



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DEL RUIDO LABORAL Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE CONSERVACIÓN  
AUDITIVA PARA LOS TRABAJADORES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
DE ALAO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica

Profesor Guía  
MSc. Miguel Ángel Chávez Avilés

Autor  
Fabián Efraín Pino Díaz

Año  
2016

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

-----  
Miguel Ángel Chávez Avilés  
Sustainable Building Engineer  
C.I. 171072484-8

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

-----  
Fabián Efraín Pino Díaz  
C.I. 060321490-9

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor, MSc. Miguel Ángel Chávez por el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo de titulación y durante los años de estudio. Al MSc. Christiam Garzón. A los docentes y ex docentes de la Universidad de las Américas por sus enseñanzas en valores y conocimiento. Al Ing. Joe Ruales, Gerente de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., al Ing. Ludwig Loza, Jefe de Generación. A los operarios y auxiliares de la planta hidroeléctrica de Alao.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por ser la mayor inspiración en la vida y por la culminación de esta etapa, a mis padres que han apoyado mis sueños y por sus enseñanzas en la fe, el respeto y el amor, a mis hermanas por su apoyo y cariño incansable.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo de titulación fue la evaluación de la exposición al ruido laboral del personal de la Central Hidroeléctrica Alao y la elaboración de un plan de conservación auditiva para los trabajadores de la planta. La metodología sigue las directrices de la norma técnica ecuatoriana INEN ISO 9612:2014 para verificar el cumplimiento de lo estipulado en el artículo 55 del Decreto Ejecutivo 2393 “Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo”. Se realizó un esquema para la ubicación de los puntos de medición y su correspondiente nivel de presión sonora dentro de las áreas de estudio. Se encontraron niveles de ruido dentro de la sala de máquinas que superan los 85dBA para una exposición al ruido de una jornada laboral de 8 horas, registrando niveles de hasta 102 dBA. En la sala de mandos se registró una exposición diaria de 74,6 dBA. Se elaboró un plan de cuidado auditivo, que incluye recomendaciones tanto técnicas como administrativas.

## ABSTRACT

The objective of this thesis is to evaluate and to determine the staff's noise exposure in Empresa Electrica Riobamba SA in order to create a hearing conservation program. These people work at the Hydroelectric Alao main plant facilities. The methodology in this study, follows the guidelines of Ecuadorian Technical Standard INEN ISO 9612 based in UNE – ISO 9612:2009 to verify compliance according to Article 55 of the Executive Order N° 2393: "Regulation of worker security and health and improvement in the working environment ". A diagram design was made for the location of the measurement points and their corresponding sound pressure levels within the covered areas of this study. Upon finishing the study, high levels of noise in an 8 hour labor time were found. Noise levels higher than 85 dBA were found and were registered up to 102 dBA. Workers have a daily exposure of 74.6 dBA in the control room. A hearing conservation program which includes both technical and administrative recommendations has been developed to solve this situation.

# ÍNDICE

1. Introducción .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2 Aspectos Generales de la Empresa .....	3
1.2.1. Empresa Eléctrica Riobamba S.A.....	3
1.2.2. Aporte a la VISIÓN y MISIÓN de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA) por parte del proyecto planteado.....	3
1.2.3. Localización .....	3
1.3. Marco referencial.....	4
1.3.1. Descripción de la situación actual.....	4
1.3.2. Planteamiento del problema .....	4
1.3.3. Hipótesis.....	4
1.3.4. Alcance .....	4
1.3.5. Justificación .....	5
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo General .....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
2. Marco Teórico .....	6
2.1. Ruido.....	6
2.1.1. Principales Tipos de Ruido .....	6
2.1.1.1. Ruido continuo constante .....	6
2.1.1.2. Ruido intermitente o fluctuante .....	6
2.1.1.3. Ruido impulsivo .....	6
2.2. Nivel de Presión sonora (NPS).....	6
2.3. Percepción del nivel de presión sonora en relación a la frecuencia.....	7
2.3.1. Ponderaciones en frecuencia .....	7
2.4. Ponderaciones Temporales.....	8
2.5. Descriptores .....	9



2.5.1. Nivel de Presión sonora continuo equivalente <i>Leq</i> .....	9
2.5.2. Nivel de Presión sonora continuo equivalente ponderado A ( <i>LAeq, T</i> ) .....	9
2.5.3. Nivel de Presión sonora pico ponderado C ( <i>Lp, Cpico</i> ) .....	9
2.5.4. Nivel de exposición diario equivalente ( <i>LAeq, d</i> ) .....	10
2.5.5. Dosis diaria de ruido ( <i>D</i> ) .....	10
2.5.6. Nivel sonoro criterio <i>NSC (REL)</i> .....	11
2.5.7. Tasa de intercambio ( <i>Q</i> ) .....	11
2.6. Instrumentos de medición .....	11
2.6.1. Sonómetros .....	11
2.6.1.1. Sonómetros clase 1 .....	11
2.6.1.2. Sonómetros clase 2 .....	12
2.6.2. Dosímetros .....	12
2.7. Protectores Auditivos .....	13
2.8. Programas de conservación auditiva .....	15
2.8.1. Componentes del programa de conservación auditiva .....	15
2.9. Efectos del ruido laboral sobre la salud .....	16
3. Metodología .....	18
3.1 Revisión de la legislación sobre ruido laboral .....	18
3.2. Niveles máximos permitidos por la normativa .....	18
3.2.1 Ruido de impacto .....	20
3.3 Revisión de normativas similares .....	21
3.3.1 Procedimiento de medición .....	23
3.3.2 Etapa 1: Análisis del trabajo .....	23
3.3.2.1 Introducción .....	24
3.3.2.2 Determinación de grupos de exposición al ruido similar (homogéneos) .....	24
3.3.2.3 Determinación de la jornada nominal .....	24
3.3.3 Etapa 2: Selección de la estrategia de medición .....	25

3.3.3.1 Estrategia de medición basada en la tarea.....	25
3.3.3.2. Estrategia de medición basada en la función .....	27
3.3.3.3 Estrategia de medición basada en una jornada completa .....	29
3.3.4 Etapa 3: Mediciones y sus aspectos representativos .....	31
3.3.4.1 Calibración de campo .....	31
3.3.4.2 Ubicación de instrumentos de medición tipo sonómetro.....	32
3.3.4.3 Ubicación de instrumentos de medición tipo dosímetro.....	32
3.3.5 Etapa 4: Tratamiento de errores e incertidumbre.....	33
3.3.6 Etapa 5: Presentación de resultados .....	33
<b>4. Medición y evaluación del ruido en la</b>	
<b>central hidroeléctrica de Alao.....</b>	<b>34</b>
4.1. Etapa 1: Análisis del trabajo dentro de la	
estación de generación.....	34
4.1.1. Lugar de evaluación.....	34
4.1.2. Jornadas, funciones y tareas dentro de la empresa .....	34
4.1.3. Cuadro de jerarquías .....	37
4.1.4. Determinación de grupos de exposición GEH (homogéneos) .....	37
4.2. Etapa 2: Selección de la estrategia de medición.....	38
4.2.1. Selección de instrumentos.....	38
4.2.2. Plan de medición .....	40
4.3. Etapa 3: MEDICIONES.....	43
4.3.1. Realización de las mediciones.....	43
4.3.1.1. Calibración y verificación de los instrumentos .....	44
4.3.2. Mediciones dentro de la sala de máquinas.....	45
4.3.3. Mediciones dentro de la sala de mando .....	46
4.4. Etapa 4: Tratamiento de errores e incertidumbres.....	46
4.5. Etapa 5: Presentación de resultados.....	52
4.5.1. Nivel de exposición al ruido para el GEH 2.....	52

4.5.2. Nivel de exposición al ruido para el GEH 1 .....	54
4.5.3. Niveles de presión sonora en los puntos de medición .....	56
<b>5. Plan de conservación auditiva.....</b>	<b>57</b>
5.1. Determinación de la exposición al ruido .....	57
5.2. Formación y entrenamiento .....	58
5.3. Recomendaciones de controles técnicos y administrativos ...	59
5.4. Señalética de áreas con altos niveles de ruido.....	60
5.5. Protección Auditiva .....	61
5.6. Recomendaciones de evaluaciones audiométricas .....	63
5.7. Costos estimados de implementación del programa de conservación auditiva .....	64
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
6.1. CONCLUSIONES .....	66
6.2. RECOMENDACIONES.....	68
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>72</b>

## **1. Introducción**

El ruido es uno de los causantes de enfermedades laborales en el mundo y nuestro país no es la excepción. “La exposición a niveles altos de ruido puede causar disminución auditiva temporal o pérdida irreversible de la audición” (Harris, 1995, 18.1). Según la OMS el ruido es uno de los cinco factores principales de riesgo dentro del ambiente laboral (Reporte WHO, 2002, p.86).

Existen estudios sobre el impacto y exposición al ruido realizados por investigadores del Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud (NIOSH) de los Estados Unidos en una planta hidroeléctrica de Arkansas, debido a la preocupación de los empleados por los altos niveles de ruido resultado de la generación de electricidad en la planta (NIOSH, 1993, p.9)

También es posible encontrar un programa para control de ruido en plantas hidroeléctricas en Rumania, el cual fue presentado en el Congreso Internacional de Sonido y Vibración 2007 (ICSV14) celebrado en Australia, el cual se enfoca en la identificación de la fuente, los medios de transmisión y el impacto en el receptor (Platon, 2007, pp.3434).

### **1.1. Antecedentes:**

En el país son pocos los estudios realizados sobre el daño causado por el ruido en el sector de generación de energía eléctrica. Grefa y Sánchez (2011) desarrollaron una tesis de seguridad para actividades de operación y mantenimiento en la Central Hidroeléctrica Hidroagoyán. Se encontraron también hojas de seguridad y salud ocupacional que mencionan brevemente recomendaciones para ruido y vibración en la Compañía de Generación Hidroeléctrica Paute en el año 2006.

Estas revisiones se han enfocado más en la creación de recomendaciones y percepciones del personal, sin la evaluación previa y normada del ruido dentro de las plantas de generación hidroeléctrica. Dichos estudios no han incluido herramientas de control tales como: mapas de ruido, propuestas de control en las fuentes significativas o en el medio de propagación, organización de horarios rotativos, entre otros.

En el año 2010 estudiantes de la escuela de Ingeniería Industrial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), realizaron un análisis de la seguridad industrial y salud ocupacional de la hidroeléctrica de Alao perteneciente a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA), en el cuál revisaron de una forma rápida el impacto auditivo que causan los altos niveles de presión sonora dentro de la planta. En este estudio se identificó un alto impacto del ruido en las salas de mando y bodegas con un riesgo crítico con niveles de presión sonora (NPS) que varían entre 87 dBA y 92 dBA donde se categoriza como crítico el riesgo auditivo ya que los trabajadores pasan entre 6 a 12 horas en estos sectores de la planta (Alcocer, 2010, p.55).

En otros sectores como la sala de máquinas se evidencia un mayor NPS, sobrepasando en algunos casos los 110 dBA. El estudio categoriza a estos sectores con niveles de riesgo medio o bajo debido a que el personal labora poco tiempo en estos sectores (Alcocer, 2010, p.55). El estudio sin embargo posee ciertas falencias al carecer de bases en las normativas vigentes, ya que sólo utilizaron la norma de Instituto Nacional Norteamericano de Normas para la elección del sonómetro utilizado.

Se pueden asociar al ruido existente en la generación hidroeléctrica los efectos del ruido industrial como la hipoacusia neurosensorial, la aparición de enfermedades cardiovasculares, pérdida del sueño, el estrés y efectos emocionales como depresión y bajo rendimiento laboral (Gómez et al., 2012, p.176).

Hoy en día existen normativas internacionales y nacionales vigentes que regulan el bienestar y la exposición al ruido del trabajador, precautelando su salud y el adecuado ambiente de trabajo. Normativas internacionales como la ISO 1990:2013 (Estimación de pérdida auditiva por ruido inducido) y normativas nacionales como el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo (Decreto Ejecutivo 2393) regulan la exposición del trabajador al ruido en el ambiente laboral.

## **1.2 Aspectos Generales de la Empresa**

### **1.2.1. Empresa Eléctrica Riobamba S.A.**

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A EERSA es la encargada de manejar y dirigir la Central hidroeléctrica de Alao, fundada el 3 de Abril del año 1963. Es generadora, distribuidora y comercializadora de energía eléctrica para la gran mayoría de la provincia de Chimborazo. El 2 de Enero de 1967 se inauguró la Central Hidroeléctrica de Alao que genera una potencia de 10,4MW convirtiéndola en la central que suministra en mayor porcentaje a la red eléctrica de la provincia (Vizcaino, 1982, p.4).

### **1.2.2. Aporte a la VISIÓN y MISIÓN de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA) por parte del proyecto planteado.**

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A. busca la excelencia en su infraestructura así como también en los procesos mediante los cuales genera y suministra el servicio público de energía. Metas para las que necesita del correcto desempeño de sus trabajadores por lo cual el conocimiento de los agentes que influyen en el ejercicio de las funciones dentro del lugar de trabajo es imprescindible. Agentes como la contaminación auditiva y el confort acústico en el lugar de trabajo afectan de manera directa al alcance de las metas propuestas por la empresa.

Para mantener índices de gestión referentes y talento humano comprometido en la prestación del servicio de generación eléctrica se necesita que la empresa conozca el impacto del ruido en los operarios que trabajan dentro de sus instalaciones. Es por lo que conviene el aporte de este estudio a la interacción del ruido con los operarios de la central hidroeléctrica de Alao.

### **1.2.3. Localización**

La Central Hidroeléctrica ALAO, perteneciente a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. se encuentra localizada en la parroquia Pungalá en el sector rural del cantón Riobamba, junto al río Cebadas a 18 Km de la capital provincial. Es en este sector en el cuál se ubica el edificio que contiene la casa de máquinas y la sala de mando en los cuales se realizaron las respectivas

mediciones para la evaluación del ruido incidente en los trabajadores.

### **1.3. Marco referencial**

#### **1.3.1. Descripción de la situación actual**

Mediante primeras visitas y por medio de la revisión de la información existente se ha estimado que el nivel de ruido dentro del recinto a estudiar sobrepasa en ciertos sectores los 85 dB(A) (Alcocer, 2010, p.55).

#### **1.3.2. Planteamiento del problema**

De los estudios que se han realizado al personal de la EERSA es posible identificar que existen niveles de ruido que pueden afectar a los empleados, sin embargo no existe una evaluación de exposición de ruido ocupacional, en las diferentes áreas, que esté basada en un estándar o norma establecido para tales fines.

#### **1.3.3. Hipótesis**

El presente estudio se ha planteado que existen niveles altos y peligrosos de presión sonora dentro del área de actividad de los operarios, que generan un riesgo moderado o elevado de pérdida auditiva en los trabajadores de la planta.

#### **1.3.4. Alcance:**

El alcance del trabajo de titulación se basa en evaluar la exposición a ruido laboral en las personas que trabajan dentro de la sala de máquinas y del cuarto de mando de la estación hidroeléctrica, y a través de estas evaluaciones elaborar el plan de conservación auditiva.

El estudio se dirige hacia los operarios de la planta mediante la evaluación del ruido laboral al que están expuestos en sus diferentes sectores de trabajo a través de los siguientes indicadores:

El nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado  $L_{Aeq,T}$

El nivel de presión pico (ponderado C)  $L_{PICO}$

El nivel de exposición diario equivalente  $L_{Aeq,d}$

$$\text{Dosis de ruido (DRD)} \quad \text{Dosis} = \frac{T_{\text{exposición}}}{T_{\text{permitido}}} = \frac{T_e}{T_p}$$

El estudio y las mediciones se centrarán en el personal que labora en los grupos de generación y en la sala de mando.

### **1.3.5. Justificación:**

En el Ecuador se han realizado muy pocos proyectos para el control de ruido en empresas hidroeléctricas (Agoyán, Paute, Alao). Se han encontrado tesis y proyectos que han revisado de manera breve el impacto del ruido en este sector productivo (Grefa y Sanchez, 2011). Estos estudios únicamente realizan pequeñas recomendaciones en relación a la exposición temporal sin utilizar un procedimiento de medición normalizado (HidroPaute S.A, 2006, p.5).

El presente estudio pretende por lo tanto generar información relacionada con el ruido en el ambiente laboral en plantas hidroeléctricas siguiendo un procedimiento de medición basado en las normativas existentes y aplicables en nuestro país.

### **1.4. Objetivos:**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar una evaluación de exposición de ruido laboral para el personal de la planta hidroeléctrica de Alao y elaborar un plan de conservación auditiva.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la dosis de ruido de acuerdo a la legislación local en los operarios de la estación a través de procedimientos normalizados.
- Identificar los niveles de presión sonora presentes en diferentes puntos de medición dentro de las áreas de estudio.
- Elaborar un plan de conservación auditiva para los trabajadores de la estación hidroeléctrica.



## **2. Marco Teórico**

### **2.1. Ruido**

El ruido es una forma de sonido con niveles excesivamente altos que se considera molesto o indeseable. Se lo puede definir como la energía acústica audible de naturaleza aleatoria que afecta negativamente en el bienestar físico y psicológico de una persona (Harris, 1995, p.1.27).

#### **2.1.1. Principales Tipos de Ruido**

##### **2.1.1.1. Ruido continuo constante**

Es aquel ruido que posee pequeñas variaciones en su nivel de presión sonora en el transcurso del tiempo de medición. Para considerarse como ruido constante los niveles no deben variar en más de 5 dB a lo largo del tiempo. (Pereita, 1990, pp.58)

##### **2.1.1.2. Ruido intermitente o fluctuante**

Es el ruido que posee distintos niveles de presión sonora al transcurrir periodos que varían en el tiempo. El nivel de este tipo de ruido debe mantenerse en un tiempo mayor a un segundo antes de que se produzca una caída en el nivel de presión. Existen ruidos fluctuantes que con la misma cadencia se repiten de forma periódica y ruidos fluctuantes que no poseen un periodo específico. (Pereita, 1990, pp.60-61)

##### **2.1.1.3. Ruido impulsivo**

Se caracteriza por niveles de presión sonora de alta intensidad que se generan de forma abrupta por periodos breves de tiempo y posee un decaimiento rápido en su nivel. Se pueden dar impulsos repetitivos con periodos iguales o pueden ser impactos fluctuantes o aleatorios. Generalmente su duración es menor a 1 segundo. Por lo general los analizadores integran el ruido impulsivo dentro de un período de 35ms. (Pereita, 1990, pp.61)

### **2.2. Nivel de Presión sonora (NPS)**

El nivel de presión sonora *NPS* o  $L_p$ , en decibelios, correspondiente a una presión sonora  $p$  se define por:

$$NPS = 10 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \text{ dB} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde

$p_0$ : Presión sonora de referencia  $2 \times 10^{-5} [\text{Pa}]$

(Harris, 1995, p.1.12).

### 2.3. Percepción del nivel de presión sonora en relación a la frecuencia

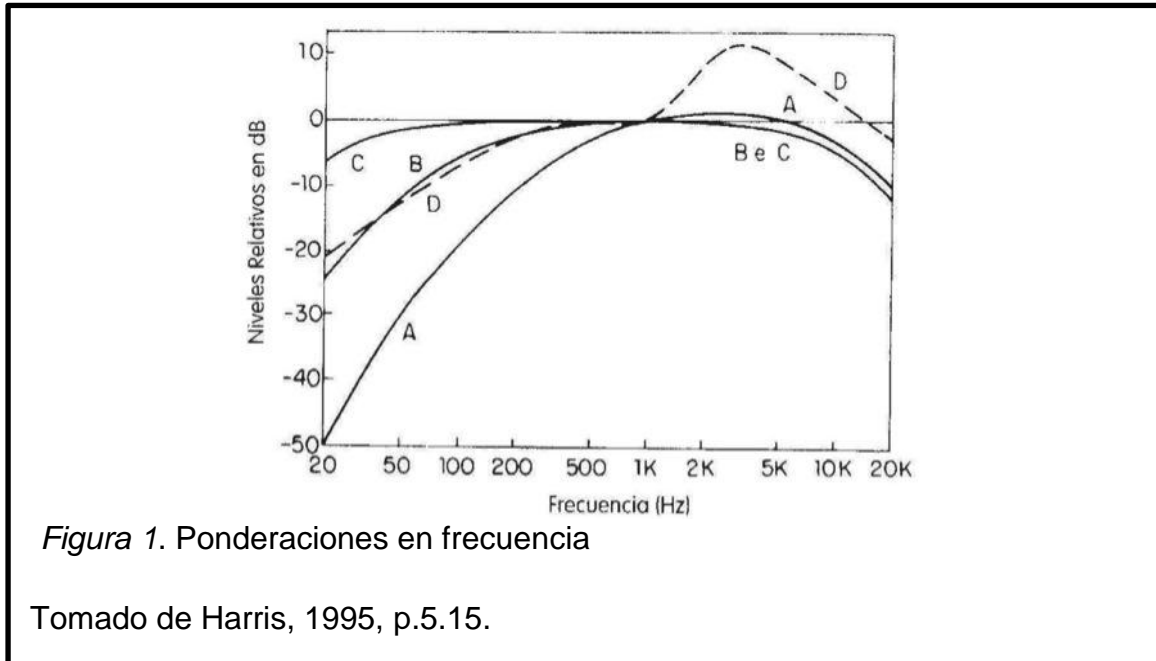
A través de varios estudios se ha determinado que el ancho de banda de las frecuencias audibles por un humano con oído sano va desde los 20Hz hasta los 20KHz. El oído humano no es sensible a todas las frecuencias de una manera igualitaria aun cuando se percibe dos sonidos distintos que contengan el mismo nivel de presión sonora. Este es un factor que determina la percepción subjetiva de un sonido. Debido a ello se han creado circuitos electrónicos de sensibilidad variable con la frecuencia, para modelar el comportamiento del oído humano, actuando sobre el contenido energético espectral disminuyendo o aumentando valores de nivel prefijados a una frecuencia específica. Esta corrección que se realiza se conoce como respuesta de un filtro. (Gerges y Arenas, 2004, p.53)

#### 2.3.1. Ponderaciones en frecuencia

La curva que se forma con el filtro de ponderación A es aproximadamente la inversa a la curva isofónica de 40 fonos y se la utiliza para la corrección de niveles de presión bajos. Es más utilizada en la práctica debido a su mayor acercamiento a los experimentos subjetivos pero debemos recordar que esto para el caso de niveles bajos.

