



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A094

## **Evaluación de la exposición a ruido en lugares de trabajo, usando estimaciones estadísticas de un muestreo semi-aleatorio de niveles de presión sonora**

Daniel E. Sánchez <sup>(a)</sup>,  
José M. Espinosa <sup>(b)</sup>,  
Jorge P. Arenas <sup>(c)</sup>.

(a) Instituto de Matemáticas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile (UACH), Casilla 567 Valdivia, Chile. E-mail: [danielsanch@gmail.com](mailto:danielsanch@gmail.com)

(b) Sección Ruido y Vibraciones, Departamento de Salud Ocupacional, Instituto de Salud Pública de Chile (ISP), Maratón 1000, Ñuñoa, Santiago, Chile. E-mail: [jrobles@ispch.cl](mailto:jrobles@ispch.cl)

(c) Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile (UACH), Campus Miraflores, Casilla 567, Valdivia, Chile. E-mail: [jparenas@uach.cl](mailto:jparenas@uach.cl)

### **Abstract**

This study selects, adapts and compares two criteria, obtained from national and international standards, to assess the noise exposures in workplaces. These evaluation criteria are based on statistical estimations, which consider a "random" sampling of sound pressure levels (SPL) allowing us to calculate a representative value and its associated error. This error introduces a degree of uncertainty when determining the accuracy of the estimation. In addition, it is developed a characterization of the environmental noise conditions, for different kind of jobs, taking into account some special conditions determined for this study, and a detailed analysis of the registered data. With the help of these data, the results of the estimated values for both criteria are tabulated for their comparison, according to their degree of precision. 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.

### **Resumen**

Este estudio selecciona, ajusta y compara dos criterios, extraídos desde normativas nacionales e internacionales, para evaluar 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 (NPS), que permite calcular y determinar un valor representativo final y su intervalo de error asociado. Este error asociado introduce el grado de incertidumbre al determinar el nivel porcentual de certeza de la estimación. Además, se desarrolla 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 y precisión. 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.

## 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 generando sordera ocupacional, también llamada hipoacusia, siendo una de las principales enfermedades profesionales que afectan a los trabajadores en países en vías de desarrollo.

La relevancia primordial de este estudio es desarrollar un criterio metodológico específico de evaluaciones de ruido ocupacional, basado en estimaciones estadísticas de un muestreo representativo de niveles de presión sonora (NPS), utilizando sonómetros, para generalizarlo y homogeneizarlo a los organismos involucrados en el área de prevención y/o evaluación de ruido ocupacional.

## 2 Ruido ocupacional

### 2.1 Enfermedades y accidentes laborales a causa del ruido

La *hipoacusia* o sordera profesional es la principal enfermedad causada por el ruido y representa la pérdida o reducción de la capacidad auditiva de una persona en distintos grados, según el daño producido en una exposición a ruido. Es una enfermedad de tipo fisiológico y los principales factores que influyen en ella son el tiempo de exposición e intensidad de ruido a la que se encuentra expuesto un trabajador. Los distintos tipos de hipoacusias que pueden ser detectadas en los trabajadores se clasifican e identifican como: 1) hipoacusias de transmisión o conducción (cuando el problema auditivo está localizado en el oído externo y/o medio), 2) hipoacusias sensorineurales (cuando el daño es en el oído interno y fibras nerviosas) y 3) hipoacusias mixtas (cuando existen componentes de transmisión y sensorineurales). 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.

Los accidentes más comunes que afectan a los trabajadores, a causa del ruido, se producen cuando no son percibidas las señales de alarma ante una acción de riesgo inminente. Estas señales de alarma pueden no ser percibidas debido a distintas “circunstancias ambientales” (propias del área de trabajo) o por “situaciones particulares” del trabajador afectado.

Las circunstancias ambientales de un área de trabajo, varían según el tipo de rubro de cada empresa y se presentan cuando la suma de los NPS generados por diversas fuentes de ruido 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 utilice o no alguna protección auditiva). Esta situación es llamada *interferencia con la comunicación* y es uno de los efectos nocivos del ruido.

