



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Acústica

*Profesor Patrocinante:
Dr. Jorge Arenas Bermúdez
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile*

*Profesor Colaborador:
Sr. José Espinosa Robles
Ingeniero Acústico
Instituto de Salud Pública de Chile*

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A RUIDO EN LUGARES DE TRABAJO, USANDO ESTIMACIONES ESTADÍSTICAS DE UN MUESTREO SEMI-ALEATORIO DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA

Tesis para optar al grado de:
Licenciado en Acústica
y al título profesional de:
Ingeniero Acústico.

Daniel Eduardo Sánchez Ibáñez
Valdivia, Chile
2005

Agradecimientos

Influido quizás hasta en las más mínimas situaciones de la vida en la niñez (junto a mis papas, mi hermana y la familia, en general, para mi desarrollo educativo esencial), en la adolescencia (los primeros amores, fiestas y demases) fui llevado casi circunstancialmente a recibir el premio más grande que he tenido hasta ahora, el cual fue, haber estudiado y vivido mi juventud y etapa universitaria en Valdivia. Una enorme lista sería posible. Sin embargo, resaltaré efusivamente a todas las personas que de alguna u otra manera influyeron directa o indirectamente en la realización y elaboración de este trabajo.

En primer lugar, agradezco al José (Joselilly) ya que él fue el forjador de este trabajo en sus comienzos y además por todos los conocimientos que he adquirido gracias a él mientras hice la practica en el ISP. Los sabios consejos (en todo ámbito de vida) del David (Davilly). La buena onda, compañerismo y alegría del Mauricio (Mauricilly). La gran ayuda estadística de Don Luis Rodríguez y a todos los del ISP que me faltan. A mis grandes “yuntas” de Santiago como de Valdivia (el Javier, el Janini y el Arturo) y a todos mis amigos y amigas que me acuerdo en este momento (de Santiago el Yamtcha, el Yemo, el Pablo, la Paty, la Pame, mi hermana y el Olaf. Y de Valdivia la Juana, el Mario, el Daniel, el Hector, el Careca, el Raymon, el Ariel, el Mauri, Pachecon, el Andy, Felipe y las minas). Mis gatitos Camboyano, Orión, y Cuchirrumi. A los grandes profesores de la “U” y, por último, a mi querida Angelita.

Sin más, les pido a todos ustedes Muchas Gracias y les aconsejo, a mis 25 años de vida, que lo más deseado y oculto nos espera, ya que, como Neruda nos dejó escrito:

“Es tan poco lo que sabemos
y tanto lo que presumimos,
y tan lentamente aprendemos
que preguntamos, y morimos”.

Dedicado, muy especialmente, para mis queridos papás Mónica e Iván.

Resumen

Este estudio selecciona, adecua y compara dos criterios, extraídos desde normativas nacionales e internacionales, que evalúan la exposición a ruido en lugares de trabajo. Estos criterios de evaluación se basan en estimaciones estadísticas, que consideran un muestreo “aleatorio” de niveles de presión sonora que permite calcular y determinar un valor representativo final (expresado como nivel de presión sonora) y su intervalo de error asociado (que introduce un grado de incertidumbre al determinar el nivel porcentual de certeza de la estimación).

Es desarrollada, además, una caracterización de las condiciones ambientales del ruido, para distintos puestos de trabajo, tomando en cuenta algunas condiciones especiales determinadas para este estudio, y un análisis detallado de los datos registrados. Con esto último, se tabulan los resultados de los valores estimados de ambos criterios para su comparación, según su grado de exactitud (referida al valor explicitado en dosimetrías personales realizadas en los puestos de trabajo examinados) y precisión (de las estimaciones y metodología utilizada). Posteriormente, se describen las principales variables que influyen en una adecuada estimación para, finalmente, obtener y proponer un nuevo criterio de evaluación de ruido ocupacional, cuyo desarrollo metodológico específico es descrito al final de este estudio.

Abstract

This study selects, adapts and compares two criteria, extracted from both national and international standards, that assess the noise exposures in workplaces. These criteria of evaluation are based on statistical estimations, that consider a "random" sampling of sound pressure levels allowing to calculate and to determine a final representative value (expressed as sound pressure level) and their associated error (that introduces a degree of uncertainty when determining the percentage level of certainty of the estimation).

In addition, it is developed, a characterization of the environmental conditions of the noise, for different jobs, taking into account some special conditions determined for this study, and a detailed analysis of the registered data. With these data, the results of the estimated values for both criteria are tabulated for their comparison, according to their degree of accuracy (referred to the value specified in personal dosimetries measured at the tested working places) and precision (of the estimations and used methodology). Later, the main variables that influence a suitable estimation are described. Finally, a new criterion of evaluation of occupational noise, whose specific methodologic development is described at the end of this study, is proposed.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
2. Objetivo General	2
2.1 Objetivos Específicos	2
3. Antecedentes Previos.....	3
3.1 Evaluaciones de Ruido Ocupacional.....	3
3.1.1 Sobre la Ley N° 16.744.....	3
3.1.1.1 Accidentes y enfermedades laborales a causa del ruido.....	4
3.1.1.2 Medidas de prevención y prestaciones	7
3.1.2 Sobre el Decreto Supremo N° 594/99 del MINSAL.....	11
3.1.2.1 Instructivo de Aplicación del D. S. N° 594/99 del MINSAL.....	12
3.1.2.2 Criterios actuales de evaluación.	17
3.2 Teoría Estadística	19
3.2.1 Estadística Descriptiva.	19
3.2.1.1 Conceptos básicos	19
3.2.1.2 Descriptores de posición, dispersión y forma.....	20
3.2.2 Inferencia Estadística	25
3.2.2.1 Distribuciones de tendencia central.....	26
3.2.2.2 Distribución “t” de Student e Intervalo de Confianza	27
4. Criterios de evaluación de ruido bajo estimaciones estadísticas	30
4.1 Criterio de estimación de la media aritmética.....	30
4.2 Criterio de estimación logarítmica	33
5. Desarrollo de las mediciones	35
5.1 Instrumentación	35
5.2 Metodología de muestreo	36
6. Resultados y Análisis.....	40
6.1 Análisis previo y consideraciones especiales.....	40

6.1.1	Exclusión de algunas mediciones.....	40
6.1.2	Adaptación para representatividad de las muestras	42
6.1.3	Otras consideraciones de importancia.....	46
6.2	Clasificación de las mediciones	47
6.2.1	Unimodales simétricas al $L_{Aeq,Dos}$ (poca fluctuabilidad):.....	48
6.2.2	Unimodales asimétricas (negativas) al $L_{Aeq,Dos}$ (mucho fluctuabilidad):	50
6.2.3	Bimodales (cíclica fluctuabilidad):	52
6.3	Análisis comparativo	54
6.3.1	Exactitud de las mediciones	54
6.3.2	Incertidumbre total de las estimaciones	57
6.3.3	Número y tiempo de duración de las muestras	62
6.4	Desarrollo estadístico de las estimaciones	63
7.	Conclusiones.....	69
7.1	Conclusión general	69
7.2	Conclusiones específicas	70
8.	Propuestas y Proyecciones.....	71
8.1	Desarrollo metodológico específico y herramientas de trabajo	71
8.2	Proyecciones sobre otros niveles representativos	80
9.	Bibliografía y Referencias	80
9.1	Referencia normativa.....	80
9.2	Referencia bibliográfica y de investigación.	81
9.3	Referencia Web.	82
ANEXO I.....	ANEXO I.....	84
Tabla N° 1:	Datos registrados en todas las mediciones	85
Tabla N° 2:	Estimaciones realizadas de ambos criterios	86
ANEXO II	ANEXO II	87
Criterio de estimación estadística de un nivel de presión sonora representativo de una exposición a ruido ocupacional.		88
Ejemplo de utilización.....		92

ANEXO III.....	94
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “poca fluctuabilidad” (1):.....	95
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “poca fluctuabilidad” (2):.....	96
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “poca fluctuabilidad” (3):.....	97
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “cíclica fluctuabilidad” (1):.....	98
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “cíclica fluctuabilidad” (2):.....	99
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “cíclica fluctuabilidad” (3):.....	100
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “muchísima fluctuabilidad” (1):	101
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “muchísima fluctuabilidad” (2):	102
Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “muchísima fluctuabilidad” (3):	103

1. Introducción

El ruido es un agente físico cuyas características lo llevan a ser uno de los contaminantes más comunes en las rutinas, actividades y/o faenas que realizan los trabajadores en sus distintos lugares de trabajo.

En la actualidad, las evaluaciones de ruido en los lugares de trabajo (ruido ocupacional), adquieren una considerable importancia a la hora de notificar la presencia del ruido como factor de riesgo y daño en la salud de los trabajadores. Este daño en la salud afecta, principalmente, al sistema auditivo generándose una sordera ocupacional o hipoacusia (en cualquiera de sus grados), causada por la exposición a ruido en los ambientes de trabajo, siendo una de las principales enfermedades profesionales que afectan a los trabajadores, ocupando un 38% de éstas¹ en nuestro país.

La relevancia primordial de este estudio es desarrollar un criterio metodológico detallado de las evaluaciones de ruido ocupacional utilizando sonómetros, para generalizarlo y homogeneizarlo a los organismos involucrados en el área, debido a que, en la actualidad, existen ciertas diferencias en la metodología de medición, evaluación y en la instrumentación necesaria que posee cada organismo. Lo anterior se ve reflejado claramente en las diferencias entre los organismos pertenecientes a las áreas pública y privada que operan en Chile.

¹ Sistema Automatizado de Información en Salud Ocupacional, SAISO 2001, MINSAL

2. Objetivo General

Obtener un nuevo criterio de evaluación de la exposición a ruido ocupacional, basado en estimaciones estadísticas de un muestreo representativo de niveles de presión sonora, en los lugares de trabajo, utilizando sonómetros.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Estudiar el comportamiento y distribución de los niveles de presión sonora en los lugares de trabajo.
- b) Comparar y proyectar evaluaciones, basadas en estimaciones estadísticas, para mediciones de ruido, utilizando sonómetros.
- c) Analizar las variables que influyen en la incerteza de las mediciones de ruido y en las estimaciones estadísticas.
- d) Proponer un desarrollo metodológico específico acondicionado para organismos fiscalizadores del D. S. N° 594/99 del MINSAL [1], introduciendo nuevas herramientas de trabajo para evaluaciones de ruido ocupacional en Chile.

3. Antecedentes Previos

3.1 Evaluaciones de Ruido Ocupacional

Las evaluaciones de ruido ocupacional son realizadas por distintos organismos tanto públicos como privados, que buscan determinar el grado de exposición a ruido de los trabajadores en sus lugares de trabajo. Tales organismos presentan una clara diferenciación en la manera de enfocar sus evaluaciones. Por un lado, se encuentran todos aquellos organismos que son administradores del Seguro Social según Ley N° 16.744 [2], que establece las normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, y por el otro, a los organismos fiscalizadores del cumplimiento del Decreto Supremo N° 594 del MINSAL, que aprueba el reglamento sobre las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

3.1.1 Sobre la Ley N° 16.744

Esta ley declara obligatoriedad del Seguro Social, que proporciona las prestaciones e indemnizaciones necesarias, según sea el caso, contra riesgos y daños por accidentes del trabajo y enfermedades profesionales. Los organismos administradores de la Ley N° 16.744 tienen por misión asesorar y prevenir que los trabajadores de una entidad empleadora² afiliada, en particular, no sufran accidentes o contraigan enfermedades en el desarrollo de sus actividades laborales.

Una exposición a ruido podrá ser causa de accidente o enfermedad profesional pudiendo impedir, en ciertos grados, que los trabajadores efectúen sus tareas correctamente. Estos distintos grados de impedimento (por accidente o enfermedad debido a la exposición a algún agente, como el ruido), se clasifican según los efectos que producen en el trabajador, desde incapacidad temporal, invalidez parcial, invalidez total, gran invalidez y hasta la muerte.

² Se entenderá como “entidad empleadora” a toda empresa, institución, servicio o persona que proporcione trabajo (artículo 25 de la ley N° 16.744).

Los organismos administradores (de la Ley N° 16.744) que operan sin fines de lucro, en la actualidad, son la Asociación Chilena de Seguridad, el Instituto de Seguridad del Trabajo, la Mutual de Seguridad de la Cámara Chilena de la Construcción, y el Instituto de Normalización Previsional. También, existen empresas con administración delegada.

3.1.1.1 Accidentes y enfermedades laborales a causa del ruido

Los accidentes más comunes que afectan a los trabajadores, a causa del ruido, son producidos cuando no son percibidas las señales de alarma ante una acción de riesgo inminente. Estas señales de alarma, que son originadas desde equipos electroacústicos o personas dentro de un lugar de trabajo, pueden no ser percibidas debido a distintas circunstancias propias del área de trabajo o por situaciones particulares [12, 13, 19 y 20] del trabajador afectado.

Por un lado, las circunstancias ambientales de un área de trabajo, varían según el tipo de rubro de la entidad empleadora. Para distintos tipos de rubro existen, a la vez, diferencias en el número y en los niveles de presión sonora de las fuentes de ruido a la que se encuentra expuesto el trabajador. Estas fuentes de ruido pueden ser aquellas máquinas, acciones o procesos que utiliza en particular, como también, las que provengan desde otras situaciones o actividades dentro y/o fuera del lugar de trabajo. Por lo tanto, la suma de los niveles de ruido generados por las fuentes puede conllevar al enmascaramiento de la voz de un compañero de trabajo o de la señal de alarma proveniente de un altavoz, aún cuando, el trabajador afectado, tenga puesta o no alguna protección auditiva. Esta última situación es llamada interferencia con la comunicación y es uno de los efectos nocivos del ruido. Cabe señalar que la elección y uso de protectores auditivos debe ser la adecuada para proteger a los trabajadores, en relación directa con el tipo y nivel de ruido de la exposición, permitiendo percibir las señales de alarma.

Las situaciones particulares, en cambio, para un trabajador afectado, varían según otros efectos nocivos del ruido que involucran aspectos psicológicos y aspectos fisiológicos que afectan, entre otros, a la propia capacidad auditiva de la persona, la cual podría presentar, eventualmente, una disminución producto de una previa exposición a ruido. En el aspecto fisiológico el ruido actúa alterando elementos del organismo humano como el

sistema auditivo, el sistema nervioso central, el sistema cardiovascular, el aparato respiratorio, el aparato digestivo, la visión y el equilibrio. En el aspecto psicológico, en cambio, el ruido puede llegar a provocar perturbaciones del sueño, estrés, molestia generalizada y disminución del rendimiento productivo individual. La figura N° 1 nos describe los principales factores involucrados en la causa de un accidente laboral y/o enfermedad profesional.

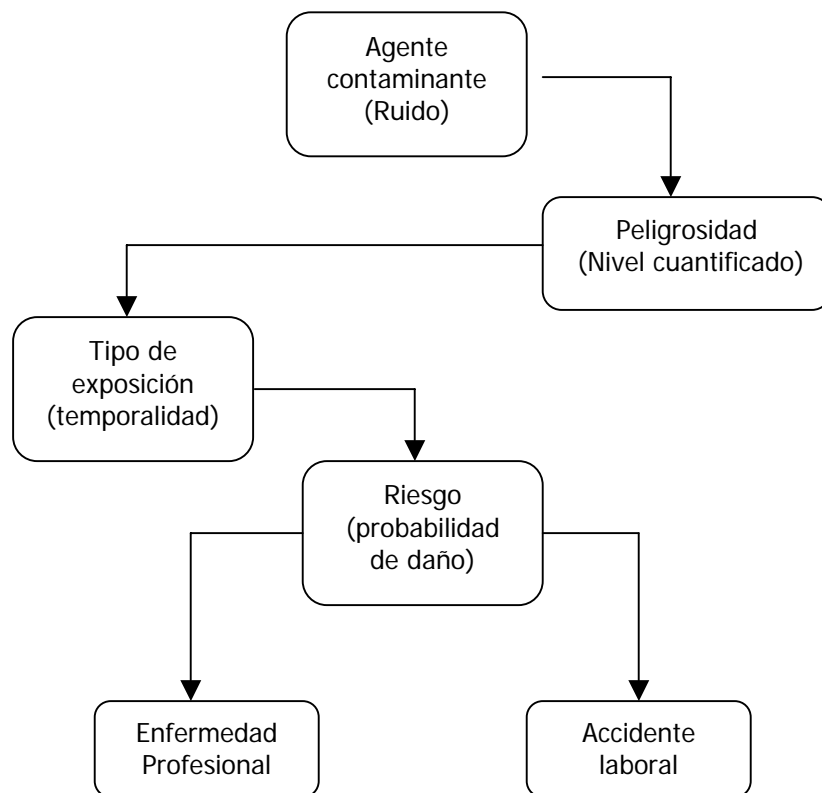


Figura N° 1: Diagrama de factores involucrados en la causa de un accidente laboral.

Entonces, podemos señalar que los accidentes de trabajo que son causados por el ruido, dependerán de distintos factores que involucran, en forma particular como en conjunto, a los efectos nocivos producidos por una determinada exposición.

Por otro lado, la hipoacusia o sordera profesional es la principal enfermedad causada por el ruido. Esta es de tipo fisiológico y se presenta en distintos grados según el daño

producido en una exposición a ruido de un trabajador. La hipoacusia representa la pérdida de la audición que, a su vez, se define como la reducción de la capacidad auditiva.

Los principales factores que influyen, directamente, en la reducción de la capacidad auditiva, son el tiempo de exposición e intensidad de ruido a la que se encuentra expuesto un trabajador. Por ejemplo, cuando ocurren situaciones de gran intensidad sonora como explosiones y/o golpes estruendosos, no habituales y de corta duración, se podría, eventualmente, presentar un daño temporal o, en algunos casos, permanente en la audición del trabajador o trabajadores expuestos. Es posible estimar el riesgo de pérdida auditiva según la directa relación entre el tiempo de exposición y el nivel de presión sonora representativo diario, para una jornada laboral de 8 horas, en la siguiente tabla:

Nivel de ruido diario (dBA - 8 Horas)	Pérdida a 4 KHz. Caída de 20 dB bajo lo normal		Pérdida a 0,5 – 1 y 2 KHz. Caída 25 dB bajo lo normal	
	% Población presenta efectos 10 años	% Población presenta efectos 25 años	% Población presenta efectos 10 años	% 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 N° 1: Porcentaje de la Población que sufre un efecto de daño a la audición en función de la dosis de ruido diaria, a los 10 y 25 años de exposición, según [4].

Por ejemplo, la capacidad auditiva varía de una persona a otra influenciada, probablemente, por una exposición a ruido anterior que ya genere daños en la salud del trabajador y pérdida de la audición. El tipo de pérdida más comúnmente encontrado en los trabajadores es la sensorineural. Una pérdida sensorineural puede deberse a daños en las estructuras del oído interno (daño irreversible de células ciliadas y lesiones en la cóclea) como en el nervio auditivo. Los distintos tipos de hipoacusias que pueden ser detectadas en los trabajadores se clasifican e identifican como:

- Hipoacusias de transmisión o conducción, cuando el problema auditivo está localizado en oído externo y/o medio.
- Hipoacusias sensorineurales, cuando el daño es en oído interno y fibras nerviosas.
- Hipoacusias mixtas, cuando existe un componente de transmisión y sensorineural.

Estas distintas hipoacusias son cuantificables a través de ensayos médicos llamados “audiometrías” los cuales entregarán un resultado registrado usualmente en un gráfico estándar llamado audiograma.

3.1.1.2 Medidas de prevención y prestaciones

Dentro de las medidas de asesoramiento preventivo para el agente ruido, entregadas por los organismos administradores, se encuentra la implementación de un programa de prevención, específicamente un “programa de control y seguimiento de trabajadores expuestos a ruido ocupacional, para prevenir que (los trabajadores) adquieran una sordera profesional” (ver figura N° 2), según la “Guía técnica para la evaluación de los trabajadores expuestos a ruido y/o con sordera profesional” [4]. Las medidas de control a tomar incluyen la evaluación general y control de ruido de los lugares de trabajo de las entidades empleadoras afiliadas y la capacitación adecuada a los trabajadores, del uso de cualquier elemento de protección personal o señalética instalada.

En la evaluación general de ruido se pretende integrar todas aquellas condiciones ambientales características del lugar de trabajo como, por ejemplo, la influencia de ruido exterior, ruido de fondo, evaluaciones diarias por áreas o puestos de trabajo, evaluaciones horarias especiales y análisis de las fuentes de ruido. Estas evaluaciones tendrán que tomar en cuenta los límites máximos permisibles del Decreto Supremo N° 594/99 del MINSAL y la metodología de medición descrita en el Instructivo de aplicación [3] del mismo Decreto (Ver Punto 3.1.2.1). Una vez evaluadas las condiciones ambientales se podrán establecer las medidas de control de ruido en las fuentes de ruido, en el camino de transmisión o en

los trabajadores afectados, que correspondan según sea el caso dentro de la entidad empleadora afiliada. Algunos métodos de control son presentados en el siguiente listado:

- ✓ Planificación Inicial (ubicación de procesos, selección de equipos y maquinarias, diseño e infraestructura)
- ✓ Mantenimiento adecuado de equipos y máquinas
- ✓ Sustitución de equipos y maquinarias por otros menos ruidosos
- ✓ Aislamiento de procesos, equipos y maquinarias ruidosas
- ✓ Limitar tiempos de exposición, efectuar cambios en la forma de trabajo
- ✓ Elementos de protección auditiva

Tanto para las medidas de control de ruido efectuadas como en el uso de protección auditiva se contemplan capacitaciones del personal, realizadas por expertos que deberán entregar toda la información recurrente sobre las medidas implementadas y su correcta utilización.

Las prestaciones médicas o de servicios que realizan los organismos administradores involucran todas las acciones necesarias de traslado, atención médica y medicamentos, entre otros, en caso de accidente o enfermedad profesional.

Dentro de las prestaciones medicas, referentes al ruido, se encuentran los procesos necesarios de seguimiento de los trabajadores expuestos a ruido ocupacional. Un procedimiento de seguimiento contempla, entre otras cosas, la detección de aquellos trabajadores afectados en su salud por el ruido o evaluados como *Con Riesgo* de contraer sordera profesional. En la actualidad existen tres etapas que consideran una serie de exámenes auditivos (audiometrías), que son usados con el objeto de detectar los efectos nocivos del ruido sobre la capacidad auditiva de los trabajadores. En la primera etapa se realiza una evaluación de monitoreo que contempla tres audiometrías llamadas, respectivamente, como de pesquisa, base y de confirmación. Luego de que la audiometría de confirmación detecte anomalías en la capacidad auditiva de un trabajador en particular, se lleva a cabo una audiometría de diagnóstico.

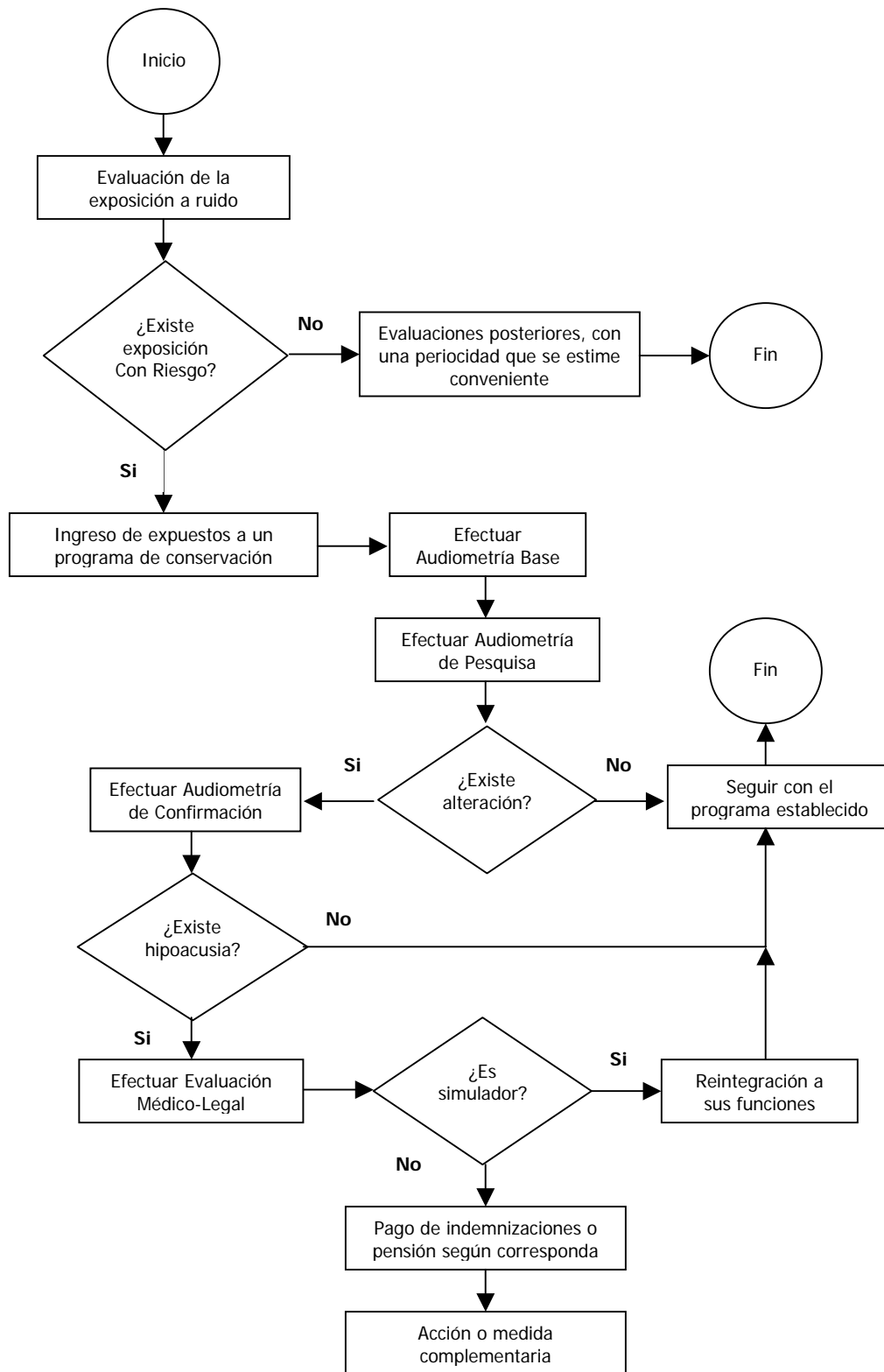


Figura N° 2:Diagrama metodológico básico de control y seguimiento de trabajadores expuestos a ruido y/o con sordera profesional.

Por último, se realiza una evaluación auditiva médico legal. Esta última etapa, que contempla una serie de audiometrías (umbrales de audición aéreos, óseos, logaudiometría y pruebas de topodiagnóstico) y otros exámenes como impedanciometría, es de especial importancia ya que este examen brinda la información más precisa sobre el estado o capacidad auditiva de un trabajador, determinando posibles alteraciones que conlleven a la cuantificación del grado de sordera en que se encuentre.

La determinación final, entregada en la evaluación médico-legal, permite frenar el deterioro en la salud del trabajador afectado, cuantificándolo como porcentaje de pérdida de la audición. La siguiente tabla (N° 2) nos menciona el porcentaje de pérdida, su descripción y acción a tomar luego de la evaluación.