La curva que se forma con el filtro de ponderación B es la inversa a la curva isofónica de 70 fonos y se la utiliza para la corrección de NPS medios.

La curva que se forma con el filtro de ponderación C es la inversa a la curva isofónica de 100 fonos, aproximadamente plana y se la utiliza para la corrección de NPS altos.



*Figura 1. Ponderaciones en frecuencia*

Tomado de Harris, 1995, p.5.15.

Para mediciones de ruido en aeropuertos se creó la curva de ponderación D como un caso especial. La ponderación Z no posee corrección.

#### **2.4. Ponderaciones Temporales**

Son constantes de tiempo que representan el período de integración de los equipos de medición. Cuanto más grande sea la constante del tiempo de integración menor va a ser la respuesta del equipo a variaciones de la señal.

Las ponderaciones temporales normalmente utilizadas son:

Slow	1	segundo
Fast	0,125	segundos
Impulse	0,035	segundos
Peak	0,050	segundos

## 2.5. Descriptores

### 2.5.1. Nivel de Presión sonora continuo equivalente $L_{eq}$

Es una medida para el valor medio durante un período temporal. Se define como el nivel de presión que mantenido constante durante todo el intervalo de medición posee la misma energía sonora que el evento sonoro medido.

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \text{ dB} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde

$p(t)$ : Presión sonora instantánea

$p_0$ : Presión sonora de referencia ( $20\mu\text{ Pa}$ )

$T$ : Duración del promediado =  $t_2 - t_1$

### 2.5.2. Nivel de Presión sonora continuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq,T}$ )

Se calcula el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A  $L_{Aeq,T}$ :

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \right) \text{ dB} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde

$p_A$ : Presión sonora instantánea con ponderación A;

$p_0$ : Presión sonora de referencia ( $20\mu\text{ Pa}$ );

$T$  = Intervalo de tiempo indicado de duración  $T$

### 2.5.3. Nivel de Presión sonora pico ponderado C ( $L_{p,Cpico}$ )

Se considera como el valor más alto de la presión sonora instantánea dentro del intervalo temporal de medición establecido con ponderación en frecuencia C.

$$L_{p,Cpico} = 10 \log \frac{p_{Cpico}^2}{p_0^2} \text{ dBC} \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde

$p_{Cpico}$ : Presión sonora instantánea pico con ponderación C;

$p_0$ : Presión sonora de referencia (20  $\mu$  Pa);

#### 2.5.4. Nivel de exposición diario equivalente ( $L_{Aeq,d}$ )

El nivel de exposición al ruido diario ponderado A  $L_{Aeq,d}$  es el valor medio del  $L_{Aeq,T}$  medido en un tiempo de duración de la jornada en relación a una duración de tiempo referencia. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right) \text{ dBA} \quad (\text{Ecuación 5})$$

donde

$L_{p,A,eqT_e}$  = NPS continuo equivalente ponderado A para la duración efectiva de la jornada laboral;

$T_e$  = Duración efectiva de la jornada laboral en horas;

$T_0$  = Duración de tiempo de referencia de 8 horas

#### 2.5.5. Dosis diaria de ruido ( $D$ )

Es el descriptor que indica en un valor porcentual la cantidad de ruido a la que se encuentra expuesto el empleado durante un período de tiempo determinado. Siendo el 100% o el valor de 1 la referencia que nos indica un límite establecido por la legislación de cada país. Su ecuación es la siguiente:

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}; \quad D = 100\% \text{ o } 1 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$C_n$  = Tiempo total de exposición a un nivel sonoro específico

$T_n$  = Tiempo total permitido a ese nivel

### **2.5.6. Nivel sonoro criterio *NSC (REL)***

Es el nivel normalizado máximo de exposición recomendado para la jornada laboral. En la legislación ecuatoriana el nivel sonoro criterio es de 85 dB(A).

### **2.5.7. Tasa de intercambio (*Q*)**

La tasa de intercambio *“expresa cuanto tendría que aumentar (o descender) el nivel sonoro para mantener una medida seleccionada de riesgo de pérdida de audición cuando se duplica o se reduce a la mitad la duración de la exposición”* (Harris, 1995, p.12.7).

## **2.6. Instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición básicos para realizar una evaluación de exposición a ruido laboral son los siguientes:

### **2.6.1. Sonómetros**

Son instrumentos usados para la medición del nivel sonoro. Los primeros fueron instrumentos con circuitos analógicos que median únicamente los valores de nivel de presión en el momento. Se conoce a este tipo de sonómetros como generales. Posteriormente la tecnología digital facilitó la incorporación de procesos como el nivel equivalente *Leq*, percentiles y análisis espectral en tiempo real. Estos son conocidos como sonómetros integradores-promediadores. Existen dos clases principales de sonómetros establecidos en la norma IEC61672:

#### **2.6.1.1. Sonómetros clase 1**

Se los conoce como sonómetros de precisión. Utilizados para mantener las mediciones en campo con exactitud. Poseen un mayor margen de frecuencia en relación a los instrumentos clase 2 con tolerancias menores y por lo general todos los filtros de ponderación frecuencial y temporal. La tolerancia de precisión del instrumento clase 1 en función de la frecuencia se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tolerancia de precisión para instrumentos clase 1

Frecuencia Hz	16	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16K
Clase 1	+2,5 -4,5	±2,0	±1,5	±1,5	±1,4	±1,4	±1,1	±1,6	±1,6	+2,1 -3,1	+3,5 -17,0

Tomado de (IEC, 2002, p.17.)

Nota: Se muestra únicamente las tolerancias para frecuencias de octava. La tabla expandida se halla expuesta en la norma IEC 61672-1.

### 2.6.1.2. Sonómetros clase 2

Utilizado en los trabajos de campo para mediciones generales. En la actualidad los sonómetros clase 2 digitales incorporan tecnología para la integración y promediado de los niveles medidos. Deben incluir por lo menos el filtro de ponderación A. La tolerancia de precisión del instrumento clase 2 en función de la frecuencia se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tolerancia de precisión para instrumentos clase 2

Frecuencia Hz	16	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16K
Clase 1	+5,5 -4,0	±3,5	±2,5	±2,0	±1,9	±1,9	±1,4	±2,6	±3,6	+5,6	+6,5 -4,0

Tomado de (IEC, 2002, p.17.)

Nota: Se muestra únicamente las tolerancias para frecuencias de octava. La tabla expandida se halla expuesta en la norma IEC 61672-1.

### 2.6.2. Dosímetros

Son medidores personales integradores de la exposición sonora siendo en lo general colocados en el hombro para captar en una posición más cercana al

oído las variaciones y el nivel al que el personal está expuesto durante la jornada laboral. Deben cumplir los requisitos de la norma IEC 61252. Por su tamaño son portátiles, lo que permite medir variedad de ruidos en lugares de trabajo fijos o móviles. Proporcionan información sobre dosis de ruido diaria y nivel sonoro continuo equivalente ponderado. Incorporan las ponderaciones temporales, umbral de ruido y tasas de cambio (Cirrus Research plc, 2013, p. 59-60).

## 2.7. Protectores Auditivos

Los protectores auditivos son equipos de protección personal (EPP) destinados a ser usados por el trabajador para proteger su salud auditiva por medio de la reducción de la exposición al ruido. En la siguiente tabla se muestran los principales motivos por los que se debe utilizar equipos de protección auditiva (EPA):

Tabla 3. Riesgos que motivan a usar protección auditiva

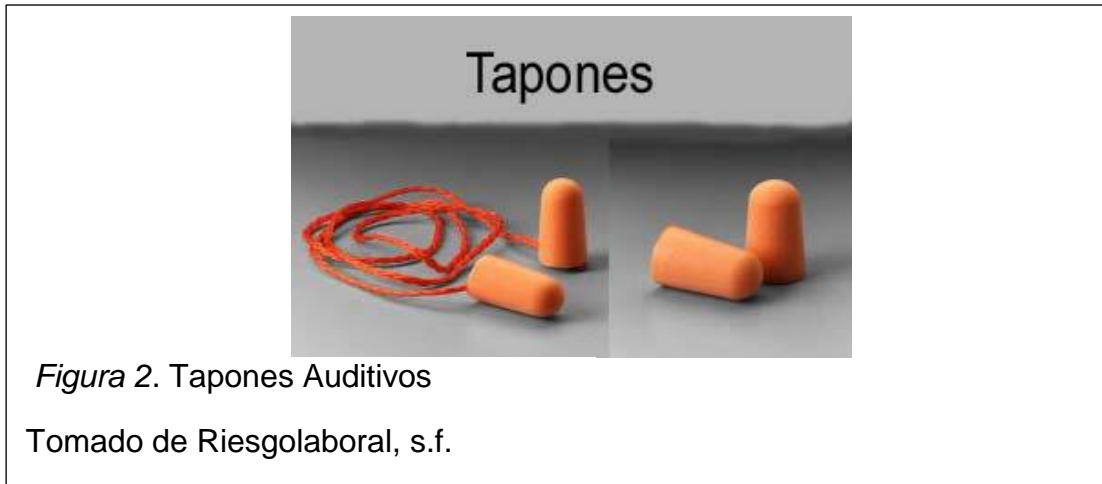
RIESGOS QUE MOTIVAN EL USO DE PROTECTORES AUDITIVOS		
RIESGOS	ORIGEN Y FORMA DE LOS RIESGOS	FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA ELECCIÓN Y USO DEL EQUIPO
Acción del ruido	Ruido continuo Ruido repentino	Atenuación acústica suficiente para cada situación sonora
Acciones térmicas	Proyecciones de metal fundido	Resistencia a materiales incandescentes y fundidos

Tomado de (Universidad Politécnica de Valencia, s.f.)

De los riesgos explicados en la tabla, el que forma parte de nuestro estudio es la acción del ruido. Se debe tener en cuenta que el EPA correcto a elegir depende del tipo de ruido, su duración y las condiciones existentes en el área de trabajo. Existen varios tipos de protectores auditivos en base a su forma y construcción física. A continuación se detallan los principales y más utilizados:

1. **Tapones Auditivos:** Son protectores que se insertan en el conducto auditivo, bloqueando la entrada para reducir la transmisión de ruido por vía aérea. Existen modelos desechables para un solo uso y modelos reutilizables que pueden ser limpiados para su posterior uso.





## 2. Orejeras:

Son casquetes que cubren las orejas. Generalmente se componen de una banda sujetadora flexible y un par de auriculares rellenos de material absorbente. Su efectividad depende del sello entre su almohadilla y la cabeza.



3. **Orejeras acopladas a cascos:** Son casquetes tipo orejera que forman parte de un casco de seguridad industrial. En general son regulables aunque difíciles de orientar correctamente.

4. **Cascos Anti-ruido:** Son equipos de protección auditiva que se los utiliza en áreas con niveles de presión sonora que superan los 130dBA. Ayudan a la reducción de ruido aéreo y transmisión ósea.

El desempeño de los EPAS depende de su selección y uso correcto. La siguiente tabla indica ciertos riesgos que surgen del uso de protectores auditivos inadecuados.

Tabla 4. Riesgos de uso inadecuado de protectores auditivos

RIESGOS DEBIDOS AL USO DE PROTECTORES AUDITIVOS INADECUADOS		
RIESGOS	ORIGEN Y FORMA DE LOS RIESGOS	FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA ELECCIÓN Y USO DEL EQUIPO
Eficacia protectora insuficiente	Mala elección del equipo	Elegir conforme al tipo e importancia de los riesgos y condicionamientos industriales Elegir conforme a factores individuales del usuario
	Mala utilización del equipo	Conocimiento del riesgo y adecuada utilización del equipo Respeto de indicaciones del fabricante
	Suciedad Desgaste, deterioro del equipo	Mantenimiento y control periódicos Sustitución oportuna Folleto de indicaciones del fabricante

Tomado de (Universidad Politécnica de Valencia, s.f.)

## 2.8. Programas de conservación auditiva

El principal objetivo los programas de conservación auditiva es evitar los daños auditivos debido a la exposición al ruido laboral. Además estos programas sirven para educar y motivar a los trabajadores para incentivar el uso de equipos de protección personal. (Royster, L y Royster J.,1993).

### 2.8.1. Componentes del programa de conservación auditiva

Los principales elementos que se consideran en un programa de conservación auditiva son los siguientes: valoración de la exposición al ruido, medidas de control de ruido, equipos de protección auditiva, formación u entrenamiento y controles audiométricos. En lo referente a la valoración de la exposición al ruido, las áreas peligrosas deben ser identificadas por el supervisor conjuntamente con el Departamento de Seguridad Industrial de la empresa en donde necesariamente se deben realizar valoraciones a través de encuestas al

personal y mediciones de la dosis diaria de ruido. (University of Toronto, 2012, p.5).

Las medidas de control de ruido, pueden ser técnicas y administrativas. Las técnicas pueden asegurar una reducción de la exposición a niveles seguros, pueden aplicarse en la fuente generadora de ruido, en el medio de transmisión o en el receptor. Las medidas administrativas incluyen cambios en los planes de trabajo de los empleados, limitando el tiempo de exposición siempre que sea posible, puede incluirse mantenimientos preventivos y de ser posible se debe adquirir nueva maquinaria cuya potencia acústica sea lo más baja posible. (University of Toronto, 2012,p.6).

Los equipos de protección auditiva deben ser utilizados de manera obligatoria en las áreas donde los niveles de ruido superen los 85dBA, o en los cuales el nivel de exposición a ruido diaria supere los límites. Para niveles de exposición entre 80 y 85 dBA la protección es opcional. En ambos casos el protector debe ser entregado por el empleador. (University of Toronto, 2012,p.6).

Los empleados deben recibir formación sobre las causas que generan pérdidas auditivas así como sobre la protección requerida para cuidar de su audición. Los programas de motivación también deben estar presentes (Royster, L y Royster J., 1993, pp.14).

En lo que se relaciona a los controles audiométricos, éstos ayudan a detectar a tiempo la pérdida auditiva inducida por ruido. El historial auditivo del trabajador se debe actualizar anualmente.

## **2.9. Efectos del ruido laboral sobre la salud**

El ruido es uno de los agentes físicos más agresivos sobre la salud que se encuentra presente en el lugar de trabajo. Los efectos nocivos a la salud auditiva comienzan con un zumbido o sordera asociado a la exposición del trabajador a niveles sonoros exageradamente altos, creando la sensación de que no se puede escuchar bien (pérdida de la sensibilidad en la audición), la que desaparece al cabo de un período de descanso. Dicha sensación se denomina como el desplazamiento temporal del umbral auditivo o TTS

(temporary threshold shift). También existe un desplazamiento permanente del umbral auditivo o PTS (permanent threshold shift) donde la pérdida de la sensibilidad en la audición no es recuperable. Puede ser causada por una exposición a niveles muy altos de ruido como por ejemplo una explosión, o a la reiterada exposición a niveles molestos de ruido sin períodos aceptables de recuperación/descanso durante años.

Aunque el daño a la sensibilidad del oído es la secuela más conocida de la exposición a ruido no es la única. Harris (1998, p. 25.2) menciona la existencia de reacciones fisiológicas del cuerpo humano las cuales se pueden organizar en dos subdivisiones siendo éstas los efectos a corto y a largo plazo. Los efectos a corto plazo pueden poseer la misma duración del ruido o mantenerse varios minutos posteriores al estímulo sonoro. Como ejemplos tenemos el aumento en la tensión y actividad muscular, alteraciones del aparato digestivo, un aumento en la tasa cardiaca y la presión de la sangre, reducción de la eficacia de los mecanismos de regulación respiratoria, entre otros. Los efectos a largo plazo pueden influir por horas o inclusive permanecer períodos mayores a los días. Dentro de esta categoría se encuentran el estrés, las alteraciones del sueño, cambios en el sistema endócrino, hipoacusia neurosensorial, alteraciones cardiovasculares.

### **3. Metodología**

Para la realización de la evaluación de la exposición al ruido laboral se establecieron las siguientes fases:

- 1.- Revisión de la legislación sobre ruido laboral que gobierna en el país en el que se realiza el estudio.
- 2.- Selección de la metodología adecuada para la medición del ruido en cumplimiento con las exigencias de la legislación del país.
- 3.- Comparación entre los resultados de la medición del ruido y los valores permitidos dentro del marco legal. Verificación del cumplimiento de los reglamentos por parte de la empresa.

#### **3.1 Revisión de la legislación sobre ruido laboral**

Según la Legislación Ecuatoriana se aplica para toda actividad laboral las disposiciones del Decreto Ejecutivo 2393, siendo una obligación de los empleadores “Cumplir las disposiciones de este Reglamento y demás normas vigentes en materia de prevención de riesgos” (Decreto Ejecutivo 2393, 1986).

#### **3.2. Niveles máximos permitidos por la normativa**

El capítulo V del Decreto Ejecutivo 2393 trata sobre el medio ambiente laboral y riesgos por factores físicos, químicos y biológicos. Dentro de los factores físicos que regula el Decreto encontramos en el artículo 55 las disposiciones *a cumplir para prevención de riesgos por ruidos y vibraciones. En relación al nivel de ruido al que está expuesto un trabajador, el numeral 6 del artículo 55 indica:*

“Se fija como límite máximo de presión sonora el de 85 decibeles escala A del sonómetro, medidos en el lugar en donde el trabajador mantiene habitualmente la cabeza, para el caso continuo con 8 horas de trabajo. No obstante, los puestos de trabajo que demanden fundamentalmente actividad intelectual, o tarea de regulación o de vigilancia, concentración o cálculo, no excederán de 70 decibeles de ruido.” (Decreto Ejecutivo 2393,1986).

El numeral 7 del artículo 55 indica el tiempo de exposición permitido con el nivel de presión sonora en dB(A) para una dosis de ruido diaria igual a 1 (D).

Tabla 5. Nivel de exposición sonora permitido por jornada laboral

NIVEL SONORO	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
dB(A – lento)	Por jornada / hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0.25
115	0.125

Tomado de (Decreto Ejecutivo 2393,1986, p.28.)

La tabla del Decreto Ejecutivo 2393 expuesta anteriormente se basa en las regulaciones de la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) de los Estados Unidos de Norteamérica. Sin embargo, el estándar de la OSHA utiliza un límite recomendado de exposición (*REL*) de 90 dBA con una tasa de cambio de 5 dBA (OSHA, s.f.). Por otro lado, para reducir la pérdida auditiva ocupacional la NIOSH (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional) recomienda que las exposiciones de los trabajadores a ruido deberían ser controladas bajo un nivel equivalente a 90 dBA para 8 horas de exposición (para trabajos en la industria de la construcción) y de 85 dBA para los trabajos que no poseen relación con la industria de la construcción, con una tasa de cambio de 3dBA (NIOSH, 1998, p.25). Así mismo recomienda tener un control a partir de una exposición de 85dBA (OSHA, s.f.).