Las situaciones particulares, en cambio, involucran aspectos psicológicos y fisiológicos que afectan a la capacidad auditiva de un trabajador. En consecuencia, el cansancio (debido a una carga horaria excesiva), o un deterioro auditivo (producto de una exposición a ruido previa), son ejemplos de estas situaciones particulares causantes de accidentes laborales.

## 2.2 Evaluación de la exposición a ruido

Los criterios de evaluación a ruido ocupacional dependerán directamente de los reglamentos gubernamentales vigentes en cada país. Así, los organismos fiscalizadores, gubernamentales y/o particulares, serán aquellas instituciones encargadas de evaluar la exposición a ruido ocupacional. Sin embargo, de modo general, los principales descriptores y parámetros de medición son los NPS continuos equivalentes ( $L_{eq}$ ), el tipo de ruido (estable, fluctuante e impulsivo) y la duración de la exposición (tiempo por jornada laboral diaria). En el caso de Chile, tal exposición se evalúa 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 en particular. Así, la DRD es un valor numérico representativo de la exposición a ruido ocupacional que no deberá ser mayor a 1 (o 100%, en valoración porcentual). Sobre el tiempo de medición y cálculo de la DRD, se establecen dos métodos de evaluación: 1) el de *dosimetría personal*, utilizando dosímetros, y 2) el *criterio de estabilización*, que se utiliza para mediciones realizadas con sonómetros integradores.

En primer lugar, las dosimetrías personales, realizadas con dosímetros, son las ideales para las evaluaciones a ruido ocupacional ya que el instrumento es fijado cerca del oído más expuesto del trabajador, resultando de ello un valor de dosis de ruido (Dosis Medida), fidedigno y confiable de la exposición real a ruido, cuando es medida durante toda la jornada laboral. Cuando no es medida toda la jornada laboral, se señala una relación, caracterizada por los tiempos de medición y exposición total, que determina la DRD como:

$$DRD = \frac{\text{Dosis Medida} \times \text{Tiempo Total de Exposición}}{\text{Tiempo de Medición}} \quad (1)$$

En segundo lugar, se establece el criterio de estabilización (de los  $L_{Aeq}$ ) que establece la medición de eventos o actividades particulares representativas de un puesto de trabajo (ciclos de trabajo). Aquí son realizadas lecturas sucesivas cada 5 minutos del valor  $L_{Aeq}$  indicado en el sonómetro, en una medición continua (o sea, sin parar o resetear el instrumento), hasta que la diferencia aritmética entre dos lecturas de  $L_{Aeq}$  consecutivos, pasados los primeros 5 minutos, sea menor a 1 dBA (una medición deberá tener como mínimo una duración de 15 minutos). Entonces, se determina que el último valor de  $L_{Aeq}$  registrado, es el valor representativo del ciclo de trabajo medido. Una vez obtenidos uno o más valores de  $L_{Aeq}$ , representativos de la jornada laboral por ciclos de trabajo, se calcula la DRD, según la siguiente relación:

$$DRD = \frac{t_{exp1}}{t_{p1}} + \frac{t_{exp2}}{t_{p2}} + \dots + \frac{t_{expn}}{t_{pn}} \quad (2)$$

siendo  $t_{exp1}$  el tiempo de exposición total del trabajador al ciclo de trabajo "1" (no el tiempo de las mediciones efectuadas), que es representado por el valor del  $L_{Aeq1}$  (para  $t_{exp2}$  la explicación es análoga) y  $t_{p1}$  es el tiempo máximo de exposición permitido para el nivel de ruido medido  $L_{Aeq1}$  (para  $t_{p2}$  la explicación es análoga). Estos valores referidos como "tiempo máximo de exposición permitido" son aquellos tiempos asociados en forma directa con el NPS según tablas normativas creadas y propias de cada país. Por ejemplo, el tiempo máximo de exposición permitido en Chile (especificado en tablas descritas en Decreto Supremo N° 594), para trabajadores expuestos a 85 dBA, es de 8 horas.