Porcentaje de Pérdida de la audición	Descripción	Acción
15%-65%	Pérdida de la audición	Indemnización a pensión parcial
40%-65%	Incapacidad para el trabajo específico	Pensión parcial
70%-90%	Incapacidad para cualquier trabajo	Pensión total

Tabla N° 2: Porcentaje de pérdida de la audición y acciones dispuestas en artículo N° 25 del D. S. N° 109/68.

El porcentaje de pérdida de la audición es calculado según [5 y 11] y se determina, en la evaluación audiométrica, existiendo daño médico legal, cuando la pérdida auditiva promedio es mayor de 25 dB en las frecuencias de referencia.

Las audiometrías son realizadas en condiciones especiales que requieren de una infraestructura mínima para ello. Una audiometría se podrá efectuar, entonces, en una sala audiométrica (que deberá contar con parlantes) o en una cabina audiométrica (que deberá contar con audífonos) las cuales indistintamente deberán cumplir con ciertas condiciones ambientales, establecidas en [10] y en normativa internacional, como por ejemplo, ruido de fondo y campo de transmisión del sonido.

El ensayo consiste básicamente en transmitir una señal de prueba, generada por un audiómetro y transmitida a través de parlantes o audífonos, hacia un paciente o trabajador

que percibirá esta señal y responderá en un intervalo de tiempo a determinar y según sea su capacidad auditiva a través de algún aparato de respuesta que se le proporciona. El audiómetro es un generador de tonos puros que envía la señal filtrada en bandas de frecuencia específicas y que además, genera señales moduladas y envía señales que son transformadas en impulsos vibratorios para identificar pérdidas auditivas por vía ósea. Posteriormente, en este examen se evalúan las alteraciones de la audición en relación con estímulos acústicos de referencia (ceros audiométricos). Finalmente, el nivel de intensidad mínimo al cual los sonidos producidos por el audiómetro pueden ser percibidos por el trabajador a examinar, se registrarán en el audiograma. El detalle específico sobre los umbrales de audición necesarios y la competencia de los examinadores para cada examen se encuentra en [9].

3.1.2 Sobre el Decreto Supremo N° 594/99 del MINSAL.

Este Decreto Supremo, que aprueba el reglamento sobre las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, determina, para el agente físico ruido, en los artículos 70 a 82, del título IV, párrafo 3°, los límites máximos permisibles según el tipo de ruido y duración de la exposición a este agente. Además, señala y define tres tipos de ruido característicos que son el ruido estable, fluctuante e impulsivo.

Los organismos fiscalizadores del D. S. N° 594, son aquellas instituciones públicas pertenecientes a los Servicios de Salud que determinan el cumplimiento señalado en el Decreto y verifican las acciones realizadas por los organismos administradores del Seguro Social según la Ley N° 16.744, dejando una “fiscalización delegada” propia a realizar por estos organismos.

Por otro lado, el Decreto Supremo no señala una metodología propia para la evaluación y cálculo de la exposición a ruido diaria, pero si señala, en su artículo 117, que “el Instituto de Salud Pública de Chile tendrá el carácter de laboratorio nacional y de referencia en las materias a que se refiere los Títulos IV y V de este Reglamento. Le corresponderá asimismo fijar los métodos de análisis, procedimientos de muestreo y técnicas de medición que deberán emplearse en esas materias”. Por lo tanto, fue necesaria

la creación de un documento, bajo resolución oficial, del Instituto de Salud Pública de Chile. Este documento es analizado, en forma particular, a continuación.

3.1.2.1 Instructivo de Aplicación del D. S. N° 594/99 del MINSAL.

El Instructivo de Aplicación (del D. S. N° 594/99 del MINSAL) nace bajo el anhelo de conformar y homogeneizar una metodología básica para evaluaciones de ruido ocupacional. Debido a la dificultad para realizar estas evaluaciones en distintos lugares de trabajo, el instructivo no señala un procedimiento único de medición pero si determina las pautas básicas, para lograr mediciones representativas (ver figura N° 4) y evaluar una exposición a ruido ocupacional. Tal exposición se evalúa, entonces, como *Con Riesgo* o *Sin Riesgo* (de adquirir sordera profesional) según sea el valor de la “Dosis de Ruido Diaria” (*DRD*) calculado después de una medición realizada a un trabajador o puesto de trabajo representativo, en particular (ver figura N° 5).

Este instructivo documenta algunos aspectos de suma importancia para el desarrollo efectivo de la evaluación como el del estudio previo a realizar, la instrumentación y su calibración, la ubicación del micrófono, el informe de los datos registrados y los dos criterios de evaluación vigentes en la actualidad para el cálculo de la *DRD* (Ver Punto 3.1.2.2).

En principio, son definidos algunos descriptores y parámetros de importancia a utilizar, según sea el caso, en las mediciones. Estos descriptores son el nivel de presión sonora (L_p), el nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eq}), el nivel de presión sonora máximo y mínimo (L_{max} y L_{min} , respectivamente) y el nivel de presión sonora peak (L_{peak}). Los parámetros son los tres tipos de ruido establecidos en el D. S. N° 594/99 del MINSAL (estable, fluctuante e impulsivo) y la respuesta “Lenta” o “Slow” del instrumento de medición.

Luego en el estudio previo (ver figura N° 3), que será de gran ayuda e importancia al determinar los puestos de trabajo a evaluar, se señala que las mediciones puntuales son inaplicables en este tipo de mediciones debido a las múltiples tareas que puede realizar un trabajador en particular. En este estudio se busca determinar y describir adecuadamente los puestos de trabajo seleccionados a partir de una evaluación inicial llamada screening (la

cual considera un criterio que descarta aquellos puestos de trabajo que presentan niveles de presión sonora menores a 80 dBA en una medición de un L_{Aeq} de 1 minuto), con la cual, además, se podrá determinar el tipo de ruido existente. En la descripción de los puestos de trabajo se desarrollan los conceptos de ciclos y grupos homogéneos de trabajo. Como ciclo de trabajo será denominado a un conjunto de actividades que son realizadas en intervalos de tiempo periódicos, repetitivos durante la jornada laboral, de algún puesto en particular. Los grupos homogéneos son determinados para extrapolar la exposición de ruido en un grupo de trabajadores caracterizados por muy similares condiciones de exposición. Esta última acción conlleva a minimizar el número de mediciones personales o por puesto de trabajo cuando uno o más trabajadores son representativos de un conjunto mayor de ellos.

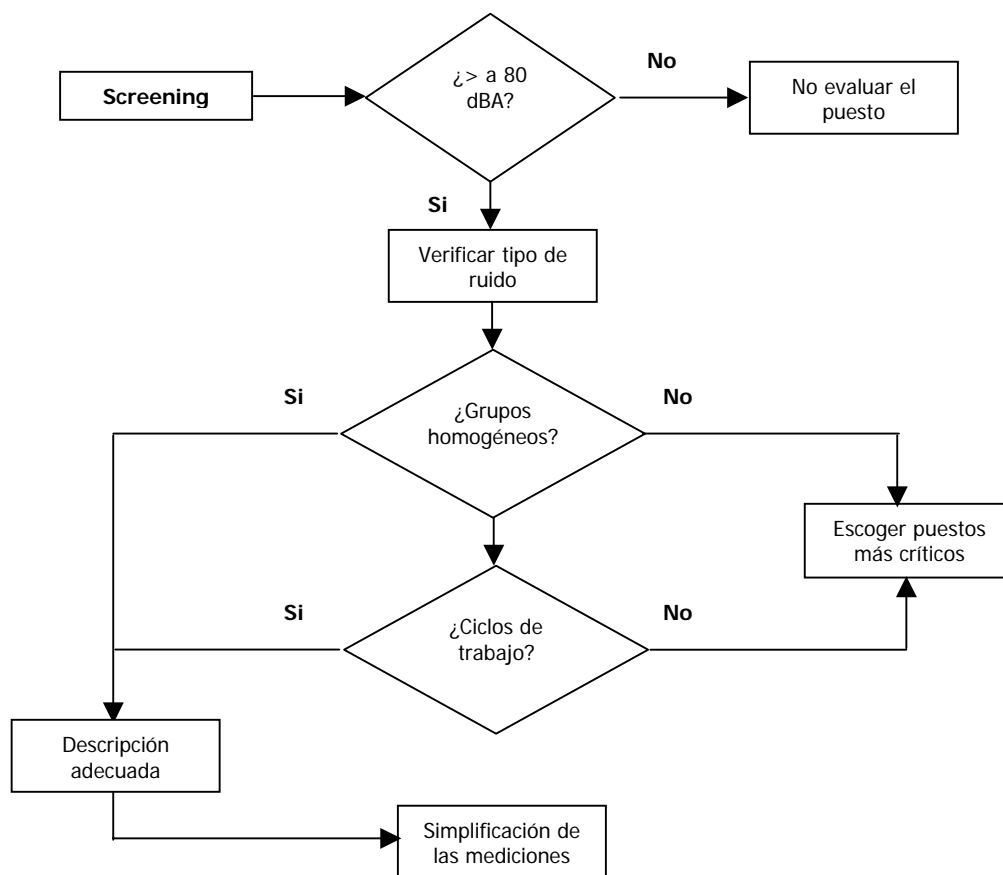


Figura N° 3:Esquema de acciones y determinaciones en el estudio previo.

Se prosigue con el detalle y condiciones mínimas que deberán presentar los instrumentos para la toma de muestras en los lugares de trabajo. Los dos instrumentos posibles a utilizar son el dosímetro y el sonómetro integrador, cada uno de ellos con su respectivo calibrador acústico. Todos los instrumentos de medida, deberán estar en concordancia con la normativa internacional vigente³, siendo, mínimo de tipo 2, para sonómetros y dosímetros, y para clase 2 o superior en el calibrador acústico.

Se señala, también, que todos los instrumentos, inclusive el calibrador, deberán ser ajustados y calibrados con una cierta periodicidad según normas de fabricación, dentro de los márgenes tolerables establecidos por el organismo de referencia en la “Guía de mantención y calibración de equipos” [6] del Instituto de Salud Pública.

Se indica, además, que los equipos son susceptibles a interferencias causadas por radiofrecuencias. Para esos casos, se hace mención sobre las medidas a tomar, refiriéndolas a normativas señaladas en el documento.

Dentro del proceso de medición, se señala acerca de la calibración del instrumento y sobre un criterio de la verificación de la calibración posterior a las mediciones. El documento señala que se deberán calibrar adecuadamente los instrumentos antes y después de las mediciones. Este último punto, no señala claramente que la calibración posterior en terreno es sólo una verificación de la misma y no una nueva calibración. Gracias a lo señalado anteriormente, surge un criterio para estimar o desestimar las mediciones realizadas. Este criterio señala que la diferencia aritmética, entre el valor de calibración (en dB) y su valor al final de las mediciones (en la verificación), no deberá ser mayor o igual a 1 dB, cuando este se verifica con el mismo calibrador. Por lo anterior, se aceptarán las mediciones que cumplan con una diferencia aritmética menor a 1 dB y se descartarán aquellas que sobrepasan o sean iguales a este valor límite.

Se especifican distancias mínimas y máximas en la ubicación del micrófono cuando las mediciones son realizadas con dosímetros y con sonómetros integradores. Se señala, además, sobre la orientación de micrófono y las condiciones especiales de medición del sonómetro referidas principalmente a su forma de uso y en situaciones particulares de medición cuando un trabajador se encuentra o no en su puesto de trabajo.

³ Establecido en normas IEC 651–1979, IEC 804–1985 y ANSI S 1.4–1983, para sonómetros integradores y dosímetros, y en normas ANSI S 1.40-1984 e IEC 942, para calibradores acústicos.

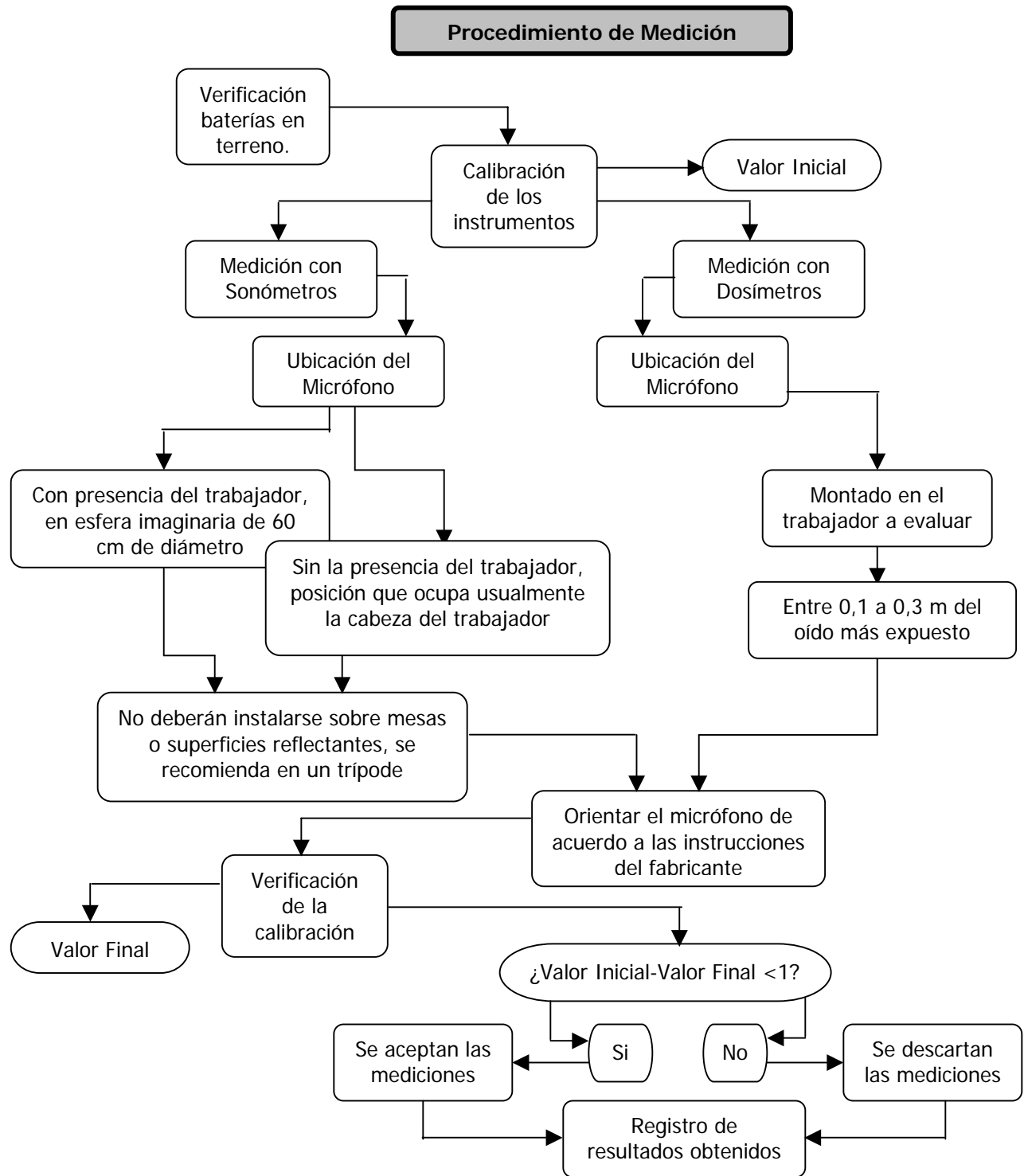


Figura N° 4:Esquema básico de los procedimientos de medición.

Las mediciones que caractericen aquellas condiciones ambientales en presencia de ruido estable o fluctuante serán registradas bajo la ponderación “A” de frecuencia y la respuesta temporal Lenta o Slow del instrumento a utilizar. Para mediciones de ruido impulsivo, en cambio, es aplicada la ponderación “C” de frecuencia y respuesta del equipo en “peak”.

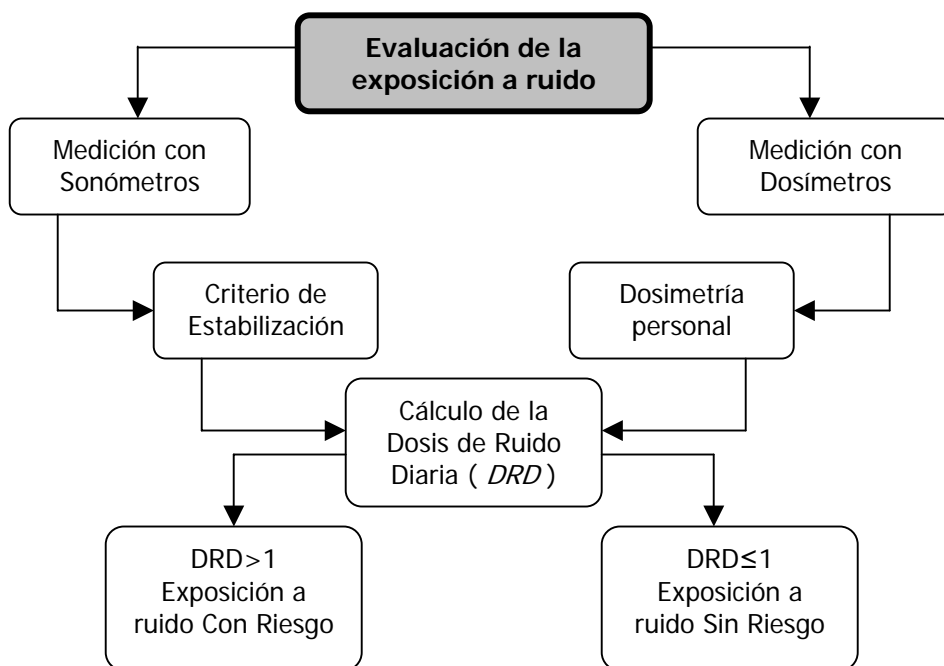


Figura N° 5:Diagrama esquemático de evaluaciones de ruido ocupacional actuales.

Sobre la evaluación se explicita un criterio preventivo cuando, en las evaluaciones iniciales o screening, no es posible cuantificar distintos parámetros de medición de importancia en un mismo evento de ruido. Este criterio determina realizar una segunda medición, por ejemplo, del nivel de presión sonora peak, en dBC, cuando, luego de la primera evaluación, es determinado un valor de nivel de presión sonora máximo cuyo valor es superior a 110 dBA. Se establece descartar aquellas situaciones anómalas cuando son producidos ruidos intencionalmente o inesperados no habituales de la jornada de trabajo.

Sobre el tiempo de medición y cálculo de la dosis de ruido diaria se establecen dos criterios de evaluación que son los de dosimetría personal, utilizando dosímetros, y el de estabilización de los niveles de presión sonora equivalentes, en dBA (L_{Aeq}), que se utiliza para mediciones realizadas con sonómetros integradores (Ver punto 3.1.2.2). En todos los casos la dosis de ruido diaria de la exposición a ruido ocupacional no deberá ser mayor a 1 (o 100% en caso porcentual). Además, no serán permisibles, en cualquier lugar de trabajo, valores medidos mayores a 115 dBA y 140 dBC.

Por último, se señalan los parámetros mínimos que deberán tener los informes de los resultados arrojados en las mediciones de ruido ocupacional que, entre otros, deberán desarrollar una descripción de las principales actividades y/o puestos de trabajo asociados a estos y el plan de mediciones utilizado.

3.1.2.2 Criterios actuales de evaluación.

Uno de los criterios de evaluación de la exposición a ruido ocupacional es el de dosimetrías personales. Estas mediciones, realizadas con dosímetros, son las ideales para este tipo de evaluaciones ya que el instrumento es creado para tal propósito resultando de ello un valor fidedigno y confiable de la exposición real. Se recomienda en primer lugar realizar las mediciones durante toda la jornada laboral. En caso contrario, se señala una relación que determinan la dosis de ruido diaria cuando las mediciones no cubren toda la jornada laboral, caracterizadas por los tiempos de medición y exposición total. También, se señala que se proyectará la dosis en los casos caracterizados por ciclos de trabajo representativos. La relación mencionada anteriormente es presentada a continuación:

$$\text{Dosis Proyectada Jornada Total} = \frac{\text{Dosis medida} * \text{Tiempo total de exposición}}{\text{Tiempo de medición}}$$

En segundo lugar, se establece el criterio de estabilización (de los L_{Aeq}) que presenta una metodología particular para su desarrollo. Este criterio establece la medición de eventos o actividades particulares representativas de un puesto de trabajo, basado en lecturas sucesivas del L_{Aeq} por cada 5 minutos (o más). Luego del primer valor establecido de L_{Aeq} transcurridos los primeros 5 minutos, prosigue la lectura y registro de los sucesivos

L_{Aeq} correspondientes, cada 5 minutos, sin resetear el equipo de medición. Las mediciones continuaran hasta que la diferencia aritmética entre dos L_{Aeq} consecutivos registrados, pasados los primeros 5 minutos, sea menor a 1 dBA (una medición deberá tener como mínimo una duración de 15 minutos). Se determina que el último valor, de L_{Aeq} registrado, es el valor representativo del evento de ruido medido. Una vez obtenidos uno o más valores de L_{Aeq} , mediante el criterio de estabilización, se calcula la dosis de ruido diaria por puesto de trabajo según la siguiente relación:

$$\text{Dosis} = \frac{Te_1}{Tp_1} + \frac{Te_2}{Tp_2} + \dots$$

donde:

Te_1 = tiempo de exposición total para el evento de ruido “1” (no el tiempo de las mediciones efectuadas) que es representado por el valor del $L_{Aeq(1)}$. Para Te_2 la explicación es análoga.

Tp_1 = tiempo máximo de exposición permitido para el evento de ruido “1” representado por el valor del $L_{Aeq(1)}$. Para Tp_2 la explicación es análoga.

Los valores referidos como “tiempo máximo de exposición permitido” son aquellos tiempos asociados en forma directa al L_{Aeq} medido según tabla señalada en el artículo 75 del D. S. N° 594/99 del MINSAL.

3.2 Teoría Estadística

La estadística se puede definir, según [25], como la “ciencia que se ocupa del estudio de fenómenos de tipo genérico, normalmente complejos y enmarcados en un universo variable, mediante el empleo de modelos de reducción de la información y de análisis de validación de los resultados en términos de representatividad”. Debido a lo anterior, se describirán por separado, a continuación, algunos antecedentes generales y parte de la teoría básica sobre estadística descriptiva e inferencia estadística, que serán de gran utilidad para el desarrollo, análisis y evaluación de las mediciones que contempla este estudio.

3.2.1 Estadística Descriptiva.

La estadística descriptiva se preocupa de analizar una serie o conjunto de datos, medidos o cuantificados de alguna manera, tratando de caracterizarlos y sintetizarlos para extraer conclusiones y/o alguna información representativa sobre el comportamiento de la o las variables involucradas en la ocurrencia de un evento o fenómeno a estudiar.

3.2.1.1 Conceptos básicos

Cuando se estudia el comportamiento de una variable, involucrada en el desarrollo de un evento en particular o un fenómeno cuantificable, es necesario, según [23 y 24], distinguir los conceptos de dato, muestra y población. Un dato, en particular, se entenderá como cualquier elemento que porte información sobre el fenómeno que se estudia y así, consecuentemente, una población se entenderá como el conjunto total de datos involucrados de dicho fenómeno o como el universo de muestras. Una muestra es un dato real medido que surge en la necesidad de seleccionar un subconjunto de la población, que sea lo suficientemente representativo de ella, cuando no es posible cuantificar o medir el conjunto total de datos (población).

Cuando los datos o muestras seleccionadas de una población se encuentran dispersos, la dispersión seguirá un cierto patrón u ordenamiento. Con este ordenamiento, se puede aclarar la forma de su dispersión, es decir, puede aclararse la forma de cómo están

distribuidos. Esta forma de la distribución de los datos inherente a su variabilidad se denomina distribución de frecuencias. De lo anterior, cabe señalar que la distribución de frecuencia de los datos registrados permite inferir sobre la repetibilidad de las muestras dentro de una serie de datos. Por lo tanto, una distribución de frecuencia es la representación estructurada, en forma gráfica o tabulada, de toda la información que se ha recogido sobre la o las variables que se estudian.

Esta distribución u ordenamiento genera una representación visual de los datos en la que se pueden observar tres propiedades esenciales de una distribución como son su forma, posición (acumulación o tendencia central) y dispersión (variabilidad). Estas tres propiedades o medidas nos permitirán resumir y caracterizar una distribución, asociada a un conjunto de datos, en particular.

3.2.1.2 Descriptores de posición, dispersión y forma

Los descriptores o *medidas de posición*, según [23 y 24], caracterizan y resumen una distribución de frecuencias mediante uno o más valores numéricos cuantificables. El valor para representar a una distribución se llama medida de posición y será representativo de todos los valores que toma la variable. De lo anterior, el valor o medida de posición, deberá hallarse dentro del rango de muestras o datos recogidos, es decir, entre el mayor y el menor valor de la variable examinada. Para toda síntesis o resumen de una distribución, deberán intervenir, en su determinación, todos y cada uno de los valores de la distribución, siendo cuantificable de manera única por cada distribución de frecuencias, en particular.

Las medidas de posición son de tipo central (las cuales informan sobre los valores medios de una serie de datos) y de tipo no central (que informan de como se distribuye el resto de los valores de la serie). Algunos descriptores de posición central (o de tendencia central) ocupados en estadística, y en particular para este estudio, son los siguientes:

- *Media aritmética*: es un valor medio ponderado de una serie de datos. Llamado también como promedio, se calcula como la suma de todos los valores registrados dividido por el número total de muestras. La expresión matemática que sintetiza lo anteriormente señalado es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

donde:

\bar{x} = Media aritmética de un conjunto de valores.

x_i = I-ésimo valor numérico de un conjunto de valores.

n = Número total de muestras.

- *Mediana*: es el valor de la serie de datos que se sitúa justamente en el centro de los valores (un 50% de valores son inferiores y otro 50% son superiores) cuando la distribución se encuentra ordenada de menor a mayor.

- *Moda*: La moda es el valor de una variable, en particular, que más veces se repite, y en consecuencia, en una distribución de frecuencias, es el valor de la variable que viene afectada por la máxima frecuencia de la distribución.

Las medidas de posición no centrales permiten conocer otros puntos característicos de la distribución. Estos indicadores dividen la muestra en tramos iguales. El descriptor de posición no central utilizado en este estudio es el Percentil:

- *Percentiles*: Son 99 valores que distribuyen la serie de datos, ordenada de forma creciente o decreciente, en cien tramos iguales, en los que cada uno de ellos concentra el 1% de los resultados.

Los descriptores o *medidas dispersión*, según [23 y 24], estudian la distribución de los valores de la serie permitiendo calcular la representatividad de una medida de posición, cuantificando la distancia de los diferentes valores de la distribución respecto a dicha medida. Esta distancia, en términos estadísticos, describe la variabilidad o dispersión de

una distribución. En consecuencia, resulta necesario, para complementar la información que se pueda extraer de una medida de posición o centralización, acompañarla de uno o varios coeficientes que nos midan el grado de dispersión de la distribución (de la variable respecto de esa medida de centralización). Estos coeficientes se diferencian entre medidas de dispersión absolutas y relativas (entendiéndose por relativas las que no dependen de las unidades de medida). Existen diversas medidas de dispersión, dentro de las cuales seleccionaremos a las utilizadas en este estudio:

- *Desviaciones medias*: Mide la eficacia de un descriptor de posición que considera la desviación media respecto a él. Se define como la media de los valores absolutos de las diferencias entre los valores de la variable y el descriptor en particular. La expresión, para la media aritmética (descriptor) es la siguiente:

$$D_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|,$$

donde:

D_m = Desviación media entre cada valor y la media aritmética de un conjunto de valores.