Los valores del tiempo de exposición permitido de referencia ( $T_r$ ) mostrados en la tabla del numeral 7 del artículo 55 se obtienen de la fórmula tomada del estándar 1910.95 App A de las regulaciones de la OSHA:

$$T_r = \frac{T_n}{2^{\frac{L-REL}{Q}}} \quad \text{Donde: } L = \text{Nivel medido en ponderación A} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$REL = \text{Nivel sonoro criterio}; Q = \text{Tasa de intercambio}; T_n = \text{Tiempo de normalización 8h.}$

En el Decreto Ejecutivo 2393, la duración de referencia ( $T_r$ ) se obtiene con una tasa de cambio de 5dB y un límite recomendado de exposición ( $REL$ ) de 85 dBA.

Mediante la ecuación (7) expandimos la tabla (5) para obtener valores temporales correspondientes a los rangos entre 70 dBA y 115 dBA. Utilizaremos estos valores para la determinación precisa de los tiempos permisibles de exposición. Anexo 1.

Para el caso en que los trabajadores se encuentren expuestos a intermitencia de ruido continuo se evaluará el efecto compuesto por los distintos niveles sonoros que sobrepasen o que sean iguales al límite máximo de 85 dBA. Para el cumplimiento la Dosis de ruido diaria ( $D$ ) se calcula de acuerdo a la ecuación (8) y cuyo resultado no exceda el valor de 1.

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}; \quad D = 100\% \text{ o } 1 \quad (\text{Ecuación 8})$$

$C_n = \text{Tiempo total de exposición a un nivel sonoro específico}$

$T_n = \text{Tiempo total permitido a ese nivel}$

La conversión de dosis de ruido diario a nivel sonoro promedio se determina según consta la tabla del Anexo 2.

### 3.2.1 Ruido de impacto

Se considera ruido de impacto a aquel cuya frecuencia de impulso no supere a un impacto por segundo. De ser contrariamente superior en su frecuencia será considerado como ruido continuo (Decreto Ejecutivo 2393, 1986). La siguiente tabla muestra el número total máximo de impulsos al que el trabajador debe estar expuesto dentro de una jornada laboral de 8 horas:

Tabla 6. Exposición laboral a impulsos

Numero de impactos por jornada de 8 horas diarias	Nivel de Presión Sonora máxima (dB)
100	140
500	135
1000	130
5000	125
10000	120

Tomado de (Decreto Ejecutivo 2393, 1986, p. 28.)

Según el Decreto Ejecutivo 2393, los trabajadores expuestos a estos niveles o superiores deben ser revisados anualmente con control audiométrico.

### 3.3 Revisión de normativas similares

El Decreto Ejecutivo 2393 sin embargo no establece en su cuerpo una metodología precisa para evaluar la exposición a ruido laboral. En virtud de lo anterior se realizó una revisión y comparación de normativas similares, tales como la venezolana COVENIN 1565:1995, el Instructivo para aplicación del Decreto dsn594 MINSAL Título IV, párrafo 3o, de los Agentes Físicos – Ruido, basado en el Decreto Supremo N.594 de Chile y la UNE EN ISO 9612:2009 de España. La siguiente tabla muestra una comparación de las normativas antes mencionadas:



Tabla 7. Cuadro comparativo entre normas relevantes

Cuadro Comparativo entre Normativas				
Determinación de la exposición al ruido en el trabajo				
País	España	Ecuador	Chile	Venezuela
Normativa	UNE-EN ISO 9612	NTE INEN-ISO 9612/Decreto Ejecutivo 2393	Instructivo para aplicación de decreto dsn594 MINSAL Titulo IV, párrafo 3o, de los Agentes Físicos – Ruido. En base al Decreto Supremo N.594	COVENIN 1565:1995
Instrumentación	Sonómetro integrador-promediador Clase 1 o 2 (IEC 61672-1:2002), Dosímetros Clase 1 (IEC 61672) o Norma IEC 61252	Decreto 2393 no especifica	Mínimos: instrumento tipo 2 sonómetro norma: IEC 61672, dosímetro norma: IEC61252. Calibrador: clase 2.	Sonómetro tipo: 0,1,2,3. Dosímetro: 1,2.
Ponderación y respuesta dinámica		dB(A) slow (continuo)	dB(A) - slow, dB( C )	dB(A) - slow(Continuo), fast(fluctuantes, impulsivos)
Cantidad de mediciones	Al menos 5 muestras para medición basada en la función. Al menos 3 mediciones de una jornada completa, si se basa en la estrategia de una jornada completa.	N.A.	Dependiente del análisis realizado en los tipos y puestos de trabajo. Mínimo 4 mediciones.	Ruido estable:Mínimo 20 min. Cada 10 seg. Ruido continuo Fluctuante/intermitente: >=20 veces el rango de niveles detectado
Tiempos de medición	Para mediciones de tareas largas, al menos 5 minutos. Si la duración de la tarea es menor a 5 minutos, la medición debe ser igual a la duración de la tarea. Si el ruido de la tarea es cíclico, cada medición debe cubrir la duración de al menos tres ciclos bien definidos. Si el ruido fluctúa aleatoriamente se debe medir con una duración suficientemente larga para garantizar que el valor medido sea representativo.	Solo indica para tiempos de exposición de jornadas laborales.	Dosímetro: Idealmente, la jornada efectiva completa o un tiempo representativo de esta. Si existen ciclos de trabajo se mide solo un ciclo proyectando la medición al numero total de ciclos. Sonómetro: El tiempo de medición variará dependiendo de la fluctuabilidad del ruido y las condiciones en el puesto de trabajo. Se debe medir en cada actividad o tarea hasta encontrar estabilidad con variaciones menores a 1 dB(A). Tiempo mínimo de medición 15min - max. 30 min. Si transcurridos el NPSeq no se estabiliza se considerará que no se puede aplicar esta metodología. Se deberá realizar mediante dosimetría.	Cada 10 segundos durante el mayor tiempo posible
Exposición Máxima	Valores límite de exposición: LAeq,d = 87 dB(A) y Lpico = 140 dB (C). Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción: LAeq,d = 85 dB(A) y Lpico = 137 dB(C), respectivamente; Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción: LAeq,d = 80 dB(A) y Lpico = 135 dB(C), respectivamente. Real Decreto 286/2006	85 dB(A) @8 horas -mitad de tiempo cada +5dB 115 dB(A) - 0.125horas cualquiera sea el tipo de trabajo	Dosis de ruido diaria (DRD) no mayor a 1. No se permitirá la exposición a trabajadores a valores de NPSeq mayores a 115 dB(A). 99dB(A) en 18.90 minutos. 85dB(A) en 8 horas. 80dB(A) en 24 horas.	85 dB(A) @8 horas -mitad de tiempo cada +3dB 115 dB(A) cualquiera sea el tipo de trabajo
Estudio Previo:	Análisis del trabajo.- Descripción de actividades y funciones de los trabajadores,definir grupos de exposición homogéneos, determinar jornada(s) laborales para cada trabajador/grupo, identificación de: Tareas, funciones, eventos de ruido significativos. Elección: estrategia y plan de medición	N.A.	Screening: Se descartan puestos de trabajo que no superen NPSeq 80db(A) en un minuto. Momento de mayor emisión de ruido. Ciclos de trabajo, tareas y puestos de trabajo que se repiten. Tareas realizadas, ciclos de trabajo definidos, estabilidad del ruido.	Elección de cantidades y puntos de mediciones previo a visita para toma de medidas.
Selección de estrategia de medición	Basada en la tarea. Basada en la función. De una jornada de trabajo completa.	N.A.	Por medio de: Ubicación y área de influencia de las fuentes de ruido. Presencia de Ciclos de Trabajo. Existencia de Grupos similares de exposición.	Selección libre. De acuerdo a las condiciones en que el ruido es recibido por los trabajadores. Dosis de ruido de corta y larga duración mediante dosímetros.
Parámetros de Medición	LpA,eqT.- NPS continuo equivalente ponderado A sobre un período T. Lp,Cpico.- Nivel de presión sonora de pico ponderación C. Lex,8h.- Nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral nominal promediada de 8 horas. Niveles por bandas de 8va y bandas de 1/3 8va.	Lex,8h. Dosis de ruido diaria (D)	Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq), con respuesta lenta y en dB(A). Dosis Diaria de Exposición a Ruido (DRD). Nivel de Presión Sonora Máximo (NPSmax), en dB(A).	Nivel de ruido continuo equivalente (Leq), dosis de ruido diaria (DRD), niveles de ruido(maximos y minimos) y dosis parciales, niveles de ruido por bandas. Percentiles.
Incluye Metodología de medición	Incluye mediante etapas cronológicas	No incluye	Incluye Procedimiento de medición a partir del artículo 5.3	Incluye
Ubicación espacial y direccional de los	Sonómetro promediador-integrador:Al nivel de las posición de de la cabeza del trabajador durante su función o tarea. También se puede realizar mediante movimiento del sonómetro alrededor(meidante barrido en figura de infinito) de la zona de interés. Dosímetro: En la parte superior del hombro, a 0.1m de la entrada del canal auditivo externo, del lado del oído expuesto y debería estar aprox. a 0.4m por encima del hombro	N.A.	Sonómetro: Se ubica en la posición que ocupa la cabeza del trabajador(sentado o de pie), el micrófono a la altura y orientación a la que se encuentra el oído más expuesto del trabajador. Si no se puede tener la presencia del trabajador el micrófono se instalará en una esfera imaginaria de 60 cm de diámetro, la que rodeará la cabeza(virtual) del trabajador. Alejando de superficies reflectantes, colocado en un tripode según las especificaciones del fabricante.	Colocación del micrófono a una altura y localización aproximada a la zona de audición. Distintos puntos (1.2 a 1.5)m de altura desde el piso. Distancia prudencial desde la persona evaluadora de 0.3m en sentido horizontal de la zona alrededor para reducir absorción. 1.20m distante de paredes para reducir captación de reflexiones.
Evaluación de incertidumbres de med	Incluye un tratamiento de errores e incertidumbres y sus cálculos	No incluye	No incluye	No incluye
Presentación de Resultados	Informe Técnico Normado	N.A.	Informe técnico de evaluación	Informe

Las principales diferencias entre las normas mencionadas en el párrafo anterior son:

- En la norma UNE EN ISO 9612:2009 existe una evaluación de las incertidumbres de medición lo que la vuelve más fiable que las otras.
- La norma venezolana no posee pautas para la selección del tipo de medición y la forma de realizarla, por lo que se puede cometer errores.
- La norma española y la chilena exigen un estudio previo minucioso de la producción y las actividades de los trabajadores identificando los sucesos importantes de ruido en la zona de trabajo a evaluar para evitar errores al momento de realizar las mediciones.
- El Decreto Ejecutivo 2393 no registra directrices para el cumplimiento de sus artículos, como falta de estrategias de medición o cantidad de mediciones a realizar.

### **3.3.1 Procedimiento de medición**

Para el cumplimiento del Decreto Ejecutivo 2393 se utilizó el procedimiento establecido en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 9612. *Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de Ingeniería.* La norma oficializada el 6 de Enero del 2014 es una adaptación idéntica de la norma Española UNE-EN ISO 9612 que adopta la Norma Internacional ISO 9612:2009. Según la norma NTE INEN-ISO 9612, la realización del protocolo para la determinación de la exposición a ruido se divide en 5 fases de estudio.

### **3.3.2 Etapa 1: Análisis del trabajo**

Es la etapa en la que inicia el proceso de evaluación de la exposición al ruido. Se analiza e incluye información substancial acerca de los trabajadores y sus funciones, tareas o actividades de manera que se pueda elegir la estrategia de medición correcta de acuerdo a la norma. Se logra recopilar esta información a través de reuniones con los supervisores o entrevistas con los trabajadores. El análisis del trabajo se subdivide en tres partes:

### **3.3.2.1 Introducción**

Consta de toda la información que contribuye a la correcta descripción de actividades que abarcan las funciones que ejercen los trabajadores. Nos ayuda a identificar grupos homogéneos a la exposición (si los hay) y eventos de ruido que sean significativos dentro de las jornadas nominales. A partir de la indagación de la situación en la empresa es posible optar por tres diferentes estrategias de medición, las cuales se definen como: medición basada en la tarea, medición basada en la función o medición de jornada laboral completa.

### **3.3.2.2 Determinación de grupos de exposición al ruido similar (homogéneos)**

Al definir grupos de exposición al ruido homogéneos se aminora la cantidad de trabajo para la realización de las mediciones. Son grupos de trabajadores que realizan tareas parecidas o se encuentran en el mismo lugar de trabajo. Por lo tanto se encuentran a una exposición al ruido similar dentro de sus jornadas de trabajo. Se pueden definir los grupos "... en función del nombre de su puesto, de su función, de su área de trabajo o de su profesión, (...) analizando el trabajo según los criterios de producción, de proceso o de actividad profesional"( UNE-EN ISO 9612,2009).

Se debe confirmar nuestra asignación de grupos de exposición adquiriendo información con los supervisores y trabajadores.

### **3.3.2.3 Determinación de la jornada nominal**

La jornada nominal abarca todos los aspectos comprendidos dentro del trabajo diario. Se puede definir la jornada de trabajo acotando las siguientes fuentes de información:

- a) Tareas que se realizan, duración y el contenido de sus actividades así como las variaciones existentes entre una y otra tarea.
- b) Fuentes de ruido y zonas o puestos de trabajo que poseen más incidencia de ruido molesto con alto nivel. Como se produce el ruido, naturaleza, frecuencia, tiempo de duración, etc.

- c) Guías que indiquen patrones en el trabajo y la determinación de sucesos relevantes que influyan en el nivel del ruido.
- d) Descansos, pausas, reuniones, con su cantidad y duración respectiva. Se debe revisar si se contemplan o no dentro de la jornada laboral.

La jornada nominal se convertirá en el elemento de medición para definir la exposición al ruido existente.

### 3.3.3 Etapa 2: Selección de la estrategia de medición

Las estrategias de medición desarrolladas en la norma UNE-EN ISO 9612 son tres:

#### 3.3.3.1 Estrategia de medición basada en la tarea

##### División en tareas de la jornada nominal

Se dividen en tareas representativas las jornadas nominales de los trabajadores y sus agrupaciones al ruido similar. De manera que sea repetible en cada división de tarea el Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A sobre un período T ( $L_{p,A,eqT}$ ). Es significativo identificar las fuentes de ruido y las tareas que poseen niveles de ruido y de pico más elevados.

##### Determinación de la duración de la tarea ( $T_m$ )

Se puede estimar la duración de las tareas a partir de la información obtenida en el análisis del trabajo. Es importante contemplar y computar la duración de las tareas mientras se realiza la medición del ruido. También será útil la información obtenida con respecto a cómo funcionan las fuentes y sobre los procedimientos de trabajo que se realizan cercanos a ellas.

Calculamos la duración aritmética media de cada tarea ( $\bar{T}_m$ ) con la ayuda de los valores de duración de tarea ( $T_{m,j}$ ) y la cantidad de veces que realizamos el registro ( $J$ ):

$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j} \quad (\text{Ecuación 9})$$

La duración efectiva de la jornada laboral ( $T_e$ ) se obtiene mediante la suma de las duraciones de cada tarea ( $T_m$ ) que comprenden la jornada nominal. Se calcula con la ecuación:

$$T_e = \frac{1}{J} \sum_{m=1}^M \bar{T}_m \quad (\text{Ecuación 10})$$

*Donde: m = Es el número de tarea ; M = Es el número total de tareas descritas.*

### **Medición del Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A ( $L_{p,A,eq,T,m}$ ) de las tareas**

Se mide el valor representativo para cada  $L_{p,A,eq,T,m}$  de cada tarea con un tiempo de medición que sea suficiente para cubrir las variaciones del nivel de ruido mientras dure la tarea en cuestión. Por lo consiguiente la norma muestra las siguientes recomendaciones:

- Si la duración de la tarea es inferior a 5 minutos, cada medición deberá poseer una duración similar a la de la tarea.
- Si la duración de la tarea es superior a 5 minutos al menos se realizará la medición con una duración de 5 minutos.
- Si la tarea contiene ruido cíclico se debe abarcar dentro de la medida un conjunto de 3 ciclos evidentes. Si el periodo de los 3 ciclos es inferior a 5 minutos se medirá por lo menos 5 minutos por cada medición a realizar. El tiempo que abarque cada medición deberá encajar a la duración de ciclos enteros.
- Si el aporte al nivel de exposición global es escaso o insuficiente por parte de la tarea se pueden elegir tiempos menores de medición. De la misma manera si el nivel de ruido es constante.
- La norma nos indica que al menos se deben realizar 3 mediciones. Si existe variación de 3dB o más entre las mediciones:
  - o Se realizará más mediciones de la tarea
  - o Una segmentación en tareas más simples
  - o Volver a medir considerando tiempos de medición más extensos

Se calcula el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A  $L_{p,A,eq,T,m}$  para la tarea  $m$ :

$$L_{p,A,eq,T,m} = 10 \log \left( \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \times L_{p,A,eq,T,mi}} \right) dBA \quad (\text{Ecuación 11})$$

$i$  = número de la muestra de la tarea  $m$ ;

$I$  = número total de muestras (mediciones) de la tarea  $m$ ;

Ahora para calcular el nivel de exposición diario equivalente global  $L_{Aeq,d}$  utilizamos los valores obtenidos de los  $L_{p,A,eq,T,m}$  de cada tarea que calculamos mediante la ecuación (11):

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = 10 \log \left[ \left( \sum_{m=1}^M \left( \frac{T_m}{T_0} \right) 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,m}} \right) \right] dB \quad (\text{Ecuación 12})$$

donde

$m$  = número de la tarea;

$M$  = número de tareas total que contribuyen al  $L_{Aeq,d}$

$T_0$  = Duración de tiempo de referencia de 8 horas

### 3.3.3.2. Estrategia de medición basada en la función

La estrategia basada en la función es de mucha ayuda en los momentos en que no resulta fácil la descripción de las tareas ejercidas dentro de las jornadas laborales o si no resulta práctico detallar con precisión el análisis de trabajos con tareas que varían su tiempo de exposición de una a otra repetición.

Se debe ser cuidadoso con la determinación de las funciones para que la evaluación del ruido en los trabajadores asociados a dicha función mantenga valores que aporten correctamente al estudio. Es muy importante incluir dentro del tiempo estipulado de medición los eventos representativos que aportan al ruido.

Por lo general la estrategia basada en la función conlleva un tiempo de recolección de medidas mayor pero nos entrega una incertidumbre menor en los resultados.

### Plan de medición para la estrategia basada en la función

Una vez establecidas las funciones y los respectivos lugares de trabajo asociados a ellas delimitaremos los GEH (grupo de exposición al ruido homogéneo). Definidos los GEH se debe medir según la cantidad de personas incluidas en el grupo de exposición homogéneo, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 8. Duración mínima de la toma de mediciones para un GEH

Número de trabajadores del GEH $n_G$	Duración mínima total de la medición a distribuir entre el GEH
$n_G \leq 5$	5h
$5 < n_G \leq 15$	$5h + (n_G - 5) \times 0,5 h$
$15 < n_G \leq 40$	$10h + (n_G - 15) \times 0,25 h$
$n_G > 40$	17h ó fraccionar el GEH

Tomado de (UNE EN ISO 9612:2009, 2009, p. 19.)

La norma NTE INEN-ISO 9612 indica como número *mínimo de muestras el de 5 mediciones* que acumuladas superen o tengan un valor de medición igual a la duración mínima obtenida del cuadro anterior para el GEH. La toma de muestras debe ser aleatoria entre los miembros del GEH y durante la duración de la jornada laboral. Se debe recordar que es posible un GEH compuesto por un solo trabajador.

### Determinación de los niveles de exposición al ruido diarios para un GEH basada en la función (en el puesto de trabajo)

Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A  $L_{p,AeqT_e}$

El nivel de exposición equivalente para la duración efectiva de la jornada laboral ( $T_e$ ) se obtiene mediante la ecuación:

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,n}} \right) dB \quad (\text{Ecuación 13})$$

donde

$L_{p,A,eqT,n}$  = Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A de la muestra  $n$  ;

$N$  = Número total de mediciones realizadas de la función (del puesto de trabajo)

$T_e$  = Duración efectiva de la jornada laboral

**Nivel de exposición al ruido diario ponderado A**  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$

El nivel de exposición al ruido diario ponderado A  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  para un grupo de exposición homogéneo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right) dB \quad (\text{Ecuación 14})$$

donde

$L_{p,A,eqT_e}$  = Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la duración efectiva de la jornada laboral;

$T_e$  = Duración efectiva de la jornada laboral

$T_0$  = Duración de tiempo de referencia de 8 horas

### 3.3.3.3 Estrategia de medición basada en una jornada completa

#### Aspectos generales a tomar en cuenta para la estrategia de medición basada en una jornada completa

Por lo general se utiliza la medición de una jornada completa cuando no resulta fácil la descripción precisa de las tareas ejercidas. Es recomendada cuando se desean abarcar todas las contribuciones principales de ruido con total



seguridad. Requiere un esfuerzo menor en el análisis de trabajo pero conlleva en su mayoría un mayor esfuerzo en los tiempos destinados para la medición.

