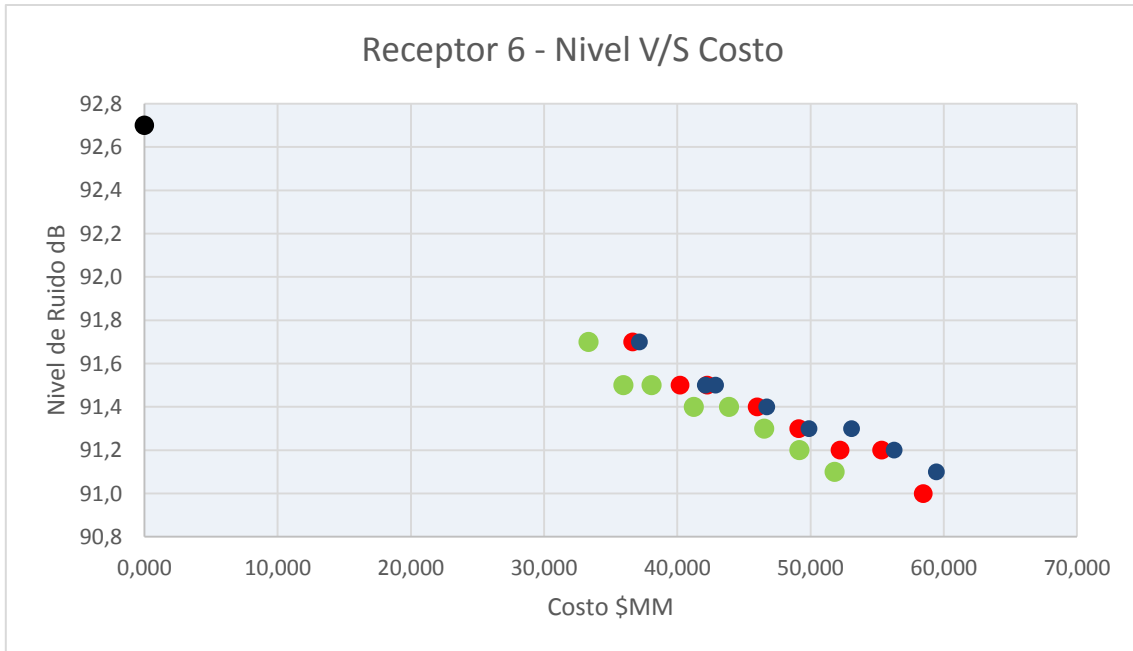


Gráfico 25 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 6.