\bar{x} = Media aritmética de un conjunto de valores.

x_i = I-ésimo valor numérico de un conjunto de valores.

n = Número total de muestras.

- *Desviación normal o estándar*: Se calcula como la raíz cuadrada, con signo positivo, de la varianza y es expresada en las mismas unidades de medida que la distribución, lo cual la hace más apta como medida de dispersión absoluta. En forma general al ser muy utilizada en el análisis de muestras, en [19 y 23], la desviación estándar, es ajustada y modificada en su denominador (por “n-1” en vez de “n”) para mejores estimaciones. Por lo anterior, la desviación estándar recibe el nombre de desviación estándar muestral y su expresión matemática es entonces:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

donde:

S = Desviación estándar muestral o cuasidesviación estándar.

\bar{x} = Media aritmética de un conjunto de valores.

x_i = i -ésimo valor numérico de un conjunto de valores.

n = Número total de muestras.

Entre las propiedades más importantes de la desviación estándar encontramos que esta no varía, en el caso supuesto, de que en una distribución de frecuencias se suma, a todos los valores de la variable, un valor numérico constante (un cambio de origen en la variable no la afecta).

Los descriptores o *medidas de forma*, según [23 y 24], nos permiten conocer que forma tiene la curva, en la representación gráfica, de una distribución de frecuencias que representa una serie de datos. Las medidas de forma se clasifican en medidas de asimetría y medidas de curtosis o apuntamiento (grado de concentración). Las medidas de asimetría tienen como finalidad el elaborar un indicador que permita establecer el grado de simetría (o asimetría) con respecto al centro (centro de simetría) que presenta una distribución. Las medidas de curtosis, en cambio, estudian la distribución de frecuencias en la zona central de la misma. La mayor o menor concentración de frecuencias alrededor de la media aritmética y en la zona central de la distribución dará lugar a una distribución más o menos apuntada. A continuación se definen las medidas de asimetría y curtosis de utilización en este estudio:

- *Coefficiente de Asimetría de Fisher*: Este coeficiente, simbolizado como “ g_1 ”, mide el nivel de asimetría de una distribución de datos. Los posibles resultados de este coeficiente determinan y clasifican analíticamente la forma simétrica o asimétrica de una curva en una distribución de frecuencias. Entonces, cuando $g_1 = 0$ la distribución es simétrica (existe la misma concentración de valores a la derecha y a la izquierda de la

media aritmética). Luego, cuando $g_1 > 0$ la distribución es asimétrica positiva (existe mayor concentración de valores a la derecha de la media que a su izquierda). Por último, cuando $g_1 < 0$ la distribución es asimétrica negativa (existe mayor concentración de valores a la izquierda de la media que a su derecha). Una representación gráfica de lo señalado anteriormente se demuestra a continuación:

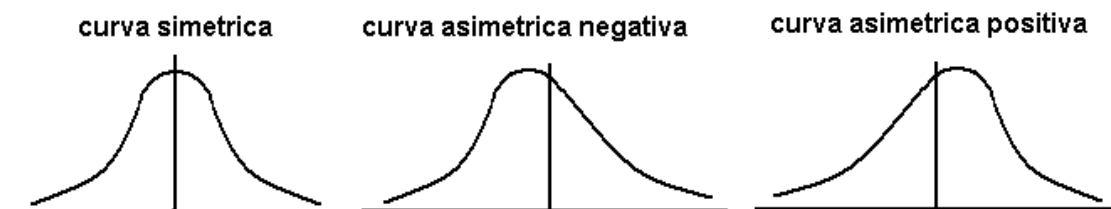


Figura N° 6: Curvas simétrica, asimétrica negativa y asimétrica positiva en una distribución de valores.

- *Coefficiente de asimetría de Pearson (Ap):* Este coeficiente es propuesto para distribuciones campaniformes (de forma Gaussiana), unimodales y moderadamente asimétricas. Creada empíricamente, nace de la suposición de que la media aritmética es igual a la moda y a la mediana (Me) en una distribución simétrica. Su relación matemática es:

$$Ap = 3 \cdot \frac{|\bar{x} - Me|}{S},$$

donde:

Ap = Coeficiente de asimetría de Pearson.

\bar{x} = Media aritmética de un conjunto de valores.

Me = Mediana de un conjunto de valores.

S = Desviación estándar de un conjunto de valores.

Así tendremos que si $0 \leq Ap < 0.37$ la distribución es simétrica, si $0.37 \leq Ap < 1$ la distribución es tolerablemente simétrica y si $Ap \geq 1$ la distribución es asimétrica.

- *Curtosis*: Según el grado o valor registrado de curtosis (“ g_2 ”) se definen 3 tipos de distribuciones. La primera, es la distribución mesocúrtica (cuando $g_2 = 0$), que presenta un grado de concentración medio alrededor de los valores centrales de la variable (el mismo que presenta una distribución normal). La segunda, es la distribución leptocúrtica (cuando $g_2 > 0$), la cual presenta un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable. Finalmente la distribución platicúrtica (cuando $g_2 < 0$), es la que presenta un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable. Cabe señalar que, una distribución es tolerablemente mesocúrtica cuando su valor de curtosis se encuentra entre -0.5 y 0.5 , en forma experimental. Una representación gráfica de lo señalado anteriormente se muestra a continuación:

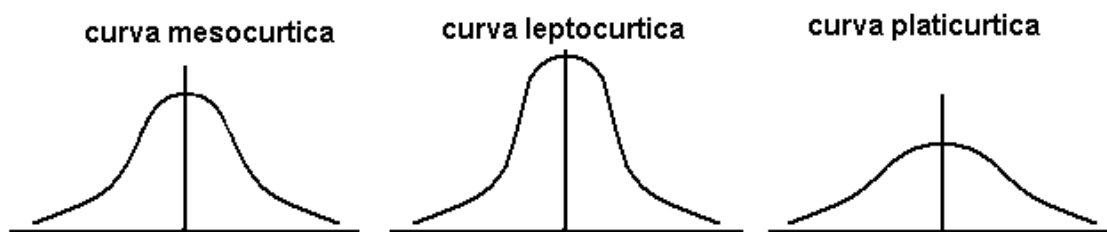


Figura N° 7: Curvas mesocúrtica, leptocúrtica y platicúrtica en una distribución de valores.

Por último, se debe notar que generalmente las medidas de curtosis se aplican a distribuciones campaniformes, es decir, unimodales simétricas o con ligera asimetría. Tomando, como referencia, una distribución normal (campana de Gauss), diremos que una distribución puede ser más apuntada que la normal (leptocúrtica) o menos apuntada (platicúrtica). A la distribución normal, desde el punto de vista de la curtosis, se le llama mesocúrtica.

3.2.2 Inferencia Estadística

La inferencia estadística analiza la representatividad de los resultados y síntesis otorgada por los descriptores estadísticos (en la estadística descriptiva), para el posterior

tratamiento y predicción futura del comportamiento de una variable. Nos permite, entonces, tener la posibilidad de estimar estas variaciones, según su grado de certeza y cuantificación de la incertidumbre, asociada a la toma de muestras representativas.

3.2.2.1 Distribuciones de tendencia central

Las distribuciones de tendencia central representan la concentración de un conjunto de datos en torno a un valor numérico central (descriptor o medida de posición central) y surgen de la curva gráfica de la función de densidad de probabilidad de la variable a estudiar. En consecuencia, es determinada la probabilidad de hallar un valor numérico real representativo dentro de un rango o intervalo determinado por el grado de certeza de las mediciones. Este grado o nivel de certeza (“ $1-\alpha$ ”) introduce un rango de incertidumbre asociada a las mediciones en directa relación con la cuantificación de la dispersión de las muestras (principalmente la desviación estándar), en torno a su valor central. Por lo tanto, una vez determinada la medida de posición central, se determina o infiere un intervalo de confianza, para un cierto grado de certeza, que introduce la incertidumbre asociada a las muestras y que acota un cierto número de valores posibles representativos del total de datos o muestras registradas.

- *Distribución normal y log-normal.*

La distribución normal es una distribución continua, unidimensional y de tendencia central. Es llamada, también, como distribución Gaussiana debido a la forma gráfica de la función de densidad como campana de Gauss. Esta representación se presenta en la figura N° 8.

Esta función, según [19], presenta valor medio nulo (media aritmética igual a cero) y una desviación estándar igual a 1. Una propiedad interesante que tiene la distribución normal, es que el valor de la media aritmética, de un conjunto de “n” muestras, de cualquier distribución (sea o no Gaussiana), tiende a estar distribuido normalmente cuando “n” $\approx \infty$. Esta propiedad, denominada Teorema central del límite, tiene importantes aplicaciones en la teoría de errores. Es decir que cuanto mayor sea la muestra, menor será el “error”

cometido al estimar el valor medio poblacional (valor real) con el valor medio muestral (descriptor de tendencia central).

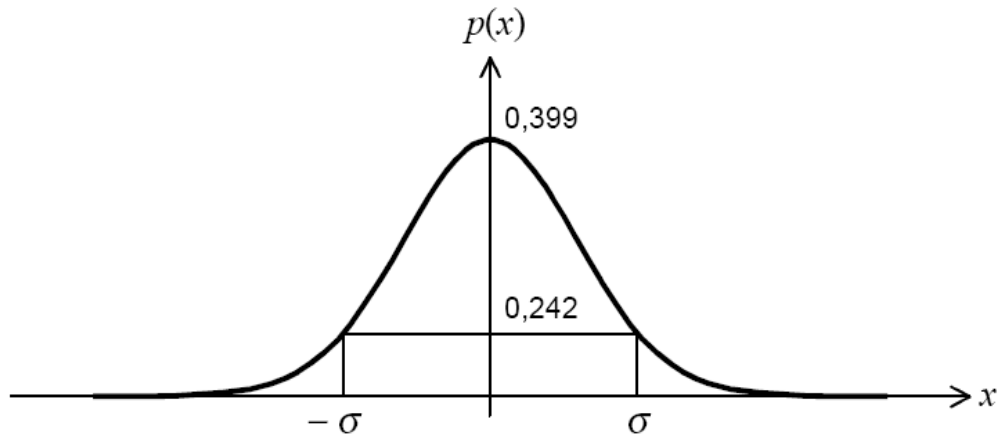


Figura N° 8: Función de densidad de probabilidad de Gauss.

Una distribución log-normal describe a una variable aleatoria (que presenta una alta dispersión entre sus valores muestrales) cuyo logaritmo se distribuye normalmente y que, por lo tanto, presenta las características asociadas de una distribución normal de tendencia central. Por lo tanto, cualquier concentración medida durante un determinado ciclo de trabajo es una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad log-normal, es decir, que los logaritmos de dicha variable siguen una ley normal.

Otra distribución de tendencia central es la distribución “t” de Student que, por su importancia en este estudio, se describe en un apartado propio.

3.2.2.2 Distribución “t” de Student e Intervalo de Confianza

Esta distribución de probabilidad, según [23 y 24], se publicó por primera vez en 1908 en un artículo de W. S. Gosset. En esa época, Gosset era empleado de una cervecería irlandesa que desaprobaba la publicación de investigaciones de sus empleados. Para evadir esta prohibición, publicó su trabajo en secreto bajo el nombre de “Student”. En

consecuencia, la distribución “t” normalmente se llama distribución “t” de “Student”, o simplemente distribución “t”. Para derivar la ecuación de esta distribución, Gosset supone que las muestras se seleccionan de una población normal. Aunque esto parecería una suposición muy restrictiva, se puede mostrar que las poblaciones no normales que poseen distribuciones en forma casi de campana aún proporcionan valores de t que se aproximan muy de cerca a la distribución t. Gosset desarrollo un método por el cual los límites de confianza se podrían basar en la desviación estándar de pocas muestras Además, esta distribución se ha tabulado de manera que dependa de los grados de libertad (v) y el grado deseado de confianza para una estimación.

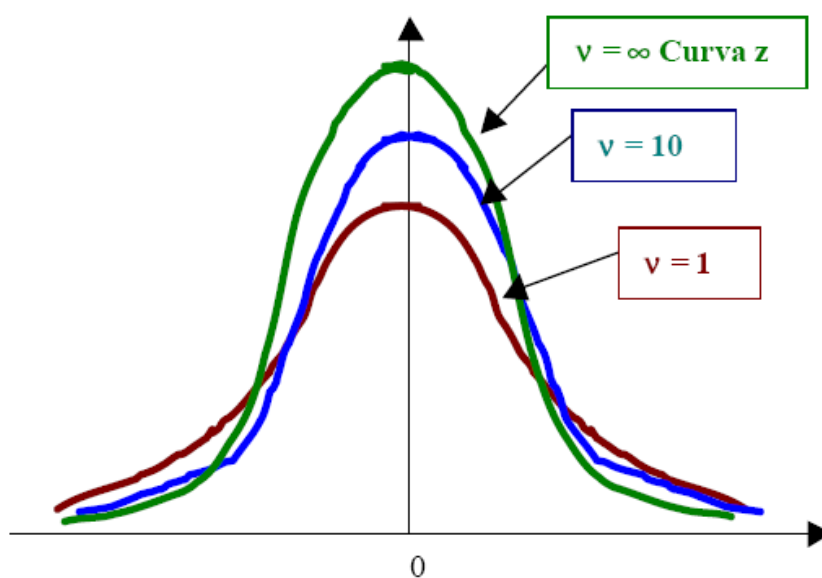


Figura N° 9: Forma de la curva de distribución “t” para distintos grados de libertad.

Los grados de libertad se pueden definir en general como el número de observaciones “n” menos uno ($v = n-1$). El parámetro “t” difiere del parámetro “Z” (utilizado en la distribución normal) en que la varianza de t depende del número de muestras y siempre es mayor a uno (una tabulación del parámetro “t” para un grado de certeza de 90 % se encuentra en la tabla N° 1 del Anexo II). Únicamente cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito las dos distribuciones serán las mismas (ver figura N° 9). La apariencia general de la distribución “t” es similar a la de la distribución normal estándar. Ambas distribuciones

son simétricas y unimodales. Sin embargo, la distribución “t” tiene colas más amplias que la normal; esto es, la probabilidad de las colas es mayor que en la distribución normal. A medida que el número de grados de libertad tiende a infinito, la forma límite de la distribución “t” es la distribución normal estándar.

Finalmente, el valor representativo final y su intervalo de confianza (para un determinado nivel de certeza) en una distribución “t”, con $v = n-1$ grados de libertad, quedan definidos en la siguiente relación:

$$u = \bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t ,$$

donde:

u = Valor representativo estimado estadísticamente y su intervalo de confianza.

\bar{x} = Media aritmética de un conjunto de valores.

s = Desviación estándar (muestral) de un conjunto de valores.

n = Número total de muestras.

t = Parámetro “t” de la distribución “Student”.

4. Criterios de evaluación de ruido bajo estimaciones estadísticas

Bajo las intenciones de mejoramiento (en calidad del procedimiento metodológico de medición, instrumentación, cálculo de la dosis de ruido diaria y registro adecuado de la información recopilada), de las actuales evaluaciones de la exposición a ruido ocupacional, son detallados a continuación dos criterios de evaluación, que se basan en un muestreo “aleatorio”, según [7 y 8], de niveles de presión sonora que estiman, a su vez, un error cuantificable de la medición realizada. Ambos criterios se basan en que, cuando las variaciones de presión sonora son cuantificables en directa proporción como niveles de presión sonora en una escala logarítmica (decibeles), el ordenamiento de estos valores se modifica, desde una distribución geométrica (con valores muy dispersos) a una distribución logarítmica o “log-normal” que tiende a su vez, a una distribución normal.

Por lo tanto, estos criterios serán analizados y comparados posteriormente para determinar de forma empírica si son realmente aptos para evaluaciones de ruido en el ámbito laboral.

4.1 Criterio de estimación de la media aritmética

Este criterio estima que el valor, de tendencia central, de la media aritmética es representativo de un conjunto de valores cuando estos se distribuyen en forma normal (ver punto 3.2.2.1). Entonces, se pretende asumir que los valores de nivel de presión sonora tenderán a un valor central, la media aritmética, sin mayores dispersiones. La media aritmética, de los valores de nivel de presión sonora, se determina entonces a través de la siguiente relación:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{Aeq,i}}{n},$$

donde:

\bar{X} = Media Aritmética de los valores $L_{Aeq,i}$.

$L_{Aeq,i}$ = Valor de nivel de presión sonora equivalente, ponderado “A”, de la i -ésima muestra.

n = Número total de muestras.

Posteriormente, se asigna y calcula un error asociado a la variación de los valores, registrados como muestras. El estadístico que asocia estas variaciones es la desviación estándar (o desviación normal). Entonces, la desviación estándar asociada a los valores $L_{Aeq,i}$ es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - L_{Aeq,i})^2}{n-1}},$$

donde:

s = Desviación estándar de los valores $L_{Aeq,i}$ con respecto a \bar{X} .

\bar{X} = Media Aritmética de los valores $L_{Aeq,i}$.

$L_{Aeq,i}$ = Valor de nivel de presión sonora equivalente, ponderado “A”, de la i -ésima muestra.

n = Número total de muestras.

Este último estadístico, en forma particular, no nos permite cuantificar el error asociado cuando el tamaño de las muestras no es determinado (ver punto 3.2.2.2). Entonces, el número de muestras adquiere una singular importancia cuando se tiene un tamaño inferior a 30 muestras. Cuando esto sucede, se utiliza la distribución “t” de Student, la cual se aproxima a una distribución normal (manteniendo sus características gráficas), que considera un factor “t”, precisamente, que varía según el número total de las muestras. También, este factor dependerá del grado de certeza introducida para una o ambas cotas.

En consideración a lo señalado anteriormente, se estima, según [8], a la media aritmética como valor representativo y se le asigna un error asociado (que toma en cuenta el número de muestras “n”, la desviación estándar “s” y el factor “t”) que considerará el grado de certeza de 95% para determinar un rango de valores posibles, designado como intervalo de confianza. Este intervalo (u_s) es:

$$u_s = \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t ,$$

donde:

t = Factor de Student que integra el grado de certeza (95%) para n-1 grados de libertad.

s = Desviación estándar de los valores $L_{Aeq,i}$ con respecto al valor \bar{X} .

n = Número total de muestras.

Finalmente, la ecuación final de la media aritmética, más la incorporación de su respectivo intervalo de confianza, es la siguiente:

$$L_{Aeq,media} = \bar{X} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t ,$$

donde:

$L_{Aeq,media}$ = Valor representativo final con intervalo de confianza asociado

Esta estimación es mencionada en la norma francesa NF S31-084 y en la norma técnica de prevención NTP 270 [8] del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. También, es propuesta en algunas publicaciones de estudio e investigación internacionales ([15], [16], [17] y [18])

4.2 Criterio de estimación logarítmica

Este criterio, creado por Bernard y Castel, procura aproximar a la realidad la estimación de un valor representativo cuando se tiene una distribución de valores de nivel de presión sonora. Esta aproximación, según [7], se basa en estimaciones estadísticas que agregan factores empíricos correctivos. En primer lugar, determinan que la estimación logarítmica de un nivel de presión sonora característico (suma energética), se aproxima al valor de la media aritmética, más una relación que toma en cuenta el cuadrado de la desviación estándar y una constante experimental de los valores tomados en consideración. La aproximación es la siguiente:

$$10 \log \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{Aeq,i}} \right) \right] = \bar{X} + 0,115s^2,$$

donde:

s = Desviación estándar de los valores $L_{Aeq,i}$ con respecto a \bar{X} .

\bar{X} = Media Aritmética de los valores $L_{Aeq,i}$.

$L_{Aeq,i}$ = Valor de nivel de presión sonora equivalente, ponderado “A”, de la i -ésima muestra.

n = Número total de muestras.

Una vez obtenida la relación, surge la necesidad de asignarle un error asociado a la misma, lo cual involucra una nueva cuantificación de la variación de los valores con respecto al nuevo valor representativo aproximado. Este error asociado, para un nivel de certeza de 90 %, toma en cuenta el tamaño de la muestra “ n ”, el factor distributivo “ t ” y los valores de desviaciones de todo el conjunto de muestras (desviación estándar), y establece un intervalo de confianza (u_s) determinado por:

$$u_s = \pm \sqrt{\frac{s^2}{n} + \frac{0,026 \times s^4}{n-1}} \times t,$$

donde:

t = Factor de Student que integra el grado de certeza (90%) para $n-1$ grados de libertad.

s = Desviación estándar de los valores $L_{Aeq,i}$ con respecto al valor \bar{X} .

n = Número total de muestras.

Finalmente, se obtiene una nueva relación que conlleva a la determinación de un valor representativo, que incorpora un error asociado a este, pero que considera en mayor medida la suma energética de los valores de nivel de presión sonora, proporcionada por la aproximación establecida anteriormente. La relación final, con su respectivo intervalo de confianza, es:

$$L_{Aeq,Est} = \bar{X} + 0,115s^2 \pm \sqrt{\frac{s^2}{n} + \frac{0,026 \times s^4}{n-1}} \times t,$$

donde:

$L_{Aeq,Est}$ = Valor representativo final de la aproximación logarítmica corregida con intervalo de confianza asociado

Esta estimación es mencionada en la norma internacional ISO 9612-1996 y en la norma chilena NCh2572-2001 [7] (homóloga a la ISO). También, es propuesta en algunas publicaciones de estudio e investigación internacionales ([14] y [18]).

5. Desarrollo de las mediciones

5.1 Instrumentación

Las mediciones realizadas en este estudio contemplaban el uso de equipos que nos permitieran evaluar en forma adecuada la exposición a ruido de trabajadores en distintos lugares de trabajo. La instrumentación utilizada en las mediciones fue la siguiente:

Equipos QUEST:

- Sonómetro integrador tipo 2, modelo 2800.
- Micrófono QE7052 de ½" para campo libre, modelo 56-317.
- Preamplificador, modelo 56-852.
- Modulo de Filtro de banda de octava de frecuencia, modelo OB-100.
- Calibrador, modelo QC-10.

Equipos LARSON•DAVIS.

- Dosímetro 706RC, modelo Spark.
- Dos Dosímetros 703+, modelo Spark.
- Sonómetro Integrador tipo 1 con filtro de frecuencia incluido de 1/3 de Octava clase 1, modelo 824.
- Micrófono ½" de incidencia randómica, modelo 2559.
- Preamplificador, modelo PRM902.
- Calibrador, modelo CAL150.
- Blaze. Analysis Software

Debido a las condiciones del estudio, fue requerido, en forma paralela, el uso de, por lo menos, un dosímetro y un sonómetro para la evaluación de un puesto de trabajo en particular. Otros accesorios, particularmente necesarios en las mediciones fueron, por ejemplo, el trípode para sonómetros, el protector de espuma para el micrófono del

sonómetro, las baterías (que tendrán que estar en buen estado) y los elementos de protección personal para el examinador (protección auditiva personal, anteojos de protección, mascarillas para protección respiratoria, vestimenta adecuada, etc.).

5.2 Metodología de muestreo

Se efectuaron mediciones para determinar la evaluación de la exposición a ruido de trabajadores y/o puestos de trabajo representativos en 20 lugares de trabajo entre instituciones, empresas y talleres, tanto públicas como privadas, ubicadas en la Región Metropolitana, utilizando, como base, los aspectos de estudio previo, instrumentación necesaria y evaluaciones con dosímetros personales, señalados en el instructivo de aplicación del Decreto Supremo N° 594/99 del MINSAL.

Cada medición fue realizada con un sonómetro y un dosímetro personal (colocado en el trabajador) para cada puesto de trabajo examinado. Las mediciones con sonómetro se registraron bajo un muestreo “aleatorio” de niveles de presión sonora y con una evaluación determinada por estimaciones estadísticas. Las mediciones con dosímetros personales, en cambio, se realizaron según la metodología mencionada en el actual instructivo de aplicación [3].

Previamente a las mediciones, se tenían que escoger y determinar algunos parámetros de importancia para las evaluaciones (señalados en figura N° 10), como el tipo de descriptor a utilizar, el tiempo por cada una y número total “n” de muestras representativas.

El descriptor escogido a utilizar, entonces, fue el *nivel de presión sonora continuo equivalente*. Al utilizar este descriptor se representa de mejor manera el aporte energético del evento de ruido a medir, debido a las características intrínsecas de este parámetro, que integra una serie sucesiva de niveles de presión sonora, de corta duración, para finalmente interpretarlo como un único valor final continuo para un periodo de tiempo determinado. Según [19], “la promediación se hace energéticamente porque se utiliza aquí la teoría de la igualdad de la energía, según la cual los efectos sobre la audición están determinados por la energía sonora total recibida diariamente”. Además, la ponderación en frecuencia de este parámetro fue “A” y su respuesta temporal “Lenta” o “Slow”. Esto último en concordancia para los requerimientos del D. S. N° 594/99 del MINSAL. Otro aspecto importante de este

parámetro es que pondera de buena forma los eventos de ruido con mayor energía sonora que los de menor, para periodos de tiempo similares. Esto último, sumado a las ponderaciones establecidas al instrumento (en frecuencia y respuesta temporal), nos permiten aproximar las mediciones con los reales niveles de exposición del oído humano.

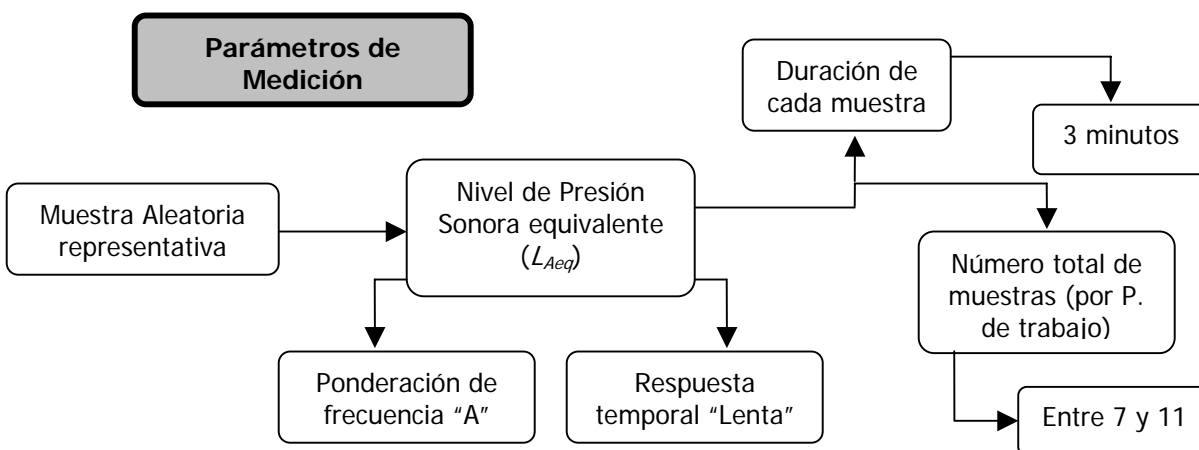


Figura N° 10:Diagrama de los parámetros de medición escogidos.