La medición que se realice durante una jornada completa debe incluir los eventos de exposición elevada así como aquellos que mantengan niveles bajos durante periodos que se puedan considerar como silenciosos. Si no es posible realizar las mediciones durante la jornada completa se permite la recolección de datos el mayor tiempo posible dentro de la jornada laboral en el que se abarquen los eventos significativos de ruido.

El técnico encargado de las mediciones debe observar atentamente el desempeño de los trabajadores durante la medición para identificar eventos que no posean relación con la exposición al ruido tales como gritos o golpes en el micrófono que registrarán contribuciones falsas.

Se recomienda para la medición en una jornada completa el uso de dosímetros personales que provean un registro temporal de la exposición mediante el cual se analice con mayor facilidad las contribuciones en nivel de cada tarea, además de recopilar información acerca de las variaciones en el nivel de ruido existentes en la jornada laboral.

### **Plan de medición para la estrategia basada en una jornada completa**

- a) Se deben realizar tres mediciones de una jornada completa  $L_{p,AeqT}$  representativas de la exposición al ruido.
- b) Si los resultados de las mediciones varían en 3dB o más, se deberá incluir las mediciones de por lo menos dos jornadas más.
- c) Calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A  $L_{p,AeqT_e}$  según la ecuación (13) para obtener la *media energética* de las mediciones de  $L_{p,AeqT}$ .

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,n}} \right) dB \quad (\text{Ecuación 13})$$

donde

$L_{p,A,eqT,n}$  = Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A de la muestra n ;

$M$  = número de tareas total que contribuyen al  $L_{Aeq,d}$

$N$  = Número total de mediciones realizadas de la función (del puesto de trabajo)

$T_e$  = Duración efectiva de la jornada laboral

**Nivel de exposición al ruido diario ponderado A**  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$

Se calcula el nivel de exposición al ruido diario ponderado A  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  por medio de la siguiente ecuación:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right) \text{ dB} \quad (\text{Ecuación 15})$$

donde

$L_{p,A,eqT_e}$  = Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A calculado

mediante la ecuación (13);

$T_e$  = Duración efectiva de la jornada laboral

$T_0$  = Duración de tiempo de referencia de 8 horas

### 3.3.4 Etapa 3: Mediciones y sus aspectos representativos

#### 3.3.4.1 Calibración de campo

La calibración de campo consiste en la verificación de la calibración acústica del sistema de medición. Se basa en la aplicación de un calibrador acústico al micrófono del instrumento a ser utilizado y anotar el nivel medido a una frecuencia de referencia. Por lo general dicho nivel suele ser de 94dBA @ 1Khz para sonómetros y de 114dBA @ 1kHz para dosímetros. El calibrador acústico debe cumplir con los requisitos de clase 1 de la norma IEC 60942:2003.

Se realiza la respectiva calibración de campo al principio de cada serie diaria de mediciones y antes de cada serie de mediciones con los ajustes oportunos. También al final de cada serie de mediciones y de cada serie diaria de mediciones se debe realizar la apropiada verificación sin ajustes. Si la lectura al final de la verificación varía en valores por sobre los 0.5 dB en relación al valor de calibración, las mediciones de la serie y sus resultados tienen que ser eliminados (UNE-EN ISO 9612,2009, p.22).

#### **3.3.4.2 Ubicación de instrumentos de medición tipo sonómetro**

La colocación correcta de los sonómetros es la siguiente:

- Se ubicará el micrófono a una distancia entre 10 cm y 40 cm en el costado del oído con mayor exposición en el caso en que el trabajador debe encontrarse presente en su puesto.
- Si no se define la posición de la cabeza en el puesto de trabajo se puede colocar el micrófono a 0,80 m  $\pm$ 0,05 m del plano del asiento para un trabajador sentado y a 1,55 m  $\pm$ 0,075 m sobre el suelo en el que se ubica de pie el trabajador.
- Se recomienda emplear una resolución temporal apropiada cuando se realiza un barrido a velocidad constante para determinar variaciones de nivel en la zona de medición.

#### **3.3.4.3 Ubicación de instrumentos de medición tipo dosímetro**

Se debe informar a los trabajadores a ser evaluados acerca de los objetivos de la medición, recomendaciones sobre la normal realización de su trabajo y el evitar golpes y roces sobre el equipo.

La colocación correcta según la norma para el micrófono se da por medio de las siguientes recomendaciones:

- Se debe colocar el dosímetro a una longitud de 0,1 m del oído que presente mayor exposición.
- Debe encontrarse a una altura aproximada de 4 cm por sobre el hombro.

- La sujeción del micrófono y sus componentes debe ser tal que no se guarden falsos resultados por movimientos mecánicos o por roces con la ropa.
- Seguir las recomendaciones del fabricante para el encendido, apagado y calibración del equipo antes y después de cada medición.
- Tener un registro de las horas de inicio, finalización y eventos sonoros que sucedan durante la medición.

### **3.3.5 Etapa 4: Tratamiento de errores e incertidumbre**

La inexactitud en los valores de medición se da por cambios que de forma natural se dan en el trabajo y van a depender del método de medición empleado.

De acuerdo a la norma UNE EN ISO 9612:2009 las fuentes primordiales de incertidumbre en los resultados medidos son:

- Incertidumbre en el muestreo, cambios y condiciones en el trabajo.
- Instrumentos y su calibración, ubicación y clase de precisión.
- Las posiciones de los equipos y sus micrófonos.
- Agentes como corrientes de aire, golpes y roces en los instrumentos.
- Los aportes atípicos de ruido como alarmas, palabra hablada, radio o TV, comportamientos que no se encuentren dentro del accionar normal en el trabajo ( UNE-EN ISO 9612,2009, p.24).

El procedimiento para la determinación de la incertidumbre expandida asociada a la medición se encuentra detallado en el anexo 3.

### **3.3.6 Etapa 5: Presentación de resultados**

Se presentan los niveles de exposición diario equivalente  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  con su respectiva desviación asociada. Si es necesario se incluye los niveles de pico ponderado C e información que se tome como relevante según el caso.

#### **4. Medición y evaluación del ruido en la central hidroeléctrica de Alao**

Se realizaron visitas in situ en la planta principal de la hidroeléctrica Alao para constatar las condiciones existentes y mediante el análisis del trabajo que realizan los empleados se analizó la existencia de grupos de exposición homogéneos, así como para determinar los puntos para la toma de mediciones. El proceso se realizó de acuerdo a lo estipulado en la norma UNE EN ISO 9612:2009 con el uso de sonómetros ubicados en los puntos en que los trabajadores realizan sus tareas.

##### **4.1. Etapa 1: Análisis del trabajo dentro de la estación de generación**

###### **4.1.1. Lugar de evaluación**

La central hidroeléctrica de Alao cumple la función de generar energía mediante el uso de la transformación de la energía potencial generada por el agua a energía eléctrica por medio de turbinas de generación. Dentro de la estación se genera una potencia máxima de 10,4 MW mediante 4 turbinas tipo pelton (Alcocer, 2010, pp.21). También dentro de las mismas instalaciones de operación se controlan los niveles de suministro de energía eléctrica a las diferentes líneas de distribución hacia distintos sectores rurales y urbanos de la provincia de Chimborazo. Se constató mediante visitas y las explicaciones de los operarios que generalmente las jornadas en las que se presenta mayor generación son las de la mañana y de la noche debido a la demanda en horas pico como son las 6:00 am y en la noche a partir de las 19:30 horas. Dentro de estos horarios se encuentra el punto máximo de demanda de los alimentadores por lo consiguiente se debe generar a mayor potencia para cubrir con la demanda. Se identifican a los grupos de generación como las principales fuentes de ruido con niveles de presión sonora altos y continuos.

###### **4.1.2. Jornadas, funciones y tareas dentro de la empresa**

**Jornadas.-** Dentro de las instalaciones de la planta de generación de la hidroeléctrica el trabajo diario se divide entre 3 jornadas laborales de 8 horas.

Horarios:

- Jornada 1: 6 am a 2 pm,

- Jornada 2: 2pm a 22 pm,
- Jornada 3: 22pm a 6 am.

El total de personal que cubren las obligaciones durante las tres jornadas es de 6 personas distribuidas de la siguiente manera:

- 2 personas por jornada dentro de la planta.
- Generalmente se cumple una jornada semanal de 6 días.
- Las rotaciones que cumplen los trabajadores son de 2 días en la jornada 1, 2 días en la jornada 2 y 2 días en la jornada 3, tienen 2 días de descanso.

**Funciones por cada Jornada.-** Existen funciones específicas que cumple el personal. Éstas son las siguientes:

- Operador de central y sub estación y
- Auxiliar de generación

Según su función el operador de central y sub estación debe ejercer su trabajo en la sala de mando, mientras que el auxiliar de generación debe ejercer su trabajo dentro de la casa de máquinas. A continuación se presenta un gráfico con la ubicación de los sectores a estudiar dentro de la planta como son la sala de máquinas y la sala de control con sus respectivos puntos de medición:

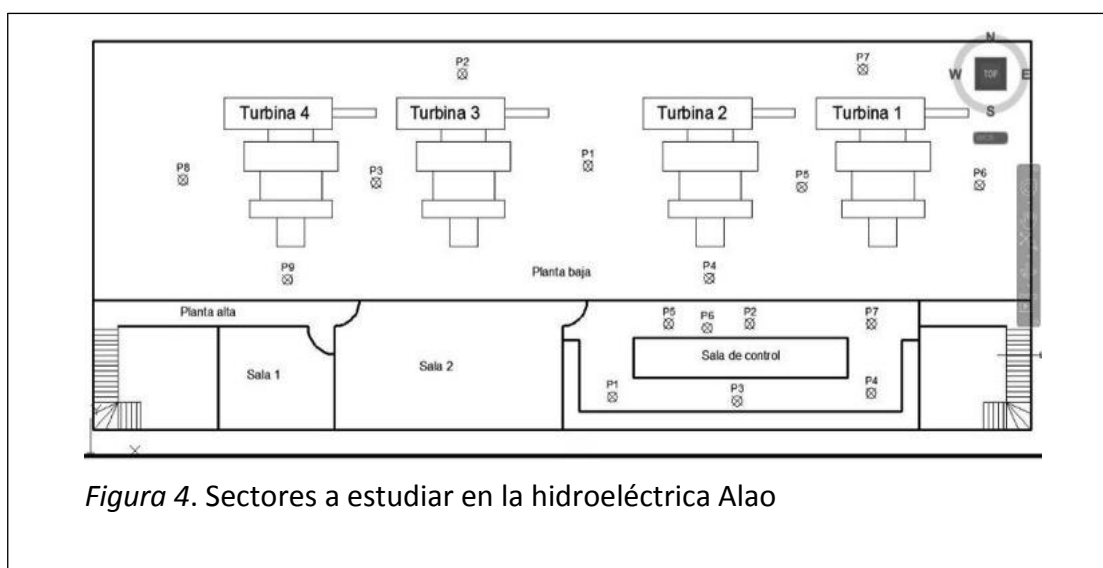


Figura 4. Sectores a estudiar en la hidroeléctrica Alao

### **Tareas que ejerce un Operador de central y sub estación.-**

Dentro de las principales tareas que ejerce el operador se encuentran la supervisión del desempeño correcto de los grupos de generación que incluyen:

- Llenado del parte diario de generación, en el cuál se anota los valores de las diferentes potencias y sus variaciones que suceden durante la jornada,
- Control de niveles de agua en tanque de presión,
- Control del consumo en los alimentadores,
- Control de la distribución desde los alimentadores hacia las líneas que van a las distintas redes p.e. hacia la ciudad de Riobamba y algunas parroquias rurales como Pungalá, hacia la empresa Cemento Chimborazo, hacia el sur de la provincia a los cantones Alausí, Chambo, Guamote.

### **Tareas que ejerce un Auxiliar de generación.-**

Las principales tareas ejercidas por el auxiliar de generación son realizadas en la sala de máquinas. Las tareas del auxiliar incluyen:

- Verificación de las temperaturas de los cojinetes por enfriamiento de la máquina,
- Supervisión de vibraciones,
- Colocación, puesta en marcha y supervisión de máquina pequeña para evitar excesos de agua en los grupos generadores.

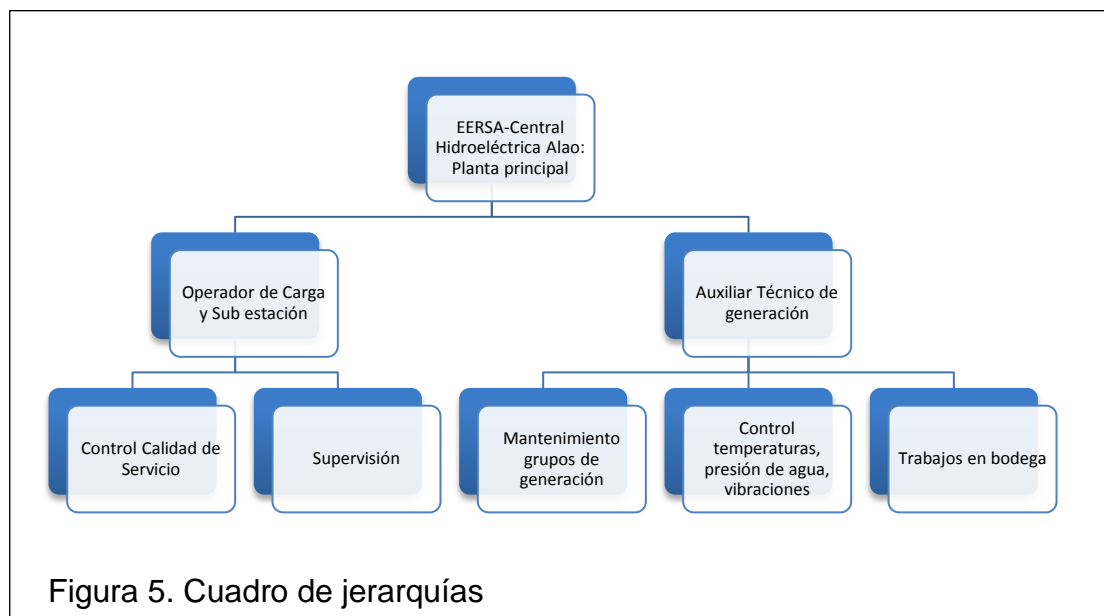
Se observa que los auxiliares no permanecen durante toda la jornada directamente dentro de la sala de máquinas. La verificación y supervisión la realizan alrededor de 10 minutos cada 1:30 horas por lo que dentro de la jornada se realizan unas 5 repeticiones de dicha actividad.

Es importante acotar que se realizan 2 tipos de mantenimiento en la planta. El mantenimiento preventivo, proceso en el cual se apagan todas las máquinas. Y el mantenimiento correctivo en el cual se apaga una de las máquinas mientras las demás siguen en funcionando normalmente. Por lo general los tiempos de

duración de este tipo de mantenimiento se encuentran alrededor de 8 horas. El mantenimiento se lo realiza directamente en las máquinas por lo que se realizan pocas tareas en el cuarto de mantenimiento.

#### 4.1.3. Cuadro de jerarquías

La figura 1 nos muestra la jerarquía de las funciones y tareas según norma UNE EN ISO 9612:2009. Se llegó a esta jerarquía a través del análisis del trabajo realizado.



#### 4.1.4. Determinación de grupos de exposición GEH (homogéneos)

“El grupo de exposición homogénea define a un conjunto de trabajadores que realizan un trabajo idéntico y se encuentran a exposiciones parecidas de niveles de ruido dentro de la jornada laboral” (UNE EN-ISO 9612:2009, 2009). Según la norma UNE EN-ISO 9612:2009 un GEH puede ser compuesto de un solo trabajador mientras su exposición sea totalmente específica.

Gracias al análisis del trabajo realizado y el esquema de jerarquías se determina dos GEH siendo determinados por los nombres de su función:

- GEH 1: Operador de carga y sub estación
- GEH 2: Auxiliar de generación



La jornada laboral efectiva es de 8 horas.

#### **4.2. Etapa 2: Selección de la estrategia de medición**

A partir de la información adquirida en el análisis del trabajo se encontraron factores que determinan la naturaleza variable de los tiempos asociados a cada tarea. Se optó por seleccionar una estrategia de **medición basada en la función** debido a la falta de tiempos específicos o de rangos no muy fijos en el tiempo para la realización de cada tarea. Si conocemos las zonas de trabajo en las que se realizan la mayoría de las tareas y también se han determinado grupos de exposición homogénea por lo que nos resultará provechosa la selección de la estrategia basada en la función. Con las consideraciones respectivas del mayor tiempo de medición que se debe emplear para esta estrategia conocemos que esto nos entregará una incertidumbre menor en relación a la estrategia basada en la tarea. Dentro de esta estrategia es muy importante estar pendiente de episodios de alta exposición a ruido durante las jornadas de medición para evitar falsas contribuciones.

Adicionalmente se ha optado por realizar mediciones de la jornada de cada grupo de exposición homogéneo mediante el uso de dosímetros. De este modo será posible corroborar las mediciones basadas en la función y caracterizar de mejor manera el nivel diario equivalente de exposición.

##### **4.2.1. Selección de instrumentos**

Para el desarrollo de las mediciones según la norma UNE-EN ISO 9612:2009 fueron seleccionados los siguientes instrumentos:

- a) sonómetro integrador-promediador;
- b) dosímetro o exposímetro sonoro personal.

##### **A. Sonómetro Integrador – promediador**

Para el desarrollo de las mediciones se utilizaron tres equipos que cumplen con los requisitos especificados en la Norma IEC 61672-1:2002 en relación a instrumentos de clase 1 o de clase 2.

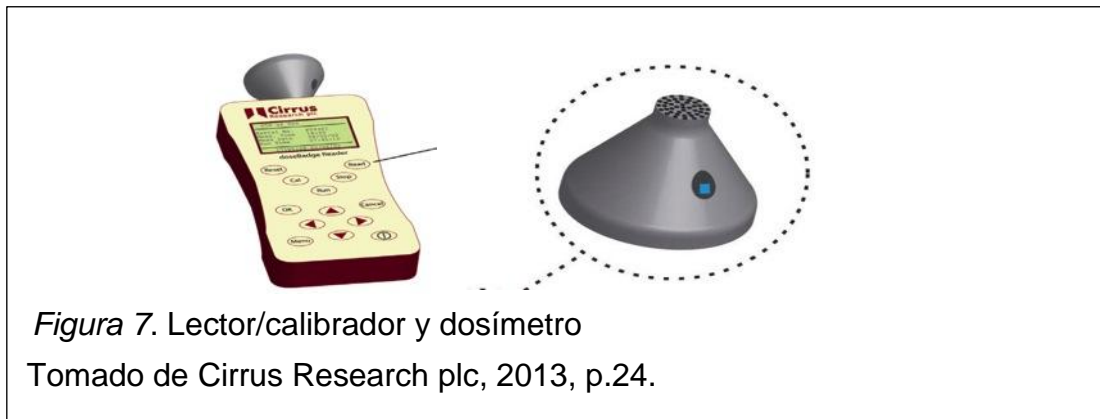
- Un sonómetro integrador promediador marca **CESVA** modelo **SC310**, n° serie T238856, que también es un analizador de espectro en tiempo real por bandas de octava y 1/3 de octava con filtros clase 1. Fecha de última calibración: 2014-07-17.
- Un sonómetro integrador promediador marca **CESVA** modelo **SC260**, n° serie T238886, que también es un analizador de espectro en tiempo real por bandas de octava y 1/3 de octava con filtros clase 2. Fecha de última calibración: 2015-10-01.
- Un calibrador sonoro marca **CESVA** modelo **CB006**, n° serie 0900626, que cumple con los requisitos de la norma IEC 60942:2003 para clase 1. Fecha de última calibración: 2014-07-09.



Figura 6. Instrumentos utilizados en la medición

### **B. Dosímetro sonoro**

- Exposímetro sonoro marca **CIRRUS** modelo **Dosebadge CR:110A**, n° serie CA5702, que cumple con los requisitos de la norma IEC 61252. Fecha de última calibración: 2013-10-31.
- Unidad de lectura marca **CIRRUS** modelo **RC:110A**. Fecha de última calibración: 2013-10-31.