### 3 Teoría estadística

#### 3.1 Moda, media aritmética y desviación normal (o estándar)

La *moda* es el valor de una variable en particular, que más veces se repite en una serie de datos. También estadístico descriptivo, la *media aritmética* ( $\bar{x}$ ) cuantifica un valor medio ponderado de una serie de datos y se calcula como la suma de todos los valores registrados ( $x_i$ ), dividido por el número total de muestras ( $n$ ). Es expresada como  $\bar{x} = \sum x_i / n$ .

Por otro lado, la *desviación estándar* o *desviación normal* ( $s$ ), es un descriptor estadístico de dispersión que estudia la distribución de los valores de una serie de datos, permitiendo calcular la representatividad de una medida de posición (como  $\bar{x}$ ), cuantificando la distancia de los diferentes valores de la distribución respecto a dicha medida. Es expresada como  $s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / n - 1}$ .

#### 3.2 Distribución normal y log-normal

También llamada *distribución Gaussiana* (debido a la forma gráfica como campana de Gauss), la *distribución normal* es una distribución de valores con tendencia central (concentración de un conjunto de datos en torno a un valor numérico central) y que presenta un valor medio nulo ( $\bar{x} = 0$ ) y una desviación estándar unitaria ( $S=1$ ).

Una *distribución log-normal* describe a una variable aleatoria (que presenta una alta dispersión entre sus valores), pero cuyo logaritmo se distribuye normalmente y que, por lo tanto, presenta las características asociadas de una distribución normal de tendencia central.

#### 3.3 Distribución t de Student e intervalo de confianza

La *distribución t de Student* supone que las muestras se seleccionan de una población normal y que el número de muestras es inferior a 30 ( $n \leq 30$ ). La apariencia general de esta distribución es similar a la de la distribución normal (ambas distribuciones simétricas y de tendencia central). Además, desarrolla una expresión que cuantifica límites de confianza basados en la desviación estándar de pocas muestras. Así, el valor (o estimación), representativo final y su *intervalo de confianza*, para un determinado nivel de certeza, queda definido como  $u = \bar{x} \pm st / \sqrt{n}$ , donde  $u$  es el valor representativo de la estimación estadística y su intervalo de confianza,  $\bar{x}$  es la media aritmética,  $s$  es la desviación estándar,  $n$  es el número total de muestras y  $t$  es el parámetro estadístico (tabulado de manera que dependa de los grados de libertad ( $\nu = n - 1$ ) y el grado deseado de confianza), de la distribución t de Student.

### 4 Criterios de estimación estadística de la exposición a ruido

A continuación, se describen dos criterios de evaluación de la exposición a ruido ocupacional, que se basan en un muestreo “aleatorio” de NPS, que estiman, a su vez, un error cuantificable de la medición realizada. Así, cuando las variaciones de presión sonora son cuantificables en directa proporción como NPS en dB (decibeles, una escala logarítmica), 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 una distribución normal.

#### 4.1 Criterio de estimación de la media aritmética<sup>1</sup> (CEM)

Este criterio pretende asumir que los valores de NPS tenderán a un valor central, la media aritmética ( $\bar{x}$ ), sin mayores dispersiones. Así, la media aritmética de los NPS se determina como:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{Aeq,i}}{n} \quad (3)$$

Entonces, se estima a  $\bar{X}$  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 el intervalo de confianza y que se expresa como:

$$L_{Aeq,media} = \bar{X} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t \quad (4)$$

#### 4.2 Criterio de estimación logarítmica<sup>2</sup> (CEL)

Este criterio se basa en estimaciones estadísticas que agregan factores empíricos correctivos al valor representativo aproximado. En primer lugar, determinan que la estimación logarítmica de un NPS 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:

$$10 \log \left[ \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{Aeq,i}} \right) \right] = \bar{X} + 0,115s^2 \quad (5)$$

Se desarrolla un nuevo error asociado, para un nivel de certeza de 90%, que toma en cuenta el tamaño de la muestra “ $n$ ”, el factor “ $t$ ” y los valores de desviaciones de todo el conjunto de muestras (desviación estándar), estableciendo así una estimación final y su intervalo de confianza como:

$$L_{Aeq,Est} = \bar{X} + 0,115s^2 \pm \sqrt{\left( \frac{s^2}{n} + \frac{0,026 \times s^4}{n-1} \right)} \cdot t \quad (6)$$

### 5 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 públicos como privados, ubicados en la Región Metropolitana (Santiago, Chile). Cada medición fue realizada con un sonómetro y un dosímetro personal (colocado en el trabajador), para cada puesto de trabajo examinado<sup>3</sup>. Las mediciones con sonómetro se registraron bajo un muestreo “aleatorio” de NPS y con una evaluación

<sup>1</sup> Mencionada en norma francesa NF S31-084 y en norma técnica de prevención NTP 270 de España.