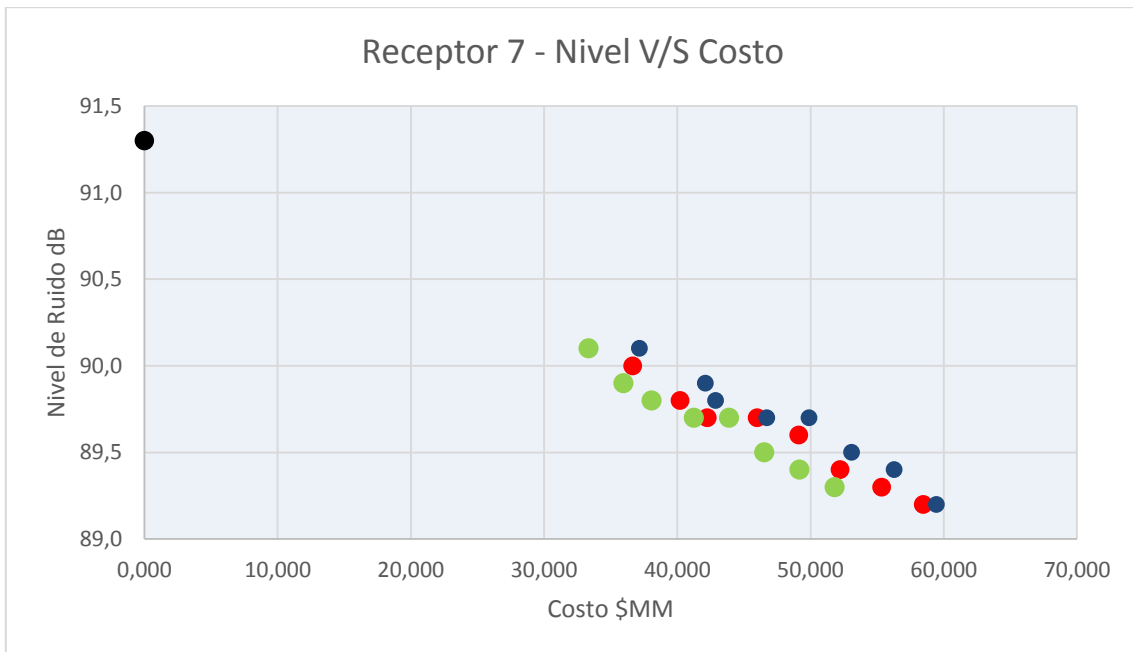


Gráfico 26 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 7.

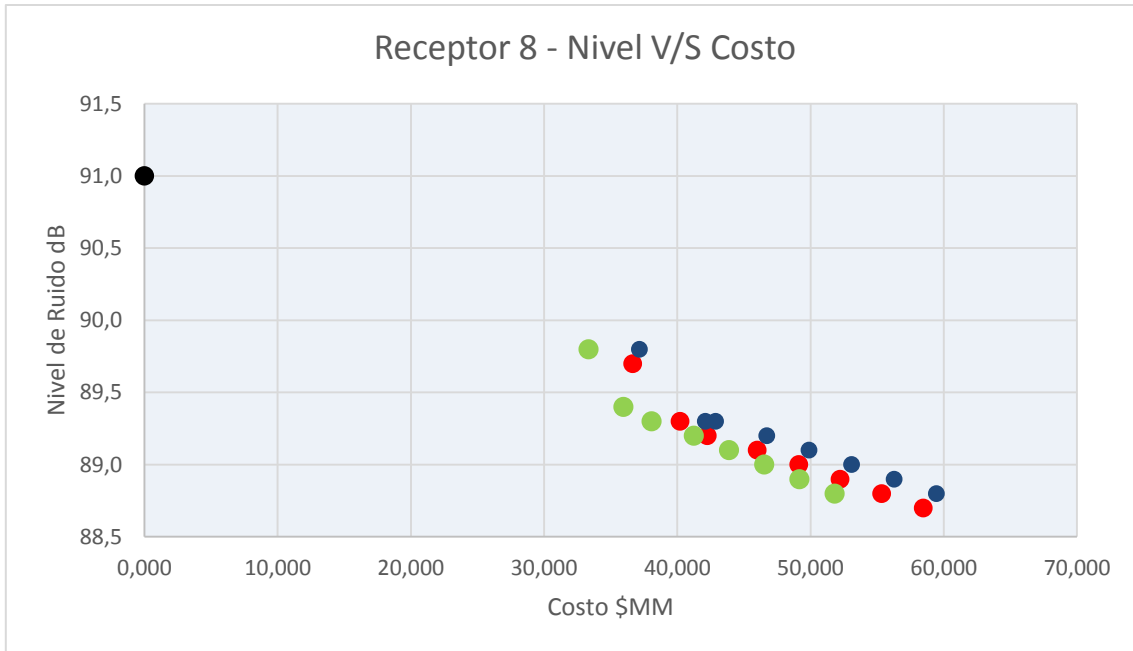


Gráfico 27 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 8.