El tiempo de medición de 3 minutos para cada muestra aleatoria fue determinado, en forma empírica, a través de un estudio previo que relacionó la variación o desviación media (Ver punto 3.2.1.2) entre los niveles de presión sonora equivalentes medidos para muestras consecutivas de 1, 2, 3, 4 y 5 minutos de duración, en el mismo evento de ruido y sin resetear el equipo en cada lectura, para un total de 20 muestras. Los resultados fueron los siguientes:

D_{m1} en dBA (entre el primer y segundo minuto)	D_{m2} en dBA (entre el segundo y tercer minuto)	D_{m3} en dBA (entre el tercer y cuarto minuto)	D_{m4} en dBA (entre el quinto y cuarto minuto)
1,86	0,66	0,59	0,64

Tabla N° 3:Desviaciones medias, entre sucesivos minutos, de niveles de presión sonora equivalentes.

Los resultados tabulados anteriormente nos permiten inferir que la estabilización de los niveles de presión sonora equivalentes para muestras de 3, 4 y 5 minutos es muy similar

y del orden de 0,6 dBA, con lo cual, podemos definir un tiempo mínimo de 3 minutos de medición para cada muestra y que no presentará variaciones sustanciales (mayores a 1 dBA). Cabe señalar también que el escoger la menor duración posible en cada muestra, nace de la necesidad de agilizar los procesos de medición pensados directamente para ser desarrollados por todas las instituciones relacionadas con mediciones en Ruido Ocupacional (Organismos fiscalizadores del D. S. N° 594/99 del MINSAL, como los Servicios de Salud, Organismos administradores del Seguro Social contra accidentes y enfermedades laborales según Ley N° 16.744, como las mutualidades, y empresas privadas).

El número de muestras entre 7 a 11 esta determinado en directa relación con el parámetro estadístico o factor "t" de Student y el número de muestras "n" ya que este factor crece en medida que el número de las muestras disminuye. El límite mínimo de muestras, entonces es determinado, en forma analítica, para los dos criterios a comparar, cuando los valores de "t" y "n" no influyen en el ensanchamiento del intervalo de confianza. Para el caso del criterio de estimación de la media aritmética el valor t/\sqrt{n} deberá ser menor a uno para no incrementar el valor de la desviación estándar y por ende del intervalo de confianza. En cambio, en el caso del criterio de estimación logarítmica, se reordena el intervalo de confianza hasta llegar a:

$$Int.Conf = \pm \sqrt{s^2 \left[\frac{n-1}{n} + 0,026 \times s^2 \right]} \times \frac{t}{\sqrt{n-1}} .$$

Observando la relación anterior, podemos inferir que el factor $n-1/n$ es siempre menor a uno. En cambio, el valor de $t/\sqrt{n-1}$, como factor multiplicativo, deberá ser menor a uno para no incrementar el valor de la desviación estándar y por ende del intervalo de confianza. Posteriormente, se realizó una tabulación de los factores mencionados anteriormente, influyentes en los intervalos de confianza de los criterios. La tabla arrojó los siguientes resultados:

Número de muestras ("n")	Factor "t" (90%)	Valor $\frac{t}{\sqrt{n}}$	Factor "t" (95%)	Valor $\frac{t}{\sqrt{n-1}}$
2	12,706	8,984	6,314	6,314
3	4,303	2,484	2,920	2,065
4	3,182	1,591	2,353	1,359
5	2,776	1,241	2,132	1,066
6	2,571	1,050	2,015	0,901
7	2,447	0,925	1,943	0,793
8	2,365	0,836	1,895	0,716
9	2,306	0,769	1,860	0,658
10	2,262	0,715	1,833	0,611
11	2,228	0,672	1,812	0,573
12	2,201	0,635	1,796	0,542
13	2,179	0,604	1,782	0,514
14	2,160	0,577	1,771	0,491
15	2,145	0,554	1,761	0,471

Tabla N° 4: Factores influyentes dentro los intervalos de confianza que consideran los factores "t" y "n" independientes de la desviación estándar.

De la tabla inferimos que, por lo menos con 7 muestras obtendremos, para ambos factores multiplicativos, valores menores a 1 dB y por lo tanto no influirán en forma negativa en el intervalo de confianza independiente del valor de la desviación estándar.

Es mejor un mayor número de muestras para el ajuste de la desviación estándar (ver punto 3.2.2.2) en la medición, en desmedro del tiempo total que requiera para cada puesto de trabajo a evaluar. Según la tabla N° 4, los valores para un número de 11 muestras, en ambos criterios, pueden ser considerados como limite superior ya que la diferencia en el factor multiplicativo es menor a 0,05 dB en el caso de agregar una muestra más en cada caso. Por lo tanto, los valores arrojados para un número de muestras igual a 10 son aceptables ya que no varían significativamente según lo señalado en la tabla N° 4.

6. Resultados y Análisis

Se realizaron un total de 28 evaluaciones de la exposición a ruido, en diferentes empresas pertenecientes a la jurisdicción del Servicio de Salud Metropolitano Occidente. El periodo de mediciones correspondió, en promedio, a media jornada laboral (4 horas aproximadamente). Los resultados de las estimaciones, para ambos criterios, determinadas con el total de muestras registradas y de los niveles de presión sonora de referencia (registrados en las dosimetrías personales, en cada medición), son mostrados en la tabla N° 1 del Anexo I del presente estudio.

6.1 Análisis previo y consideraciones especiales

En el transcurso de las mediciones, existieron problemas en el posicionamiento del instrumento de medición, en nuestro caso el sonómetro, y en la efectiva representatividad de las muestras medidas. Entonces, fue necesario excluir algunas de las mediciones y adaptar, de manera apropiada, un número de muestras, verdaderamente representativas, en el resto de las mediciones.

6.1.1 Exclusión de algunas mediciones

De todas las mediciones realizadas (28), se descartaron, en total, 8 de ellas, previo al análisis final comparativo (punto 6.3), ya que no fueron realizadas de forma correcta debido, principalmente, a las condiciones de medición en algunos lugares de trabajo referentes a la ubicación y orientación del micrófono del sonómetro. Los principales problemas encontrados, que justifican lo anteriormente señalado para la exclusión de 8 de las mediciones realizadas, se clasifican y señalan a continuación:

- *Problemas surgidos en la ubicación del micrófono del sonómetro:*

Existieron algunos puestos de trabajo en que no fue posible una adecuada medición debido a la ubicación del micrófono del sonómetro. Esta ubicación varía, según [3], en la

permanencia o no del trabajador durante la medición del puesto de trabajo en particular, que especifica una cierta distancia, en cada caso, a la que el micrófono se debe colocar. Sin embargo, hubo mediciones en que esta distancia no fue alcanzada ya que tuvieron como causa la movilidad del trabajador e inexperiencia del examinador.

Se registraron tres mediciones que fueron posteriormente eliminadas, para este estudio, por causa de mucha movilidad. Estos casos de mucha movilidad registraron dos mediciones, del puesto de trabajo “panificador”, las cuales involucraban un continuo traslado hacia los procesos de corte de la masa de pan, utilización de hornos, uso de maquinas mezcladoras y uso de maquinas amasadoras, entre otros. El otro caso excluido por mucha movilidad fue el del puesto de trabajo de “pintor”, el cual, involucraba un movimiento continuo y totalmente aleatorio para el proceso de pintado, con pistola de aire comprimido, de muebles de madera.

Un caso de inexperiencia del examinador, fue el escoger evaluar el puesto de trabajo de “briqueteador” ya que, en este caso, era imposible estar a menos de 1 metro de distancia del oído más expuesto del trabajador (siendo en esa oportunidad el único puesto de trabajo de la empresa visitada). Otras dos mediciones, eliminadas debido a que fueron realizadas a más de 50 cm del oído más expuesto de los trabajadores examinados, se registraron en circunstancias de inminente riesgo en la salud del examinador (en ambos casos se hacían cortes de metales con sierras de gran tamaño que arrojaban “chispas” y restos metálicos incandescentes). Tales situaciones, habituales en ciertos rubros, forman parte de la experticia del examinador que deberá usar, entonces, una apropiada protección personal.

- *Problemas surgidos en la orientación del micrófono del sonómetro:*

Existieron dos puestos de trabajo en que no fue posible una adecuada medición debido a la orientación del micrófono del sonómetro. Esta orientación, según [3], se basa sólo en las condiciones indicadas por el fabricante (del micrófono y sonómetro). Entonces, según lo señalado anteriormente, muy poco se especifica sobre una adecuada orientación. La importancia de esta situación se vio reflejada, empíricamente, en dos casos en que se tomaron las muestras representativas “en altura” (examinador de pie y con el brazo extendido, sobre la cabeza, apuntando el micrófono del instrumento en forma vertical hacia

arriba) y ubicando el micrófono entre 10 y 30 cm del oído más expuesto del trabajador (ubicación adecuada en ambos casos). Lo que aconteció finalmente fue que, en ambos casos, la fuente sonora principal (una era una máquina prensadora de pequeños artículos metálicos y la otra era una máquina aglomeradora de plásticos) generaba el ruido principalmente en dirección vertical (de abajo hacia arriba), el cual era recibido en forma directa por el oído más expuesto del trabajador y por el micrófono del dosímetro (que se encontraban dirigidos verticalmente hacia abajo). Por lo tanto, las mediciones, se vieron “sub-estimadas” (muy por debajo del valor de referencia), en sus valores registrados.

6.1.2 Adaptación para representatividad de las muestras

Excluidas algunas de las mediciones (8 en total) surgió, en algunos casos, el problema de representatividad de algunas muestras que se diferenciaban entre sí, para una misma medición, en varios decibeles (entre 10 a 15 dB e incluso más). En principio, las mediciones fueron basadas en un muestreo totalmente aleatorio de niveles de presión sonora, durante el tiempo total de medición, y utilizando una metodología y parámetros propios (descritos en punto 5.2) ya que ninguno de los dos criterios, descritos en el punto N° 4 de este estudio, especificaban dichas condiciones. Entonces, fue creada, una “adaptación especial de las estimaciones” que nos permitiera descartar algunas de las muestras realizadas debido a que producían una mala estimación, muy lejana del valor de referencia ($L_{Aeq,Dos}$), causada principalmente por la alta desviación producida por valores que se encontraban muy distantes entre sí. Esto último, influía en forma directa sobre la desviación estándar y la media aritmética de los valores, presentes en las estimaciones de los criterios estudiados. En consecuencia, esta adaptación determina la eliminación y descarte de muestras que sean inferiores en más de 10 decibeles al valor más alto entre las muestras registradas para cada medición y se sustenta, en la suposición de que en la suma energética de 2 o más fuentes de ruido, caracterizadas por sus niveles de presión sonora, no influirán en el resultado final, aquellas que se encuentren por debajo de más de 10 decibeles de la fuente de ruido con mayor nivel de presión sonora. Esto último es ejemplificado, relacionando 10 valores de nivel de presión sonora (posibles como 10 muestras), a continuación:

Valores “ $L_{eq,i}$ ” en decibeles (muestras):

$L_{eq,1} = 91.7$	$L_{eq,2} = 92.0$	$L_{eq,3} = 87.5$	$L_{eq,4} = 93.1$	$L_{eq,5} = 88.5$
$L_{eq,6} = 97.3$	$L_{eq,7} = 84.7$	$L_{eq,8} = 86.1$	$L_{eq,9} = 95.8$	$L_{eq,10} = 90.6$

Luego, se realiza una suma energética de valores determinada en el cálculo del nivel de presión sonora continuo equivalente, cuya expresión matemática es aproximada a:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{L_{eq,i}/10} \right] \text{dB},$$

donde:

L_{eq} = Nivel de presión sonora continuo equivalente

T = Tiempo total de las mediciones $\left[\sum_{i=1}^n t_i \right]$

t_i = Tiempo del i-ésimo valor de $L_{eq,i}$ (tiempo de cada muestra)

$L_{eq,i}$ = Valor i-ésimo de nivel de presión sonora.

Entonces, asumiendo que cada valor o muestra fue registrada en forma aleatoria y con una duración temporal de 3 minutos ($T = 10 t_i$), se tiene que:

$$L_{eq} = 92.4 \text{ dB}.$$

La media aritmética de los valores fue de $\bar{X} = 90.7$ dB, y la desviación estándar $s = 4.1$ dB. Entonces, según la adaptación especial, se descartan las ultimas 2 muestras ($L_{eq,8} = 86.1$ dB y $L_{eq,7} = 84.7$ dB) ya que son inferiores en más de 10 decibeles del valor máximo ($L_{eq,6} = 97.3$ dB). El nuevo L_{eq} entonces es:

$$L_{eq}' = 92.2 \text{ dB.}$$

Ahora la nueva media aritmética y desviación estándar son, respectivamente, $\bar{X}' = 92.1 \text{ dB}$ y $s' = 3.3 \text{ dB}$. Por lo tanto, la variación, al eliminar las 2 muestras, sobre el valor final de nivel de presión sonora continuo equivalente fue de apenas 0,2 dB, siendo poco significativa. En cambio, la variación producida en los valores de media aritmética y desviación estándar, luego de eliminar las 2 muestras, fue significativa debido a que, en primer lugar, la media aritmética se acercó en más de 2 dB al valor L_{eq}' y, en segundo lugar, la desviación estándar disminuye casi en 1 dB lo cual conlleva a disminuir el intervalo de confianza asociado a las mediciones.

Ejemplificada la situación de representatividad de las muestras, se estudió la variación producida al intervenir las mediciones y eliminar las muestras que se distanciaban en más de 10 dBA del valor máximo registrado.

En primer lugar, se determinó la variación producida por esta intervención, en la aproximación del estimador logarítmico (punto 4.2), del criterio de estimación logarítmica, ya que este se encuentra relacionado, en forma directa, con el aumento o disminución de la desviación estándar (siendo un factor de primordial importancia en las estimaciones, de un valor representativo y su intervalo de confianza asociado, cuando se asume que conjuntos de valores presentan una distribución normal). Entonces, la diferencia para cada medición se estableció como:

$$10 \log \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{Aeq,i}} \right) \right] - (\bar{X} + 0,115 s^2),$$

donde:

s = Desviación estándar de los valores $L_{Aeq,i}$ con respecto a \bar{X} .

\bar{X} = Media Aritmética de los valores $L_{Aeq,i}$.

$L_{Aeq,i}$ = Valor de nivel de presión sonora equivalente, ponderado “A”, de la i-ésima muestra.

n = Número total de muestras.

Por lo tanto, las variaciones que ocurren, en la aproximación y la desviación estándar, con todas las muestras y al disminuir las mismas (adaptación especial de las mediciones), arrojaron los siguientes resultados:

Total de mediciones (N=20)	Desviación Estándar “s” promedio (en dBA)	Diferencia, promedio, en la Aproximación (en dBA)
Cálculo con todas las muestras	4.765	-1.83
Cálculo al disminuir las muestras	2.424	-0.14

Tabla N° 5: Desviación Estándar y diferencia en la aproximación promedio calculadas con todas las muestras y al disminuir las mismas, para todas las mediciones registradas.

En segundo lugar, se determinan las variaciones producidas, por la desviación estándar al intervenir las muestras, en los descriptores de forma asociados en cada medición.

Total de mediciones (N=20)	Coeficiente de Asimetría de Pearson		
	Estimaciones simétricas	Estimaciones simétricas tolerables	Estimaciones asimétricas
Cálculo con todas las muestras	11	3	6
Cálculo al disminuir las muestras	8	9	3

Tabla N° 6: Número de estimaciones simétricas, simétricas tolerables y asimétricas, según el coeficiente de asimetría de Pearson, con todas las muestras y al disminuir las mismas, para todas las mediciones registradas.

Se determina, entonces, el número de estimaciones cuyos valores de forma se encuentren dentro de ciertos intervalos de importancia propia de cada descriptor.

Total de mediciones (N=20)	Coeficiente de Curtosis		
	Estimaciones platicúrticas	Estimaciones mesocúrticas	Estimaciones leptocúrticas
Cálculo con todas las muestras	8	5	7
Cálculo al disminuir las muestras	6	7	7

Tabla N° 7: Número de estimaciones platicúrticas, mesocúrticas y leptocúrticas, según el coeficiente de curtosis, con todas las muestras y al disminuir las mismas, para todas las mediciones registradas.

Finalmente, se establece que, al adaptar de manera adecuada un número de muestras representativas de los eventos de ruido más influyentes (con niveles de presión sonora más altos) en una exposición a ruido, se logra una mayor cantidad de estimaciones mesocúrticas (tabla N° 7) y simétricas y tolerablemente simétricas (tabla N° 6). En otras palabras, la distribución de los valores, una vez disminuido el número de muestras según corresponda, se aproxima a un ordenamiento normal.

6.1.3 Otras consideraciones de importancia

Otras condiciones especiales, adoptadas en este estudio, fueron sobre la aproximación o número de cifras significativas y sobre el factor “t” de Student a utilizar en las estimaciones de ambos criterios.

✓ *Sobre cifras significativas y aproximaciones*

Los resultados que serán descritos en el análisis (punto 6.3) presentan una cifra de significancia (un valor decimal), en el caso del criterio de estimación logarítmica y en el criterio de estimación de la media aritmética, cuando se describan valores en dB. En el caso de la estimación logarítmica, no existe un referente que permita verificar la inclusión o no

de una cifra de significancia. Para el caso de la estimación de la media aritmética, en cambio, si existe el referente en [8] que nos permite verificar que se excluye una cifra de significancia, trabajando sólo con números enteros. Por otro lado, el D. S. N° 594/99 del MINSAL nos señala sólo valores enteros (tabla de referencia del artículo 75), lo cual puede inferir una tendencia de aproximar los resultados obtenidos a un número entero, pero sin la explicitación debida de tal aproximación. Como el criterio de estimación logarítmica, no tiene referencia en tal discusión, se considerará una cifra significativa para comparar debidamente ambos criterios.

✓ *Sobre el grado de certeza de las mediciones*

Al contar con la referencia debida en [8] y [7], los niveles de certeza reflejados en el factor “t” de Student, para el criterio de estimación logarítmica, será de 90% y para el criterio de la media aritmética de un 95%, respectivamente. Cabe recordar, que el valor del factor “t” de Student, según el número de muestras realizadas, se detalla en la tabla N° 1 del Anexo II.

6.2 Clasificación de las mediciones

Se estudiaron por igual distintos tipos de rubro que involucraban y desarrollaban diferentes tipos de productos. Para cada rubro, en particular, las actividades, procesos, número de trabajadores, puestos de trabajo, turnos de trabajo, maquinarias e infraestructura, en general, eran variables. No fue factible por ende, una clasificación por “tipos de rubro” o por “tipos de ruido” ya que, en este último caso, siempre se encontraron en las mediciones procesos de tipo fluctuantes (definido en [1] y [3]).

Una caracterización aproximada de las similitudes y condiciones especiales, en el ámbito del ruido, para los distintos talleres, empresas e instituciones evaluadas, fue determinada a través de la representación gráfica extraída de la instrumentación utilizada en las mediciones. Los dosímetros utilizados (simultáneamente para cada evaluación de ruido realizada, en puestos de trabajo, según los criterios de estimación estadística), permiten

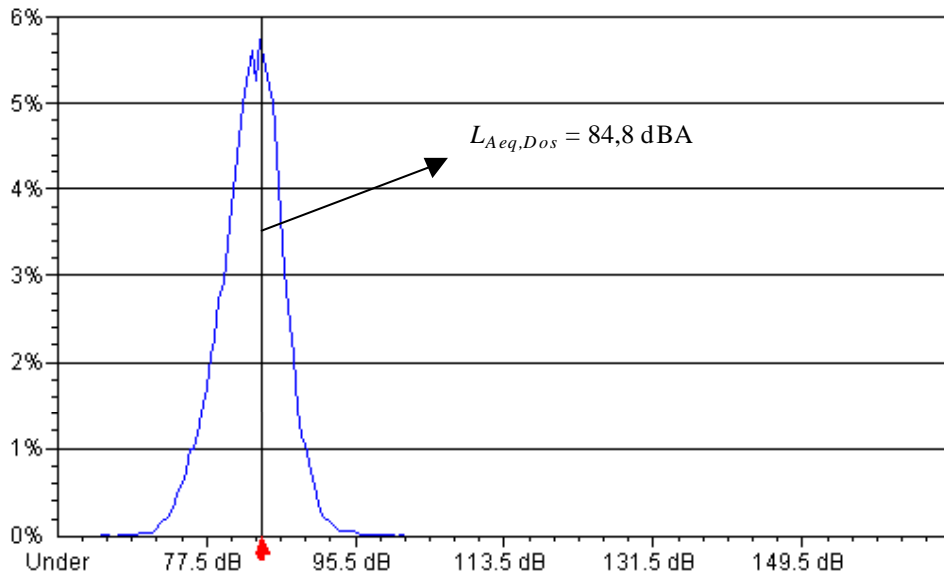
descargar los datos a un software que, a su vez, genera una gráfica de la distribución de frecuencia de los niveles de presión sonora equivalentes registrados.

Con esta útil herramienta fueron analizadas las mediciones (las 20 correctamente efectuadas desde ahora en adelante), de cada puesto de trabajo evaluado, según su distribución de frecuencia con respecto al $L_{Aeq,Dos}$ (nivel de presión sonora continuo equivalente, ponderado “A”, registrado por el dosímetro), estableciendo un ordenamiento que nos permitiese, posteriormente, visualizar de mejor manera los resultados de las mediciones realizadas. Se clasificaron, entonces, las mediciones en tres grandes grupos que se describen a continuación:

6.2.1 Unimodales simétricas al $L_{Aeq,Dos}$ (poca fluctuabilidad):

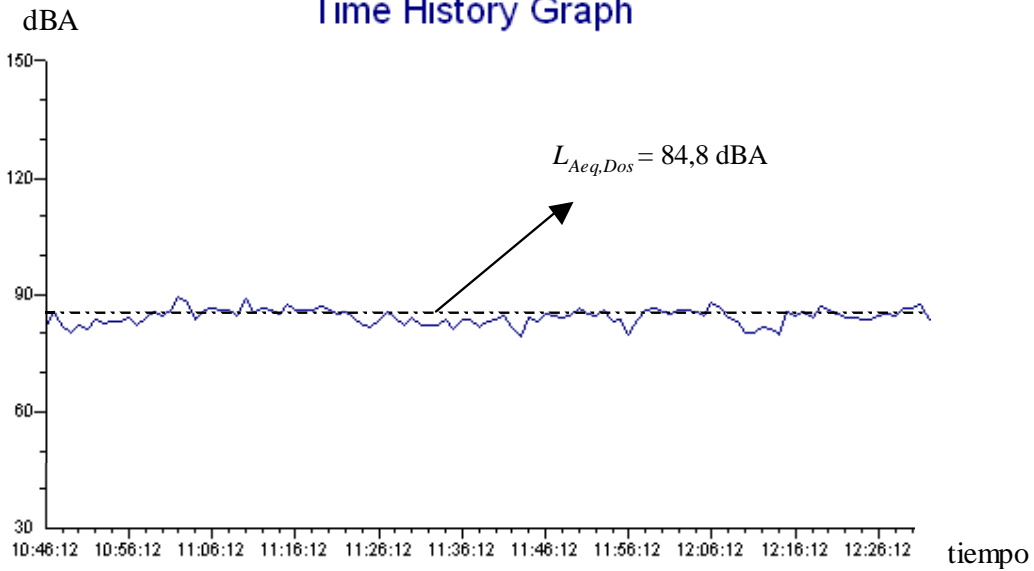
Esta agrupación de mediciones presenta una clara similitud en la curva grafica, para cada caso, la cual muestra una distribución unimodal de valores (o sea, una clara acumulación de datos de forma aproximada a una campana de Gauss) y simétrica con respecto al $L_{Aeq,Dos}$ (el valor de la medida de posición central de los datos es muy similar al valor del $L_{Aeq,Dos}$). Una representación gráfica de la distribución de los datos, de una de las mediciones (otras son mostradas en Anexo III) en este grupo, es mostrada en las gráficas N° 1 y N° 2. En la recta vertical de la grafica N° 1 se ubica el valor del $L_{Aeq,Dos}$ (84,8 dBA). El eje “y” representa la distribución de frecuencia porcentual y el eje “x” los niveles registrados en decibeles “A”. En el historial gráfico de los niveles de presión sonora equivalentes registrados de la misma medición (gráfica N° 2) el eje “y” representa la escala de niveles de presión sonora, en dBA, y el eje “x” los intervalos de tiempo de ocurrencia de los niveles registrados. De igual manera serán presentadas las gráficas N° 4, N° 5, N° 6 y N° 7 para los otros dos grupos clasificados según el tipo de fluctuabilidad de ruido.

Statistics Graph



Gráfica N° 1:Distribución, unimodal, de niveles de presión sonora para eventos de ruido con “poca fluctuabilidad”.

Time History Graph



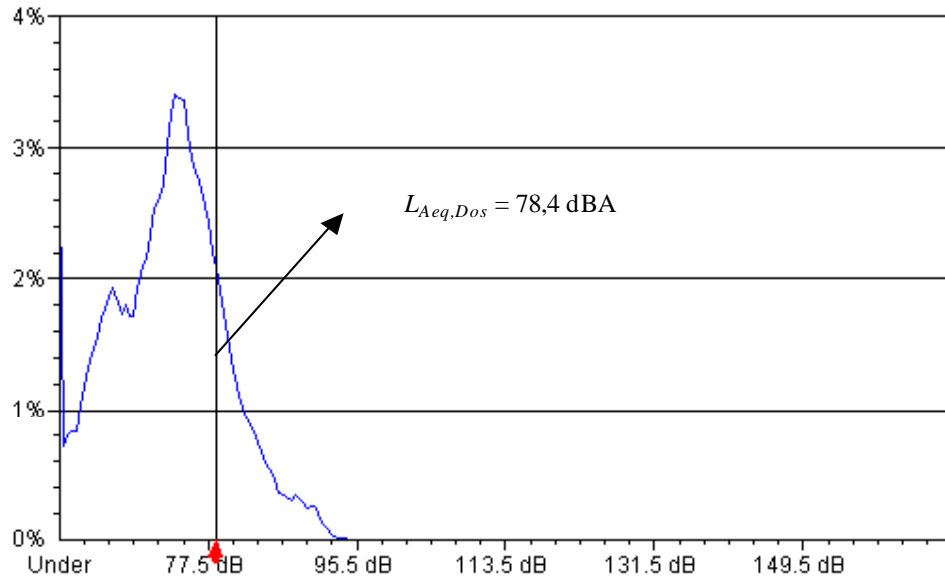
Gráfica N° 2:Historial gráfico de los niveles de presión sonora para eventos de ruido con “poca fluctuabilidad”.

Por otro lado, se estableció que estas características de distribución pertenecían a aquellas mediciones que presentaron poca fluctuabilidad en sus niveles de ruido, casi de tendencia estable, que generalmente involucraban una sola actividad o proceso característico. Estos procesos característicos, en cada una de las 5 mediciones, fueron los de armado y ajuste de piezas metálicas pequeñas, uso de torno (2 casos) para moldeamiento de piezas metálicas, corte fino en artículos de maderas (influenciado, en este caso, por un ruido constante y continuo producido por una sierra para madera) y, por último, armado de piezas metálicas (influenciado en este caso por el ruido producido en forma constante por una sierra para cortes de metales). Este último caso es el que fue mostrado en las graficas anteriores (N° 1 y N° 2).