<sup>2</sup> Mencionada en norma internacional ISO 9612-1996 y en norma chilena NCh 2572-2001.

<sup>3</sup> Instrumentos de medición en concordancia con la normativa internacional vigente, siendo, mínimo de tipo 2, para sonómetros y dosímetros, y para clase 2 o superior en el calibrador acústico.

determinada por estimaciones estadísticas (sección 4). Las mediciones con dosímetros personales, en cambio, se realizaron según la metodología actual en Chile (sección 2.2) y sus mediciones fueron utilizadas como valores de referencia (para compararlos con los valores obtenidos en los criterios de estimación estadística) de la exposición a ruido para cada medición en este estudio.

En la medición con sonómetro, el tiempo para cada muestra aleatoria fue determinado en 3 minutos. Esto, en forma empírica, a través de un estudio previo que relacionó la variación o desviación media entre NPS continuos equivalentes por minuto medidos en un mismo evento de ruido, sin que se encontrasen variaciones significativas pasados 3 minutos de medición. Por otro lado, el número de muestras “ $n$ ” fue determinado entre 7 a 11. Esto, determinado en forma analítica, cuantificando un límite mínimo y un límite máximo de muestras, para los dos criterios a comparar, cuando los valores de “ $t$ ” y “ $n$ ” no influían en el ensanchamiento del intervalo de confianza (aumento en la incertidumbre de la estimación).

## 6 Resultados y análisis

### 6.1 Análisis previo y consideraciones especiales

Se realizaron un total de 28 mediciones de la exposición a ruido ocupacional. El periodo de medición correspondió, en promedio, a media jornada laboral (4 horas aproximadamente). Lamentablemente, en el transcurso de las mediciones, existieron problemas en la ubicación y orientación del sonómetro y en la efectiva representatividad de las muestras medidas. Así, fue necesario excluir 8 de las mediciones (de 28) y adaptar, de manera apropiada, un número de muestras verdaderamente representativas para las evaluaciones. Esta adaptación consistió en permitir descartar algunas de las muestras medidas que sean inferiores en más de 10 dB al valor más alto entre las muestras registradas para cada evaluación (Sustentada en la suposición del escaso aporte en la suma energética de 2 o más fuentes de ruido).