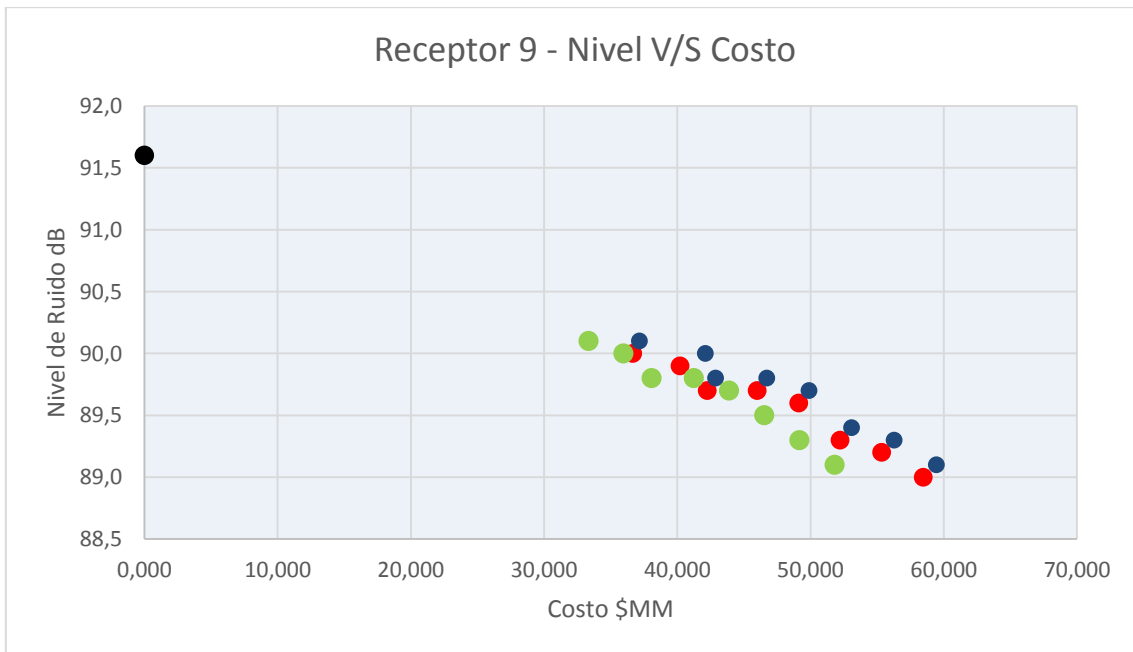


Gráfico 28 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 9.