6.2.2 Unimodales asimétricas (negativas) al $L_{Aeq,Dos}$ (mucho fluctuabilidad):

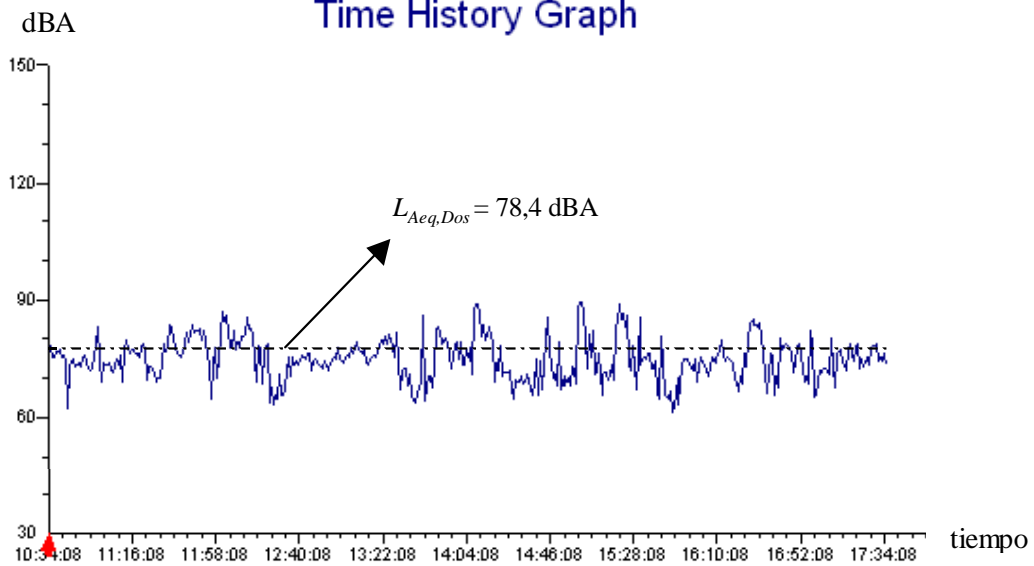
Esta agrupación de mediciones presenta, al igual que la anterior, una clara similitud, en la curva gráfica como una distribución unimodal de valores, pero que varía en su simetría con respecto al $L_{Aeq,Dos}$, siendo ahora asimétrica negativa (ya que la medida de posición central de los datos se encuentra subestimada y desplazada hacia la izquierda del valor del $L_{Aeq,Dos}$). Una representación gráfica de la distribución de los datos, de una de las mediciones (otras son mostradas en Anexo III) en este grupo, es mostrada a continuación:

Statistics Graph



Gráfica N° 3: Distribución, unimodal, de niveles de presión sonora para eventos de ruido con “muchísima fluctuabilidad”.

Time History Graph

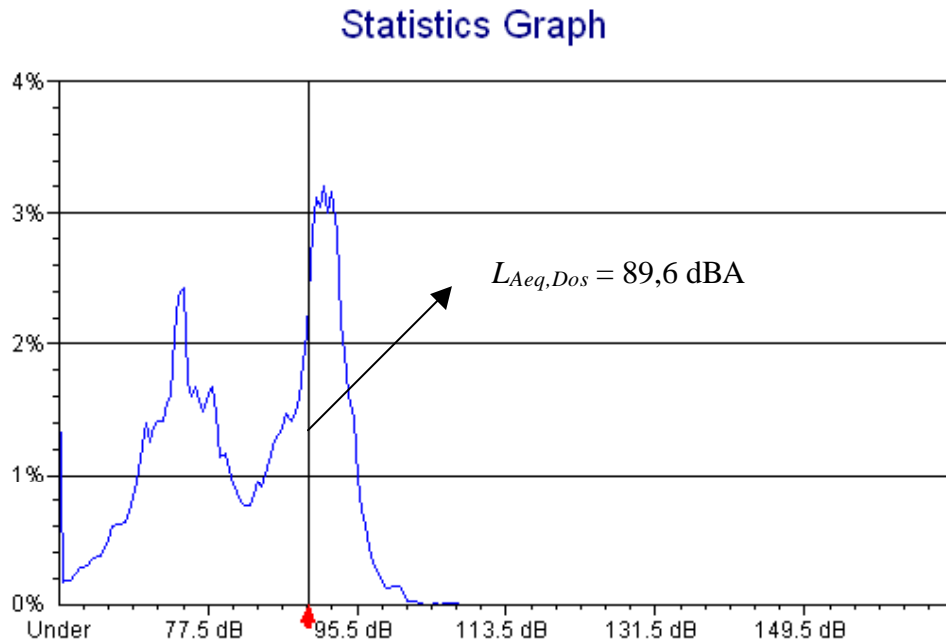


Gráfica N° 4: Historial gráfico de los niveles de presión sonora para eventos de ruido con “muchísima fluctuabilidad”.

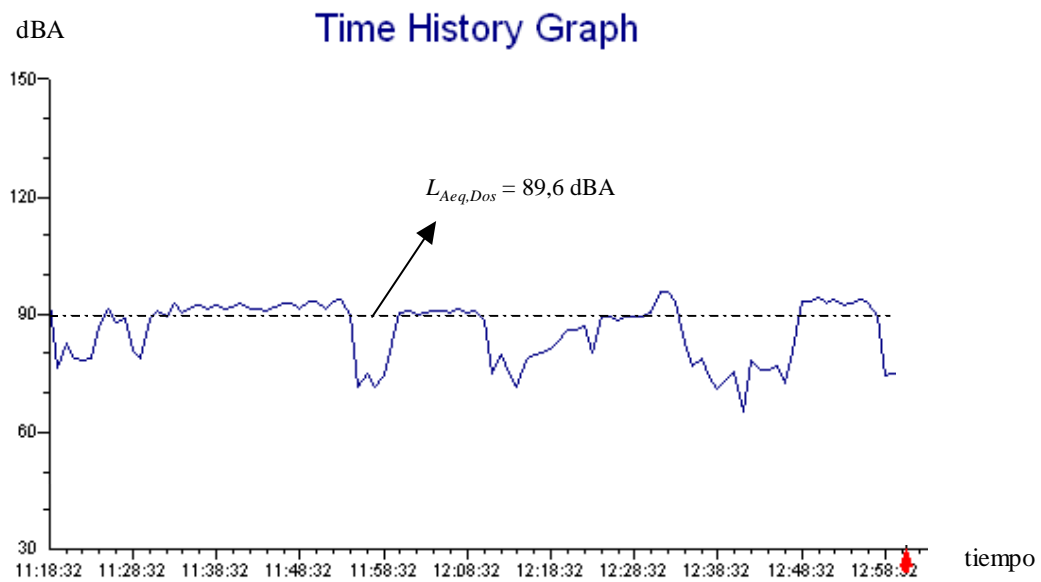
En este grupo se estableció que las características de estas distribuciones pertenecían a aquellas mediciones que presentaron mucha fluctuabilidad en sus niveles de ruido, las cuales, generalmente, involucraban varias actividades o procesos característicos. Además, estos procesos, en algunos casos, eran de poca duración (menos de 5 minutos). Los 9 puestos de trabajo, entonces, fueron designados como “mecánico en ajuste de motores”, “soldador”, “carpintero mueblista (3 casos)”, “elaborador de piezas metálicas”, “tornero de grandes piezas metálicas”, “auxiliar de lavado” y “técnico en prótesis dentales”. Este último caso es el que fue mostrado en las gráficas anteriores (Nº 3 y Nº 4).

6.2.3 Bimodales (cíclica fluctuabilidad):

Esta agrupación de mediciones presenta una clara similitud en la curva gráfica, para cada caso, la cual muestra una distribución bimodal de valores (o sea, dos claras acumulaciones de datos en forma aproximada, cada una, de campana de Gauss). En estos casos, el valor $L_{Aeq,Dos}$ presenta una clara tendencia hacia las cercanías del valor central de la segunda agrupación campaniforme (la que se encuentra desplazada hacia la derecha de los valores que concentra a los niveles sonoros más altos). Una representación gráfica de la distribución de los datos, de una de las mediciones (otras son mostradas en Anexo III) en este grupo, es mostrada a continuación:



Gráfica N° 5: Distribución, bimodal, de niveles de presión sonora para eventos de ruido con “cíclica fluctuabilidad”.



Gráfica N° 6: Historial gráfico de los niveles de presión sonora para eventos de ruido con “cíclica fluctuabilidad”.

Por otro lado, se estableció que estas características de distribución pertenecían a aquellas mediciones que presentaron una fluctuabilidad cíclica en sus niveles de ruido, que generalmente involucraban dos o tres actividades o ciclos de trabajo característicos. Estos procesos, en cada una de las 6 mediciones, fueron los de ensamble de piezas automotrices y uso de cinzel neumático para el puesto de “mecánico automotor en alineamiento de tren delantero”, limpieza de maquinarias y uso de máquina chancadora para el puesto de “operador de máquina chancadora de piedras de cuarzo”, pulido de trozos de cuarzo y corte de piezas metálicas para el puesto de “elaborador de artículos de cuarzo y piezas metálicas”, lijado y tallado con máquina en madera para el puesto de “carpintero mueblista”, limpieza y uso de máquina extrusora de plásticos para el puesto de “operador de máquina extrusora” y, por ultimo, lijado y uso de máquinas cortadoras de madera para el puesto de “carpintero elaborador de urnas”. Este último caso es el que fue mostrado en las gráficas anteriores (Nº 5 y Nº 6).

6.3 Análisis comparativo

Los resultados de las mediciones, una vez realizadas las consideraciones establecidas en los puntos Nº 6.1 y Nº 6.2, son mostrados en la tabla Nº 2 del Anexo I del presente estudio. En el análisis de dichos resultados, se compararán, como se ha mencionado antes, ambos criterios de estimación estadística. Esta comparación se compone de un análisis del grado de exactitud de las estimaciones, la cuantificación de los intervalos de confianza (asociados en cada medición), la incertidumbre total de las mediciones y el nivel de precisión lograda en el método de medición utilizado. Posteriormente, se estudia el comportamiento de los parámetros “n” (número de muestras) y tiempo de duración de cada muestra.

6.3.1 Exactitud de las mediciones

Se estimará la exactitud de las mediciones a partir del valor de la diferencia aritmética entre el valor estimado como nivel de presión sonora equivalente, a través del

criterio de estimación estadística respectivo, y el valor final registrado en la dosimetría personal para el mismo puesto de trabajo evaluado. Esta diferencia se realiza por cálculo aritmético directo y en forma absoluta. El promedio final, o desviación media (ver en medidas de posición del punto 3.2.1.2), es calculado, para todas las mediciones, como sigue:

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n L_{Aeq,"X"(i)} - L_{Aeq,Dos(i)}}{N} \quad \text{y} \quad D_{|m|} = \frac{\sum_{i=1}^n |L_{Aeq,"X"(i)} - L_{Aeq,Dos(i)}|}{N},$$

donde:

D_m = Desviación media de las estimaciones $L_{Aeq,"X"(i)}$ (según cada criterio de estimación estadística) referidos al i-ésimo valor de referencia $L_{Aeq,Dos(i)}$ respectivo.

$D_{|m|}$ = Desviación media absoluta de las estimaciones $L_{Aeq,"X"(i)}$ (según cada criterio de estimación estadística) referidos al i-ésimo valor de referencia $L_{Aeq,Dos(i)}$ respectivo.

$L_{Aeq,Dos(i)}$ = Nivel de presión sonora equivalente de referencia, de cada dosimetría personal en dBA, de la i-ésima medición.

$L_{Aeq,"X"(i)}$ = Nivel de presión sonora equivalente estimado, de cada criterio en dBA, de la i-ésima medición.

N = Número total de mediciones (no muestras).

Cabe destacar que, para la i-ésima medición, el valor $L_{Aeq,"X"(i)} = L_{Aeq,media(i)}$ para el criterio de estimación de la media aritmética y $L_{Aeq,"X"(i)} = L_{Aeq,Est(i)}$ para el criterio de estimación logarítmica. Los resultados del cálculo de las relaciones descritas anteriormente, que involucran a todas las mediciones, son presentados en la tabla N° 8.

Total de las mediciones (N=20)	Criterios estimadores	
Desviaciones medias	Media aritmética	Est. logarítmico
$D_{ m }$ (en dBA)	1.8	1.3
D_m (en dBA)	-1.3	-0.5

Tabla N° 8:Desviaciones medias (absolutas y calculadas en forma directa), del valor de referencia, de todas las mediciones.

Estas relaciones explicitan cuán exacta ha sido la estimación al cuantificar la cercanía entre el valor estimado y el de referencia. La diferencia asignada en valor absoluto nos señala la cercanía promedio, en decibeles, al valor de referencia y la otra, en cambio, nos señala la tendencia de las estimaciones por sobre o bajo el valor de referencia. Esto último queda de manifiesto de mejor forma, según la clasificación por el tipo de fluctuabilidad de las mediciones (mencionado en punto anterior N° 6.2), en los resultados tabulados a continuación:

N = Número de Mediciones.		Criterios estimadores	
Fluctuabilidad	Desviaciones medias	Media aritmética	Est. logarítmico
Poca (N=5)	$D_{ m }$ (en dBA)	1.7	1.4
	D_m (en dBA)	-1.6	-1.2
Cíclica (N=6)	$D_{ m }$ (en dBA)	1.5	1.6
	D_m (en dBA)	0.1	0.8
Mucha (N=9)	$D_{ m }$ (en dBA)	2.0	0.9
	D_m (en dBA)	-2.0	-0.9

Tabla N° 9:Desviaciones medias (absolutas y en forma directa), del valor de referencia, según la clasificación por el tipo de fluctuabilidad del ruido.

6.3.2 Incertidumbre total de las estimaciones

Se clasificará la precisión de las mediciones, según [7], y se considerará para esto la incertidumbre total asociada. Esta incertidumbre total considera una estimación del error producido en la toma de muestras y, también, de la instrumentación utilizada en dichas mediciones.

El error referido a la instrumentación (u_i) se cuantifica por la clasificación o tipo de instrumento de medición utilizado según la siguiente tabla:

1.- Sonómetro (conforme a NCh2500)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
2.- Sonómetro integrador (conforme a NCh2569)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
3.- Calibrador (conforme a IEC 60942)	Tipo 0	Tipo 1	Tipo 2
4.- Incertidumbre (u_i)	Despreciable	1 dB	1,5 dB

Tabla N° 10: Incertidumbre “ u_i ” debida a la instrumentación utilizada, según [7].

El error asociado a las mediciones o incertidumbre debida a la toma de muestras, según [7], será, en cambio, el valor del intervalo de confianza (u_s) calculado en cada medición en particular. De lo anterior, cabe reiterar que el valor señalado en este estudio (como también en las referencias normativas y de investigación), para el intervalo de confianza, señala solamente la magnitud de uno de sus costados. Entonces, tomando los dos tipos de error cuantificables (establecidos como error debido a la instrumentación (u_i) y error debido al muestreo (u_s), desarrollado en el intervalo de confianza), se determina una incertidumbre total de las mediciones (ε) que es establecida, para cada criterio, según las siguientes relaciones:

$$\varepsilon = \sqrt{u_i^2 + u_s^2} \quad (1) \quad \text{y} \quad \varepsilon_m = u_i + u_s \quad (2).$$

Para el caso del criterio de estimación logarítmica, la relación (1), extraída directamente desde [7], pondera de manera adecuada los factores de incertidumbre asociados al extraer la raíz de la suma de los cuadrados de ellos (llamado como error eficaz) y no ponderarlos a través de una suma aritmética directa. Mientras que la relación (2), ocupada en el criterio de estimación de la media aritmética, considera una suma aritmética directa (ϵ_m).

Por lo tanto, una vez calculada la incertidumbre total de las mediciones (como ϵ y ϵ_m para ambos criterios, respectivamente) se designa un tipo de medición según una clasificación, extraída desde [7], que señala lo siguiente:

Incertidumbre total " ϵ " (en dB)	$\epsilon \leq 1,5$	$1,5 < \epsilon \leq 3$	$3 < \epsilon \leq 8$
Clase de precisión de la medición	1	2	3
Designación	Medición de Referencia	Medición de Ingeniería	Medición de Estudio

Tabla N° 11: Tipos de medición, según [7].

En consecuencia, para este estudio se designarán como “*acceptables*” a las estimaciones que determinen una incertidumbre total de sus mediciones menor o igual a 3 dBA, es decir, cuyo tipo de medición sea 1 o 2 (designadas como medición de referencia y como medición de ingeniería).

Para efectos de este estudio, la diferencia aritmética $L_{Aeq, "X"} - L_{Aeq, Dos}$ será considerada como el error de exactitud cuantificado, para cada medición, y deberá ser siempre menor al valor, en decibeles, de la incertidumbre total (ϵ) determinada en cada medición, para cada criterio. Esto es entonces:

$$| L_{Aeq, "X"}^{(i)} - L_{Aeq, Dos}^{(i)} | \leq \epsilon_{(i)} \text{ (o } \epsilon_{m(i)} \text{)},$$

lo que significa que el $L_{Aeq,Dos(i)}$ se encuentra dentro del rango de valores posibles según ε ($o \varepsilon_m$) para la estimación $L_{Aeq, "X"(i)}$, correspondiente. O sea que:

$$L_{Aeq, "X"(i)} - \varepsilon_{(i)} (o \varepsilon_{m(i)}) \leq L_{Aeq,Dos(i)} \leq L_{Aeq, "X"(i)} + \varepsilon_{(i)} (o \varepsilon_{m(i)}),$$

donde:

$L_{Aeq,Dos(i)}$ = Nivel de presión sonora equivalente de referencia, de cada dosimetría personal en dBA, de la i-ésima medición.

$L_{Aeq, "X"(i)}$ = Nivel de presión sonora equivalente estimado, de cada criterio en dBA, de la i-ésima medición.

$\varepsilon_{(i)} (o \varepsilon_{m(i)})$ = Valor numérico de la incertidumbre total de la estimación (para uno de sus lados) de la i-ésima medición.

Por lo tanto, todas aquellas estimaciones en que se logre la relación establecida anteriormente, se considerarán y designarán como “*estimaciones correctas*”.

Ahora, las estimaciones que son “correctas” y “aceptables”, a la vez, nos aseguran que el valor de referencia se encuentra dentro del intervalo asociado a dicha estimación (señalada como la incertidumbre total de la medición) y con una precisión de, por lo menos, clase 1 o 2, designadas como medición de referencia e ingeniería, respectivamente, con lo cual adquiere una primordial importancia en este estudio. La siguiente relación nos relaciona lo señalado previamente:

$$L_{Aeq, "X"(i)} - L_{Aeq,Dos(i)} < \varepsilon (o \varepsilon_m) < 3 \text{ dBA}.$$

Conforme a la anterior relación, entonces, una estimación $L_{Aeq, "X"(i)}$ (según cada criterio) se designará y calificará como “*correcta y aceptable*”.

El valor promedio del intervalo de confianza y de la incertidumbre total de las mediciones, es descrito, para ambos criterios, en la tabla N° 12.

Total de las mediciones (N=20)	Criterios estimadores	
	Media aritmética	Est. logarítmico
Intervalo de confianza promedio (en dBA)	2.4	2.1
Incertidumbre total promedio de las mediciones (en dBA)	3.1	2.3

Tabla N° 12: Tamaños (promedio) del Intervalo de confianza e Incertidumbre total de las mediciones, para ambos criterio del total de las mediciones.

Otra ordenación de los datos, según la clasificación por tipo de fluctuabilidad del ruido, se detalla a continuación:

N = Número de Mediciones.		Criterios estimadores	
Fluctuabilidad	Descripción	Media aritmética	Est. logarítmico
Poca (N=5)	Intervalo de confianza promedio (en dBA)	1.2	1.0
	Incertidumbre total promedio de las mediciones (en dBA)	2.2	1.5
Cíclica (N=6)	Intervalo de confianza promedio (en dBA)	2.4	2.1
	Incertidumbre total promedio de las mediciones (en dBA)	3.2	2.4
Mucha (N=9)	Intervalo de confianza promedio (en dBA)	3.0	2.7
	Incertidumbre total promedio de las mediciones (en dBA)	3.5	2.8

Tabla N° 13: Intervalo de confianza promedio e Incertidumbre total, según el tipo de fluctuabilidad.

Ahora, el número y porcentaje de “estimaciones aceptables”, de “estimaciones correctas” y de “estimaciones correctas y aceptables”, es detallado en la tabla N° 14.

Total de las mediciones (N=20)	Criterios estimadores	
	Media aritmética	Est. logarítmico
Número y porcentaje de "estimaciones aceptables"	10 (50%)	15 (75%)
Número y porcentaje de "estimaciones correctas"	15 (75%)	14 (70%)
Número y porcentaje de "estimaciones correctas y aceptables"	5 (25%)	9 (45%)

Tabla N° 14: Número y porcentaje de "estimaciones aceptables", número y porcentaje de "estimaciones correctas", número y porcentaje de "estimaciones correctas y aceptables", de todas las mediciones.

Además, en la siguiente tabla, se establecen el número y porcentajes correspondientes, según sea la estimación, de acuerdo a la clasificación por tipo de fluctuabilidad:

N = Número de Mediciones		Criterios estimadores	
Fluctuabilidad	Descripción	Media aritmética	Est. logarítmico
Poca (N=5)	Número y porcentaje de estimaciones aceptables	4 (80%)	5 (100%)
	Número y porcentaje de estimaciones correctas	3 (60%)	3 (60%)
	Número y porcentaje de estimaciones correctas y aceptables	2 (40%)	3 (60%)
Cíclica (N=6)	Número y porcentaje de estimaciones aceptables	3 (50%)	4 (66.7%)
	Número y porcentaje de estimaciones correctas	5 (83.3%)	4 (66.7%)
	Número y porcentaje de estimaciones correctas y aceptables	2 (33.3%)	2 (33.3%)
Mucha (N=9)	Número y porcentaje de estimaciones aceptables	3 (33.3%)	6 (66.7%)
	Número y porcentaje de estimaciones correctas	7 (77.8%)	7 (77.8%)
	Número y porcentaje de estimaciones correctas y aceptables	1 (11.1%)	4 (44.4%)

Tabla N° 15: Número y porcentaje de "estimaciones aceptables", número y porcentaje de "estimaciones correctas", número y porcentaje de "estimaciones correctas y aceptables", según la clasificación por tipo de fluctuabilidad del ruido.

Cabe destacar que el porcentaje de las estimaciones señalado (en tabla N° 15), es referido al número de mediciones clasificadas por cada grupo según tipo de fluctuabilidad.

6.3.3 Número y tiempo de duración de las muestras

Para establecer la influencia del número de muestras “n”, sobre las estimaciones realizadas, que fueron reducidas en algunos casos, según las consideraciones especiales mencionadas en el punto 6.1.2, se determinará el número y porcentaje de “*estimaciones correctas y aceptables*” según el número “n” de cada medición. Estos valores son mostrados, para ambos criterios, en la siguiente tabla:

Total de las mediciones (N=20)		Número “n” de muestras.		
Criterios estimadores	Descripción	Estimaciones con “n” < 7	Estimaciones con 7 < “n” < 11	Estimaciones con “n” > 11
		Nº de mediciones “N”	7	13
Est. logarítmico	Est. Correctas	6 (85,7 %)	8 (61,5 %)	-
	Est. Correctas y Aceptables	2 (28,6 %)	7 (53,8 %)	-
Media aritmética	Est. Correctas	7 (100 %)	8 (61,5 %)	-
	Est. Correctas y Aceptables	1 (14,3 %)	4 (30,8 %)	-

Tabla N° 16: Estimaciones correctas y aceptables según el número de muestras “n”, para ambos criterios, de todas las mediciones.

El porcentaje indicado, en la tabla anterior, es referido a la clasificación por número de muestras en cada caso. Además, se describe que, pese al número de estimaciones correctas, el número de estimaciones correctas y aceptables disminuye notoriamente, para ambos criterios, en las estimaciones realizadas con menos de 7 muestras.

Como el tiempo de duración de las muestras fue determinado previamente en forma empírica, a través del cálculo de las diferencias medias de la variación de los niveles de

presión sonora equivalentes (en dBA) registrados entre minutos (ver tabla N° 3 del punto 5.2), solamente nos queda comprobar que dichos cálculos sean consecuentes para el resto de las mediciones. Por lo tanto, los resultados de desviación media, entre los niveles de presión sonora equivalentes medidos para muestras consecutivas de 1, 2, y 3 minutos de duración y el porcentaje de diferencias mayores a 1 dBA, para todas las mediciones, fueron los siguientes:

Total de muestras del total de mediciones	$ L_{Aeq(1min)} - L_{Aeq(2min)} $	$ L_{Aeq(2min)} - L_{Aeq(3min)} $
D_m en dBA	1,18	0,67
Porcentaje de diferencias mayores a 1 dBA	35 %	16,3 %

Tabla N° 17: Desviaciones medias y porcentaje de diferencias mayores a 1 dBA, entre sucesivos minutos, de niveles de presión sonora equivalentes, para todas las mediciones registradas.

Según la tabla anterior, entonces, se verifica una estabilización (aproximadamente menor a 1 dB), en mediciones de niveles de presión sonora equivalentes cuya duración es de 3 minutos.

6.4 Desarrollo estadístico de las estimaciones

Por otro lado, para determinar la precisión del método de muestreo utilizado, involucrando las estimaciones de ambos criterios, son analizadas y reordenadas las diferencias $L_{Aeq, "X"} - L_{Aeq, Dos}$, por cada medición, para lograr desarrollar un valor estimado, en conjunto con un intervalo de confianza, que nos permita determinar que porcentaje de mediciones es realmente representativa (del valor estimado encontrándose dentro del intervalo de confianza asociado).

En primer lugar, sólo es posible determinar una desviación media de esos valores (D_m) ya que no presentan un ordenamiento distributivo de características normales (otros descriptores de tendencia central, como la desviación estándar, no son representativos de este grupo de datos). Por tal motivo, se efectúa una normalización de las diferencias, o sea,

calcular el logaritmo, en base 10, para cada una de las diferencias de cada criterio por separado. Esto último no fue posible realizarlo directamente, ya que algunas de las diferencias presentaban valores negativos (la función logaritmo actúa para valores reales mayores a cero) y se incrementó, en consecuencia, cada valor en 100 unidades. La acción realizada, para cada diferencia, en cada medición y para cada criterio, fue la siguiente:

$$\text{Log}_{10} [(L_{Aeq, "X"}(i) - L_{Aeq, Dos(i)}) + 100],$$

donde:

$L_{Aeq, Dos(i)}$ = Nivel de presión sonora equivalente de referencia, de cada dosimetría personal en dBA, de la i-ésima medición.

$L_{Aeq, "X"}(i)$ = Nivel de presión sonora equivalente estimado, de cada criterio en dBA, de la i-ésima medición.

Luego, con los 20 valores de las diferencias por cada medición, “logaritmizados” (se supone una distribución normal de datos), se determina una media aritmética y una desviación estándar asociada, con lo cual se establece un intervalo de confianza al 90% de certeza, uno para cada criterio, que son calculados con la siguiente relación:

$$\text{Intervalo de confianza} = \bar{x}_{\log} \pm \frac{s_{\log}}{\sqrt{N}} \cdot t,$$

donde:

\bar{x}_{\log} = Media aritmética de los valores logaritmizados.

s_{\log} = Desviación estándar (muestral) de los valores logaritmizados.