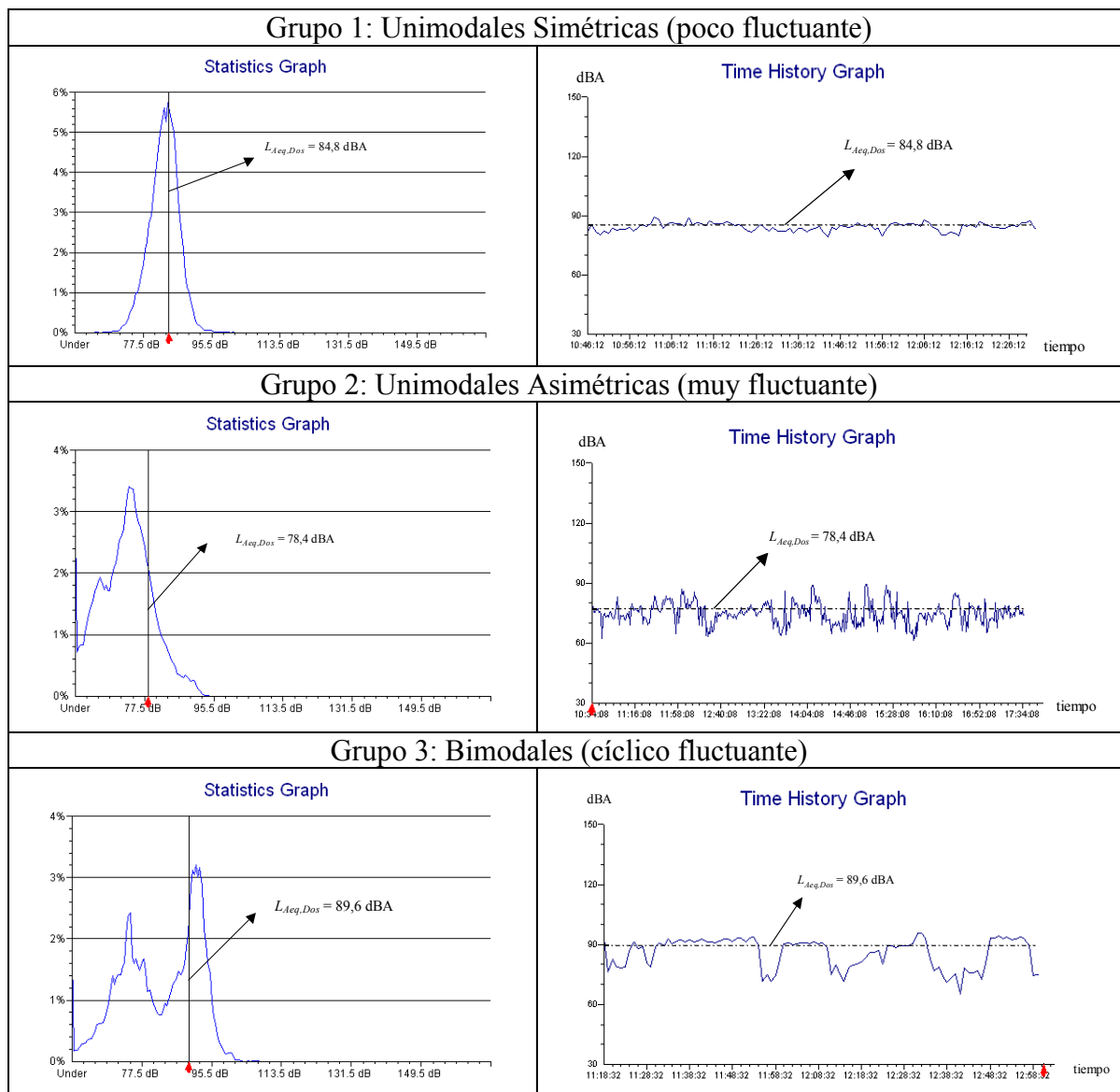
### 6.2 Clasificación de las mediciones

Se estudiaron por igual distintos tipos de rubro que involucraban y desarrollaban diferentes tipos de productos. Para cada rubro, 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 fluctuante. Una caracterización aproximada de las similitudes y condiciones especiales, fue determinada a través de la representación gráfica extraída de los dosímetros. Así, se clasificaron las mediciones en tres grandes grupos. En el primer grupo las mediciones son aproximadas a distribuciones *unimodales simétricas* (distribución normal), al valor entregado por el dosímetro ( $L_{Aeq,Dos}$ ) y sugieren un tipo de ruido “poco fluctuante”. En el segundo grupo, las mediciones son aproximadas a distribuciones *unimodales asimétricas* al valor entregado por el dosímetro ( $L_{Aeq,Dos}$ ) y sugieren un tipo de ruido “muy fluctuante”. En el tercer y último grupo, las mediciones son aproximadas a distribuciones *Bimodales* (o sea, dos claras acumulaciones de datos), en donde el valor entregado por el dosímetro ( $L_{Aeq,Dos}$ ), 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) y sugieren un tipo de ruido “cíclico fluctuante”.

Las representaciones gráficas de los tres grupos, son mostradas en la Tabla 1. En dicha tabla, la primera columna presenta las graficas de distribución de los datos, en donde el eje “ $y$ ” representa la distribución de frecuencia porcentual y el eje “ $x$ ” los niveles registrados en

decibeles “A”. La segunda columna presenta el historial gráfico de los NPS, en donde el eje “y” representa la escala de NPS, en dBA, y el eje “x” el intervalo de tiempo de ocurrencia de los niveles registrados.