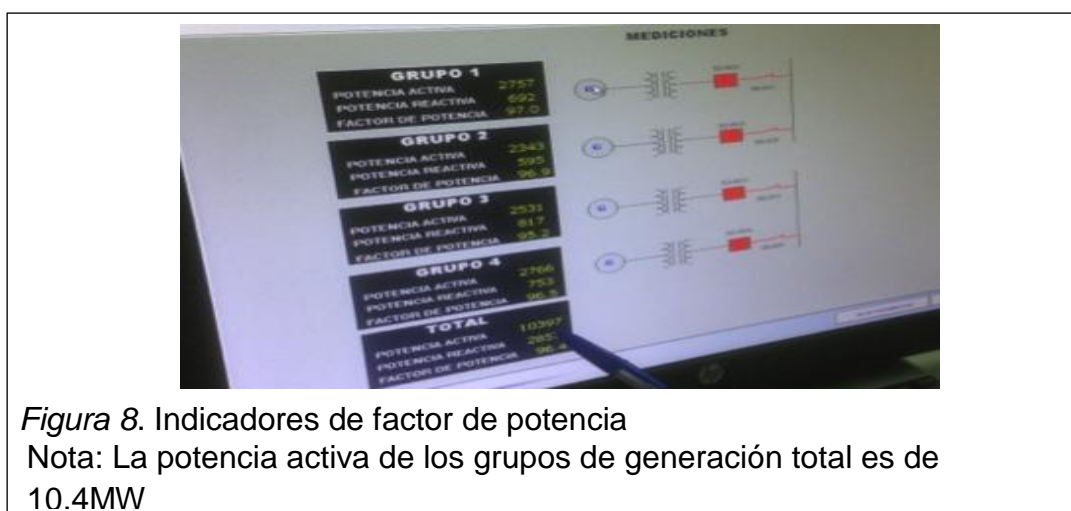
Los certificados de verificación de los instrumentos de medición se registran en el Anexo 4.

#### 4.2.2. Plan de medición

Se buscó realizar las mediciones a máxima generación de potencia para obtener los valores de NPS más elevados. Según el análisis del trabajo las jornadas en las que se presenta por lo general mayor generación son:

- Jornada 1(mañana): 6 am a 2 pm, hora pico 6:00 am.
- Jornada 3(noche): 22pm a 6 am, hora pico 19:00 pm.

En la figura (8) se observa la producción de energía eléctrica a máxima potencia de los grupos generadores durante el proceso de medición a las 7H00.

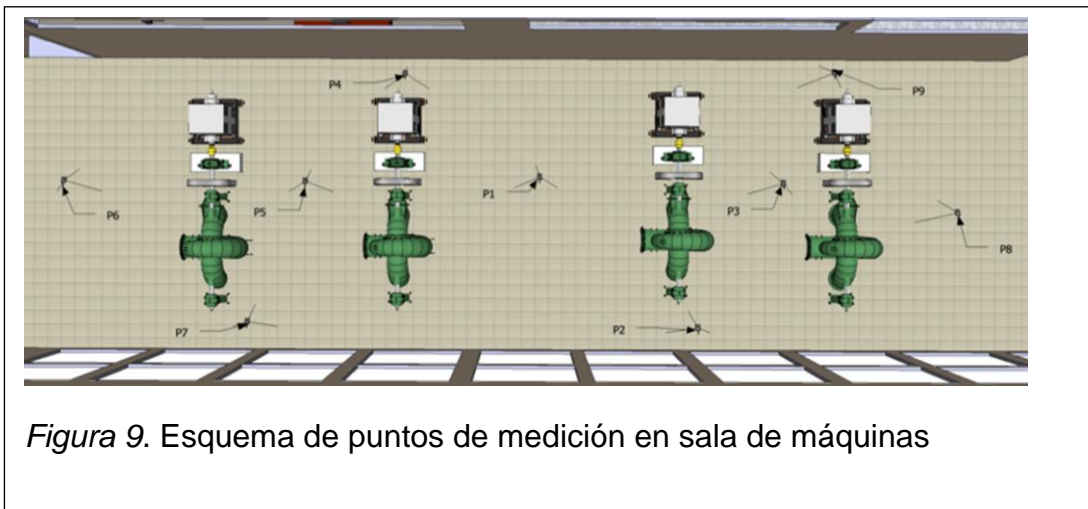


La jornada seleccionada para la toma de mediciones fue la Jornada 1 dentro de 2 días diferentes, el jueves 3 de marzo y el domingo 6 de marzo del 2016.

#### A. Para la sala de máquinas

Se seleccionaron 9 puntos de medición mínimos. Según la tabla (8), la duración mínima acumulativa de medición para un GEH menor o igual a 5 personas será de 5 horas. Por lo consiguiente se tomaron 5 muestras de 12 minutos con un total de 1 hora por punto de medición. Se realizan mediciones dentro de 2 jornadas laborales:

- 5 puntos de medición jornada 1
- 4 puntos de medición jornada 2



El micrófono del sonómetro se colocó según las disposiciones de la norma UNE EN ISO 9612:2009.

- Al no poseer una posición definida de la cabeza en el puesto de trabajo se ubicó el micrófono a  $1,55 \text{ m} \pm 0,075 \text{ m}$  sobre el suelo.



Figura 10. Puntos de medición sala de máquinas

## B. Para la sala de mandos

La duración mínima acumulativa de medición según la tabla (8) deberá ser de 5 horas. Fueron seleccionados 7 puntos de medición con un tiempo de medida de 1 hora por punto. Las muestras fueron tomadas entre 2 jornadas laborales:

- 5 puntos de medición jornada 1
- 2 puntos de medición jornada 2

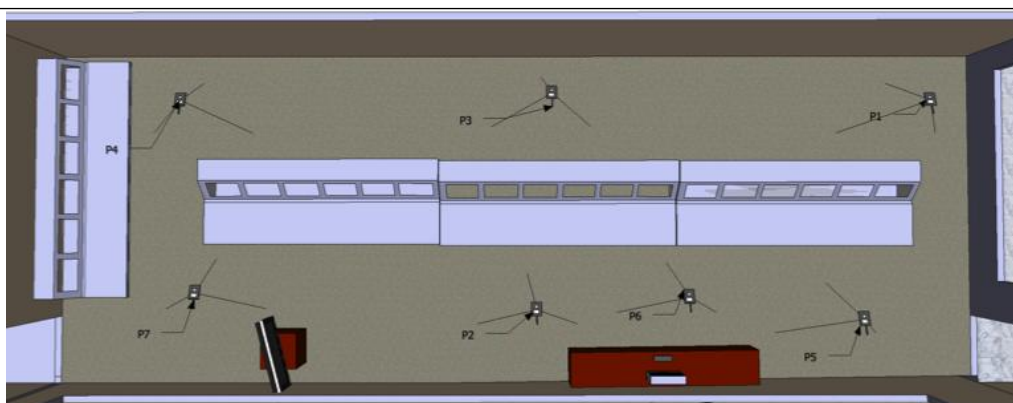


Figura 11. Puntos de medición sala de mandos

El micrófono del sonómetro se coloca según las disposiciones de la norma UNE EN ISO 9612:2009.

- Al no poseer una posición definida de la cabeza en el puesto de trabajo se ubica el micrófono a 0,80 m  $\pm$ 0,05 m del plano del asiento para un trabajador sentado.



Figura 12. Proceso de medición en la sala de mandos

Cabe recalcar que el operario y el auxiliar llevan un dosímetro personal durante las 2 jornadas para poder comparar y corroborar las mediciones con la exposición diaria.

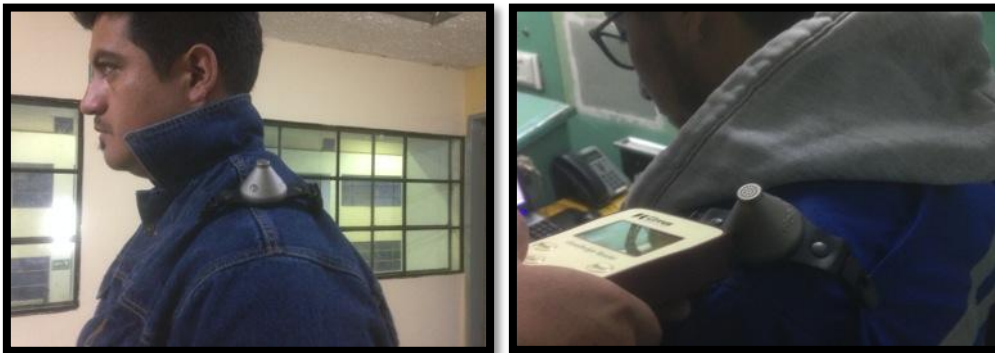


Figura 13. Colocación de los dosímetros sobre el personal

### 4.3. Etapa 3: MEDICIONES

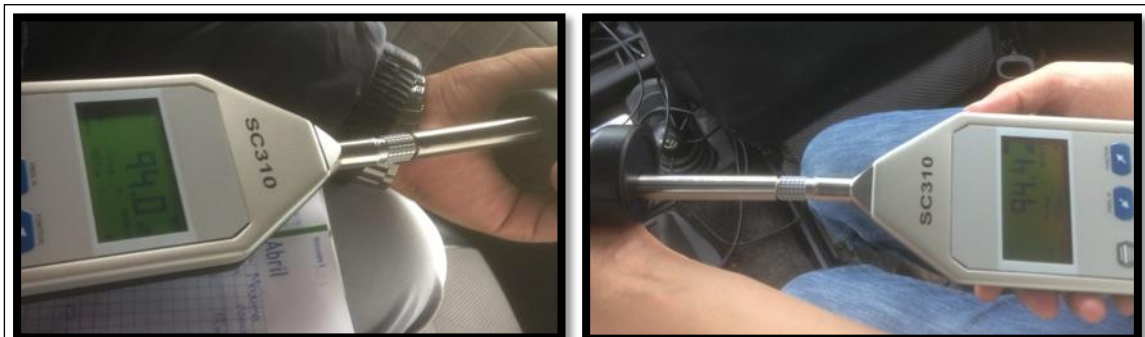
#### 4.3.1. Realización de las mediciones

El parámetro principal a medir será el  $L_{p,Aeq,T}$  y se deben anotar los  $L_{p,Cpico}$ .

#### 4.3.1.1. Calibración y verificación de los instrumentos

Se realizó la respectiva calibración de campo según lo estipulado en el apartado **3.3.5.1 calibración de campo** verificando los sistemas de medición. En la mañana al principio de la serie diaria de mediciones y antes de cada serie de mediciones se realizó la calibración de campo en el sonómetro CESVA SC310 con el calibrador acústico a 94dBA @ 1KHz, en el sonómetro CESVA SC260 con el calibrador acústico a 93,9dB @ 1KHz (debido a la corrección presión campo libre del micrófono P-05 de dicho sonómetro que a 1 KHz es de -0,1 dB) y en los dosímetros a través del lector RC:110 A con nivel de 114dB @ 1KHz. Todas estas pautas se han seguido de acuerdo al manual de usuario de los equipos.

Se realizó también una calibración de campo sin ajustes (verificación) después de cada serie de mediciones y al final de la serie diaria de mediciones en las que se comprobó que las variaciones entre las lecturas no fue mayor a 0.4 dB en la primera serie de mediciones y 0.1 dB en las siguientes series.



*Figura 14. Calibración y verificación*

Cabe recalcar que al obtener una desviación de 0,4 dB en la primera serie encontramos que los altos niveles de NPS en la sala de máquinas sumado en principal a las vibraciones que transmitían los grupos generadores hacia la estructura del edificio crearon esta variación en la calibración del equipo por lo que se optó por colocar las patas del trípode sobre unas almohadillas con relleno para evitar que sea afectada en un mayor grado la sensibilidad del equipo y por consiguiente tratar de reducir la variación. Se obtuvieron

excelentes resultados llegando a tener en las siguientes verificaciones variaciones del orden de 0,1 - 0,2 dB.



Figura 15. Colocación de almohadillas

#### 4.3.2. Mediciones dentro de la sala de máquinas

Los niveles obtenidos de  $L_{p,Aeq,T,n}$  en cada punto de medición y  $L_{p,Cpico}$  son:

Tabla 9. Niveles en sala de máquinas

Punto de muestra	$L_{p,Aeq,T,n}$	$L_{p,Ceq,T,n}$	$L_{p,CPico}$
Punto 1	98,5	105,3	128,9
Punto 2	97,3	103,9	121,9
Punto 3	104.2	112,9	120,1
Punto 4	96.7	103,7	128,5
Punto 5	97.5	105,0	125,3
Punto 6	96.8	104,5	131,8
Punto 7	98.5	104,0	123,7
Punto 8	96.3	101,9	120,1
Punto 9	98.0	106,0	119,2

$L_{p,Cpico}$  más elevado=131.8 dB



### 4.3.3. Mediciones dentro de la sala de mando

Los niveles obtenidos de  $L_{p,Aeq,T,n}$  en cada punto de medición y  $L_{p,Cpico}$  son:

Tabla 10. Niveles en sala de mando

Punto de muestra	$L_{p,Aeq,T,n}$	$L_{p,Ceq,T,n}$	$L_{p,Cpico}$
Punto 1	74,5	79,8	112,3
Punto 2	70,2	77	110,8
Punto 3	70,8	78	124,4
Punto 4	69,2	76,1	118,7
Punto 5	69,5	76	122,7
Punto 6	66,8	75,5	115,2
Punto 7	70,6	78,2	109,6

$L_{p,Cpico}$  más elevado = 124,4 dB

### 4.4. Etapa 4: Tratamiento de errores e incertidumbres

Existen causales de incertidumbres que pueden lograr una influencia en los datos del resultado siendo los principales:

- Selección errónea de los puntos de medición y su cantidad
- Ubicación incorrecta del micrófono
- Las variaciones y correcciones que poseen los distintos instrumentos
- Fuentes imprevistas de ruido

#### A. Evaluación del nivel de exposición al ruido $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ y su incertidumbre para la sala de mando

Para el cálculo del nivel de exposición al ruido en la jornada laboral dentro de la sala de mando utilizamos la ecuación (14):

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right) \text{ dB} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Antes de proceder con el cálculo a través de la ecuación anterior debemos encontrar el nivel de presión equivalente ponderado A de la duración efectiva de la jornada laboral con la ecuación (13):

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,n}} \right) dB \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 70,8 dBA$$

Por lo tanto procedemos a calcular la ecuación (14):

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = 70,8 dbA + 10 \log \left( \frac{8h}{8h} \right) = 70,8 dBA \quad (\text{Ecuación 16})$$

El nivel de exposición al ruido durante la jornada laboral en el área de la sala de máquinas es de  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = 70,8 dBA$

Ahora calcularemos la **incertidumbre expandida** ( $U$ ) mediante la ecuación:

$$U = k \cdot u \quad (\text{Ecuación 17})$$

necesitamos conocer la **incertidumbre típica asociada a las mediciones de los niveles de ruido**  $u_1$  para ello empleamos la ecuación(18):

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$L_{p,A,eqT,n}$  = Nivel de presión sonora continuo equivalente de cada medición;

$N$  = Número total de mediciones del puesto de trabajo realizadas;

$\bar{L}_{p,A,eqT}$  = Media aritmética de las  $N$  muestras de  $L_{p,A,eqT,n}$ ;

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = 70,2 dBA;$$

$$u_1 = 2,3 dB$$

El resultado del factor  $c_1 u_1$  lo encontramos a través de las aproximaciones de la tabla(4) para un  $N=7$  con una incertidumbre típica asociada de  $u_1 = 2,3 dB$  .

$$c_1 u_1 \approx 1,4 dB$$

Como hemos revisado en el anexo 3 los valores del coeficiente de sensibilidad debido al instrumento elegido y el coeficiente de sensibilidad asociado a la posición no correcta del micrófono poseen un valor de  $c_2 = c_3 = 1$ . **Así también la incertidumbre asociada a la instrumentación**  $u_2 = 1,5 \text{ dB}$  para un sonómetro promediador-integrador clase 2. **La incertidumbre asociada a la posición no perfecta del micrófono** tiene un valor de  $u_3 = 1 \text{ dB}$ .

Habiendo encontrado las variables de la ecuación (19) procedemos a calcular la **incertidumbre típica combinada (u)**:

$$u^2(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad (\text{Ecuación 19})$$

donde

$$c_1^2 u_1^2 = 1.4^2 ;$$

$$u_2 = \text{incertidumbre típica del instrumento Sonómetro clase 2} = 1,5 \text{ dB} ;$$

$$u_3 = \text{incertidumbre típica por la posición incorrecta de medición} = 1 \text{ dB} ;$$

$$c_2 = 1. \text{ Coeficiente de sensibilidad para la incertidumbre de la instrumentación} ;$$

$$c_3 = 1. \text{ Coeficiente de sensibilidad por la selección imperfecta de lugar de medición}$$

$$u(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = 2,28 \text{ dBA}$$

Para culminar nos queda el cálculo de la **incertidumbre expandida (U)** que se obtiene a partir de la ecuación (17):

$$U = k \cdot u = 3,8 \text{ dB}$$

donde

$$k = 1.65; \text{ Factor de cobertura, probabilidad unilateral del 95\%} ;$$

$$u = 2,28 \text{ dBA}$$

Concluimos que los empleados correspondientes al grupo de exposición homogénea 1 *Operador de carga y sub estación* que se encuentren realizando su trabajo **dentro de la sala de mandos durante las 8 horas** de la jornada

laboral perciben un nivel de exposición al ruido diario ponderado A durante una jornada efectiva  $(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = 70,8 \text{ dBA}$  con una **incertidumbre expandida U de 3,8 dBA**.

Se toma el valor de  $(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) + U$  el cuál sirve para comparar con los valores de la tabla (1) y su tabla expandida (anexo 1) para obtener la dosis de ruido diaria.  $(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) + U = 70,8 + 3,8 = 74,6 \text{ dBA}$ . Al comparar con la tabla expandida seleccionamos el inmediato superior que es  $75 \text{ dBA}$  que nos indica una exposición permitida de  $32 \text{ horas}$  para este nivel. La dosis de ruido diaria a la que está expuesto el personal perteneciente al GEH 1 se obtiene con la ecuación (8) y es la siguiente:

$$DGEH1 = \frac{C1}{T1} = \frac{8 \text{ h}}{32 \text{ h}} = 0.25$$

El nivel promedio ponderado en 8 horas es:

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = 75 \text{ dBA}$$

## B. Evaluación del nivel de exposición al ruido $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ y su incertidumbre para la sala de máquinas

Para el cálculo del nivel de exposición al ruido en la jornada laboral utilizamos la ecuación (14):

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \log \left( \frac{T_e}{T_0} \right) \text{ dB} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Antes de proceder con el cálculo a través de la ecuación anterior debemos encontrar el nivel de presión equivalente ponderado A de la duración efectiva de la jornada laboral con la ecuación (13):

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,n}} \right) \text{ dB} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$L_{p,A,eqT_e} = 99 \text{ dBA}$$

Por lo tanto procedemos a calcular la ecuación (14):

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = 99 \text{ dbA} + 10 \log\left(\frac{8h}{8h}\right) = 99 \text{ dBA} \quad (\text{Ecuación 14})$$

El nivel de exposición al ruido durante la jornada laboral en el área de la sala de máquinas es de  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = 99 \text{ dBA}$

Ahora calcularemos **la incertidumbre expandida** ( $U$ ) mediante la ecuación:

$$U = k \cdot u$$

Necesitamos conocer la **incertidumbre típica asociada a las mediciones de los niveles de ruido**  $u_1$  para ello empleamos la ecuación(18):

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$L_{p,A,eqT,n}$  = Nivel de presión sonora continuo equivalente de cada medición;

$N$  = Número total de mediciones del puesto de trabajo realizadas;

$\bar{L}_{p,A,eqT}$  = Media aritmética de las  $N$  muestras de  $L_{p,A,eqT,n}$ ;

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = 98,2 \text{ dBA};$$

$$u_1 = 2,4 \text{ dB}$$

El resultado del factor  $c_1 u_1$  lo encontramos a través de las aproximaciones de la tabla(4) para un  $N=9$  con una incertidumbre típica asociada de  $u_1 = 2,4 \text{ dB}$

$$c_1 u_1 \approx 1,25 \text{ dB}$$

Como hemos revisado en el anexo 3 los valores del coeficiente de sensibilidad debido al instrumento elegido y el coeficiente de sensibilidad asociado a la posición no correcta del micrófono poseen un valor de  $c_2 = c_3 = 1$  . **Así también la incertidumbre asociada a la instrumentación**  $u_2 = 0,7 \text{ dB}$  para un sonómetro promediador-integrador clase 1. **La incertidumbre asociada a la posición no perfecta del micrófono** tiene un valor de  $u_3 = 1 \text{ dB}$ .