N = Número total de mediciones.

t = Parámetro “t” de la distribución “Student”, a un nivel de certeza de 90 %.

Posteriormente, para volver a cuantificar dicho intervalo en los valores de las diferencias, descritos en decibeles, se realiza la operación matemática del antilogaritmo. Esta operación es entonces:

$$10^{\left(\bar{x}_{\log} \pm \frac{s_{\log}}{\sqrt{N}} \cdot t\right)}$$

Por lo tanto:

- ✓ $10^{\left(\bar{x}_{\log} + \frac{s_{\log}}{\sqrt{N}} \cdot t\right)}$ = Limite superior del intervalo de confianza (en dBA).
- ✓ $10^{\left(\bar{x}_{\log}\right)}$ = Valor central estimado (en dBA).
- ✓ $10^{\left(\bar{x}_{\log} - \frac{s_{\log}}{\sqrt{N}} \cdot t\right)}$ = Limite inferior del intervalo de confianza (en dBA).

Estos datos fueron determinados y tabulados, para ambos criterios, en la siguiente tabla:

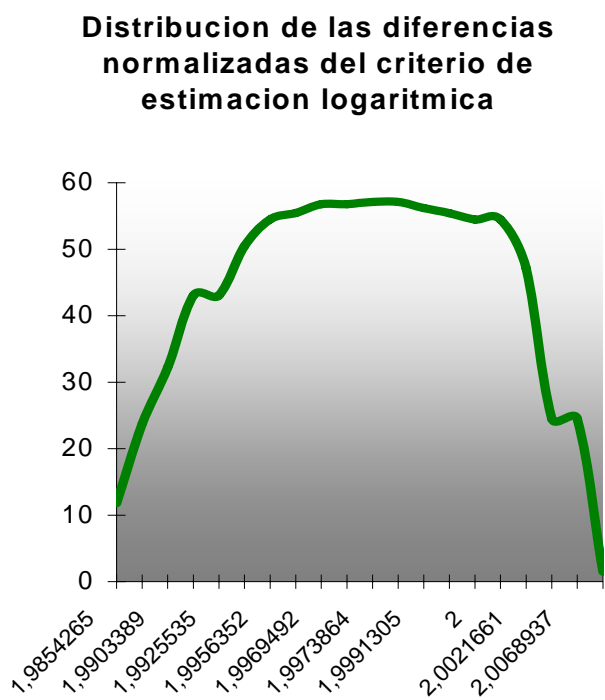
Total de las mediciones (N=20)	Intervalo de confianza (en dBA)		
Criterios estimadores	Limite superior	Valor central estimado	Limite inferior
Est. logarítmico	0.1	-0.5	-1.1
Media aritmética	-0.7	-1.3	-1.9

Tabla N° 18: Intervalos de confianza de la normalización de las diferencias $L_{Aeq, X''(i)} - L_{Aeq, Dos(i)}$ para ambos criterios, de todas las mediciones.

De la anterior tabla (N° 18) se establece que el intervalo de confianza calculado para el criterio de estimación logarítmica, contempla al valor de referencia "0". El intervalo de

confianza, calculado para el CEM, en cambio, se encuentra muy por debajo de dicho valor de referencia.

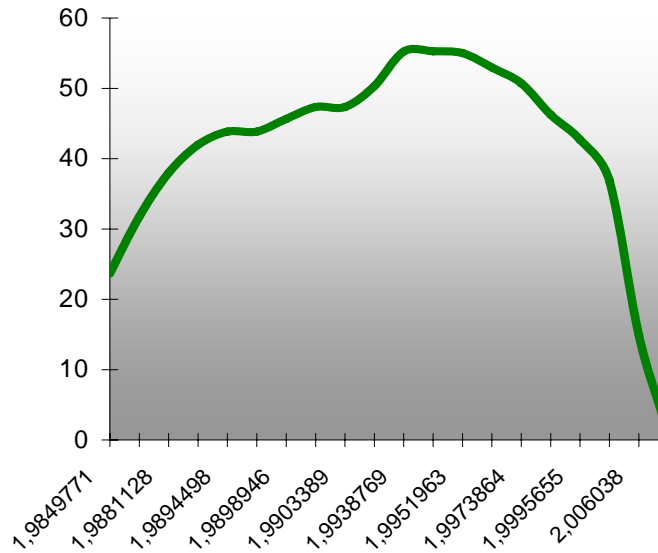
También, se examina la forma de la distribución (descriptores de forma descritos en punto 3.2.1.2) del conjunto de valores de las diferencias normalizadas. Esta forma puede ser representada gráficamente utilizando la función de densidad de probabilidad, que determina la frecuencia porcentual de cada valor y forma una curva que se muestra a continuación:



Gráfica N° 7: Distribución de las diferencias normalizadas del criterio de estimación logaritmica.

El eje “y” representa la distribución de frecuencia porcentual y el eje “x” los valores normalizados de las diferencias de cada medición. Entonces, se realiza, también, la representación gráfica para el criterio de estimación de la media aritmética:

**Distribucion de las diferencias
normalizadas del criterio de estimacion de
la media aritmetica**



Gráfica N° 8: Distribución de las diferencias normalizadas del criterio de estimación de la media aritmética.

Al igual que en la gráfica N° 7, el eje “y” representa la distribución de frecuencia porcentual y el eje “x” los valores normalizados de las diferencias de cada medición. A modo de referencia, los descriptores de forma calculados para las distribuciones representadas anteriormente (en gráficas N° 7 y N° 8), son descritos en las siguientes tablas:

Total de las diferencias normalizadas (N=20)	Descriptores de forma		
Criterios estimadores	Curtosis	Coef. de Asimetría de Pearson.	Coficiente de Asimetría
Est. logarítmico	1.798	0.278	0.827
Media aritmética	2.253	0.757	1.355

Tabla N° 19: Descriptores de forma determinados de la distribución de los valores de las diferencias normalizados, para ambos criterios, de todas las mediciones.

Los descriptores de forma, (tabla N° 19), nos permitirán identificar y asociar el tipo de distribución asociada en particular. Por lo tanto, podemos establecer que según el coeficiente de asimetría de Pearson, la distribución gráfica (gráfica N° 7) de las diferencias normalizadas del criterio de estimación logarítmica son “simétricas” y que para el Criterio de estimación de la media aritmética (figura N° 8), en cambio, son “tolerablemente simétricas” (ver punto 3.2.1.2).

Otra cuantificación de la distribución, de las diferencias normalizadas, será identificando el número y porcentaje de mediciones cuya diferencia se encontró dentro del intervalo de confianza, determinado anteriormente (en tabla N° 18), lo cual se describe a continuación:

Total de las mediciones (N=20)	Diferencias normalizadas		
	Sobre el límite superior del intervalo	Dentro del intervalo de confianza	Bajo el límite inferior del intervalo
Est. logarítmico	4 (20%)	10 (50%)	6 (30%)
Media aritmética	6 (30%)	4 (20%)	10 (50%)

Tabla N° 20: Número y porcentaje de diferencias normalizadas que se encuentran sobre, dentro y bajo, el intervalo de confianza asociado, para ambos criterios, de todas las mediciones.

Reafirmando lo señalado anteriormente, la tabla N° 20, nos demuestra que, en el criterio de estimación logarítmica, existe un mayor número de estimaciones dentro del intervalo de confianza y un mejor ordenamiento de las restantes estimaciones (en torno a dicho intervalo).

7. Conclusiones

7.1 Conclusión general

El Criterio de Estimación Logarítmica (CEL) resulta, comparativa e individualmente, apropiado para evaluaciones de ruido ocupacional, utilizando sonómetros, infiriendo que:

✓ Existió una buena aproximación (exactitud) de las estimaciones del $L_{Aeq,Est}$, con el valor de referencia determinado por las dosimetrías personales, en especial, para las estimaciones realizadas en ambientes de trabajo que presentaron “muchísima fluctuabilidad” en sus niveles de presión sonora, según la clasificación analizada y descrita en este estudio.

✓ Se estableció un promisorio número de estimaciones “correctas y aceptables” correspondientes a un 45 % del total (9 estimaciones) y un tamaño promedio apropiado de la incertidumbre total (2,3 dBA), pese a los sesgos y dificultades encontradas a lo largo de las mediciones (como la ubicación y orientación del micrófono del sonómetro, el número de muestras descartadas y la desviación estándar asociada) y todas las consideraciones de precisión establecidas.

✓ Se estableció, también, que en el caso de “poca fluctuabilidad” se encontraron intervalos de confianza con un tamaño promedio pequeño (cerca de 1 dBA) y que para el caso de “muchísima fluctuabilidad”, en cambio, se encontraron intervalos con mayor tamaño promedio (cerca de los 3 dBA) esto esperable, considerando una mayor variación de los niveles de presión sonora en las estimaciones con “muchísima fluctuabilidad” (lo que conlleva a una mayor desviación estándar y, por ende, un tamaño mayor del intervalo de confianza) a diferencia de las estimaciones con “poca fluctuabilidad” que, como el nombre lo designa, no presentan grandes variaciones en sus niveles de presión sonora.

✓ Se obtuvo un método (CEL) preciso al representar la distribución de las diferencias de exactitud normalizadas y su intervalo de confianza asociado, en torno a los resultados de referencia. Tal precisión nos indica que el método es repetible, lo cual, se ve

reflejado en que 10 de las estimaciones se encontraron dentro de dicho intervalo calculado. Además, la distribución de los valores presentó un ordenamiento distributivo normal, lo cual nos permite ratificar que el comportamiento de distribuciones cuyos valores son logaritmizados, presentan características de una distribución normal y que, por lo tanto, nos establecen pautas concretas para su posterior análisis descriptivo.

7.2 Conclusiones específicas

- Las estimaciones realizadas del Criterio de Estimación de la Media Aritmética resultaron poco representativas, del valor real de referencia (en exactitud, intervalos de confianza, incertidumbre total y precisión del método), para evaluaciones de ruido ocupacional.

- Un número entre 7 y 11 muestras por medición es adecuado y conveniente para caracterizar una toma de muestras representativa, conforme a la extensión horaria de las mediciones (acondicionada según organismos fiscalizadores) y al hecho de no afectar significativamente al intervalo de confianza y posterior incertidumbre total de cada medición.

- Un tiempo de 3 minutos de medición, por cada muestra, de niveles de presión sonora, es un periodo mínimo adecuado para agilizar los procesos de medición, considerar eventos de ruido de corta duración (que no son posibles de cuantificar bajo el criterio de estabilización descrito en el actual instructivo) y desarrollar apropiadamente el criterio de estimación logarítmica.

- Un análisis de la variación de la desviación estándar y los descriptores de forma, verificó la representatividad acústica y estadística de las muestras, al comprobar la efectividad de la eliminación de algunas muestras según la adaptación especial realizada en este estudio.

8. Propuestas y Proyecciones

El desarrollo del presente estudio pretende establecer una metodología que puede ser aprovechada y proyectada para otros estudios que conlleven a un mejoramiento de las actuales metodologías y criterios de evaluación para distintos agentes (físicos, químicos y biológicos). Éstas deberán basarse en el comportamiento como contaminante de cada agente y su distribución espacial asociada. Por ejemplo, se puede ponderar logarítmicamente (normalizar) los valores obtenidos en una evaluación, en cualquier agente, para extrapolar un criterio adecuado de estimación de la exposición y cuantificación del error asociado a esa ponderación. El detalle específico, corresponderá en cada caso a los expertos involucrados en las distintas áreas referentes en salud ocupacional.

En consecuencia son descritas las principales características, encontradas en este estudio, tendientes a mejorar ciertos aspectos del actual [3] Instructivo de Aplicación del D. S. N° 594/99 del MINSAL, para el agente físico ruido, estableciendo nuevos parámetros y condiciones de medición (acondicionado para organismos fiscalizadores), introduciendo un tercer criterio de evaluación de ruido ocupacional, desarrollando formularios de medición (a utilizar en terreno), estableciendo un informe tipo y, por último, proponiendo un software básico de cálculo de dosis de ruido diaria, para evaluaciones según estimación logarítmica.

8.1 Desarrollo metodológico específico y herramientas de trabajo

La identificación de los principales sesgos encontrados en el transcurso de las mediciones, descritas en este estudio, de forma general y para las estimaciones estadísticas, nos permiten proponer y establecer un desarrollo metodológico específico acompañado por ciertas herramientas de trabajo, a implementar, necesarias para homogeneizar las evaluaciones en todos los organismos involucrados en ruido ocupacional y principalmente para los fiscalizadores del D. S. N° 594/99 del MINSAL.

Se determinan, entonces, 5 grandes pasos a seguir en cualquier evaluación de ruido ocupacional. Estos son, en orden sucesivo:

1. Elección adecuada de puestos de trabajo (¿Qué medir?)
2. Criterio de Evaluación (¿Cómo medir?)
3. Ubicación y Orientación del instrumento de medición (¿Donde medir?)
4. Toma de muestras representativas (¿Cuándo medir?)
5. Registro, cálculo y respuesta (Calidad de la prestación)

Ahora, basándonos en la existencia actual de un instructivo de aplicación del D. S. N° 594/99 del MINSAL para el agente físico ruido, la proyección de este estudio permitió incluir o modificar, de modo necesario, ciertas condiciones especiales de metodología para la toma de muestras representativas, sobre el instructivo de aplicación referido, y en el supuesto de agregar un tercer criterio de evaluación, el CEL, que requerirá de una especial y adecuada toma de muestras, a través de mediciones “semi-aleatorias” de niveles de presión sonora equivalentes. Las principales propuestas de complementación del instructivo, son mencionadas a continuación:

✓ *Estudio previo*

Este estudio previo es el que abarca de manera integra el **paso N° 1** del desarrollo metodológico específico que nos hace referencia a la pregunta: “¿Qué medir?”. Para elegir adecuadamente, entonces, los puestos de trabajo a evaluar se considerarán todas las acciones mencionadas en el punto N° 3 del instructivo, incluyendo, de forma complementaria, para el caso supuesto, las siguientes consideraciones:

“Si las condiciones de instrumentación o tiempo total para las mediciones no permitan evaluar todos los puestos de trabajo con la posibilidad de estar expuestos a ruido con riesgo, (cuando en el screening se registren valores superiores a los 80 dBA), se escogerán todos aquellos puestos que objetivamente correspondan a los casos más críticos (con niveles de presión sonora más altos).”

Además, el estudio previo deberá dar hincapié en la discriminación del peligro y los posibles riesgos que se encuentran presentes en una exposición a ruido.

Luego, en el caso supuesto, de encontrar un grupo de trabajadores que presenten ciertas características de cotidianidad en sus procesos se podría (no obstante lo señalado en el actual instructivo), establecer y describir que:

“Se podrán medir distintos procesos, de un grupo homogéneo de trabajadores, en particular, si esos diferentes trabajadores pertenecen a un mismo puesto de trabajo y realizan los mismos procesos, en forma paralela, a lo largo de su jornada laboral.”

Consecuentemente, un puesto de trabajo será el conjunto de procesos, realizado por uno o más trabajadores (pero que realizan dichos procesos en forma conjunta).

Otra acción completamente necesaria sería describir un listado mínimo de preguntas a los mismos trabajadores involucrados, que determinen:

- La identificación detallada de las actividades y procesos que efectúa.
- Número de procesos y tiempo asociado para cada uno de ellos.
- Fuentes de ruido involucradas (directa o indirectamente).
- Tipo de ruido para el(los) proceso(s) que realiza.
- Intervalos de colación o descanso.
- Cotidianidad de las acciones mencionadas anteriormente.

✓ *Procedimiento de medición de ruido.*

Sobre la verificación de las baterías, previo a las mediciones en terreno, (punto 5,1 del instructivo), se propone agregar una acotación que permita inferir sobre la importancia de contar, en cada medición, con baterías nuevas de recambio.

La calibración y su verificación al final de las mediciones en terreno serán de primordial importancia con lo cual se infiere que:

“El instrumento de medición siempre deberá ser calibrado en terreno antes de iniciar la medición y verificado después de terminarla.”

Ahora sobre el criterio de descarte de las mediciones:

“Cuando el valor de la calibración en terreno, previo a las mediciones, difiera en más de 1 dB con el valor de la verificación de la calibración, al final de las mediciones, se deberá descartar la medición realizada, y los registros obtenidos.”

Una vez seleccionado el o los puestos de trabajo a evaluar, el **paso N° 2** del desarrollo metodológico específico hace referencia a la pregunta: “¿Cómo medir?”.

En la actualidad las mediciones de ruido ocupacional presentan dos instrumentos de medición que son el dosímetro personal y el sonómetro integrador. Por un lado, el dosímetro es el instrumento de medida ideal para este tipo de evaluaciones y su metodología se encuentra descrita, adecuadamente, en el actual instructivo de aplicación. Por otro lado, las mediciones utilizando sonómetros podrán realizarse según el criterio de estabilización (descrito en el instructivo de aplicación vigente) y, en propuesta, por el criterio de estimación estadística (CEL) obtenido en este estudio.

Se propone, entonces un cuadro resumen de los criterios de evaluación a utilizar, según el tipo de ruido, número de procesos y tiempo de duración de cada uno de ellos, en la siguiente tabla:

Tipo de Ruido		Número de Procesos	Tiempo de duración de los Procesos	Criterio de Evaluación
Estable		1	Larga duración	DP, CEst y CEL
Fluctuante	Poco	1 a 2	Larga duración	DP, CEst y CEL
	Cíclico	< 5	> 15 minutos (p/p)	DP, CEst y CEL
			< 15 minutos (p/p)	DP y CEL
	Muy	> 5 (establecidos)	Corta duración	DP y CEL
> 5 (aleatorios)		Corta duración	Sólo DP	

Tabla N° 21: Cuadro resumen de los criterios de evaluación a utilizar, en orden prioritario, según el tipo de ruido, número de procesos y tiempo de duración de cada uno de ellos.

Las abreviaciones de los criterios de evaluación son las de “DP”, para dosimetrías personales, “CEst”, para el criterio de estabilización, y “CEL”, para el criterio de

estimación logarítmica. Además, la tabla anterior nos describe que el criterio de estimación estadística podrá ser usado para la mayoría de los tipos de ruido identificados en los lugares de trabajo.

Una vez establecido ¿Qué medir? y ¿Como medir?, el **paso N° 3** del desarrollo metodológico específico hace referencia a la pregunta: “¿Dónde medir?”.

En la actualidad, el instructivo establece que el micrófono del sonómetro tendrá que ubicarse para representar la posición del oído más expuesto del trabajador, involucrado en el puesto de trabajo a evaluar, y que se podrán realizar las mediciones en presencia del trabajador como también en su ausencia, tomando algunas consideraciones especiales de posicionamiento y distancia en ambos casos. En el caso donde se realicen las mediciones con la presencia del trabajador se propone complementar, entonces, que:

“Cuando las mediciones se realicen en presencia del trabajador, se ubicará el micrófono en las cercanías del oído más expuesto, entre 10 y 30 cm, sin que afecte en las actividades normales del trabajador. La orientación del micrófono deberá ser la adecuada, a determinar por el examinador, para que su dirección se encuentre en directa relación con la energía sonora emitida desde una o más fuentes de ruido involucradas. En el caso de una sola fuente de ruido, influyente para la evaluación, se orientará el diafragma del micrófono en dirección frontal hacia la fuente. En el caso de más de una fuente de ruido, el examinador tendrá que realizar un rápido screening, ubicando las fuentes más influyentes, y regular la dirección del diafragma del micrófono hacia éstas, dirimiendo subjetivamente la frontalidad del micrófono en preferencia hacia la más influyente.”

Se propone, también, sobre aquellas mediciones en altura o que conlleven a un inminente riesgo en la salud del examinador, establecer que:

“Cuando las mediciones se realicen en puestos de trabajo de difícil acceso para una correcta ubicación del micrófono o que puedan conllevar a un riesgo en la salud del evaluador se recomienda la utilización del trípode del instrumento y/o una adecuada protección personal del evaluador.”

Se proponen, además, otras condiciones, aún más específicas (pero que no llevan a ser irrelevantes) que especificarían una cierta distancia fija, de ubicación del micrófono del sonómetro, para mediciones en trabajadores cuyos procesos sean de una movilidad extrema (un traslado continuo y aleatorio en diferentes actividades de corta duración). Para el caso

más simple de movilidad extrema (traslado continuo y rápido entre dos puntos) se podrá, empíricamente, establecer una distancia fija para medir la exposición en las cercanías de la fuente de ruido más influyente, pero determinada subjetivamente por el examinador a través del análisis de la actividad a medir en cuanto al tiempo y nivel de exposición en los dos puntos de recorrido. Sin embargo, no se puede inferir acabadamente en estos casos de movilidad extrema y se plantea recurrir y recomendar una dosimetría personal.

El **paso N° 4** de nuestro desarrollo metodológico específico nos señala acerca de la toma de muestras representativas referidas a la pregunta: “¿Cuándo medir?”.

En consecuencia, se propone la metodología del criterio de estimación logarítmica como principal método de evaluación, para mediciones con sonómetros a realizar en ambientes de ruido debido a su precisión y exactitud obtenidas (en este estudio) y al hecho de cuantificar el error asociado a las mediciones (calidad en la medición y evaluación). La referencia necesaria para la estimación de un nivel de presión sonora representativo y su incertidumbre total asociada, como la descripción de las relaciones que establecen a la media aritmética y desviación estándar de niveles de presión sonora, el factor “t” de las distribuciones Student, la determinación del intervalo de confianza y el error asociado a la instrumentación, se encuentra descrita y ejemplificada en el Anexo II al final de esta tesis.

Finalmente, el **paso N° 5** del desarrollo metodológico específico, nos infiere acerca del registro de los datos, cálculo (evaluación de la exposición a ruido) y respuesta final documentada de la prestación realizada.

Entonces, en primer lugar, se registrarán los datos medidos y antecedentes previos, recopilados para la elección de los puestos de trabajo a evaluar, en el formulario de medición correspondiente (ver figura N° 11) que, entre otros aspectos generales, de descripción de la entidad empleadora, del tipo de ruido, de los trabajadores y puestos de trabajo involucrados, establece el tipo de criterio de evaluación a utilizar y la verificación de la calibración, en terreno, de los instrumentos de medida utilizados.

FORMULARIO DE MEDICIÓN				
Antecedentes Generales				
Entidad Empleadora:	Estudio de grabacion "Arboles"			
Dirección Completa:	Marathon 1000, Ñuñoa, Santiago			
Correo Electronico:	ruido@ispch.cl	Fono:	3507349	
Organismo de Afiliación:	Instituto Nacional de Prevención			
Descripción Jornada Laboral				
Nº trabajadores:	25	Nº de puestos:	5	
Nº de turnos:	2			
Horario(s) turno(s):	08:30-17:30, 09:00-18:00			
Metodología de medición		Si	No	Nº de puestos
*	Dosimetria Personal	x		1
*	Criterio Estabilización	x		1
*	Criterio Est. Estadística	x		1
Croquis de las instalaciones				

Figura N° 11: Vista preliminar del formulario de medición para el registro en terreno de antecedentes y mediciones.

El formulario de medición, mostrado anteriormente en figura N° 11, fue realizado en el programa “Microsoft Excel”, buscando una fácil comprensión y llenado en su hoja de antecedentes generales y para evaluaciones utilizando la estimación logarítmica (La vista previa del formulario correspondiente para el criterio de estimación estadística es mostrada en Anexo II).

Posteriormente a las mediciones, se procederá a la comparación del valor estimado e incertidumbre total con el valor limite máximo permisible, según sea el tiempo de exposición, en el caso de una estimación estadística (ver figura N° 12). Entonces, se evaluará la exposición a ruido ocupacional, del trabajador o los trabajadores

correspondientes al puesto de trabajo examinado, como *Con Riesgo* o *Sin Riesgo* de adquirir sordera profesional.

Ingreso de Datos				Descripción de Resultados			
Tipo de Sonómetro utilizado: Tipo N° = 1				N° de muestras	Factor "t" (90 %)		
				9	1,86		
Muestra N°	LAeq,Est			Media Aritmética	Dev. Estándar		
1	91			85,6	2,977		
2	85			Intervalo de Confianza (90%)			
3	81						
4	83			2,1			
5	88,5			Incertidumbre Total de las mediciones			
6	87						
7	84			2,1			
8	86			Estimación Final			
9	85						
10				LAeq,Est = 86,6 ± 2,1 dBA			
11				La medición es aceptable			
Tiempo Total de Exposición a ruido: 8 horas.				El nivel máximo permitido, para el tiempo total de exposición es 85 dBA.			

Figura N° 12: Vista preliminar de la hoja de cálculo y evaluación de la exposición según el criterio de estimación estadística (CEL).

Al igual que el formulario de medición, la hoja de cálculo, para evaluar correctamente la exposición a ruido, según el criterio de estimación estadística, fue creada, en formato de “Microsoft Excel”, especialmente con el afán de hacer fácil su comprensión y utilización.

Finalmente, se describirá, de manera adecuada, la información recopilada, en las mediciones y en la determinación de la evaluación a ruido, y conclusiones establecidas para la medición, en un informe técnico, que deberá tener en cuenta todo lo señalado en el punto

Nº 7 del actual instructivo de aplicación. De tal situación, se creó un informe “tipo” (ver figura Nº 13) que pretende ser característico y homogéneo para los organismos involucrados en evaluaciones de ruido ocupacional.

The image shows a Microsoft Word window with the following content:

Informe Técnico de Evaluación de Exposición a Ruido Laboral

Fecha visita:	9 de Noviembre de 2004	Nº Inf.:	001
----------------------	------------------------	-----------------	-----

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

Razón Social:	Enrique Aliste Osorio		
Dirección Empresa:	Chacabuco 1151, Santiago.		
Nº de Trabajadores:	Fono:	Organismo Administrador Ley 16.744:	
5	6327178	Instituto de Normalización Previsional	

2. OBJETIVOS

Evaluar la exposición ocupacional a ruido para el personal que se desempeña en la Empresa "Enrique Aliste Osorio" según parámetros y metodología señalada en el **Instructivo de Aplicación del Decreto Supremo Nº 594/99 del MINSAL**, y en relación con los resultados obtenidos, proponer medidas de control factibles de aplicar.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LA EMPRESA

3.1. Generalidades.

Rubro y uso principal:	Taller de fabricación de Artículos decorativos.
Características de las instalaciones:	La empresa cuenta con un Galpón con áreas habilitadas para realizar faenas de corte, pulido y moldeado de cuarzo y mármol, con cierres perimetrales. Otro sector o área es el Patio donde se encuentra una cortadora de metales y se realizan faenas de esmerilado, además, se encuentra en un costado, un espacio de almacenamiento de piedras. Las instalaciones presentan deficiencias estructurales por antigüedad del inmueble. La maquinaria utilizada no tiene identificación del fabricante.
Observaciones generales:	

Figura Nº 13: Vista preliminar de un informe técnico “tipo” para evaluaciones de ruido ocupacional.

Cabe destacar que, el informe tipo, el formulario de medición, y el software de cálculo y evaluación de la exposición a ruido, para el criterio de estimación estadística, son anexados, en forma paralela a este documento, en un disco compacto recopilador de información.

8.2 Proyecciones sobre otros niveles representativos

Se podría determinar, en futuros estudios, alguna relación que involucre los niveles percentiles en una estimación de un nivel de presión sonora representativo de una exposición a ruido ocupacional. Esto nace bajo el concepto de temporalidad que intrínsecamente el nivel percentil establece (ver punto 3.2.1.2).