**Tabla 1.** Clasificación de las mediciones según representación gráfica.



### 6.3 Análisis Comparativo

La primera comparación entre los dos criterios de estimación estadística, se compone de un análisis del grado de *exactitud de las estimaciones*. Aquí se evaluó la diferencia aritmética entre el valor estimado como NPS equivalente, de ambos criterios ( $L_{Aeq, "X"(i)}$ ), y el valor final registrado en la dosimetría personal ( $L_{Aeq, Dos(i)}$ ), para el mismo puesto de trabajo examinado, sin ponderar el intervalo de confianza asociado. La desviación media es calculada, para todas las mediciones ( $N=20$ ), como  $D_{|m|} = \sum_{i=1}^n |L_{Aeq, "X"(i)} - L_{Aeq, Dos(i)}| / N$ . Esta relación (asignada en valor absoluto), indica cuán exacta ha sido la estimación al cuantificar la cercanía promedio (en

dBa), entre el valor estimado y el de referencia. Así, el valor fue de  $D_{|m|}=1,8$  dB, para el CEM, y de  $D_{|m|}=1,3$  dB, para el CEL.

Otro análisis comparativo fue el de *precisión de las mediciones*. Aquí, se consideró la *incertidumbre total de las mediciones* asociada ( $\varepsilon$ ), que estima el error producido en la toma de muestras ( $u_s$ ), que será el valor del intervalo de confianza, y el error asociado a la instrumentación utilizada ( $u_i=1$  dBA)<sup>4</sup>. Entonces, tomando los dos tipos de error cuantificables ( $u_i$  y  $u_s$ ) se determina  $\varepsilon$ , para cada criterio ( $\varepsilon_M = \sqrt{u_i^2 + u_s^2}$ ,  $\varepsilon_L = u_i + u_s$ ), el cual no debería superar los 3 dBA<sup>5</sup>. Así, el valor promedio del intervalo de confianza y de la incertidumbre total de las mediciones fue de  $u_{sM}=2,4$  dBA y  $\varepsilon_M=3,1$  dBA, para el CEM, y de  $u_{sL}=2,1$  dBA y  $\varepsilon_L=2,3$  dBA, para el CEL, respectivamente. Para el particular de cada estimación (según lo anterior y para este estudio), se designarán como “*aceptables*” a las estimaciones que determinen  $\varepsilon \leq 3$  dBA y se considerarán como “*correctas*” a las estimaciones donde el valor de exactitud cuantificado sea menor o igual al valor, en dBA, de la incertidumbre total para cada criterio, o sea  $|L_{Aeq, "X"(i)} - L_{Aeq, Dos(i)}| \leq \varepsilon(i)$ . Además, las estimaciones que son “*correctas*” y “*aceptables*” (a la vez), son designadas aquí como estimaciones “*correctas y aceptables*”, ya que nos aseguran que el valor de referencia (entregado por el dosímetro), se encuentra dentro del intervalo asociado a la estimación de  $\varepsilon$  y con una precisión de, por lo menos, una medición de referencia o de ingeniería, o sea,  $|L_{Aeq, "X"(i)} - L_{Aeq, Dos(i)}| \leq \varepsilon(i) \leq 3$  dBA. Así, el porcentaje de estimaciones “*aceptables*”, “*correctas*” y “*correctas y aceptables*” fue de 50%, 75% y 25% para el CEM y de 75%, 70% y 45% para el CEL, respectivamente.

Por otro lado, fue establecida la influencia del número de muestras “*n*” por cada medición, sobre las estimaciones realizadas, que fueron reducidas en algunos casos, según las consideraciones especiales (sección 6.1), determinando que el porcentaje de estimaciones “*correctas y aceptables*” cuando  $7 < n < 11$  fue mucho mayor que con  $n < 7$ , siendo 30,8% sobre 14,3%, para el CEM y de 53,8% sobre 28,6% para el CEL, respectivamente.

Por último, se verifica una estabilización (menor a 1 dBA, en promedio), para el tiempo de duración de las muestras en las mediciones considerado en 3 minutos (o sea,  $|L_{Aeq(2min)} - L_{Aeq(3min)}| < 1$  dBA), para el 83,7% de todas las mediciones registradas.

#### 6.4 Desarrollo estadístico de las estimaciones

Para determinar la *precisión del método de muestreo* utilizado (medición aleatoria con  $7 < n < 11$  muestras, de un tiempo de 3 minutos cada una), involucrando las estimaciones de ambos criterios, son analizadas y reordenadas las diferencias  $L_{Aeq, "X"} - L_{Aeq, Dos}$ , para lograr desarrollar un valor estimado, en conjunto con un intervalo de confianza, que nos permita determinar que porcentaje de mediciones es realmente representativo (cuyo valor numérico estimado está dentro del intervalo de confianza asociado). Así, se efectuó una normalización de las diferencias de cada criterio por separado (cálculo del logaritmo, en base 10, para cada una de las diferencias incrementadas en 100 debido al dominio, para valores positivos, en la función logaritmo), mediante la relación  $\log_{10} \left[ \left( L_{Aeq, "X"(i)} - L_{Aeq, Dos(i)} \right) + 100 \right]$ . Luego, con los 20 valores de las diferencias por cada medición, “*logaritimizados*” (se supone una distribución normal de datos), se determina para cada criterio un valor estimado o media aritmética ( $\bar{x}_{log}$ ), una desviación estándar asociada ( $s_{log}$ ) y un intervalo de confianza al 90% de certeza, que son

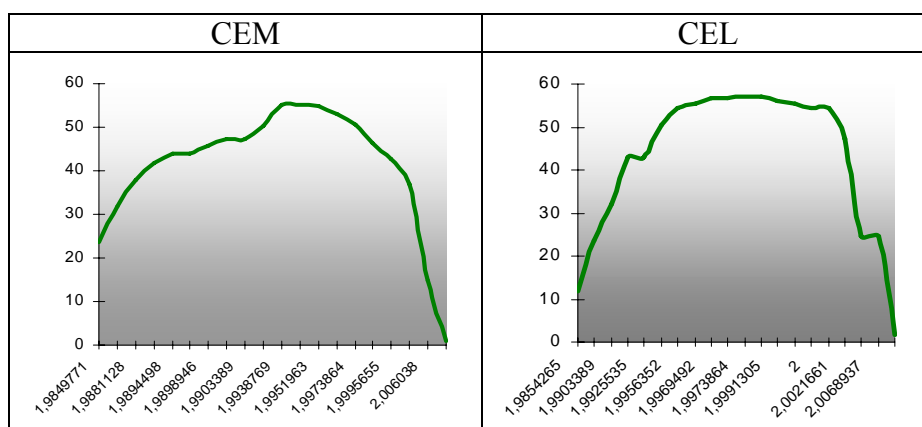
<sup>4</sup> Conforme normas NCh 2500, NCh 2569 (para sonómetros) y IEC 60942 (para calibradores).

<sup>5</sup> Conforme norma NCh 2572-2001 que designa una medición de referencia cuando  $\varepsilon \leq 1,5$ , una medición de ingeniería cuando  $1,5 < \varepsilon \leq 3$  y una medición de estudio cuando  $3 < \varepsilon \leq 8$  ( $\varepsilon$  en dB o dBA).



calculados mediante la relación  $\bar{x}_{\log} \pm s_{\log} t / \sqrt{N}$ . Posteriormente, para volver a cuantificar dicho intervalo en los valores de las diferencias, descritos en dB, se realiza la operación matemática del antilogaritmo. Con todo, se obtiene la estimación  $-1,3 \pm 0,6$  para el CEM y  $-0,5 \pm 0,6$  para el CEL. En esta comparación se establece para que la estimación calculada y su intervalo de confianza se aproximen y/o contemplen el valor de referencia “0” (que fue en mejor medida obtenido por el CEL). También, se examina la forma de la distribución (función de densidad de probabilidad), del conjunto de valores de las diferencias normalizadas (en Tabla 2, donde el eje “y” representa la distribución de frecuencia porcentual y el eje “x” los valores normalizados de las diferencias de cada medición), estableciendo que la distribución gráfica de las diferencias normalizadas del CEL son más “simétricas” (tendencia a una distribución normal), que para el CEM.