Habiendo encontrado las variables de la ecuación (19) procedemos a calcular la **incertidumbre típica combinada** ( $u$ ):

$$u^2(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad (\text{Ecuación 19})$$

donde

$$c_1^2 u_1^2 = 1.25^2;$$

$u_2 =$  incertidumbre típica del instrumento Sonómetro clase 1 = 0,7dB ;

$u_3 =$  incertidumbre típica por la posición incorrecta de medición = 1dB ;

$c_2 = 1.$  Coeficiente de sensibilidad para la incertidumbre de la instrumentación ;

$c_3 = 1.$  Coeficiente de sensibilidad por la selección imperfecta de lugar de medición

$$u(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = 1,8 \text{ dBA}$$

Para culminar nos queda el cálculo de la **incertidumbre expandida (U)** que se obtiene a partir de la ecuación (17):

$$U = k \cdot u = 3 \text{ dB}$$

donde

$k = 1.65;$  Factor de cobertura, probabilidad unilateral del 95% ;

$$u = 1,8 \text{ dBA}$$

Concluimos que los empleados correspondientes al grupo de exposición homogénea 2 *Auxiliar de generación* que se encuentren realizando su trabajo **dentro de la sala de máquinas durante las 8 horas** de la jornada laboral perciben un nivel de exposición al ruido diario ponderado A durante una jornada efectiva ( $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ ) = **99 dBA** con una **incertidumbre expandida de 3 dBA**.

Debemos recordar que según el análisis del trabajo los auxiliares de generación pasan dentro de la sala de máquinas 10 minutos cada 1:30 horas por lo que dentro de la jornada pasan 50 minutos aproximadamente. Por lo tanto se exponen 0,83 horas al nivel existente en la sala de máquinas:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,máquinas,0.83} = 99 \text{ dbA} + 10 \log\left(\frac{0.83 \text{ h}}{8 \text{ h}}\right) = 89,2 \text{ dBA}$$

El valor de nivel a ser utilizado es el que se obtiene de  
 $(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,máquinas,0.83}) + U = 89,2 + 3 = \mathbf{92,2\ dBA}$ .

El resto de su jornada por lo general los auxiliares pasan en la sala de mandos. Se encuentran 7,17 horas en dicha sala. El nivel expuesto a ese tiempo es el siguiente:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,mando,7.17} = 70,8\ dbA + 10 \log\left(\frac{7.17\ h}{8\ h}\right) = 70,3\ dbA$$

El valor de nivel a ser utilizado es el que se obtiene de  
 $(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,mando,7.17}) + U = 70,3 + 3,8 = \mathbf{74,1\ dBA}$ . Se realiza la comparación entre los niveles obtenidos y la tabla del anexo 1 para encontrar los tiempos que se permiten a ese nivel y así encontrar la dosis de ruido diaria para el GEH 2 auxiliar de generación.

Para una jornada diaria de 8 horas los auxiliares de generación se encuentran influenciados por las siguientes exposiciones:

- 92,2 dBA para 0.83 horas
- 74,1 dBA para 7.17 horas

Mediante las cuales obtenemos una dosis de ruido diaria con la ecuación (8) de:

$$D_{GEH2} = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} = \frac{0,83\ h}{3,03\ h} + \frac{7,17\ h}{36,76\ h} = \mathbf{0.47}$$

Para conocer el nivel promedio ponderado en 8 horas comparamos la dosis de ruido diaria 0,47 con la tabla en el anexo 2:

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = \mathbf{79,5\ dBA}$$

#### **4.5. Etapa 5: Presentación de resultados**

##### **4.5.1. Nivel de exposición al ruido para el GEH 2**

Se realizó la determinación de la exposición al ruido considerando 2 casos. Primero como si el personal del GEH 2 permaneciera dentro de la sala de

máquinas durante las 8 horas de su jornada laboral y segundo tomando en cuenta el tiempo real que el GEH 2 está en la sala de máquinas que es de 0,83 horas.

En la siguiente tabla se presenta el nivel de exposición al ruido  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  y la incertidumbre para el GEH 2 si permanecieran dentro de la sala de máquinas durante toda la jornada laboral, es decir el primer caso:

Tabla 11. Nivel de exposición sala de máquinas e incertidumbre

$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ (dBA)	Incertidumbre Expandida Unilateral $U$ (dBA)	$L_{EX,8h} + U$ (dBA)
99	3	102

Para el segundo caso en el que los trabajadores del GEH 2 permanecen un tiempo real de 0,83 horas dentro de la sala de máquinas y de 7,17 horas en la sala de mando, el nivel de exposición al ruido es el siguiente:

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,máquinas,0.83}) + U = 89,2 + 3 = \mathbf{92,2 \text{ dBA}}$$

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,mando,7.17}) + U = 70,3 + 3,8 = \mathbf{74,1 \text{ dBA}}$$

La mayor contribución viene de la sala de máquinas seguida por la contribución de la sala de mando.

- 92,2 dBA para 0.83 horas            dentro de la sala de máquinas
- 74,1 dBA para 7.17 horas           dentro de la sala de mandos

La dosis de ruido diaria del grupo de exposición homogéneo 2 *Auxiliar de generación* es:

$$D_{GEH2} = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} = \frac{0,83 \text{ h}}{3,03 \text{ h}} + \frac{7,17 \text{ h}}{36,76 \text{ h}} = \mathbf{0.47}$$

Su nivel promedio ponderado en 8 horas:  $(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = \mathbf{79,5 \text{ dBA}}$



El nivel equivalente diario obtenido a través de las mediciones con sonómetro se compara con los datos de las mediciones realizadas con dosímetros personales (Anexo 7) a los trabajadores de los grupos homogéneos, dando como resultado niveles de exposición y dosis de ruido similares. En la siguiente tabla se muestra esta comparación.

Tabla 12. Comparación de Niveles equivalentes de ruido y dosis diaria GEH 2

Metodología	Marca/Modelo	Nivel Criterio (dBA)	Tasa Intercambio	$L_{Aeq}$ (dBA)	Dosis %
Sonómetro	CESVA SC310	85	5 dB	79,5	47
Dosímetro	CIRRUS / DOSEBADGE	85	5 dB	79,1	46

#### 4.5.2. Nivel de exposición al ruido para el GEH 1

El nivel de exposición al ruido  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  y la incertidumbre para los operarios que realizan su trabajo dentro de la sala de mando durante la jornada laboral de 8 horas:

Tabla 13. Nivel de exposición sala de mando e incertidumbre

$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ (dBA)	Incertidumbre Expandida Unilateral $U$ (dBA)	$L_{EX,8h} + U$ (dBA)
70,8	3,8	74,6

La dosis de ruido diaria del grupo de exposición homogéneo 1 *Operador de carga y sub-estación* es la siguiente:

$$D_{GEH1} = \frac{C1}{T1} = \frac{8 h}{32 h} = 0.25$$

Su nivel promedio ponderado en 8 horas de exposición es:

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = 75 \text{ dBA}$$

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre los valores obtenidos para el GEH 1 mediante la metodología de la norma y las mediciones con dosímetro personal.

Tabla 14. Comparación de nivel equivalente de ruido y dosis diaria GEH 1

Metodología	Marca/Modelo	Nivel Criterio (dBA)	Tasa Intercambio	LAed (dBA)	Dosis %
Sonómetro	CESVA SC310	85	5 dB	75,0	25
Dosímetro	CIRRUS / DOSEBADGE	85	5 dB	73,1	20

La tabla nos indica una diferencia de 5 puntos porcentuales entre los valores de dosis diaria de la medición con sonómetro (metodología de la norma) y de la medición con dosímetro personal. Se puede asociar ésta diferencia a la variación natural de la situación de trabajo ya que las mediciones con sonómetro se realizaron en puntos estratégicos fijos y por lo tanto siempre el instrumento de medición está bajo la influencia de las contribuciones de ruido existentes en la sala de mando. Las mediciones con dosímetro pueden incluir contribuciones falsas (radio, voz alta, etc.) que elevarían el nivel de exposición al ruido diario o en su defecto podrían no incluir contribuciones existentes si es que el operario sobre el cuál se realiza la medición llegara a abandonar la zona de trabajo por tiempos prolongados que influyan en una menor captación del nivel de exposición sonora real. Es lo sucedido en este caso ya que se registraron momentos en que el operario del GEH1 salió por varios minutos de la sala de control hacia el exterior del edificio influyendo de esta manera a las mediciones.

### 4.5.3. Niveles de presión sonora en los puntos de medición

En la figura 16 se presenta los niveles de presión sonora continuo equivalente existentes en los puntos de medición:

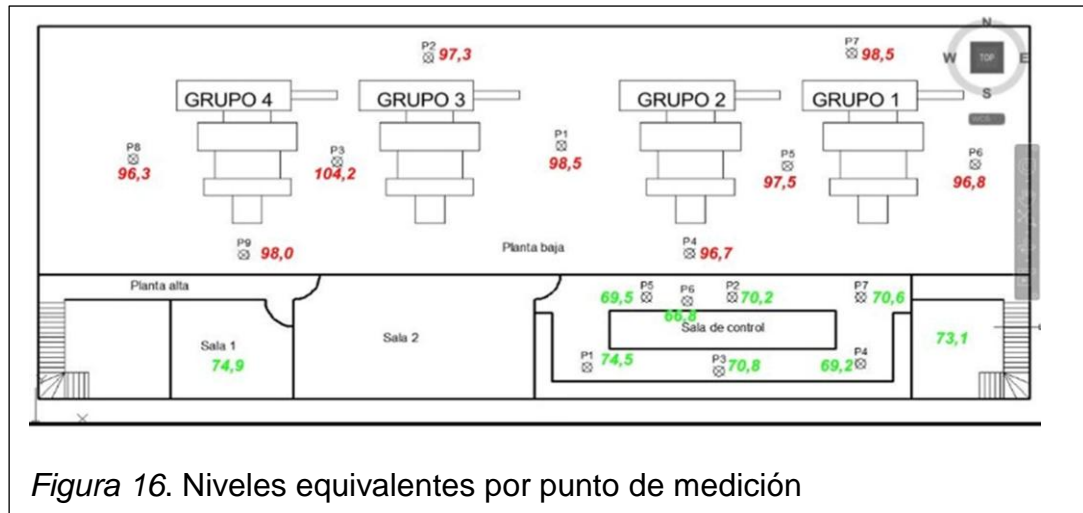


Figura 16. Niveles equivalentes por punto de medición

Se observa que en la zona de la sala de máquinas existen altos niveles de presión sonora. El mayor nivel se encuentra en el punto de medición 3 que está entre los grupos de generación 3 y 4.

## **5. Plan de conservación auditiva**

Las enfermedades generadas por la exposición prolongada a ruido causan una gran pérdida a las empresas tanto en eficiencia de sus trabajadores como también en compensaciones económicas. El centro para el control de enfermedades de los Estados Unidos indicó en 2014 que del total de su población laboral 22 millones se encuentran expuestos a ruido generando costos de alrededor de 242 millones de dólares anuales (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2014).

Se considera a un trabajador como “expuesto a ruido dañino” si éste puede desarrollar pérdida de la audición inducida por ruido como resultado de su labor en las actividades diarias de trabajo. Las exposiciones a niveles de ruido por encima de los 85 decibeles con ponderación A se consideran peligrosas y detonantes del deterioro auditivo del personal a mediano y largo plazo. (Otárola, y Finkelstein, 2006).

Es por ello que muchas empresas en la actualidad han optado por la implementación de planes de conservación auditiva y programas de control de ruido. A continuación se propone un plan de cuidado auditivo base para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A enfocado en preservar la salud auditiva de los empleados que laboran en la planta principal de la central hidroeléctrica de Alao. Los componentes del programa de conservación auditiva son los siguientes:

### **5.1. Determinación de la exposición al ruido**

Se realizó el estudio de los niveles de ruido al que se encuentran expuestos los operarios de la planta y los auxiliares de generación encontrando un campo sonoro generalmente constante y elevado dentro de la sala de máquinas con niveles de presión sonora que fácilmente sobrepasan los 85dBA. Se condujo este proceso de mediciones de acuerdo a lo estipulado en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 9612. *Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de Ingeniería*, para encontrar los valores de los niveles equivalentes diarios y niveles de presión dentro de las áreas respectivas. A partir de los niveles medidos se realizó una comparación con los

tiempos y niveles permitidos dentro de las disposiciones del Decreto Ejecutivo 2393. Se encontraron los siguientes niveles de exposición:

- Los miembros del grupo de exposición homogénea 1, operador de carga y sub estación, mantienen una exposición de 75 dBA por jornada laboral.
- Los miembros del grupo de exposición homogénea 2, permanecen un tiempo de 0,83 horas dentro de la sala de máquinas y de 7,17 horas en la sala de mando, por lo tanto mantienen los niveles de exposición siguientes:

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,máquinas,0.83}) + U = 89,2 + 3 = \mathbf{92,2\ dBA}$$

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d,mando,7.17}) + U = 70,3 + 3,8 = \mathbf{74,1\ dBA}$$

Los resultados expuestos muestran una exposición a altos niveles de ruido, razón por la que se recomienda la aplicación del plan de conservación.

## 5.2. Formación y entrenamiento

El personal que ingresa a la empresa debe recibir información sobre los efectos del ruido en la audición, el uso y el mantenimiento de la protección auditiva y el conocimiento sobre el propósito de las evaluaciones de la audición durante el programa de entrenamiento. El personal de seguridad industrial de la empresa debe llevar a cabo las acciones antes mencionadas con técnicos certificados y médicos especialistas en control audiométrico. El entrenamiento se debe llevar a cabo usando folletos, trípticos, videos o conferencias que puedan ser provistos por la empresa con una terminología y presentación fácil de aprender. Se debe relacionar al nuevo personal con las áreas que poseen niveles de ruido riesgosos para la salud auditiva.

El programa formativo abarcará solo las ideas fundamentales y relevantes que necesiten conocer los empleados para evitar fatigas o falta de interés en el proceso formativo. El centro principal de la formación debe ser el motivar al personal a ser partícipes activos del programa de conservación auditiva y a la concienciación de la pérdida progresiva de la audición. Como sugiere Berger (2003, p.249.) las presentaciones de material educativo concerniente a

programas de protección auditiva deben ser cortas con un tiempo ideal entre 15 a 25 minutos con 30 minutos como tiempo límite. De este modo reducimos el costo asociado a la pérdida de horas de trabajo.

Se consultó el costo de los servicios profesionales de un magister en seguridad industrial con mención en prevención de riesgos y salud ocupacional para el proceso de formación y entrenamiento indicando que el valor de cada jornada de capacitación es de \$450 dólares americanos.

### **5.3. Recomendaciones de controles técnicos y administrativos**

Se debe contratar un consultor experto en ingeniería acústica, quien debe realizar recomendaciones de métodos de ingeniería para control de ruido. El personal de seguridad industrial deberá analizar el reporte del consultor junto con la gerencia de la empresa y desarrollar un plan para implementar las medidas necesarias.

Se recomienda realizar controles de ingeniería en relación a la vibración de las máquinas como desacoples entre la máquina y la superficie del suelo mediante resortes con frecuencias de vibración inferiores a la frecuencia de vibración de las máquinas.

Se recomienda la implementación de encierros acústicos además del control sobre las vías de transmisión como el aire y la estructura del lugar, enfocándose en las bandas de frecuencia que mayormente aportan a los niveles de ruido. Los grupos generadores 2 y 3 son los que poseen mayor generación de vibración y por consiguiente de ruido. Esto fue constatado a través de los niveles de presión sonora en las áreas cercanas a estos grupos registrándose en el punto 1 y en el punto 3 niveles de exposición de 98,5 dBA y 104,2 dBA respectivamente. El análisis espectral realizado en estos puntos mostró las bandas de frecuencia predominantes en el ruido, la que mayor nivel posee fue la banda de 250 Hz. Se debería realizar en primer lugar un control anti vibratorio de los grupos generadores con:

- Bloques de inercia para obtener una distribución homogénea de los centros de gravedad.

- Montajes de caucho silentblock ya que estos pueden poseer frecuencias naturales del orden de 5 Hz debido a que para la reducción de la transmisibilidad de las vibraciones la frecuencia de resonancia a aislar debe ser mucho mayor a la frecuencia natural del sistema.

Cuando se requiera adquirir nuevas máquinas se debe pedir sus especificaciones acústicas, lo que ayudará a realizar simulaciones de la contribución al ruido que generaría la máquina.

#### 5.4. Señalética de áreas con altos niveles de ruido

Todas las áreas que posean niveles de ruido superiores al nivel de exposición diaria equivalente de 85dBA deben tener signos de advertencia, tales como, símbolos y palabras de precaución, tipo de protección requerido, nivel de presión existente en la zona y tiempo de exposición máximo a permanecer en el lugar.

En la puerta de ingreso a la sala de máquinas deben colocarse carteles de señalización en los que consten:

- El nivel de presión sonora máximo existente que para la sala de máquinas es de 104,2 dBA.
- La obligación de utilizar protectores auditivos.
- El tiempo máximo de permanencia dentro del área de máquinas.
- Los niveles de exposición sonora permitidos por tiempo de exposición según el Decreto Ejecutivo 2393.



En cada grupo de generación se debe colocar:

- Un cartel con señalética de peligro de vibraciones.



*Figura 18.* Señalética en grupos generadores

Tomado de (cartelesdeseguridad, s.f.)

Se debe realizar una inspección de la condición de la señalética existente en la planta y si es necesario actualizarla o reemplazarla.

### **5.5. Protección Auditiva**

Es necesario usar protectores auditivos considerando el tipo de ruido, duración y condiciones del área de trabajo. Debe ser obligatorio el uso de protección auditiva para el personal que realice sus actividades dentro de las áreas con niveles de ruido iguales o superiores a 85dBA para el cumplimiento del Decreto Ejecutivo 2393.

Se recomienda el uso de protectores auditivos tipo orejera debido a que permiten una mejor atenuación y son resistentes para el tipo de trabajo que se realiza en la empresa. Existen parámetros que nos entregan los fabricantes para conocer la efectividad de la atenuación del ruido de sus productos. Uno de estos es el índice de reducción único (SNR) que es el valor que se resta del nivel de presión sonora de ponderación C (dBC) para estimar el nivel de presión sonora efectivo ponderado A (LA'). El PNR nos indica la reducción del nivel de ruido que es la diferencia entre el nivel de presión sonora ponderado A del ambiente de trabajo (LA) y el nivel de presión sonora ponderado A cuando se usan los protectores auditivos (LA'). El método H, M y L es uno de los



métodos usados para el cálculo de la atenuación de los equipos de protección auditiva; H representa la atenuación a alta frecuencia, M es la atenuación a media frecuencia y L la atenuación a baja frecuencia.

A continuación se presenta el detalle de la selección de un protector auditivo tipo orejera de una marca comercial para su uso en los lugares de mayor nivel de ruido, esto es la sala de máquinas.

Tabla 15. Datos protector auditivo tipo orejera

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación media (dB)	23	22,3	28,8	39,7	44,2	39,8	43,0	40,2
Desviación estándar (dB)	3,1	2,4	2,4	2,7	3,4	4,6	2,8	2,9
Protección asumida (dB)	19,8	19,9	26,4	37,0	40,9	35,2	40,2	37,3

SNR= 36dB H= 37dB M= 35dB L= 27dB

Determinamos la reducción del nivel de ruido del protector auditivo a través del método más preciso, el método de la banda de octava, debido a la existencia de grandes componentes de baja frecuencia en la planta.