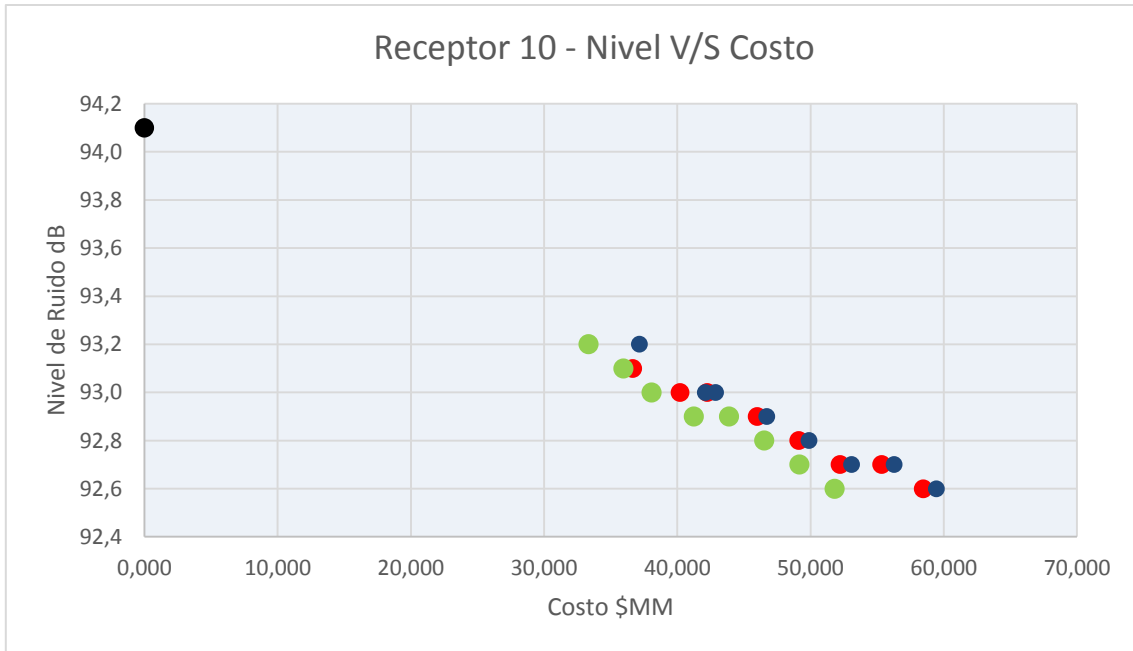


Gráfico 29 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 10.

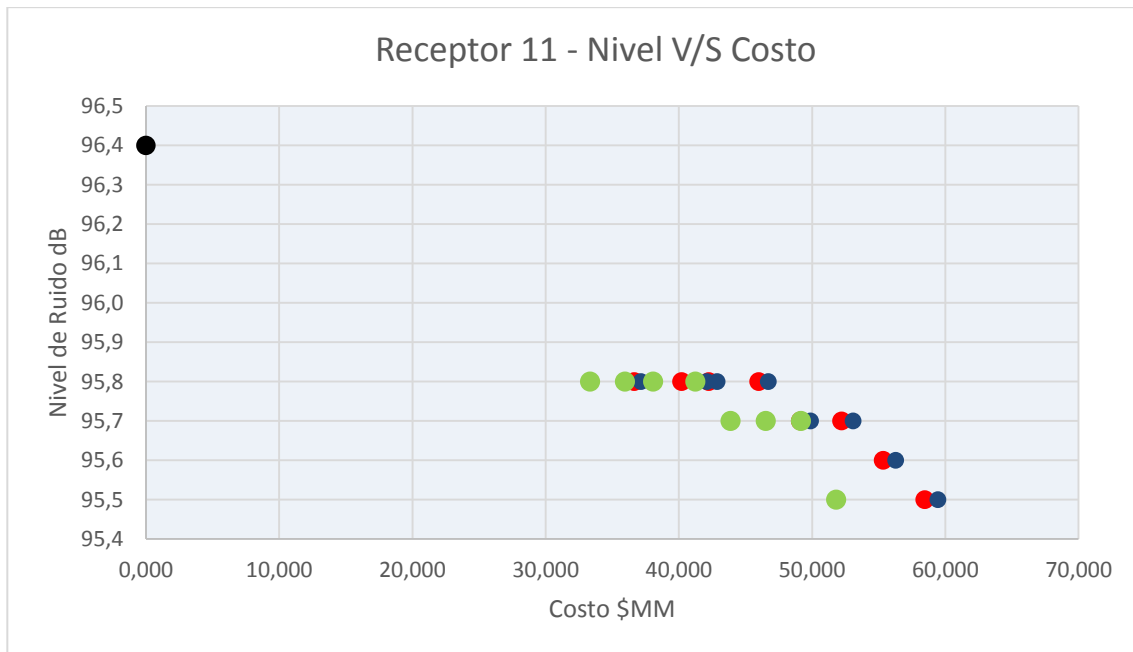


Gráfico 30 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 11.

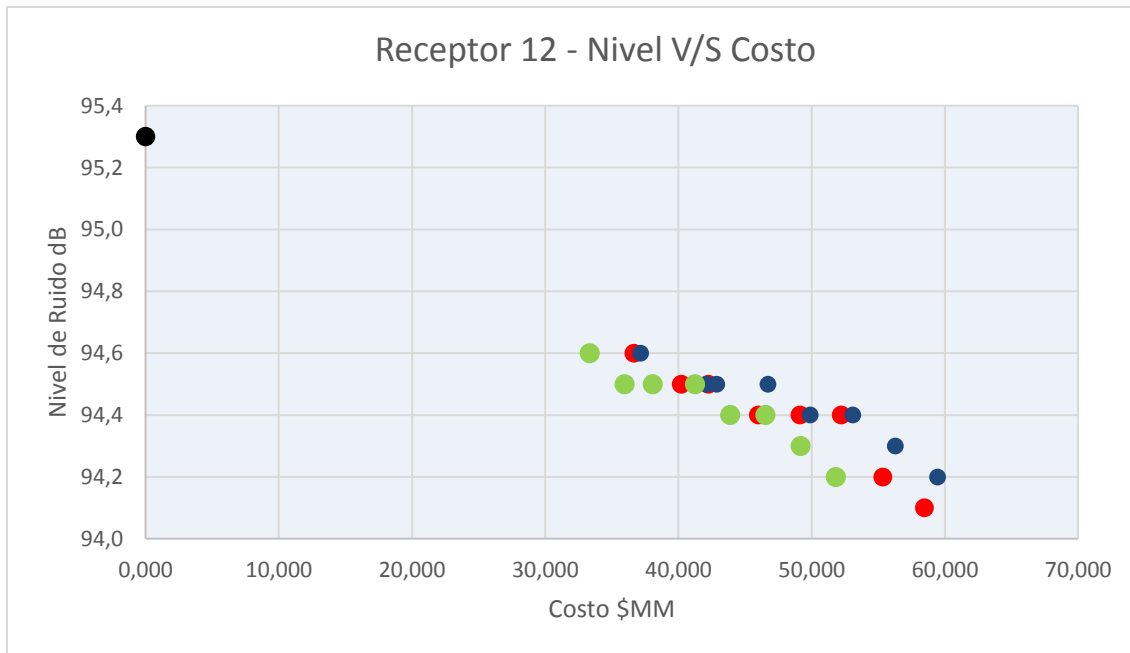


Gráfico 31 Comparación Nivel de ruido vs. Costo. Punto de Recepción 12.

Los factores de importancia de cada receptor se indican en la tabla siguiente

Factor de ponderación por importancia											
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
1.58	1.70	1.24	1.00	1.36	1.44	1.23	1.18	1.27	1.65	2.00	1.83

Tabla 23 Factor de importancia por Punto de Recepción.

Con estos valores e importancia se pondera la reducción de ruido y se calcula un promedio para toda la planta de un único valor de reducción de ruido.

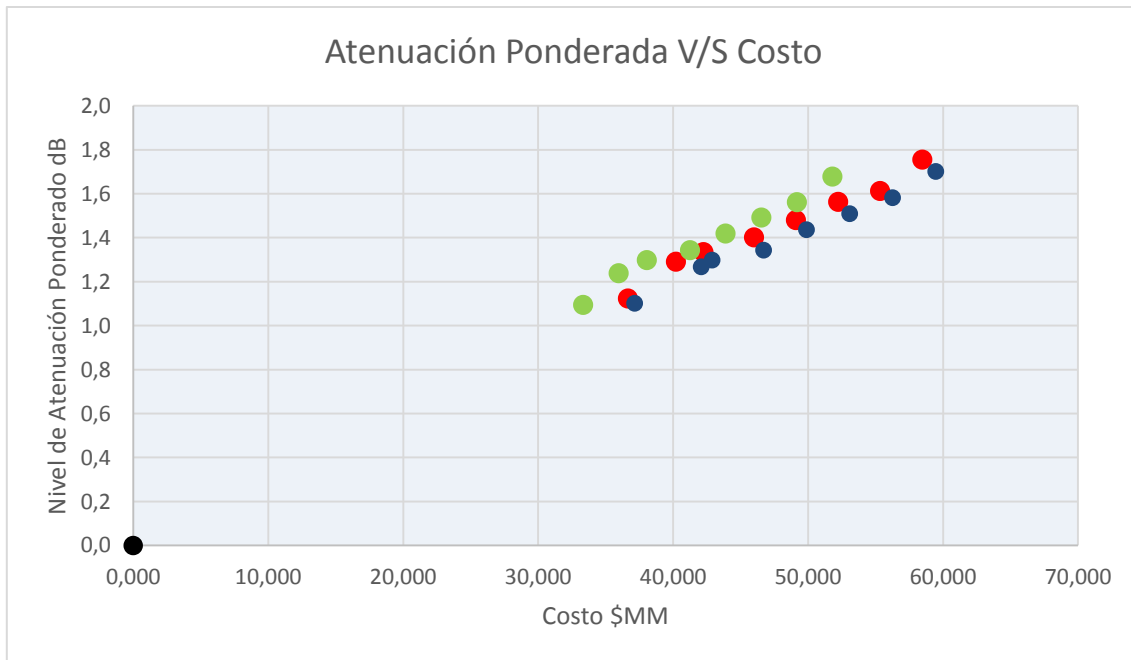


Gráfico 32 Atenuación ponderada vs. Costo según Puntos de Recepción.

No se aprecia un punto de corte óptimo con los escenarios modelados, sin embargo se estableció el corte para un tratamiento de paneles absorbentes de 50mm de espesor (Hipertec Wall 50mm) en base a dos paneles opuestos de 60m x 7m de altura.

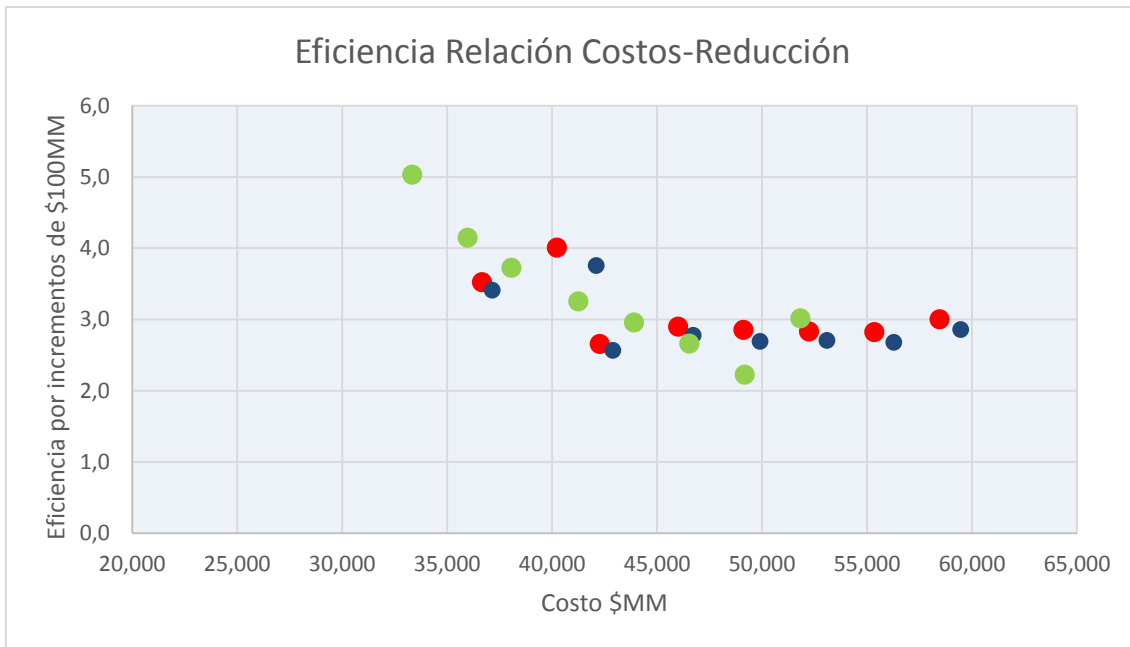


Gráfico 33 Eficiencia Relación Costos-Reducción

Con base a la eficiencia de cada unidad monetaria adicional y la reducción de ruido obtenida, se puede observar la convergencia de la curva a un corte en la meseta o plateau, de eficiencia para un tratamiento acústico de paneles absorbentes de 50mm de espesor (Hipertec Wall 50mm) en base a dos paneles opuestos de 60m x 7m de altura con un costo de 51.8\$MM.