**Tabla 2.** Gráficas de distribución de las diferencias normalizadas.



Otra cuantificación importante de la distribución de las diferencias normalizadas, fue la identificación del porcentaje de mediciones cuya diferencia se encontró dentro del intervalo de confianza determinado anteriormente. Así, de todas las mediciones ( $N=20$ ), se encontraron dentro del intervalo de confianza un 20% en el CEM y un 50% en el CEL.

### 7 Conclusiones

Comparativa e individualmente, se verifica y propone al Criterio de Estimación Logarítmica (CEL) como nuevo criterio complementario, para las evaluaciones de ruido ocupacional utilizando sonómetros, infiriendo que:

- ✓ Existió una buena aproximación (exactitud), de las estimaciones en CEL consideradas al valor de referencia determinado por las dosimetrías personales.
- ✓ Se determinó un adecuado número de estimaciones “correctas” y un tamaño promedio apropiado del intervalo de confianza asociado, por cada medición.
- ✓ Se estableció un promisorio número de estimaciones “correctas y aceptables” que alcanzó un 45% (9 de sus estimaciones), pese a los sesgos y dificultades encontradas a lo largo de las mediciones.
- ✓ Se determinó un método de buena precisión, al representar la distribución de las diferencias de exactitud normalizadas y su intervalo de confianza asociado, en torno a los resultados de referencia.

Además:

- Se comprobó que las estimaciones realizadas bajo el CEM son poco representativas del valor real de referencia en evaluaciones de ruido ocupacional (en exactitud, intervalos de confianza, incertidumbre total y precisión del método).

- Se determinó el número, tiempo de duración y representatividad (acústica), de las muestras, analizando la influencia que ello genera en los estadísticos asociados a las estimaciones.

- Finalmente, se intenta describir un desarrollo metodológico específico para evaluaciones de ruido, acondicionado en forma empírica (en terreno), y especialmente formulado para los examinadores que pertenezcan a organismos fiscalizadores según la normativa chilena vigente. En su contexto principal se debería tener en cuenta la elección adecuada de los puestos de trabajo (¿qué medir?), el criterio de evaluación a utilizar (¿cómo medir?), la ubicación y orientación del instrumento de medición (¿dónde medir?), la toma de muestras representativas (¿cuándo medir?) y un registro, cálculo y respuesta fiable (calidad de la evaluación).

## 8 Agradecimientos

Agradecimientos son dados al Instituto de Salud Pública de Chile (ISP) y al INP por los espacios físicos e instrumentación utilizada para realizar este trabajo.

### Referencias

- Decreto Supremo N° 594 (1999). “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo”, Título IV, párrafo 3°, artículos 70-82. Chile.
- Ley N° 16.744 (1968). “Normas sobre accidentes de trabajo y enfermedades profesionales”. Chile.
- Instituto de Salud Pública (2004). “Instructivo para la aplicación del Decreto Supremo N° 594/99 del Ministerio de Salud”, título IV, párrafo 3°, Agentes Físicos – Ruido. Chile.
- Instituto de Salud Pública (2005). “Guía técnica para la evaluación de los trabajadores expuestos a ruido y/o con sordera profesional”. Chile.
- Instituto de Salud Pública (2004). “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”. Chile.
- Norma Chilena NCh2572 (2001). “Acústica – Guías para la medición y evaluación de la exposición a ruido en un ambiente de trabajo”. Chile.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1991). “Notas Técnicas de Prevención NTP-270. Evaluación de la exposición a ruido – Determinación de los niveles representativos”. España.
- Behar, A.; Jackson, R.A. (1985). “Noise exposure – Sample size and confidence limit calculation”. Am. Ind. Hyg. Assoc, J. Vol. 46, pp 387-390.
- Brunn, I.O.; Campbell, J.S.; Hutzler, R. (1986). “Evaluation of occupational exposures: A proposed sampling method”. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. Vol. 47, pp 229-235.