Tabla 16. Reducción del nivel de ruido PNR

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LA'Global
LA	73,8	94,7	91,2	92,6	85,0	76,0	62,3	98 dBA
APVf	19,9	26,4	37,0	40,9	35,2	40,2	37,3	
LA'	53,9	68,3	54,2	51,7	49,8	35,8	25,0	69 dBA

PNR = 29 dBA

LA = nivel global de presión sonora ponderado A del ambiente de trabajo

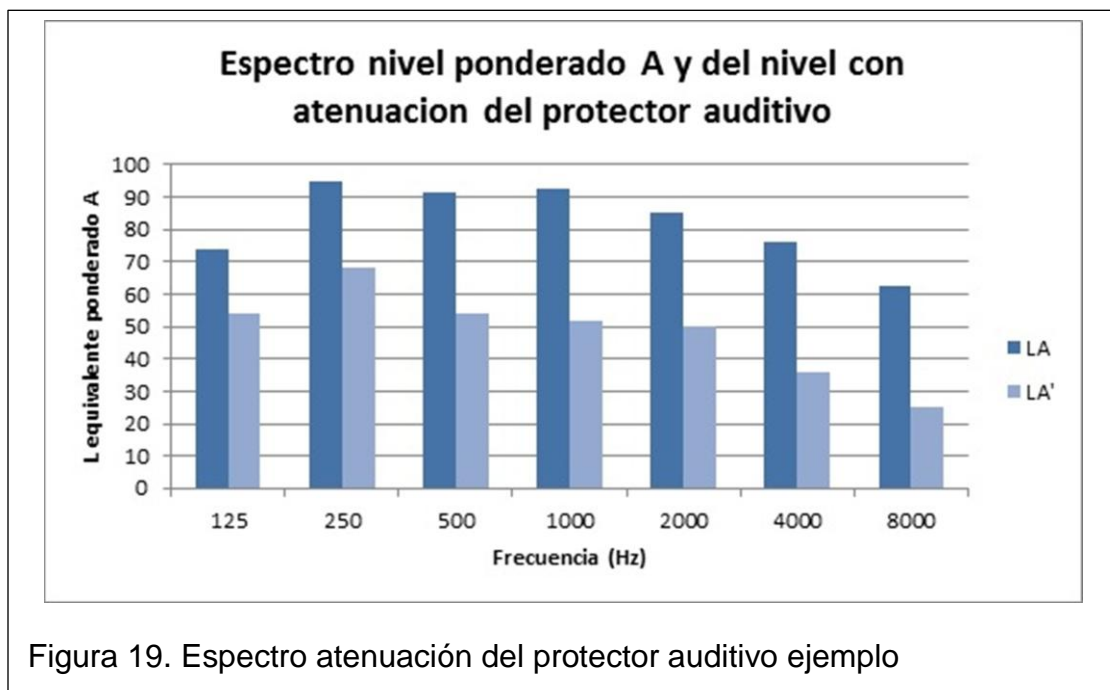
LA' = nivel global de presión sonora ponderado A cuando se utiliza protectores auditivos.

APVf = Protección asumida en dB. Dato que provee el fabricante.

Con la **reducción del nivel de ruido PNR**, se determina la atenuación que brinda el protector auditivo dentro del campo sonoro de la sala de máquinas que posee un nivel de exposición diario equivalente antes calculado de 102 dBA.

$$LA_{epd} - PNR = 102 \text{ dBA} - 29 \text{ dBA} = 73 \text{ dBA}$$

La cantidad de ruido percibido por el personal con el protector auditivo recomendado es de 73 dB lo que está por debajo del nivel criterio de 85 dBA, garantizando así la protección del personal.



## 5.6. Recomendaciones de evaluaciones audiométricas

Como resultado del estudio de exposición al ruido, se han identificado las áreas en las que los trabajadores están expuestos a niveles que sobrepasan el nivel criterio de ruido; se recomienda que al ingresar un nuevo trabajador, se realice

una evaluación audiométrica, las evaluaciones deben ser anuales para todo el personal de la planta.

Para los trabajadores con mayor tiempo de servicio y los que están expuestos a niveles de ruido que sobrepasan los límites de la norma, es recomendado realizar un control más frecuente con audiometrías semestrales.

Se debe dar paso a la implementación y uso continuo de los planes de conservación.

### 5.7. Costos estimados de implementación del programa de conservación auditiva

Tabla 17. Costos estimados de implementación

Descripción		Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
<b>Análisis de ruido</b>	Realización y análisis de mediciones de ruido, visitas técnicas, mapa de ruido, informe y propuestas de control	80 horas	30,00	2400,00
<b>Controles de ingeniería</b>	Encierros acústicos, control de ruido en los medios de transmisión,	1	25000,00	25000,00
<b>Formación y entrenamiento</b>	Curso de capacitación	2	450,00	900,00
<b>Equipos de protección</b>	Protectores auditivos	6	25,00	150,00
<b>Audiometrías</b>	Mediciones auditivas	6	20,00	120,00
<b>Costo total aproximado</b>				<b>28570,00</b>

El costo aproximado de la implementación del programa de conservación auditiva es de 28570,00 USD. Un valor de inversión relativamente bueno en relación a los costos que pueden ocasionar juicios de indemnizaciones por enfermedad profesional grave como nos indica Freire (2013, p. 69) en un ejemplo al calcular una responsabilidad patronal total de 28800 USD por el incumplimiento del Art., 55 del Reglamento de seguridad y salud de los

trabajadores y mejoramiento del medio ambiente, debido a la hipoacusia neurosensorial moderada que afecta a un trabajador.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- Se evaluó el impacto del ruido en los trabajadores de la planta principal de la Central Hidroeléctrica de Alao relacionando con el Decreto Ejecutivo 2393 “Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medioambiente de trabajo”, se registró niveles de presión sonora de hasta 104,2 dBA en los puntos de medición en la sala máquinas, sin embargo, los niveles de exposición diaria para los grupos de exposición homogénea nos indican que el personal que labora en esta planta se encuentra a una exposición que no supera los límites de lo establecido por el Decreto Ejecutivo 2393. Para el grupo de exposición homogénea 1 conformado por los Operarios de carga y sub estación se registra una exposición diaria de 75 dBA. El grupo de exposición homogénea 2, auxiliares de generación, se hallan expuestos a un nivel de exposición diario equivalente de 79,5 dB.
- El valor de dosis de ruido para el GEH1 es de 25% y para el GEH2 es de 47%, estos valores evidencian el cumplimiento de la norma nacional.
- Se verificó la efectividad del proceso de medición basado en la Norma UNE EN ISO 9612:2009, mediante la comparación con las mediciones realizadas con dosímetros. Se obtuvo valores de exposición diaria de 79,5 dBA con la aplicación de la norma y 79,1 dBA con el uso de un dosímetro personal para el GEH2. Para el grupo GEH1 con la metodología de la norma se registró 75dBA y con el uso del dosímetro 73,1 dBA.
- El análisis de las incertidumbres según la norma UNE EN ISO 9612:2009 nos indica desviaciones con un intervalo unilateral con un 95% de nivel de confianza. Los empleados del grupo de exposición homogénea 1 *Operador de carga y sub estación* que se encuentren realizando su trabajo ***dentro de la sala de mandos durante las 8***

**horas** de la jornada laboral perciben un nivel de exposición al ruido diario ponderado A durante una jornada efectiva ( $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ ) = **70,8 dBA** con una **incertidumbre expandida U de 3,8 dBA**, esto hace que finalmente la exposición al nivel de ruido se tome como 74,6 dBA

- Las incertidumbre relacionada a la exposición al ruido para el GEH 1 resultó mayor que la incertidumbre relacionada al GEH 2 a pesar de que el nivel de exposición diario ponderado A para el GEH 1 resultó menor. Esto puede deberse a que los instrumentos de medición fueron diferentes.
- Según el gráfico de los niveles de presión sonora en los puntos de medición, se evidencia que en toda la zona de la sala de máquinas existe altos niveles de presión sonora, concentrándose el mayor NPS en el punto de medición 3 que se encuentra entre los grupos de generación 3 y 4.
- Se elaboró un Plan de cuidado auditivo en el que se incluye algunos elementos considerados importantes por el autor que permitirían mejorar las condiciones de seguridad auditiva de los trabajadores. Incluye recomendaciones tanto técnicas como administrativas.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Realizar una evaluación periódica de exposición al ruido con el fin de establecer acciones correctivas.

Implementar el Plan de cuidado auditivo propuesto en el presente trabajo, para mantener la seguridad y salud de los trabajadores.

Implementar un control de vibraciones en los grupos generadores debido a que se encontró transmisión estructural de las vibraciones tanto en la sala de máquinas como en la sala de mandos.

Realizar encierros parciales para controlar la emisión de ruido en la fuente sin interferir con los procesos de mantenimiento habituales.

Adquirir los protectores auditivos con reducción del nivel de ruido (PNR) mayores o iguales a 29 dBA.

## REFERENCIAS

- Alcocer J. (2010). *Elaboración del plan de seguridad industrial y salud ocupacional para la e.e.r.s.a. – central de generación hidráulica Alao*. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.
- Berger E. (2013). *The Noise Manual*. Fairfax, Virginia: American Industrial Hygiene Association.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2014). *Noise and hearing loss prevention*. Recuperado el 22 de marzo del 2016 de <https://www.cdc.gov/niosh/topics/noise/>
- Cirrus Research plc. (2013). *User manual for the CR: 110<sup>a</sup> dosebadge personal noise dosimeter & RC: 110<sup>a</sup> Reader unit*. North Yorkshire, United Kingdom: Cirrus Research.
- Decreto Ejecutivo 2393 (1986). *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*. Quito, Ecuador: IESS.
- Freire J. (2013). *Relación del ruido laboral y la pérdida auditiva en los trabajadores del campo Pacoa. Programa de prevención de pérdida de audición*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Gerges, S. N. Y. y Arenas, J.P. (2004). *Fundamentos y Control del Ruido y Vibraciones*. Florianópolis, Brasil: NR Editora.
- Gómez, M., Jaramillo, J., Luna, Y., Martínez, A., Velásquez, M., Vásquez, E.(2012). *Ruido industrial: Efectos en la salud de los trabajadores expuestos*. Medellín, Colombia: Universidad CES.
- Grefa W. y Sánchez R. (2011). *Elaboración de un manual de procedimientos de seguridad para las actividades de operación y mantenimiento de la unidad de negocios de generación eléctrica hidroagoyán, celec e.p.* Riobamba, Ecuador: ESPOCH.



- Harris, C. (1995). *Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido*. España, Madrid: McGraw-Hill.
- Hidropaute S.A. (2006). *Instructivo para identificación de riesgos de seguridad y salud ocupacional en la adquisición de bienes, ejecución de obras o prestación servicios*. Revisión 1. Cuenca, Ecuador: Compañía de generación hidroeléctrica Hidropaute S.A.
- Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. (1998). *Criteria for a recommended standard. Occupational Noise Exposure*. Cincinnati, Ohio: NIOSH Publications Office.
- NIOSH (1993). *Health Hazard Evaluation Report No 92-0243*. Cincinnati, Ohio: NIOSH Publications Office.
- NTE INEN ISO 9612 (2014). *Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería*. Quito, Ecuador: INEN.
- Occupational Safety & Health Administration OSHA (s.f.). *Occupational Safety and Health Standards*. Recuperado el 14 de Febrero del 2016 de [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9736](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9736)
- Occupational Safety & Health Administration OSHA (s.f.). *Part II: Air and Noise Sampling Results*. Recuperado el 16 de Febrero del 2016 de [www.osha.gov/SLTC/etools/hurricane/sampling-part2.html](http://www.osha.gov/SLTC/etools/hurricane/sampling-part2.html)
- Otárola, F. Y Finkelstein A. (2006). *Ruido Laboral y su Impacto en la Salud*. Santiago, Chile: Ciec Trab.
- Platon, S. (2007). *Noise Control in Hydroelectric Stations. ICSV14 Book of Abstracts*. New York, USA: Curran Associates Inc.
- Pereita, P. (1990). *Manual de acústica, ruido y vibraciones*. Barcelona, España: Ediciones Gyc.

- Royster, L y Royster J. (1993). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Programas de conservación de la audición*. Milwaukee, Wisconsin, EE.UU: Council for Accreditation in Occupational Hearing Conservation.
- UNE EN ISO 9612:2009. (2009). *Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería*. Madrid, España: AENOR.
- Universidad Politécnica de Valencia. *Plan de Mejora de las Condiciones de Trabajo. "Seguridad y Salud: Instrucciones Operativas. Equipos de Protección Auditiva"*. Recuperado el 12 de Febrero del 2016 de [www.sprl.upv.es/pdf2/IOP\\_PM\\_16.pdf](http://www.sprl.upv.es/pdf2/IOP_PM_16.pdf).
- University of Toronto (2009). *Noise Control and Hearing Conservation Program*. Toronto, Canadá: University of Toronto.
- Vizcaíno, C. (1982). *Tesis. Actualización y análisis del sistema E.E.R.S.A.* Quito, Ecuador: EPN.
- World Health Organization (2002). *The World Health Report 2002. Reducing risks, promoting healthy life*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Tiempos permisibles de exposición – Expansión tabla 5

Nivel Sonoro – dbA	Duración de Referencia, T (hora)	Nivel Sonoro – dbA	Duración de Referencia, T (hora)
70.00	64.00	98.00	1.32
71.00	55.72	99.00	1.15
72.00	48.50	100.00	1.00
73.00	42.22	101.00	0.87
74.00	36.76	102.00	0.76
75.00	32.00	103.00	0.66
76.00	27.86	104.00	0.57
77.00	24.25	105.00	0.50
78.00	21.11	106.00	0.44
79.00	18.38	107.00	0.38
80.00	16.00	108.00	0.33
81.00	13.93	109.00	0.29
82.00	12.13	110.00	0.25
83.00	10.56	111.00	0.22
84.00	9.19	112.00	0.19
85.00	8.00	113.00	0.16
86.00	6.96	114.00	0.14
87.00	6.06	115.00	0.13
88.00	5.28	116.00	0.11
89.00	4.59	117.00	0.09
90.00	4.00	118.00	0.08
91.00	3.48	119.00	0.07
92.00	3.03	120.00	0.06
93.00	2.64	121.00	0.05
94.00	2.30	122.00	0.05
95.00	2.00	123.00	0.04
96.00	1.74	124.00	0.04
97.00	1.52	125.00	0.03

## ANEXO 2

### Conversión dosis de ruido diaria – Nivel sonoro promedio con ponderación para 8horas

Dosis	$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d})$	Dosis	$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d})$
0.1	68.4	1.35	87.2
0.15	71.3	1.4	87.4
0.2	73.4	1.45	87.7
0.25	75.0	1.5	87.9
0.3	76.3	1.55	88.2
0.35	77.4	1.6	88.4
0.4	78.4	1.65	88.6
0.45	79.2	1.7	88.8
0.5	80.0	1.75	89.0
0.55	80.7	1.8	89.2
0.6	81.3	1.85	89.4
0.65	81.9	1.9	89.6
0.7	82.4	1.95	89.8
0.75	82.9	2	90.0
0.8	83.4	2.25	90.8
0.85	83.8	2.5	91.6
0.9	84.2	3	92.9
0.95	84.6	4	95.0
1	85.0	5	96.6
1.05	85.4	6	97.9
1.1	85.7	7	99.0
1.15	86.0	8	100.0
1.2	86.3	9	100.8
1.25	86.6	10	101.6
1.3	86.9	1.35	87.2

El nivel sonoro promedio con ponderación para 8 horas se lo puede conocer por medio de la ecuación:

$$(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = 16,61 * \left[ \log_{10} \left( \frac{D}{1} \right) \right] + 85 \text{ dBA}$$

De ésta ecuación se expande la tabla anterior.

## ANEXO 3

### Metodología para el cálculo de la incertidumbre asociada a la medición según la norma UNE EN ISO 9612:2009

#### Determinación de la incertidumbre expandida del nivel de exposición al ruido

La incertidumbre es un indicador de la calidad del resultado de las mediciones realizadas. A través de los siguientes procesos se determinará la *incertidumbre expandida* tanto para el nivel de exposición al ruido diario ponderado  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  como sucesivamente del valor medido del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado  $L_{p,A,eqT}$ . El cálculo de la incertidumbre asegura la disminución de errores adquiridos por contribuciones erradas.

Se calcula la **incertidumbre típica combinada** ( $u$ ) mediante la desviación típica ( $u_i$ ) y los coeficientes de sensibilidad ( $c_i$ ) de cada magnitud de entrada de la medición.

**Desviación típica** ( $u_i$ ).- Es una desviación estándar que indica cada componente de incertidumbre.

**Coefficientes de sensibilidad** ( $c_i$ ).- Medida que indica la afectación al  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  que se genera por cambios en los valores de las magnitudes de entrada.

Se calcula la **incertidumbre típica (estándar) combinada** ( $u$ ) con la ecuación:

$$u^2 = \sum c_i^2 \cdot u_i^2 \quad (3.10)$$

**Factor de cobertura** ( $k$ ).- Es una función del intervalo de confianza. La norma UNE EN ISO 9612:2009 indica el uso de un intervalo unilateral con el 95% de confianza queriendo decir esto que un 95% de los valores se encuentran por debajo del límite superior  $[L_{EX,8h} + U]$ . Su resultado es de  $k = 1.645$ .

**La incertidumbre expandida ( $U$ ) se obtiene a partir de la ecuación:**

$$U = k \cdot u \quad (3.11)$$

donde

$k = 1.65$ ; Factor de cobertura ;

$u =$  incertidumbre típica (estándar) combinada ( $u$ )

**Determinación de la incertidumbre expandida de la medición para una estrategia basada en la tarea.**

La ecuación para la determinación del  $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$  para la estrategia basada en la tarea es la siguiente:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,d} = 10 \log \left[ \left( \sum_{m=1}^M \left( \frac{\bar{T}_m}{T_0} \right) 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,m}^*} \right) \right] dB \quad (3.12)$$

donde

$m =$  número de la tarea;

$M =$  número de tareas total que contribuyen al  $L_{Aeq,d}$

$\bar{T}_m =$  Media aritmética de las duraciones  $m$

$T_0 =$  Duración de tiempo de referencia de 8 horas

$L_{p,A,eqT,m}^*$

= Estimación del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A verdadero para la tarea  $m$

$$L_{p,A,eqT,m}^* = L_{p,A,eqT,m} + Q_2 + Q_3 \quad (3.13)$$

donde

$Q_2 =$  Corrección para el instrumento de medición utilizado;

$Q_3 =$  Corrección para la posición del micrófono utilizado;

Las estimaciones para  $Q_2$  y  $Q_3$  son aproximadamente cero



## Determinación de la incertidumbre típica (estándar) combinada ( $u$ ) y de la incertidumbre expandida ( $U$ )

Para que ambas magnitudes mantengan una correlación se calcula la **incertidumbre típica combinada ( $u$ )** por medio de los valores numéricos de las contribuciones  $c_i u_i$  de las distintas componentes de incertidumbre:

$$u^2(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = \left( \sum_{m=1}^M \left[ c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} u_{1b,m})^2 \right] \right) \quad (3.14)$$

donde

$m$  = número de la tarea;

$M$  = número de tareas total que contribuyen al  $L_{Aeq,d}$

$u_{1a,m}$  = Incertidumbre estándar debido al muestreo por tareas

$u_{1b,m}$  = Incertidumbre estándar debido a la estimación de duración de la tarea

$u_{2,m}$  = Incertidumbre estándar debido a el instrumento utilizado

$u_3$  = Incertidumbre estándar debido a la posiciones del micrófono

$c_{1a,m}$  y  $c_{1b,m}$  = Coeficientes de sensibilidad que corresponden a la tarea  $m$

$c_{1a,m}$  y  $c_{1b,m}$  = Coeficientes de sensibilidad que corresponden a la tarea  $m$

**La incertidumbre expandida ( $U$ )** es  $U = k \cdot u$  (3.11) ;  $U = 1,65 \times u$

### Parámetros restantes:

Los cálculos para los coeficientes de sensibilidad se muestran a continuación:

$$c_{1a,m} = \frac{T_m}{T_0} \times 10^{0,1 \times (L_{p,A,eqT,m} - L_{EX,8h})} \quad (3.15)$$

$$c_{1b,m} = 4,34 \times \frac{c_{1a,m}}{T_m} \quad (3.16)$$

Los cálculos para las incertidumbres estándar se muestran a continuación:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[ \sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]} \quad (3.17)$$

$i$  = número de medición de la tarea;

$I$  = número total de mediciones de la tarea;

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[ \sum_{j=1}^J (T_{m,j} - T_m)^2 \right]} \quad (3.18)$$

$J$  = número total de observaciones de duración de la tarea;

Si se trata de rangos de tiempo la fórmula para calcular la incertidumbre debido a la estimación de la duración de tarea  $u_{1b,m}$  es:

$$u_{1b,m} = 0,5 \times (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}) \quad (3.19)$$

Como ultimo paso se calcularía la incertidumbre mediante la fórmula (3.11)

### **Determinación de la incertidumbre expandida de la medición para una estrategia basada en la función (puesto de trabajo).**

**La incertidumbre expandida ( $U$ )** se obtiene a partir de la ecuación:

$$U = k \cdot u \quad (3.11)$$

donde

$k = 1.65$ ; Factor de cobertura ;

$u$  = incertidumbre típica (estándar) combinada ( $u$ )

**La incertidumbre típica combinada ( $u$ )** para el nivel de exposición diario ( $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ ) se calcula a través de los valores numéricos de las contribuciones  $c_i u_i$  de las distintas componentes de incertidumbre:

$$u^2(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad (3.20)$$

donde

$u_1 =$  incertidumbre típica de los valores medidos  $L_{p,A,eqT,n}$  ;

N	Contribución a la incertidumbre $c_1 u_1$ de los valores medidos $L_{p,A,eqT,n}$ dB											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

$u_2 =$  incertidumbre típica de los instrumentos ;

$u_3 =$  incertidumbre típica por la posición incorrecta de medición ;

$c_2 = 1.$  Coeficiente de sensibilidad para la incertidumbre de la instrumentación ;

$c_3 = 1.$  Coeficiente de sensibilidad por la selección imperfecta de lugar de medición

El valor de la incertidumbre típica de los valores medidos ( $u_1$ ) se calcula:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]} \quad (3.21)$$

$L_{p,A,eqT,n} =$  Nivel de presión sonora continuo equivalente de cada medición;

$N =$  Número total de mediciones del puesto de trabajo realizadas;

$\bar{L}_{p,A,eqT} =$  Media aritmética de las  $N$  muestras de  $L_{p,A,eqT,n}$ ;

El valor obtenido de  $u_1$  se utiliza como entrada en la siguiente tabla (5) con el valor  $N$  de mediciones para encontrar el resultado del factor  $c_1 u_1$  .