9. Bibliografía y Referencias

9.1 Referencia normativa

[1].- Decreto Supremo N° 594, de 1999. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Título IV, párrafo 3°, artículos 70-82.

[2].- Ley N° 16.744, de 1968. Establece normas sobre accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.

[3].- Instructivo para la aplicación del Decreto Supremo N° 594/99 del Ministerio de Salud, título IV, párrafo 3°, Agentes Físicos – Ruido. Instituto de Salud Pública de Chile, Santiago, 2004.

[4].- Guía técnica para la evaluación de los trabajadores expuestos a ruido y/o con sordera profesional. Instituto de Salud Pública de Chile, Santiago, 2005.

[5].- Circular 3G/40: “Instructivo para la calificación y evaluación de las enfermedades profesionales del reglamento D. S. N° 109/1968, de la Ley N° 16.744”. Instituto de Salud Pública de Chile, Santiago, 2003.

[6].- Guía para la mantención y calibración de la instrumentación utilizada en la evaluación de la exposición a ruido de los trabajadores en sus lugares de trabajo. Instituto de Salud Pública de Chile, Santiago, 2004.

[7].- Norma Chilena NCh2572-2001. Acústica – Guías para la medición y evaluación de la exposición a ruido en un ambiente de trabajo.

[8].- Notas Técnicas de Prevención NTP-270. Evaluación de la exposición a ruido – Determinación de los niveles representativos. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. España, 1991.

[9].- Bases técnicas para la participación en el programa de evaluación externa de la calidad de los centros audiométricos del Instituto de Salud Pública de Chile. ISP, Santiago, 2004.

[10].- Bases técnicas para la participación en el registro de proveedores en servicios de audiometría del Instituto de Salud Pública de Chile, ISP, Santiago, 2004.

[11].- Decreto Supremo N° 109, de 1968. Aprueba el reglamento para la calificación y evaluación de los accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con o dispuesto en la Ley N° 16.744. Artículos 18-34.

9.2 Referencia bibliográfica y de investigación.

[12].- Gerges, S. and Arenas, J. P. Fundamentos y Control de Ruido y Vibraciones. NR Editora, pp 39-76, Florianópolis, Brasil, 2004.

[13].- Suter, A. Hearing Conservation Manual. Third Edition, capítulos II y IX, USA, 1993.

[14].- Malchaire, J. and Piette, A. A comprehensive strategy for the assessment of noise exposure and risk of hearing impairment. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 41, N° 4, pp 467-484, 1997.

[15].- Behar, A. and Plener, R. Noise exposure – Sampling strategy and risk assessment. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* Vol. 45, pp 105-109, 1984.

[16].- Behar, A. and Jackson, R: A. Noise exposure – Sample size and confidence limit calculation. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* Vol. 46, pp 387-390, 1985.

[17].- Brunn, I. O., Campbell, J. S. and Hutzell, R. L. A. Evaluation of occupational exposures: A proposed sampling method. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* Vol. 47, pp 229-235, 1986.

[18].- Damangeot, A. and Kusy, A. Pertinence de l'échantillonnage "en aveugle" pour l'estimation des niveaux sonores en entreprises. Cahier de notes documentaires N° 139, pp 347-361, 1990.

[19].- Curso: Estimación del riesgo auditivo por exposición a ruido según la Norma ISO 1999 : 1990. Miyara F. Publicado por IRAM - Instituto Argentino de Normalización, pp 6-22. Argentina.

[20].- Taller de Acústica. Impartido por Labein (España) y publicado por la Corporación nacional del medio ambiente de Chile. Tomo I, capítulos 2, 3 y 4, Chile, 1997.

[21].- Basic Concepts of Sound. Publicado por Brüel & Kjær Sound and Vibration Measurement, 1998.

[22].- A Guide to Conducting Noise Sampling. Publicado por U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration, 2000.

9.3 Referencia Web.

[23].- <http://www2.udec.cl/~lborzone/>. Material de Cursos de Metrología, Mediciones y Procesos de Fabricación, Prof. Lorenzo Borzone. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Concepción, Chile.

[24].- <http://ftp.medprev.uma.es/libro/html.htm>. Versión electrónica del Manual de Bioestadística: Métodos y Aplicaciones. Facultad de Medicina, Universidad de Málaga, España.

[25].- <http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/1075/Estad.htm>. Sobre la definición de estadística. Sánchez-Crespo G, delegado del Instituto Nacional de Estadística en Cantabria, y Manzano V, Profesor titular de la Universidad de Sevilla, España.

ANEXO I

Resultados tabulados

Tabla N° 1: Datos registrados en todas las mediciones

Identificación		Muestras de Niveles de presión sonora equivalente, de 3 minutos (en dBA)												Referencia
Empresa	Trabajador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	LAeq,Dos
Enrique Aliste	Wilson Chamba	93,3	87	88,8	89,1	76,1	81,3	81,5	81,6	78,4	79,5	/	/	91
Env. Metalicos	Juan Navarro	88	86,4	88,1	87,1	83,4	88	87,3	85,8	88,2	89,4	88,3	85,6	91,5
Mavemo	Edgardo Leal	94	99,3	95,1	96,1	96,6	101,7	103,5	106,4	98,7	102,6	/	/	103,5
Mavemo	Guillermo Diaz	100	83,8	92,5	101,2	94	94	100,1	81,5	88,8	90,4	/	/	99,4
Mavemo	Daniel Gutierrez	120,5	120,4	121	115,3	11,4	113	113,8	89,4	/	/	/	/	116,8
José Gallardo	Juan Muñoz	84	87,5	90	94,6	91,6	89,5	94,1	86,6	90,5	94,6	/	/	96
Panf. Toledo	Carlos Rodriguez	79,7	80	77,4	77,3	77,3	77	75,4	75,4	75,7	76	/	/	83,7
Panf. Toledo	Pedro Contreras	81,2	81,2	81,3	77,3	76,2	74,1	77,2	79,3	72,7	78,9	/	/	87,2
Soc. Monsalve	Aldo Torres	77,2	77,4	77,6	77,9	78,3	78,1	77,1	78,8	78,8	/	/	/	81,3
Min. Aguado	Luis Dagoberto	98,4	97,1	97,9	97,8	97,6	65,5	65,3	98,9	95,1	98,2	97,1	95,6	97,5
Villa Torres	Pedro Canale	92,4	92,5	95,4	95	95,4	84,1	69,9	88,7	82,1	/	/	/	95,7
Vasquez Ulloa	Agustin Gallegos	86,6	74,6	76,9	67,2	85,4	88,2	87,7	90,6	68	62,7	68,3	66	88,5
Perf. Metalicos	Marco Contreras	82,5	82,3	81,9	82,4	82,1	82,2	81	82,4	83,2	84,7	/	/	84,8
Perf. Metalicos	Luis Oyanader	92,7	96,3	93,4	90,4	92,1	92,7	91,8	97	92,2	93,9	/	/	100,5
Piezas Metalicas	Ruben Arteaga	89,5	76,1	72,2	77,2	74,9	78,8	93,2	87,7	/	/	/	/	84
Roberto Carvajal	Ignacio Nitschke	72,5	78,3	78	78,8	78,4	81,9	78,8	79,5	78	82,7	/	/	79,2
Roberto Carvajal	José Gavila	74,2	77,7	76,7	80,8	75,8	82,8	81,3	78,3	79,8	83	/	/	81
Fab. De Uñas	Ruben Farias	92,8	93,8	94,8	79,6	89,1	92,3	75,1	94,1	94,1	93,8	/	/	89,6
Rect. San Pablo	Hector Ortiz	73,6	72,6	72,1	71,1	72,3	72,3	72,3	75,4	77,3	75,7	/	/	74,1
Mec. Hidraulica	Felipe Rodriguez	81,6	86,4	85	82,9	85,8	78	74,6	81,1	81,2	78,1	/	/	83,3
Gminox	Sergio Campos	83,6	77,1	81,1	77,6	89	88,9	80,3	78,6	77,3	78,5	/	/	87,3
Sergio Brito	Manuel Ruz (pul)	77,9	75,5	74,9	78,8	75,4	73,3	65,3	74	/	/	/	/	78,7
Segio Brito	Sergio Neira (pin)	75,9	73,7	76,5	76,9	71,2	66,9	71,7	74,3	/	/	/	/	83,4
Muebles Issaurat	Elias Ibarra	76,6	76,9	84,7	84,9	81,9	79,2	81,4	88	/	/	/	/	85,8
Geoplasticos	Luis Arriagada	96,3	95,4	98	96,6	95,3	/	/	/	/	/	/	/	94,9
Geoplasticos	Bartolo Calfupan	80,4	86,2	79,6	80,6	82,5	79,3	80,9	82	/	/	/	/	87,3
H.Sotero del Rio	Cristopher Galvez	78,7	81,2	74,5	74,8	79,8	78,3	77,9	77,7	78,9	79,6	/	/	80,3
H.Sotero del Rio	Carlos Moreno	77,1	72,9	74,4	72	79,6	77	71,9	72,2	82,4	77	/	/	78,4

Tabla N° 2: Estimaciones realizadas de ambos criterios

Identificación		Tipo de	Eliminación	Criterio de Est. Logarítmica			Criterio de Est. de la Media Aritmética		
Empresa	Trabajador	Fluctuabilidad	de muestras	LAeq,Est	Intervalo	Incertidumbre	LAeq,media	Intervalo	Incertidumbre
Enrique Aliste	Wilson Chamba	Cíclica	Si	90,4	3,5	3,6	89,6	4,2	5,2
Mavemo	Edgardo Leal	Mucha	Si	102,5	2,8	2,8	101,3	3,1	3,1
Mavemo	Guillermo Diaz	Mucha	Si	98,7	3,8	3,8	97	4,1	4,1
Mavemo	Daniel Gutierrez	Cíclica	Si	118,4	3,6	3,6	116,5	3,7	3,7
Soc. Monsalve	Aldo Torres	Poca	No	78	0,4	1,1	77,9	0,5	1,5
Min. Aguado	Luis Dagoberto	Cíclica	Si	97,5	0,7	1,2	97,4	0,9	1,9
Villa Torres	Pedro Canale	Cíclica	Si	94	2,4	2,6	93,2	2,7	3,7
Vasquez Ulloa	Agustin Gallegos	Mucha	Si	88,1	2	2,2	87,7	2,4	3,4
Perf. Metalicos	Marco Contreras	Poca	No	82,6	0,6	1,2	82,5	0,7	1,7
Roberto Carvajal	Ignacio Nitschke	Poca	Si	79,7	1,1	1,5	79,4	1,3	2,3
Roberto Carvajal	José Gavila	Poca	No	80,1	1,9	2,1	79	2,1	3,1
Fab. De Urnas	Ruben Farias	Cíclica	Si	93,5	1,3	1,6	93,1	1,5	2,5
Rect. San Pablo	Hector Ortiz	Poca	No	73,9	1,2	1,6	73,5	1,4	2,4
Mec. Hidraulica	Felipe Rodriguez	Mucha	Si	83,3	2,2	2,4	82,2	2,4	3,4
Gminox	Sergio Campos	Mucha	Si	86,6	5	5,1	84,6	5,2	6,2
Sergio Brito	Manuel Ruz (pul)	Mucha	Si	76,1	1,6	1,9	75,7	1,8	2,8
Muebles Issaurat	Elias Ibarra	Mucha	Si	84,5	2,9	3,1	83,4	3,3	4,3
Geoplasticos	Luis Arriagada	Cíclica	No	96,5	1,1	1,5	96,3	1,4	2,4
H.Sotero del Rio	Cristopher Galvez	Mucha	No	78,6	1,3	1,3	78,1	1,5	1,5
H.Sotero del Rio	Carlos Moreno	Mucha	Si	78,3	2,6	2,6	77,2	2,9	2,9

ANEXO II

Descripción del criterio de estimación logarítmica (CEL) y ejemplo de utilización

Criterio de estimación estadística de un nivel de presión sonora representativo de una exposición a ruido ocupacional.

“Se determina que, en aquellos ambientes de trabajo que presenten características de tipo estables o fluctuantes de ruido, para representar adecuadamente la exposición a ruido, se deberá utilizar el criterio de estimación estadística, que considerará entre 7 a 11 muestras de niveles de presión sonora equivalente, de 3 minutos de duración cada una, por puesto de trabajo a evaluar y considerando aquellos ciclos o procesos que presenten los niveles superiores de sonoridad (con niveles de presión sonora más altos de cada puesto, en particular).”

“Se podrán realizar un número mayor a 11 muestras y, además, podrán descartarse aquellas muestras que se diferencien en más de 10 dBA por debajo de la muestra más alta (con el mayor valor de nivel de presión sonora registrado previamente).”

“Luego, una vez registradas las muestras, se deberán determinar los valores estadísticos de media aritmética (\bar{X});

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{Aeq,i}}{n},$$

donde:

\bar{X} = Media Aritmética de los valores $L_{Aeq,i}$.

$L_{Aeq,i}$ = Valor de nivel de presión sonora equivalente, ponderado “A”, de la i-ésima muestra.

n = Número total de muestras.

de desviación estándar (s);

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - L_{Aeq,i})^2}{n-1}},$$

donde:

s = Desviación estándar de los valores $L_{Aeq,i}$ con respecto a \bar{X} .

\bar{X} = Media Aritmética de los valores $L_{Aeq,i}$.

$L_{Aeq,i}$ = Valor de nivel de presión sonora equivalente, ponderado “A”, de la i -ésima muestra.

n = Número total de muestras.

y del factor “ t ” de distribuciones Student (t), determinado según el número de muestras de cada medición, por la siguiente tabla;

Número de muestras	Factor “ t ” (90%)
2	6,314
3	2,920
4	2,353
5	2,132
6	2,015
7	1,943
8	1,895
9	1,860
10	1,833
11	1,812
12	1,796
13	1,782
14	1,771
15	1,761
16	1,753
17	1,746
18	1,740
19	1,734
20	1,729
21	1,725
22	1,721
23	1,717

24	1,714
25	1,711
26	1,708
27	1,706
28	1,703
29	1,701
30	1,699
∞	1,645

Tabla N° 1: Factores “t” con un nivel de certeza de 90% según el número de muestras.

“Una vez establecidos los valores estadísticos se introducirán, según corresponda, en las siguientes relaciones que determinan el valor de nivel de presión sonora representativo estimado ($L_{Aeq,Est}$), del puesto de trabajo medido, y su intervalo de confianza (u_s) asociado:”

$$L_{Aeq,Est} = \bar{X} + 0,115s^2$$

y

$$u_s = \pm \sqrt{\frac{s^2}{n} + \frac{0,026 \times s^4}{n-1}} \times t .$$

“Posteriormente, se determina la incertidumbre total de la medición (ε), que involucra el error estimado debido a la instrumentación (u_i) y debido a las mediciones (u_s), a través de la siguiente relación:”

$$\varepsilon = \sqrt{u_i^2 + u_s^2}$$

La estimación del error asociado a la instrumentación (u_i) se determina de la tabla N° 2.

“Una estimación se designará como “aceptable” cuando el valor numérico de “ ε ” sea menor o igual 3 dBA. En caso contrario, las mediciones deberán repetirse de mejor manera o utilizando otro criterio de evaluación (de preferencia el de dosimetría personal).”

1.- Sonómetro (conforme a NCh2500)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
2.- Sonómetro integrador (conforme a NCh2569)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
3.- Calibrador (conforme a IEC 60942)	Tipo 0	Tipo 1	Tipo 2
4.- Incertidumbre (u_i)	Despreciable	1 dB	1,5 dB

Tabla N° 2: Estimación del error asociado a la instrumentación (u_j).

“Establecida una medición como “aceptable” se comparará la estimación ($L_{Aeq,Est}$), e incertidumbre asociada (ε), respecto al nivel límite (máximo permitido, designado como “ L_{lim} ”), de nivel de presión sonora equivalente ponderado “A”, determinado de acuerdo al tiempo total de exposición referido al puesto de trabajo medido.”

“Existirán tres situaciones características, en la comparación del nivel estimado con el nivel límite, las cuales nos permitirán evaluar, finalmente, la exposición a ruido. Estas situaciones y su evaluación final son:

1. Si $L_{lim} \geq L_{Aeq,Est} + \varepsilon$, el nivel límite no se excede y la evaluación de la exposición a ruido se califica como *Sin Riesgo* de adquirir Sordera Profesional.
2. Si $L_{lim} < L_{Aeq,Est} - \varepsilon$, el nivel límite se excede y la evaluación de la exposición a ruido se califica como *Con Riesgo* de adquirir Sordera Profesional.
3. Si $L_{Aeq,Est} - \varepsilon \leq L_{lim} \leq L_{Aeq,Est} + \varepsilon$, no se puede obtener una conclusión y la medición de deberá repetir usando una técnica más exacta (de preferencia una dosimetría personal).

Ejemplo de utilización

Se realizaron mediciones para determinar y evaluar la exposición a ruido de un puesto de trabajo en una fábrica de muebles y artículos de madera. Dicho puesto de trabajo, denominado como “carpintero mueblista”, era ejecutado por un solo trabajador, el cual realizaba diversos procesos de corta duración para la elaboración de muebles de madera, como cortes con sierra, cepillado y pulido. Realizado un “screening”, se estableció que el tipo de ruido era fluctuante y que los procesos que se llevaban a cabo durante las mediciones (media jornada laboral), eran representativos de toda la jornada laboral (de 8 horas, en total).

FORMULARIO DE MEDICIÓN												
Criterio de Estimación Estadística												
Descripción											1	
Puesto de trabajo:				Carpintero Mueblista				Tiempo total de exposición:				8 Horas
Nombre(s) trabajador(es):				Jorge Toledo								
Mediciones											(Muestra= LAeq de 3 minutos)	
Muestra 1:	88,4	dB	Muestra 2:	87,6	dB	Muestra 3:	94,2	dB	Muestra 4:	91,1	dB	
Muestra 5:	89,6	dB	Muestra 6:	90,7	dB	Muestra 7:	86,9	dB	Muestra 8:	92,3	dB	
Muestra 9:	93,7	dB	Muestra 10:	89,5	dB	Muestra 11:	/	dB	Muestra 12:	/	dB	
Observaciones												
Descripción											2	
Puesto de trabajo:								Tiempo total de exposición:				Horas
Nombre(s) trabajador(es):												
Mediciones											(Muestra= LAeq de 3 minutos)	
Muestra 1:		dB	Muestra 2:		dB	Muestra 3:		dB	Muestra 4:		dB	
Muestra 5:		dB	Muestra 6:		dB	Muestra 7:		dB	Muestra 8:		dB	
Muestra 9:		dB	Muestra 10:		dB	Muestra 11:		dB	Muestra 12:		dB	
Observaciones												

Figura N° 1: Vista preliminar del formulario de medición correspondiente para el criterio de estimación estadística.

Siendo un puesto de trabajo caracterizado, según el tipo de ruido y procesos encontrados, como “muy fluctuante”, se determinó evaluar la exposición, a través del criterio de estimación estadística, realizando, entonces, 10 muestras representativas de niveles de presión sonora continuo equivalentes, de 3 minutos de duración cada una, para aquellos procesos más ruidosos (como, por ejemplo, el uso de la sierra y maquina pulidora).

Los instrumentos de medición utilizados correspondieron a un sonómetro integrador tipo 2 (en concordancia con IEC 651) y un calibrador clase 1 (IEC 942). Los datos, que fueron registrados en el correspondiente formulario de medición, fueron los siguientes:

Del análisis de los datos, entonces, se determinó, utilizando las relaciones establecidas en los puntos N° 4.2 y N° 6.2.3 del presente estudio, que:

- ✓ La media aritmética (\bar{X}) = 90.4 dBA.
- ✓ La desviación estándar (s) = 2.5 dBA.
- ✓ El Nivel Estimado ($L_{Aeq,Est}$) = 91.1 dBA.
- ✓ El intervalo de confianza (u_s) para un nivel de 90 % de certeza = 1,6 dBA.
- ✓ El Error debido a la instrumentación utilizada (u_i) = 1 dBA.
- ✓ La incertidumbre total de la medición (ε) = 1.9 dBA.

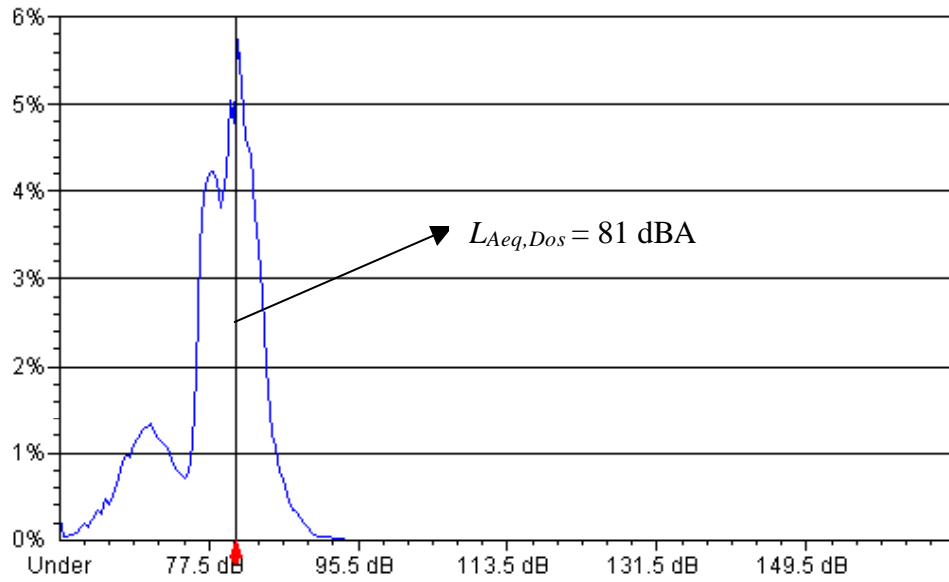
Como la incertidumbre total de la medición fue inferior a 3 dBA, la estimación se designó como “aceptable”. Luego, se establece que el límite máximo permisible de nivel de presión sonora, para una jornada laboral de 8 horas de duración, correspondiente en este caso, era de 85 dBA. Por lo tanto, como el Nivel estimado ($L_{Aeq,Est} = 91,1$ dBA) y sus posibles valores (determinados dentro del rango de “ ε ” = 1.9 dBA) se encontraron por sobre el limite máximo (85 dBA) la evaluación de la exposición a ruido del trabajador de este puesto en particular, se calificó como *Con Riesgo* de adquirir Sordera Profesional.

ANEXO III

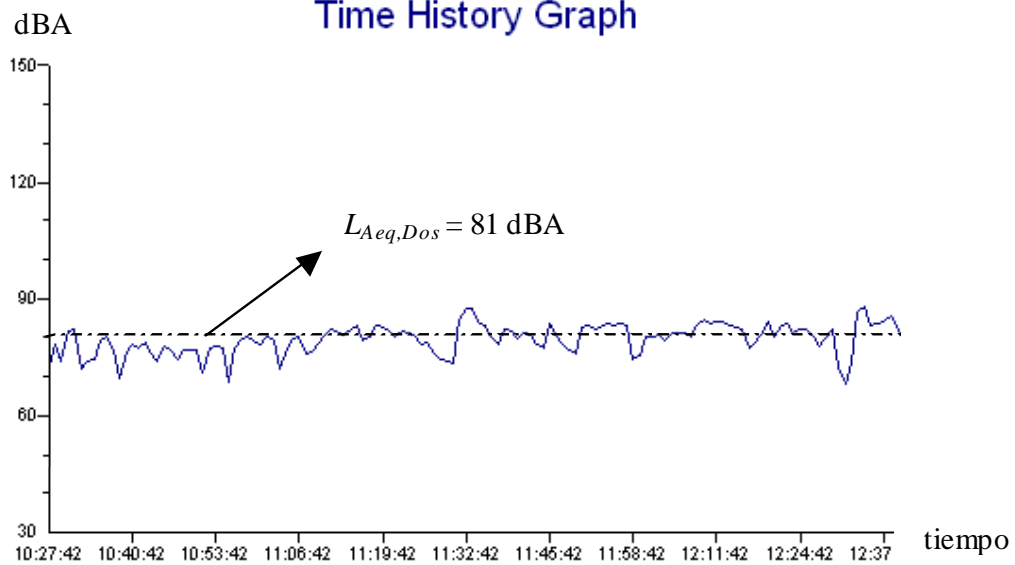
Distribución e historial gráfico de los niveles de presión sonora, en distintos ambientes de trabajo, clasificados según su tipo de fluctuabilidad.

Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “poca fluctuabilidad” (1):

Statistics Graph

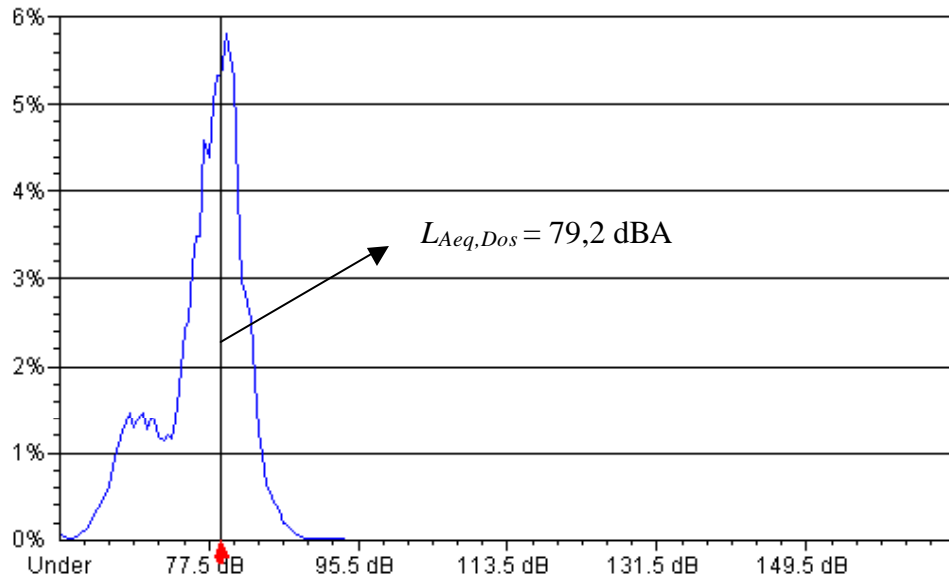


Time History Graph

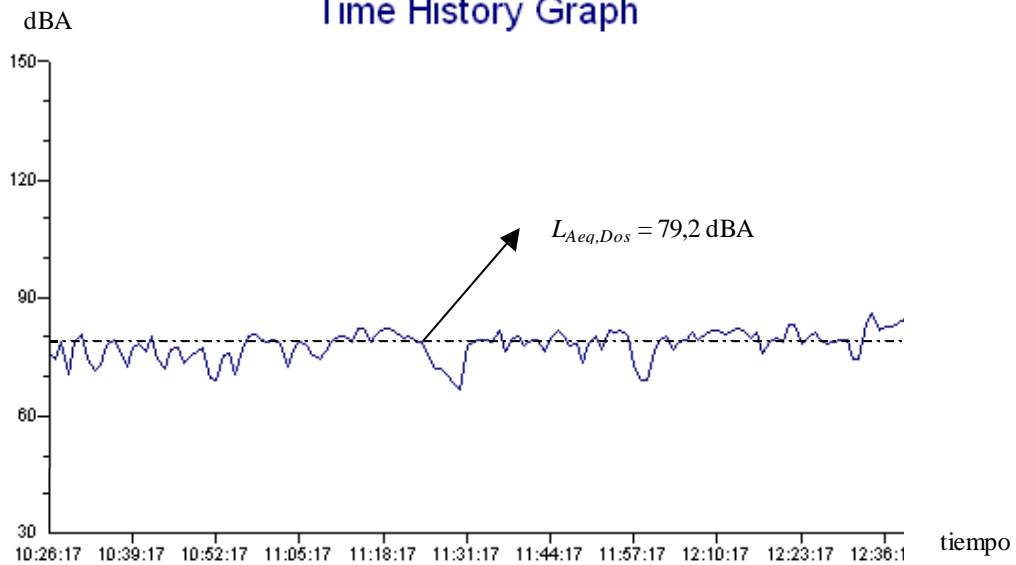


Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “poca fluctuabilidad” (2):

Statistics Graph

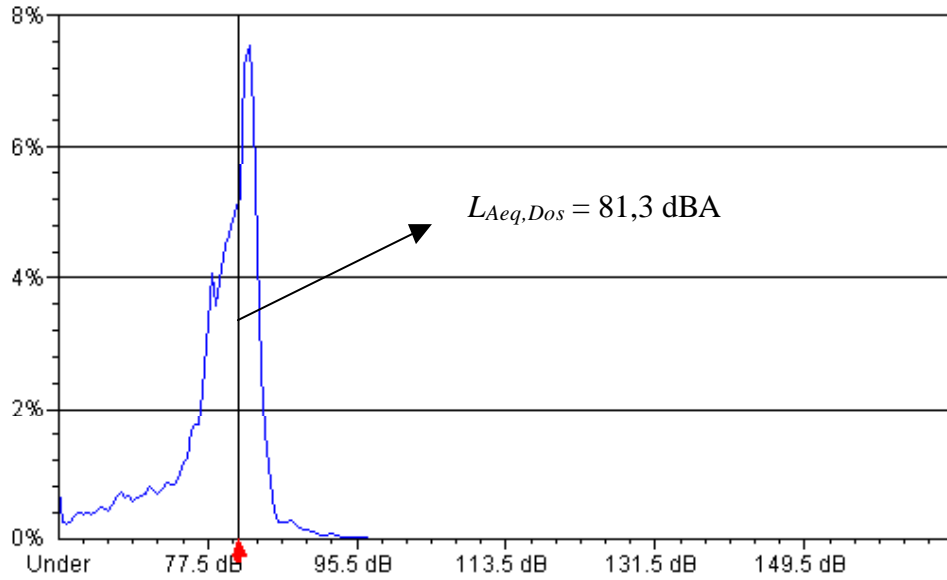


Time History Graph

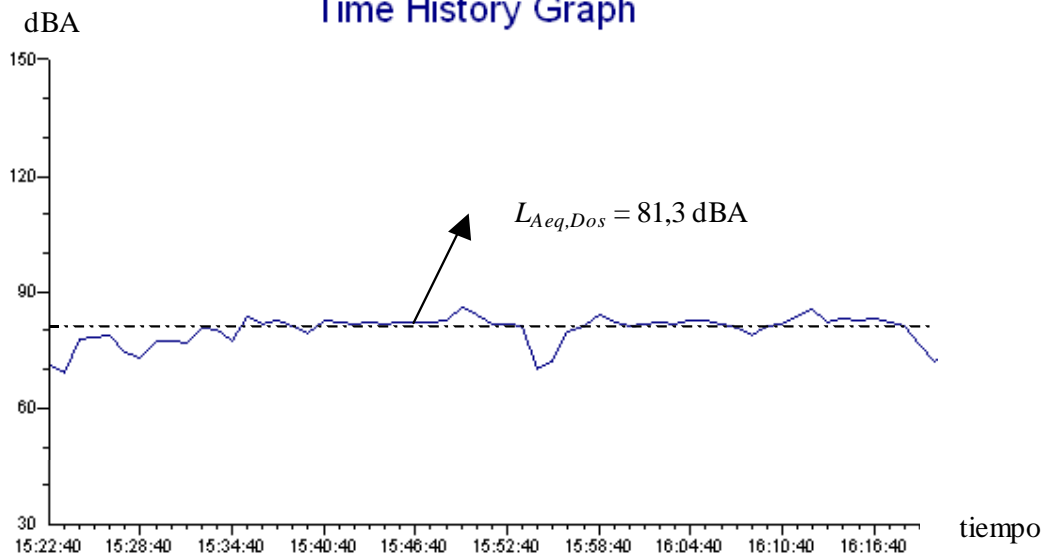


Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “poca fluctuabilidad” (3):

Statistics Graph

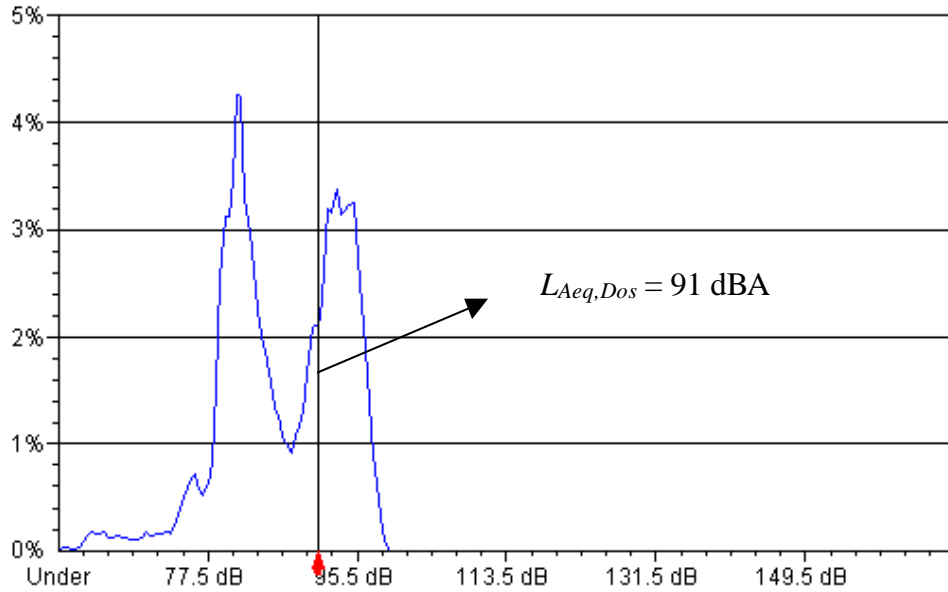


Time History Graph

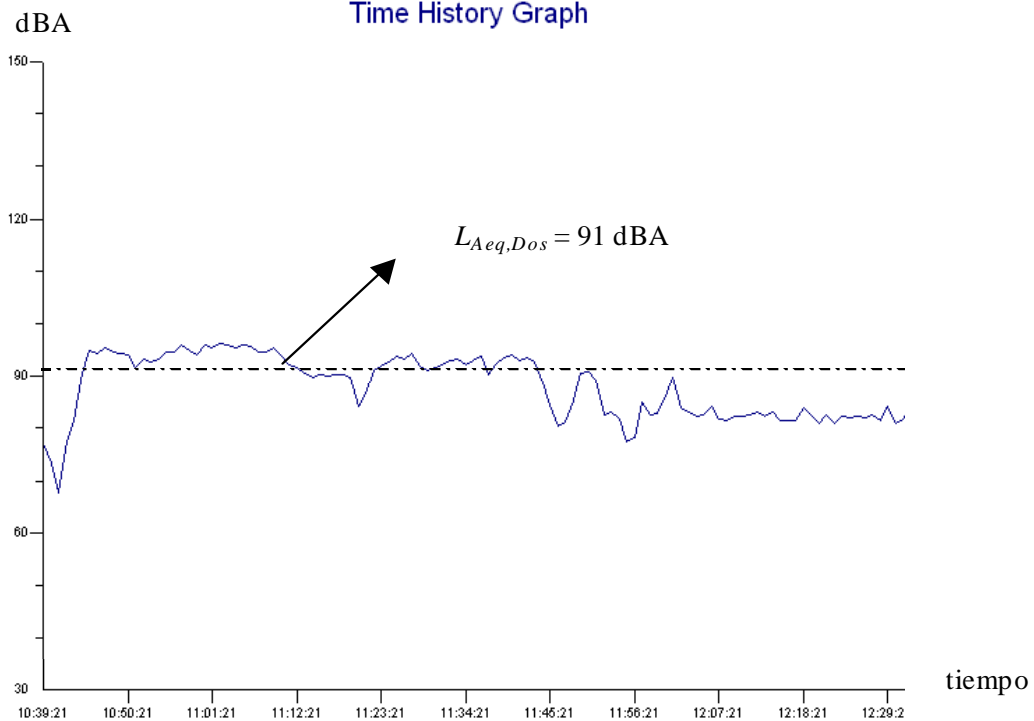


Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “cíclica fluctuabilidad” (1):

Statistics Graph

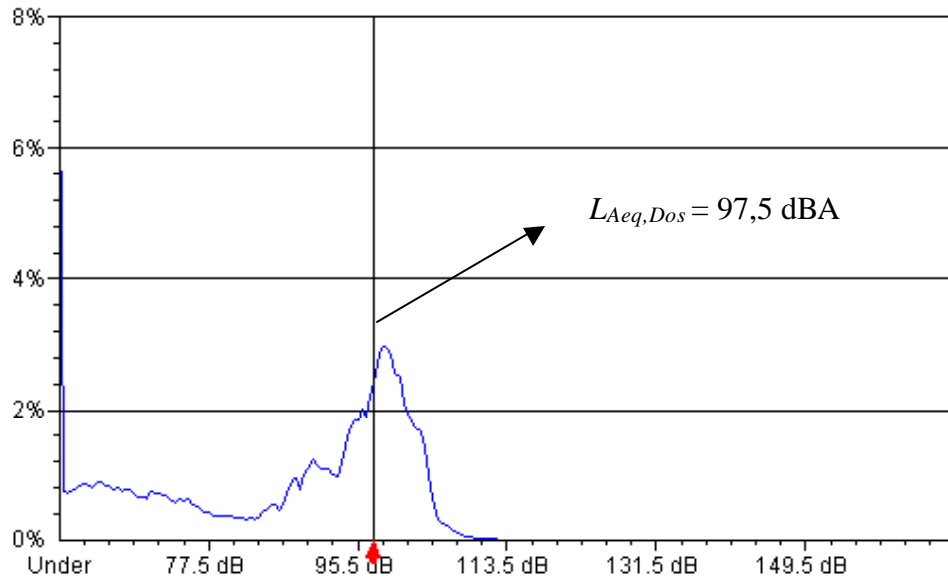


Time History Graph

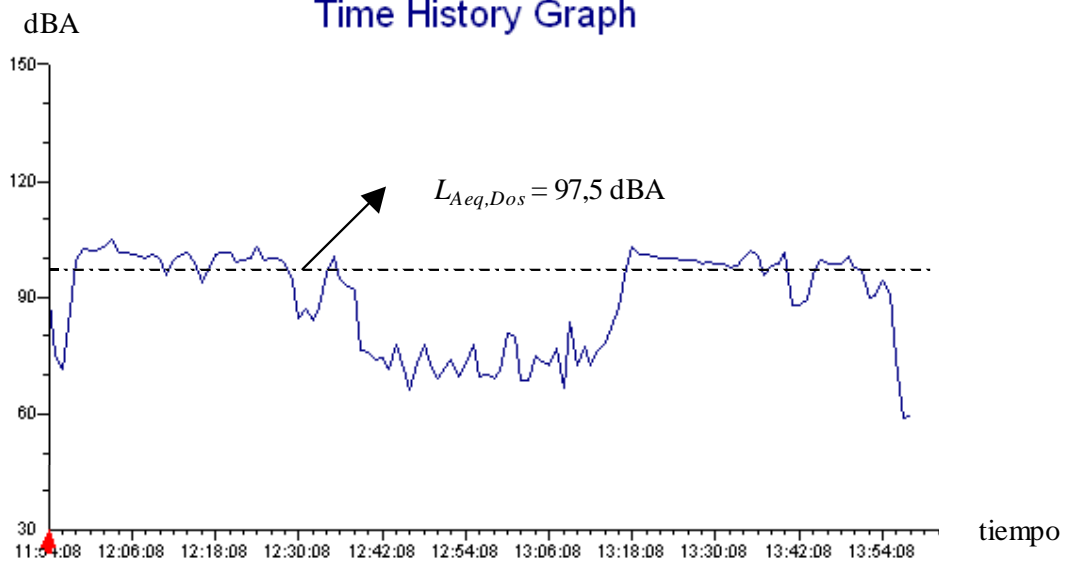


Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “cíclica fluctuabilidad” (2):

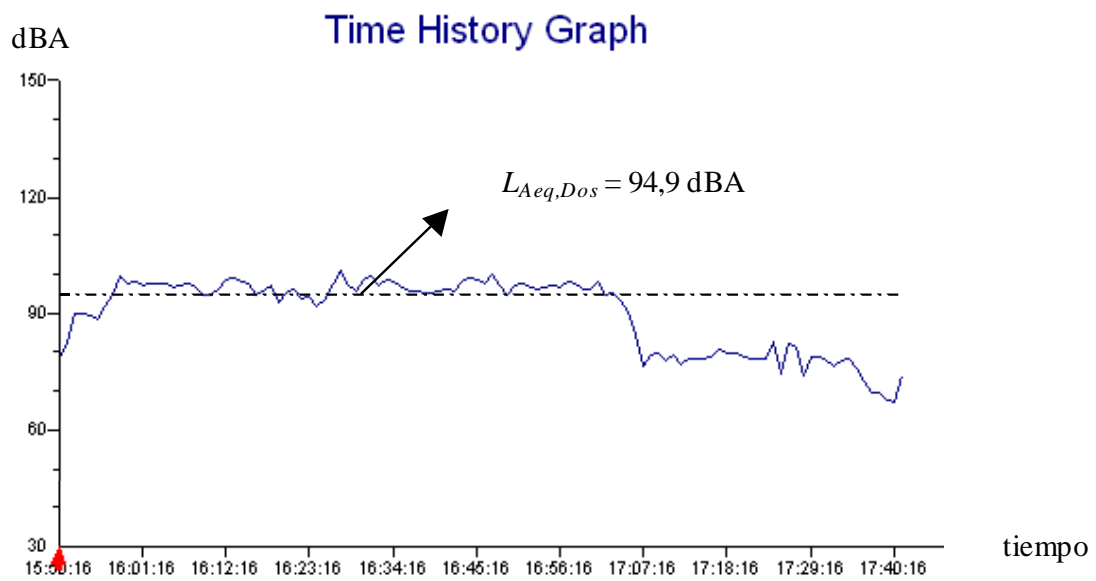
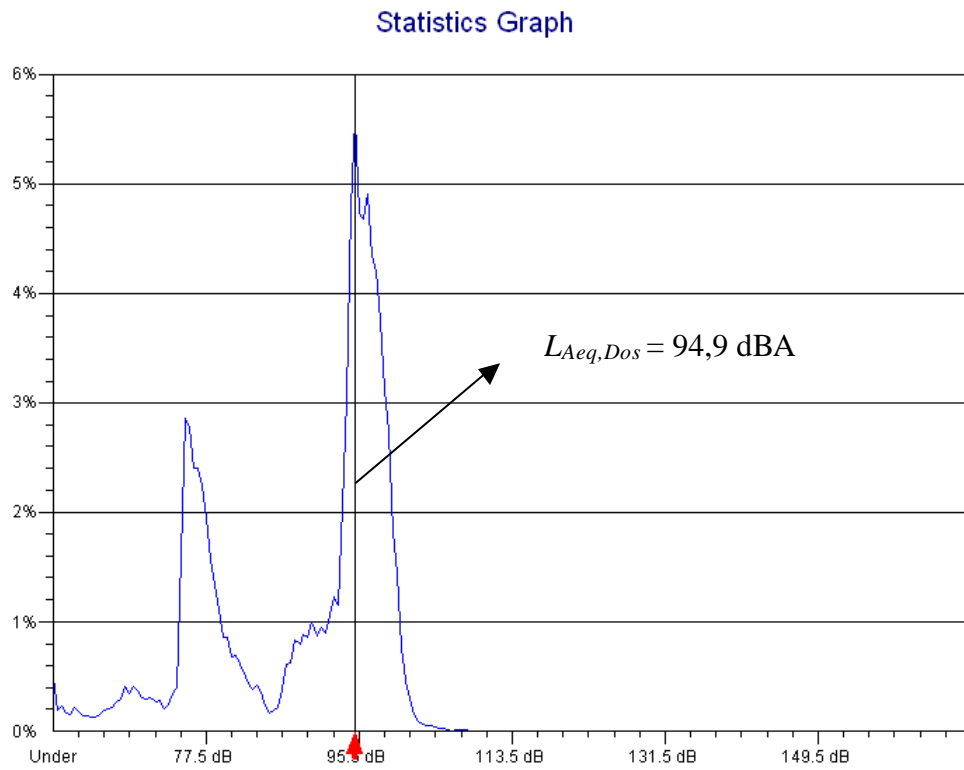
Statistics Graph



Time History Graph

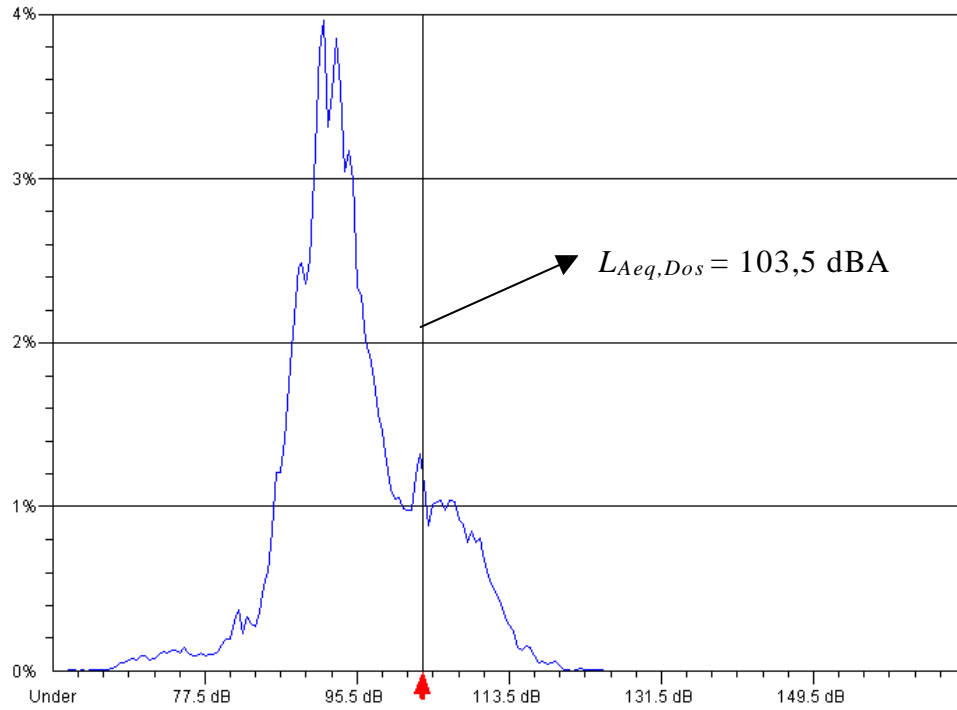


Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “cíclica fluctuabilidad” (3):

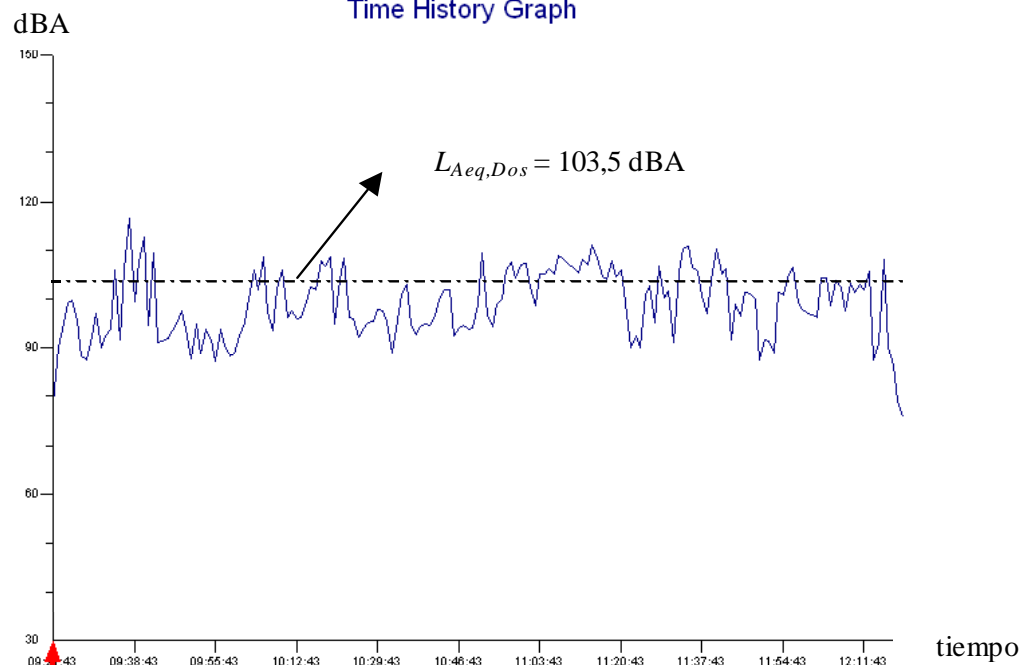


Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “muchísima fluctuabilidad” (1):

Statistics Graph

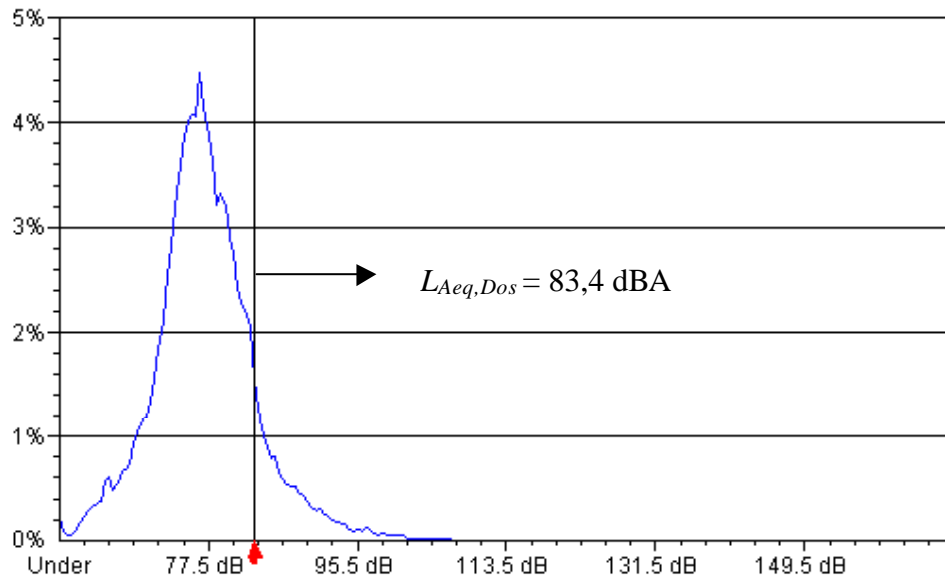


Time History Graph

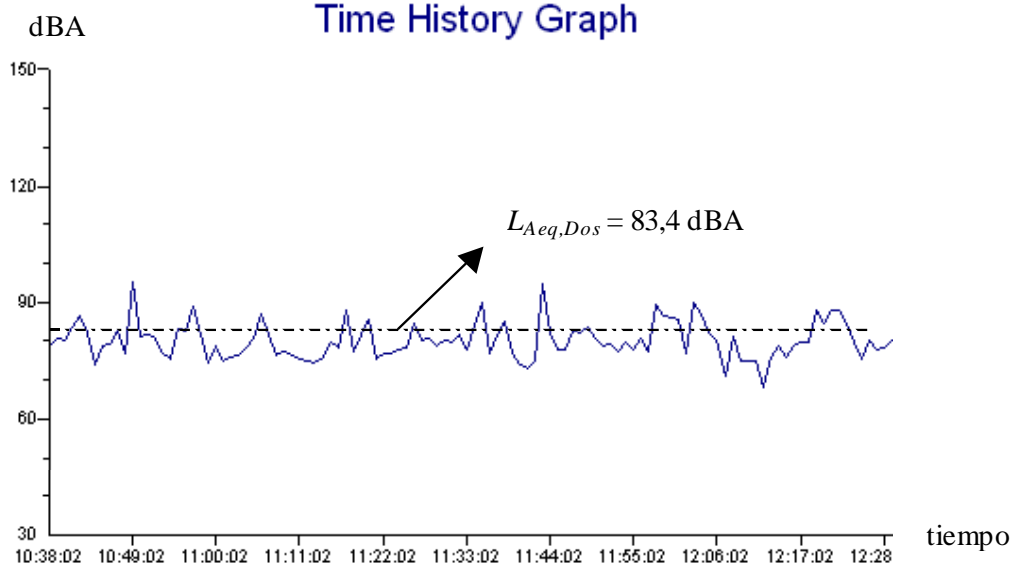


Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “muchas fluctuabilidad” (2):

Statistics Graph

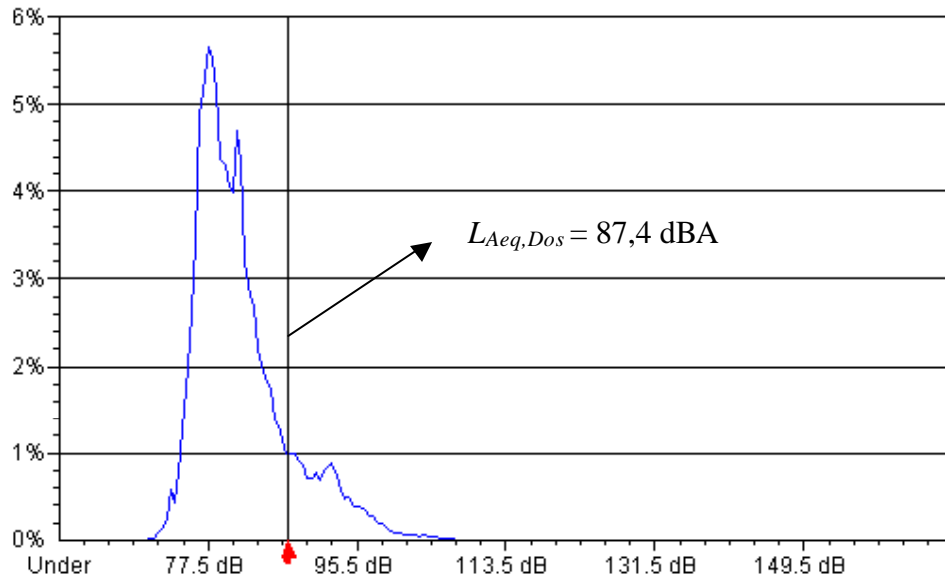


Time History Graph



Ambientes de trabajo con un tipo de ruido de “muchas fluctuabilidad” (3):

Statistics Graph



Time History Graph