Tabla 5 .Contribución a la incertidumbre de  $c_1 u_1$  las mediciones de  $L_{p,A,eqT,n}$

Es muy importante señalar que la norma fija que si el valor obtenido de la tabla (5) para  $c_1u_1$  supera los 3,5 dB (todos los valores resaltados en negrita) se debe buscar reducir la incertidumbre por medio de:

- Revisión del plan de medición diseñado.
- Incremento del numero N de mediciones.
- Reformar los GEH.

**La incertidumbre típica ( $u_2$ )** debida a los instrumentos de medida utilizados se indica en la tabla (6).

Tabla 6. Incertidumbre estándar de los instrumentos

<b>Tipo de Instrumento</b>	<b><math>u_2</math></b>
Sonómetro Clase 1	0,7 dB
Dosímetro personal	1,5 dB
Sonómetro Clase 2	1,5 dB

**La incertidumbre típica ( $u_3$ )** debida a la posición del micrófono al momento de la medición es de 1 dB según la norma.

### **Determinación de la incertidumbre expandida de la medición para una estrategia basada en la jornada completa**

El procedimiento para el cálculo de la incertidumbre de la estrategia basada en la jornada laboral es totalmente similar al proceso utilizado para la estrategia basada en la función. **La incertidumbre típica combinada ( $u$ )** para el nivel de exposición diario ( $L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}$ ) será:

$$u^2(L_{EX,8h} = L_{Aeq,d}) = c_1^2u_1^2 + c_2^2(u_2^2 + u_3^2) \quad (3.20)$$

donde

$u_1$ : Se calcula con la ecuación (3.21);

$u_2$ : Mediante la tabla (6) ;

$$u_3 = 1 \text{ dB} ;$$

$c_2 = c_3 = 1$ . Coeficiente de sensibilidad para la incertidumbre de la instrumentación ;

## ANEXO 4

### Certificados de verificación de los instrumentos de medición

# CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

NÚMERO: 14/00681

---

**CESVA** *instruments, s.l.u.*  
Laboratorio de metrología

Maracaibo, 6  
08030 BARCELONA  
ESPAÑA  
Teléfono 934 335 240 / Fax 933 479 310

---

La calibración se ha efectuado siguiendo los procedimientos de calibración P027 (Revisión 04) para los tests acústico y eléctrico, basados en las normas CEI/IEC 61672-1:2002, CEI/IEC 61672-2:2003 y CEI/IEC 61672-3:2006.

---

INSTRUMENTO:	<b>Sonómetro integrador-promediador</b>
MARCA:	<b>CESVA</b>
MODELO:	<b>SC310</b>
NÚMERO DE SERIE:	<b>T238856</b>
MICRÓFONO:	<b>C-130, número de serie 13170</b>
TIPO:	<b>1</b>
FECHA DE VERIFICACIÓN:	<b>2014-07-17</b>
FECHA DE EMISIÓN:	<b>2014-07-17</b>
RESULTADO DE LA VERIFICACIÓN:	<b>Dentro de especificaciones en los valores medidos</b>

---

SUBJEFE DEL LABORATORIO

  
Rubén Gutiérrez Bajo

CESVA SC310

T238856

2014-07-17

07:36:04

	L AF	L At	L CPeak
00:00:01	51.8	53.5	85.2
00:00:02	52.9	52.8	85.2
00:00:03	56.9	54.0	85.2
00:00:04	52.1	53.7	85.5
00:00:05	51.0	53.3	85.5
00:00:06	51.5	53.3	85.5
00:00:07	53.1	53.3	85.5
00:00:08	50.3	53.1	85.5
00:00:09	51.2	53.1	85.5
00:00:10	58.9	53.9	85.5
00:00:11	51.6	54.2	86.7
00:00:12	51.7	54.0	86.7
00:00:13	53.1	54.0	86.7
00:00:14	52.6	53.9	86.7
00:00:15	51.0	53.8	86.7
00:00:16	52.7	53.7	86.7
00:00:17	59.0	53.9	86.7
00:00:18	56.3	54.4	86.7
00:00:19	52.8	54.4	86.7
00:00:20	56.5	54.6	86.7
00:00:21	53.8	54.6	86.7
00:00:22	54.1	54.5	86.7
00:00:23	56.3	54.5	86.7
00:00:24	54.4	54.5	86.7
00:00:25	53.6	54.5	86.7
00:00:26	51.6	54.4	86.7
00:00:27	52.5	54.4	86.7
00:00:28	51.2	54.3	86.7
00:00:29	51.7	54.2	86.7
00:00:30	51.9	54.2	86.7
00:00:31	56.0	54.2	87.8
00:00:32	51.8	54.2	87.8
00:00:33	51.1	54.1	87.8
00:00:34	53.5	54.1	87.8
00:00:35	56.9	54.2	87.8
00:00:36	52.6	54.2	87.8
00:00:37	71.8	55.7	91.2
00:00:38	51.9	57.1	94.1
00:00:39	52.1	57.0	94.1
00:00:40	51.8	57.0	94.1
00:00:41	51.6	56.9	94.1
00:00:42	70.9	58.3	94.1
00:00:43	55.8	60.1	94.1
00:00:44	52.3	60.0	94.1
00:00:45	54.2	60.1	94.1
00:00:46	51.6	60.0	94.1
00:00:47	60.9	60.0	94.1
00:00:48	55.3	59.9	94.1
00:00:49	52.3	59.8	94.1
00:00:50	57.4	59.8	94.1
00:00:51	73.2	60.5	94.1
00:00:52	71.9	61.7	94.1
00:00:53	69.7	62.5	94.1
00:00:54	61.1	62.6	94.1
00:00:55	55.6	62.5	94.1
00:00:56	52.9	62.5	94.1
00:00:57	59.7	62.4	94.1
00:00:58	52.9	62.4	94.1
00:00:59	70.8	62.4	94.1
00:01:00	77.7	62.9	94.1
00:01:01	63.4	64.0	95.4
00:01:02	60.8	63.9	95.4
00:01:03	60.5	63.9	95.4
00:01:04	59.9	63.9	95.4
00:01:05	56.6	63.9	95.4
00:01:06	58.9	63.8	95.4
00:01:07	59.0	63.8	95.4
00:01:08	64.0	63.8	95.4
00:01:09	62.6	63.8	95.4
00:01:10	59.0	63.8	95.4

# CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

NÚMERO: 14/00682

---

**CESVA** *instruments, s.l.u.*  
Laboratorio de metrología

Maracaibo, 6  
08030 BARCELONA  
ESPAÑA  
Teléfono 934 335 240 / Fax 933 479 310

---

La verificación se ha efectuado siguiendo el procedimiento P028 (Revisión 02), basado en la norma IEC 60942:2003.

---

INSTRUMENTO:	<b>Calibrador sonoro</b>
MARCA:	<b>CESVA</b>
MODELO:	<b>CB006</b>
NÚMERO DE SERIE:	<b>0900626</b>
TIPO:	<b>1</b>
FECHA DE VERIFICACIÓN:	<b>2014-07-09</b>
FECHA DE EMISIÓN:	<b>2014-07-17</b>
RESULTADO DE LA VERIFICACIÓN:	<b>Dentro de especificaciones en los valores medidos</b>

---

SUBJEFE DEL LABORATORIO

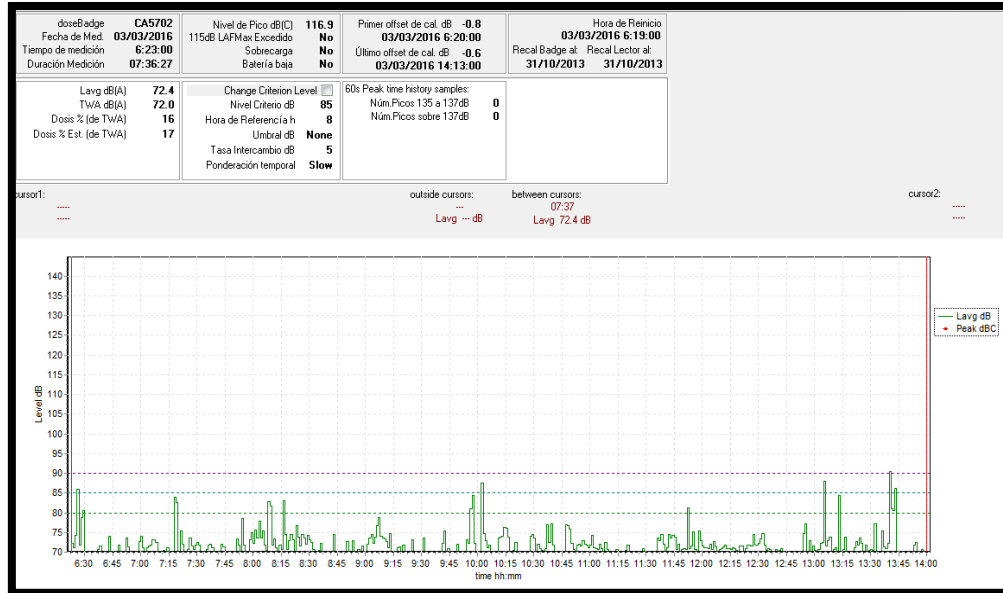
  
Rubén Gutiérrez Bajo



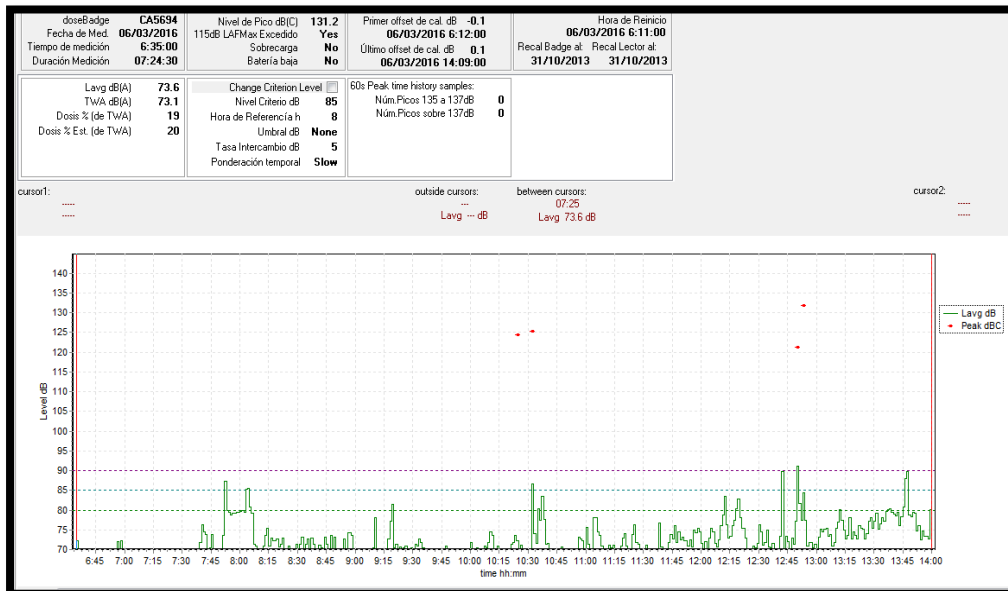
## ANEXO 5

A continuación se muestran los datos obtenidos de las dosimetrías con su cuadro de cronología

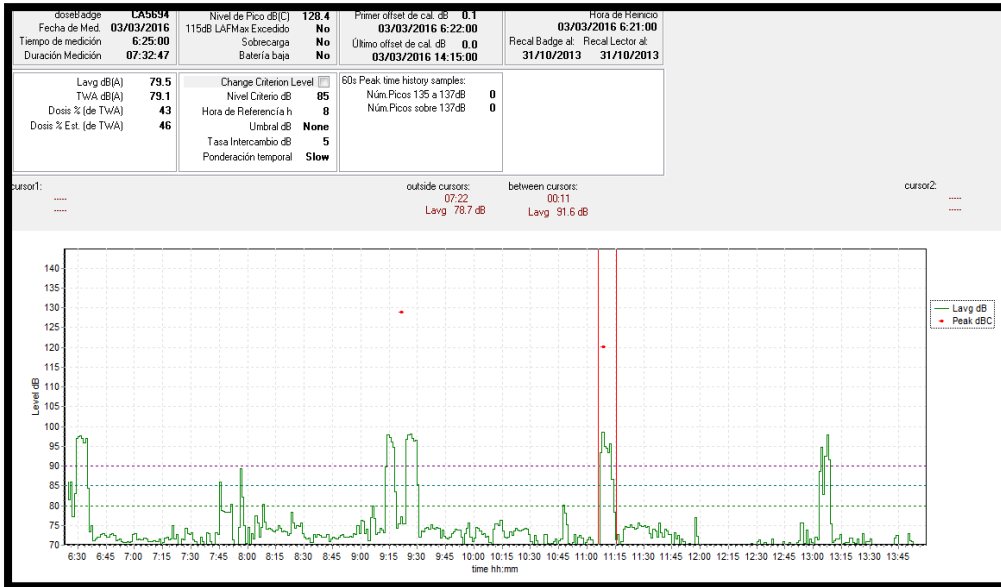
### Operador 1



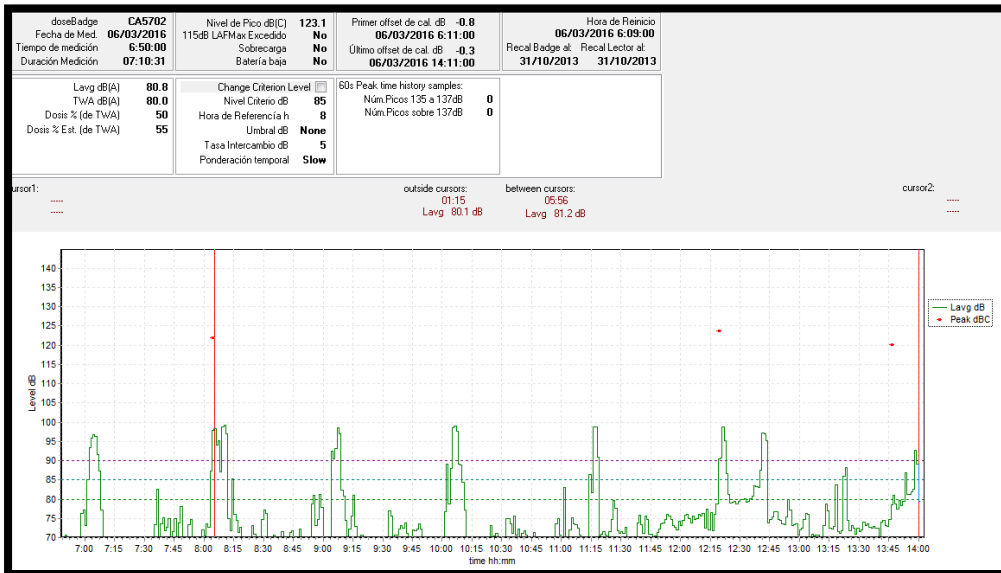
### Operador 2



# Auxiliar 1



# Auxiliar 2



## **Anexo 6**

### **Glosario**

#### **Sonido**

El sonido se define como la sensación auditiva excitada por una perturbación física en un medio, sea este gas, líquido o sólido (Harris, 1995, p. 1.1).

#### **Presión Sonora**

Se conoce como presión sonora a las variaciones de la presión atmosférica por sobre o debajo de su valor estático referencial de  $10^5 Pa$  al propagarse una onda sonora (Pereita, 1990, pp.22).

#### **Decibel**

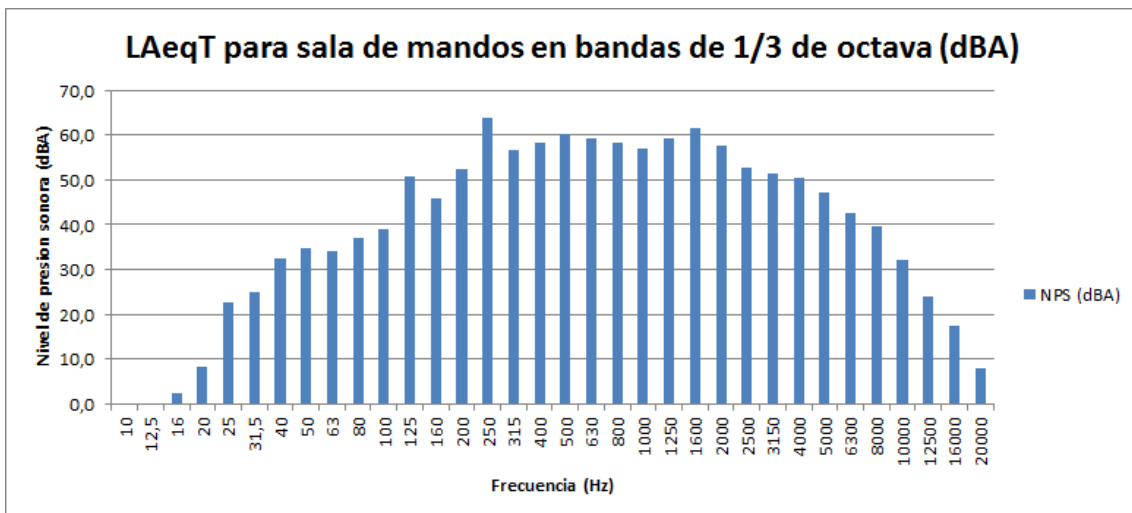
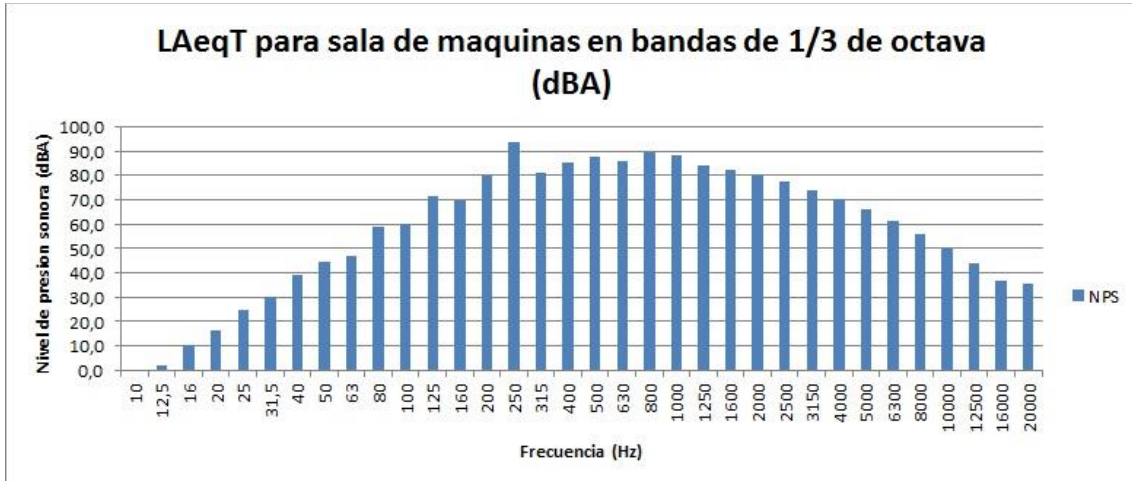
El oído humano no responde de una manera lineal a los estímulos y cambios de presión. Para representar los grandes márgenes de ésta variación se utiliza una escala logarítmica denominada decibel (dB) que expresa una proporción entre una cantidad medida y una referencial.

#### **Ruido**

El ruido es una forma de sonido que se considera molesto o indeseable. Se lo puede definir como la energía acústica audible que afecta negativamente en el bienestar físico y psicológico de una persona (ruido en la comunidad, cap 3.1, pag.24)

## Anexo 7

Se muestran a continuación gráficos del espectro de ruido en la planta:



## Anexo 8

Se muestran a continuación los gráficos de niveles de presión en las salas por punto de medición:

