



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**“ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN
LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ”.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Industrial

Autor:

John Estalin Paucar Ramos

Tutor:

Ing. M. Sc. Jorge David Freire Samaniego

LATACUNGA - ECUADOR

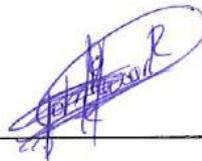
Febrero 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Paucar Ramos John Estalin, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ”**, siendo Ing. M. Sc. Jorge David Freire Samaniego tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 2020



John Estalin Paucar Ramos

C.I. 180534773-7

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ”, de Paucar Ramos John Estalin, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2020



Ing. Jorge David Freire Samaniego M. Sc.
CC: 050262481-0

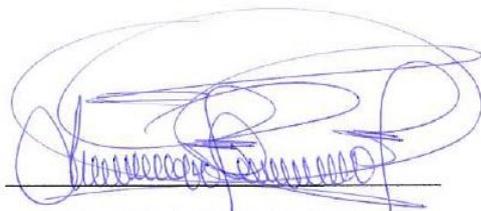
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, el postulante: **Paucar Ramos John Estalin**, con el título de Proyecto de titulación: ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

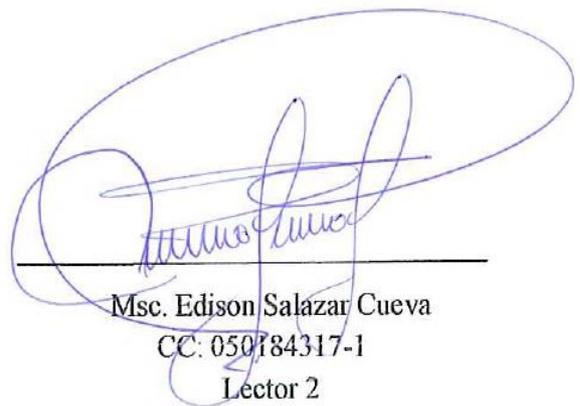
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2020

Para constancia firman:



Msc. Pablo Barba Gallardo
CC: 171930814-8
Lector 1 (Presidente)



Msc. Edison Salazar Cueva
CC: 050784317-1
Lector 2



Msc. Marcelo Tello Córdor
CC: 050151855-9
Lector 3

CARTA AVAL CELEC EP UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ



Calle Ambato, Campamento Los Pinos
PBX: 593-3-2740999
FAX: 593-3-2742520
RUC: 1768152800001
www.hidroagoyan.com
Baños de Agua Santa - Ecuador

Baños de Agua Santa, 28 de enero de 2020

Ingeniero.
Cristian Xavier Espín Beltrán.
Director de Carrera Ingeniería Industrial
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.
Presente.-

De mi consideración:

Por medio del presente, en mi calidad de Jefe del Departamento de Talento Humano de la Unidad de Negocio HIDROAGOYÁN – CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR CELEC E.P. Certifico que el señor: Paucar Ramos John Estalin con cédula de ciudadanía 180534773-7, desarrollo su proyecto de tesis a satisfacción de acuerdo al cronograma planteado en la Unidad de Negocio Hidroagoyán, con el tema **“ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ”**, desde el 26 de octubre de 2019 al 17 de enero de 2020.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento como a bien creyera conveniente.

Atentamente,


Ing. Verónica Figueroa
Jefe de Talento Humano

UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGOYÁN
EMPRESA PÚBLICA ESTRATÉGICA
CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR - CELEC E.P.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la protección que me ha brindado en esta etapa de mi vida, a mis padres por el apoyo incondicional y ejemplo a seguir y a mi hermana por apoyarme durante mi formación académica.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Unidad de Negocio Hydroagoyán CELEC EP, Central Hidroeléctrica Pucará, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso de investigación dentro de sus instalaciones.

John

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis padres Ney y Judit quienes con su amor, esfuerzo y paciencia me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

John

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ.

Autor: Paucar Ramos John Estalin

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se enfoca en el estudio de riesgos físicos por ruido y vibraciones en la Central Hidroeléctrica Pucará, el cual tiene como objetivo principal evaluar los niveles de exposición diaria, por medio del levantamiento de información sobre las características de los puestos de trabajo expuestos a dichos riesgos, se pudo evidenciar las fuentes principales que afectan directamente a los puestos de trabajo. Las mediciones de ruido se las realizó siguiendo la Norma NTE INEN-ISO 9612, utilizando un sonómetro de clase 2, para niveles de exposición al ruido diario con ponderación “A”, y para las mediciones de vibraciones se las ejecutó con la Norma NTE INEN-ISO 2631, utilizando un vibrómetro de 3 ejes, los niveles de exposición diaria se procede a compararlos con límites permitidos por el decreto Ejecutivo 2393 y la Norma NTP 839. Las actividades planteadas se lograron cumplir mediante la determinación de puestos de trabajo con posibles eventos de ruido y vibraciones, esto se logró mediante una matriz de identificación de riesgos físicos y la elaboración de matrices en Excel para la toma de datos y evaluación de resultados. Al realizar la evaluación de ruido se pudo observar que solo un puesto de trabajo presenta un nivel de exposición al ruido diario con ponderación “A” de 91,6 dB con ponderación “A” siendo el nivel mayor a los 85dBA establecido por el Decreto Ejecutivo 2393 del nivel de exposición a 8 horas de trabajo diario, los demás puestos de trabajo evaluados se encuentran con un riesgo tolerable. En la evaluación de los niveles de exposición para vibraciones de cuerpo entero, se determinó que todos los puestos de trabajo se encuentran por debajo de los $0,5 \text{ m/s}^2$, siendo este el límite permitido para dar lugar a una acción correctiva. Por último, se planteó medidas preventivas y correctivas para los puestos de trabajo evaluados con riesgo intolerable.

Palabras clave: Riesgos físicos, Ruido, Vibraciones, Evaluación.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
TOPIC: STUDY OF PHYSICAL RISKS DUE TO NOISE AND VIBRATIONS IN THE
HYDROELECTRIC POWER PLANT PUCARÁ.

Author: Paucar Ramos John Estalin

ABSTRACT

This research project focuses on the study of physical risks due to noise and vibrations in the hydroelectric power plant Pucará, which has as main objective to evaluate the levels of daily exposure, by collecting information on the characteristic of jobs exposed to these risks, it could be evidence the main sources that directly affect the jobs. The noise mediations were made according to the norm NTEINEN-ISO 9612, using a class 2 sound level meter for levels of exposure to daily noise with “A” weight, the norm NTE INEN-ISO 2631, using a 3 axis vibrometer, daily exposure levels, daily exposure levels are compared to limits permitted by Executive decree 2393 and the norm NTP 839. The proposed activities were achieved by determining jobs with possible noise and vibration events, this was achieved through a physical risk identification matrix and the elaboration of matrices in Excel for data collection and evaluation of results. In carrying out the noise assessment it was observed that only one job has a level of daily noise exposure with “A” weighting of 91,6 dB with weighting “A” being the level higher than 85 dBA established by Executive Decree 2393 of the level of exposure to 8 hours of daily work, the other jobs evaluated are at a tolerable risk. In the evaluation of exposure levels for whole body vibrations, it was determined that workstation are below $0,5 \text{ m/s}^2$, this being the limit allowed to result in corrective action. Finally, preventive and corrective measures were put in place for risk assessed jobs intolerable.

Keywords: Physical risk, Noise, Vibrations, Evaluation.

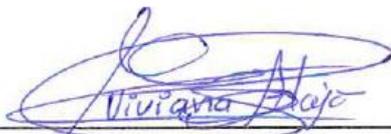
AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor egresado **PAUCAR RAMOS JOHN ESTALIN** de la **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título versa “**ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ**”, lo realizo bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, febrero del 2020

Atentamente,



MSC. VIVIANA DE LAS MERCEDES ALAJO TARCO
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0502395130

ÍNDICE

CONTENIDOS	Pág.
Portada.....	i
Declaración de autoría.....	ii
Aval del tutor de proyecto de titulación.....	iii
Aprobación del tribunal de titulación.....	iv
Carta aval.....	v
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
Aval de traducción.....	x
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. General.....	5
6.2. Específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTO DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	8
8.1. Ruido.....	8
8.3. Producción y transmisión del sonido.....	8
8.6. Nociones sobre anatomía y fisiología del oído.....	10
8.7. Frecuencia.....	10
8.8. Decibelio.....	11
8.9. Espectro de frecuencia.....	11
8.10. Nivel de presión acústica ponderado “A”, L_{pA}	12
8.12. Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”, $L_{Aeq,Te}$	12
8.13. Nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$	12
8.14. Nivel de pico, L_{pico}	13

8.15.	Instrumentos de medición para ruido	13
8.16.	Efectos del ruido en la salud de las personas.....	14
8.17.	Metodología para realizar la medición de ruido, con etapas cronológicas.....	15
	Etapa 1: Análisis de trabajo	15
	Etapa 2: Selección de la estrategia de medición.....	15
	Etapa 3: Mediciones	16
	Etapa 4: Tratamiento de errores e incertidumbres.....	17
	Etapa 5: Cálculos de la incertidumbre y presentación de los resultados	17
8.18.	Tiempo de exposición al ruido	17
8.19.	Vibraciones.....	18
8.20.	Características de las vibraciones	18
8.21.	Efectos de las vibraciones en la salud de las personas	19
8.22.	Medición de vibraciones.....	20
8.22.1.	Dirección de la medición.....	20
8.22.2.	Localización de la medición	21
8.22.3.	Duración de la medición.....	21
8.25.	Evaluación de la exposición sistema mano – brazo	22
8.26.	Evaluación de la exposición a cuerpo completo.....	24
8.27.	Valores límite de exposición y valores que dan lugar a una acción	25
8.28.	Legislación en Seguridad y Salud en el Trabajo	26
	9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS	27
	10. METODOLOGÍA.....	27
10.1.	Modalidad de investigación.....	27
10.1.1.	Investigación de campo	28
10.1.2.	Documental y bibliográfica	28
10.2.	Recolección de información	28
10.3.	Procesamiento y análisis de datos	28
10.3.1.	Caracterización de los puestos de trabajo.....	28
10.3.2.	Selección de los instrumentos de medición.....	29
10.3.3.	Procedimiento de evaluación para ruido basada en el puesto de trabajo.....	29
10.3.4.	Procedimiento de evaluación para vibraciones transmitidas al cuerpo entero	29
10.3.5.	Procesamiento de la información	30
	11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	37

11.1.	Información de la empresa	37
11.4.	Selección de la estrategia para la medición de ruido.....	44
11.5.	Ubicación del acelerómetro para la medición de vibraciones	44
11.6.	Recolección y procesamiento de datos de ruido y vibraciones	45
11.7.	Análisis e interpretación de las mediciones de ruido y vibraciones	55
11.7.1.	Análisis e interpretación de resultados de mediciones de ruido para operador sala de control.....	55
11.7.2.	Análisis e interpretación de resultados de mediciones de ruido para operador casa de máquinas.....	58
11.7.3.	Análisis e interpretación de resultados de mediciones de ruido para supervisor de operación.....	61
11.7.4.	Análisis e interpretación de resultados de mediciones de vibraciones para operador sala de control.....	64
11.7.5.	Análisis e interpretación de resultados de mediciones de vibraciones para operador casa de máquinas	67
11.7.6.	Análisis e interpretación de resultados de mediciones de vibraciones para supervisor de operación.....	71
11.8.	Medidas preventivas y correctivas para los puestos de trabajo evaluados con riesgo intolerable	75
11.8.1.	Medidas preventivas para el ruido ocupacional en el puesto de trabajo supervisor de operación.....	75
11.8.2.	Medidas correctivas para el ruido ocupacional en el puesto de trabajo supervisor de operación:	75
12.	IMPACTOS.....	76
13.	VALORACION ECONÓMICA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	78
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del oído humano	10
Figura 2. Oscilaciones de frecuencia.....	11
Figura 3. Espectro de frecuencia.....	11
Figura 4. Diagrama de un sonómetro.....	13
Figura 5. Sonómetro.....	13
Figura 6. Dosímetro.....	14
Figura 7. Diagrama de un dosímetro.....	14
Figura 8. Selección de la estrategia de medición.....	16
Figura 9. Sistema mecánico del cuerpo humano sobre una plataforma vibrante.....	20
Figura 10. Vibrómetro.....	22
Figura 11. Ejes de referencia al sistema mano-brazo.....	23
Figura 12. Ejes de referencia para el cuerpo completo.....	24
Figura 13. Valores (en dB) del factor c_{1u1}	32
Figura 14. Incertidumbre típica, u_2 , de los instrumentos.....	33
Figura 15. Valores del factor de cobertura, k	33
Figura 16. Distribución t-Student.....	36
Figura 17. Presa de Pisayambo.....	37
Figura 18. Ingreso al área de Casa de Máquinas.....	38
Figura 19. Muestra 1 de vibraciones cuerpo entero operador sala de control.....	50
Figura 20. Muestra 2 de vibraciones cuerpo entero operador sala de control.....	50
Figura 21. Muestra 3 de vibraciones cuerpo entero operador sala de control.....	50
Figura 22. Muestra 1 de vibraciones cuerpo entero operador casa de máquinas.....	52
Figura 23. Muestra 2 de vibraciones cuerpo entero operador casa de máquinas.....	52
Figura 24. Muestra 3 de vibraciones cuerpo entero operador casa de máquinas.....	52
Figura 25. Muestra 1 de vibraciones cuerpo entero supervisor de operación.....	54
Figura 26. Muestra 2 de vibraciones cuerpo entero supervisor de operación.....	54
Figura 27. Muestra 3 de vibraciones cuerpo entero supervisor de operación.....	54
Figura 28. Protector auditivo 3M Peltor código H31.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios directos.	3
Tabla 2. Beneficiarios indirectos.	4
Tabla 3. Formulación de actividades.	6
Tabla 4. Tiempo de exposición para ruido continuo con el filtro "A" en posición lenta.	17
Tabla 5. Efectos de las vibraciones.....	19
Tabla 6. Valores que dan lugar a una acción y valores limite.	25
Tabla 7. Lista de archivos de legislación en seguridad y salud en el trabajo.	26
Tabla 8. Modalidad de proyecto según los objetivos planteados.	27
Tabla 9. Clasificación de los puestos de trabajo.....	39
Tabla 10. Características del puesto de trabajo de operador sala de control.	39
Tabla 11. Características del puesto de trabajo de operador casa de máquinas.	41
Tabla 12. Características del puesto de trabajo de supervisor de operación.	43
Tabla 13. Selección de la estrategia de medición de ruido.	44
Tabla 14. Ubicación del acelerómetro para la medición de vibraciones en los puestos de trabajo.	45
Tabla 15. Medición de ruido para operador sala de control.	46
Tabla 16. Medición de ruido para operador casa de máquinas.....	47
Tabla 17. Medición de ruido para supervisor de operación.....	48
Tabla 18. Medición de vibraciones para operador sala de control.	49
Tabla 19. Medición de vibraciones para operador casa de máquinas.....	51
Tabla 20. Medición de vibraciones para supervisor de operaciones.	53
Tabla 21. Resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones de operador sala de control.....	57
Tabla 22. Resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones de operador casa de máquinas.....	60
Tabla 23. Resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones de supervisor de operación.....	63
Tabla 24. Resultados sobre exposición a vibraciones e incertidumbre en las mediciones de operador sala de control.....	66
Tabla 25. Resultados sobre exposición a vibraciones e incertidumbre en las mediciones de operador casa de máquinas.....	70

Tabla 26. Resultados sobre exposición a vibraciones e incertidumbre en las mediciones de supervisor de operación.....	74
--	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”.....	12
Ecuación 2. Nivel de exposición diario equivalente.....	12
Ecuación 3. Aceleración eficaz de las vibraciones mano-brazo.....	23
Ecuación 4. Nivel de exposición diario a vibraciones mano-brazo.....	23
Ecuación 5. Aceleración ponderada diaria respecto del eje x	24
Ecuación 6. Aceleración ponderada diaria respecto del eje y	24
Ecuación 7. Aceleración ponderada diaria respecto del eje z.....	25
Ecuación 8. Incertidumbre combinada estándar para el nivel de exposición diario u.....	31
Ecuación 9. Incertidumbre asociada a los valores de LAeq,T,n.....	32
Ecuación 10. Incertidumbre expandida	33
Ecuación 11. Dosis de exposición al ruido	34
Ecuación 12. Media aritmética	34
Ecuación 13. Varianza experimental	35
Ecuación 14. Varianza de la media.....	35
Ecuación 15. Desviación estándar de la media.....	35
Ecuación 16. Incertidumbre estándar “verdadera” o teórica tipo A	36

1. INFORMACIÓN GENERAL

- **Título:** “ESTUDIO DE RIESGOS FÍSICOS POR RUIDO Y VIBRACIONES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ”.
- **Fecha de inicio:** septiembre 2019
- **Fecha de finalización:** febrero 2020

Lugar de ejecución:

- **Provincia:** Tungurahua
- **Cantón:** Píllaro
- **Parroquia:** San José de Poaló
- **Institución:** Central Hidroeléctrica Pucará
- **Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
- **Carrera que auspicia:** Ingeniería Industrial
- **Proyecto de investigación vinculado:** Ingeniería Industrial

Equipo de trabajo:

- **Tutor del proyecto de investigación:**
- **Nombre:** Ing. MSc. Jorge David Freire Samaniego
- **Celular:** 0983751856
- **Correo electrónico:** jorge.freire@utc.edu.ec

Autor del proyecto:

- **Nombre:** John Estalin Paucar Ramos
- **Celular:** 0986496881
- **Correo electrónico:** john.paucar7737@utc.edu.ec
- **Área de conocimiento:** Ingeniería, Industria y Construcción

- **Línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi.**
 - La Universidad Técnica de Cotopaxi, en las líneas de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial tiene como línea principal “Estudio de medio ambiente laboral”.

- **Sub línea de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial.**
 - En las sub líneas de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial, el proyecto se enfoca en la “Seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente laboral”.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Central Hidroeléctrica Pucará se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Píllaro, parroquia San José de Poaló, dedicada a la generación de energía eléctrica a partir del agua, el cual se evaluará los niveles de exposición diario ponderado “A” en el área casa de máquinas, en los pisos excitatrices, transformadores y sala de control.

Por lo que requiere la investigación de un estudio de riesgos físicos por ruido y vibraciones que permita investigar los niveles de exposición, limitada a los efectos del contaminante, haciendo que el objetivo fundamental del proyecto sea la evaluación de los niveles a los que están expuestos el personal del área casa de máquinas de la hidroeléctrica.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los estudios de riesgos físicos sirven como instrumento de evaluación frente a posibles impactos en la organización, el ruido y vibraciones es imprescindible en las hidroeléctricas, dado que esto es ocasionado fruto de la actividad propia de las maquinarias. El ruido se ha considerado uno de los agentes físicos más extendidos en el medio laboral, como principal efecto de este riesgo está la hipoacusia, pero también existen efectos no auditivos que pueden tener efectos en la salud de los trabajadores y afectar en la productividad, eficacia laboral como el estrés, dificultades de observación, aumento del ritmo cardiaco, disminución de la atención, entre otras.

El trabajo de investigación es de importancia ya que permite conocer la situación sobre los riesgos físicos por ruido y vibraciones significativas en el área casa de máquinas de los puestos de trabajo de la Central Hidroeléctrica Pucará, en relación a los niveles que están expuestos el personal, donde existe la necesidad de hacer el estudio con el único objeto de evaluar los riesgos derivados de la exposición al ruido y vibraciones, dando cumplimiento a las leyes de Salud y Seguridad de los trabajadores, el cual busca establecer y sostener un medioambiente de trabajo seguro y sano.

Al no existir un estudio que permita evaluar el ruido y las vibraciones en la Central Pucará hace que esta investigación sea de utilidad para la hidroeléctrica. En el presente proyecto de investigación existe factibilidad ya que se dispone de recursos económicos, tecnológicos, así como conocimientos suficientes del investigador y la colaboración por parte de la hidroeléctrica.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

El presente proyecto de investigación beneficia directamente al personal que labora en el área casa de máquinas donde es el punto principal ya que es el lugar donde se produce niveles de exposición de ruido y vibraciones significativas.

Tabla 1. Beneficiarios directos.

Beneficiarios directos			
Puesto de trabajo	Género		Total
	Masculino	Femenino	
Operador casa de máquinas	4	-	4
Operador sala de control	3	1	4
Supervisor de operación	2	-	2
Total			10

Fuente: (CELEC EP, 2019).

Además de los beneficiarios directos, también existen beneficiarios indirectos siendo estos:

Tabla 2. Beneficiarios indirectos.

Beneficiarios indirectos			
Área	Género		Total
	Masculino	Femenino	
Gerencia Unidad de Negocio Hidroagoyán CELEC EP	1	1	2
Gestión de Talento Humano	1	6	7
Gestión de Seguridad y Salud Laboral	2	-	2
Producción	24	-	24
Total			35

Fuente: (CELEC EP, 2019).

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se considera que a nivel mundial la prevención de enfermedades profesionales de tipo audible y vibraciones es tema de prioridad con relación de Seguridad e Higiene ocupacional, esto se debe a que el ruido y vibración son permanentes en las hidroeléctricas. Siendo así que el proceso de generación de energía eléctrica a partir del agua, genera elevados niveles de presión sonora, sin tener en cuenta los efectos negativos que pueden ocasionar en la salud de los trabajadores, tal es el caso de las turbinas hidráulicas que produce elevados niveles de ruido provocando estrés, dolor auditivo, irritabilidad, etc., para el personal que trabaja en el área casa de máquinas.

Al nivel del país las hidroeléctricas forman una actividad importante que se a ido desarrollando en los últimos años, siendo así los riesgos que están presentes dentro de sus instalaciones que por naturaleza propia de su funcionamiento están presentes, las vibraciones y el ruido laboral han afectado a la salud de sus colaboradores durante varios años, puesto de esta manera las hidroeléctricas se han preocupado notablemente en realizar estudios para minimizar los riesgos físicos presentes.

En la hidroeléctrica no existe ningún estudio sobre ruido laboral y vibraciones transmitidas al cuerpo entero de los trabajadores, pero en Diciembre del 2016 CELEC EP emitió un informe de una auditoría ambiental y laboral sobre el cumplimiento de los factores de riesgo en la

Central Hidroeléctrica Pucará, en el cual concluye que las turbinas U1 y U2, pueden llegar a tener niveles de presión sonora de 105,3 dB_(A) y considerando el cumplimiento con la normativa legal vigente en lo que respecta a ambiente laboral el valor sobrepasa los 85 dB_(A) valor establecido en el decreto ejecutivo 2393 para una jornada de 8 horas de trabajo. En el mismo informe detallaron que las turbinas están generando niveles significativos de vibración debido a la gran trayectoria de la hidroeléctrica.

Considerando los niveles de exposición diario con ponderación “A”, descritos en el párrafo anterior se percibe la necesidad de que la Central Hidroeléctrica Pucará tenga un estudio de ruido laboral y vibraciones para tomar medidas correctivas y preventivas, y de esta manera evitar o reducir la aparición de enfermedades profesionales.

6. OBJETIVOS

6.1. General

Realizar un estudio de riesgos físicos por ruido y vibraciones en la Central Hidroeléctrica Pucará para verificar el cumplimiento de la normativa vigente.

6.2. Específicos

- Identificar las áreas y puestos de trabajo a posibles eventos de ruido y vibraciones significativos.
- Determinar los niveles de ruido y vibraciones en los puestos de trabajo detectados con eventos de riesgos significativos, mediante equipos calibrados, sonómetro y vibrómetro.
- Evaluar el nivel de exposición al ruido y vibraciones en los puestos de trabajo detectados con eventos de riesgos significativos.

7. ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTO DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 3. Formulación de actividades.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS ESPERADOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Identificar las áreas y puestos de trabajo a posibles eventos de ruido y vibraciones significativos.	Descripción de la hidroeléctrica, áreas a posibles eventos de ruido y vibraciones significativos, los puestos de trabajo y las actividades que desarrollan.	La información permitirá conocer las áreas y el número de trabajadores para cada puesto de trabajo.	Investigación de campo, Matriz de Excel
	Identificación de las fuentes significativas de ruido y vibraciones en el puesto de trabajo.	La información permitirá conocer las fuentes (ruido, vibración), frecuencia y tiempo de exposición.	Investigación de campo, Matriz de Excel
	Selección de la estrategia de medición de ruido, se realizara la ubicación para las respectivas mediciones de vibraciones.	La información permitirá obtener el patrón de trabajo, estrategia, instrumento, y se obtendrá el sistema de coordenadas basicéntricos para mediciones de vibraciones.	Investigación de campo

Determinar los niveles de ruido y vibraciones en los puestos de trabajo detectados con eventos de riesgos significativos, mediante equipos calibrados, sonómetro y vibrómetro.	Medición de los niveles de ruido, vibraciones en los puestos de trabajo y se registrara los datos.	Se obtendrán los valores resultantes por los instrumentos y se procederá a registrar los datos.	Sonómetro, Vibrómetro, Matriz de Excel.
	Tabulación de las mediciones y los datos recogidos.	Se expresara los datos a traves de tablas dinámicas y gráficos.	Matriz de Excel
Evaluar el nivel de exposición al ruido y vibraciones en los puestos de trabajo detectados con eventos de riesgo significativos.	Evaluación de los niveles de ruido, vibraciones en los puestos de trabajo y registrar los resultados sobre la exposición.	Se obtendrá un análisis e interpretación de resultados.	Bibliográfica documental, Matriz de Excel
	Valoración de los niveles de ruido, vibraciones, comparandolos con los límites de exposición permitidas.	La información permitirá conocer si los niveles de exposición están dentro del valor límite.	Bibliográfica documental, Matriz de Excel
	Proponer medidas preventivas y correctivas en los puestos de trabajo evaluados con riesgo intolerable.	Se realizará medidas preventivas y correctivas para puestos de trabajo con riesgo intolerable.	Bibliográfica documental.

Elaborado por: John Paucar (2019).

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. Ruido

Según (CEL, 2008) define que “El ruido es un sonido no deseado. A fin de tener en cuenta que el oído humano reacciona de forma distinta a diferentes frecuencias, la fuerza o intensidad del ruido suele medirse en decibelios con ponderación A [dB(A)]” (pág. 8).

El ruido se clasifica en:

- **Ruido estable:** Aquél cuyo nivel de presión acústica ponderada A (L_{pA}) permanece esencialmente constante. Se considerará que se cumple tal condición cuando la diferencia entre los valores máximo y mínimo de L_{pA} sea inferior a 5 dB (Fisa & Mendaza, 2011).
- **Ruido periódico:** “Aquél cuya diferencia entre los valores máximo y mínimo de L_{pA} es superior o igual a 5 dB y cuya cadencia es cíclica (Fisa & Mendaza, 2011).
- **Ruido aleatorio:** aquél cuya diferencia entre los valores máximo y mínimo de L_{pA} es superior o igual a 5 dB, variando L_{pA} aleatoriamente a lo largo del tiempo” (Fisa & Mendaza, 2011).
- **Ruido de Impacto:** “Aquél cuyo nivel de presión acústica decrece exponencialmente con el tiempo y tiene una duración inferior a un segundo” (Fisa & Mendaza, 2011).

8.2. Sonido

Según Henao (2014) describe que “El sonido son las variaciones de presión que se propagan a través de un medio físico. El sonido es aquel efecto auditivo producido por una vibración del aire, caracterizada por una sucesión periódica en el tiempo y en el espacio” (pág. 21).

8.3. Producción y transmisión del sonido

Henao (2014) afirma que “El sonido se origina en los cuerpos materiales, sólidos, líquidos o gases; animados de movimiento vibratorio y una vez producido, va del cuerpo en vibración (llamado fuente sonora) a otros cuerpos” (pág. 22).

Fuente → Medio → Receptor

El sonido llega a través del aire. Los sólidos y líquidos también lo transmiten. En cambio, el sonido no se transfiere en el vacío (ausencia de medio) (Henaó, 2014, pág. 23).

8.4. Cualidades del sonido

Las cualidades del sonido son:

- **Intensidad:** La intensidad es proporcional al cuadrado de dicha amplitud y se pueden clasificar así los sonidos en fuertes y débiles (Faubel, 2009, pág. 11).
- **Tono:** Es una cualidad mediante la cual se diferencian los sonidos graves de los agudos, de forma que: la sensación sonora aguda procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias elevadas (Faubel, 2009, pág. 11).
- **Timbre:** cualidad mediante la cual se pueden distinguir dos sonidos de igual intensidad e idéntico tono que han sido emitidos por focos sonoros diferentes (Faubel, 2009, pág. 11).
- **Ondas:** Una serie de impulsos regulares producen una onda de movimiento oscilatorio periódico (Faubel, 2009, pág. 11).

8.5. Como percibe el oído el sonido

Según Henaó (2014) argumenta que “El oído tiene una respuesta particular al ruido que no es simplemente la medición de un fenómeno físico sino una sensación auditiva. Llamándose audibilidad a la magnitud de esta sensación auditiva” (pág. 32).

Al aumentar la frecuencia el oído percibe un aumento de tono. Sonidos de frecuencias diferentes e idénticas presiones sonoras son percibidos por el oído con intensidades de sensación diferentes. Las frecuencias graves o las muy agudas, a pesar de tener la misma presión sonora, se perciben más débilmente que las frecuencias medias (Faubel, 2009, pág. 13).

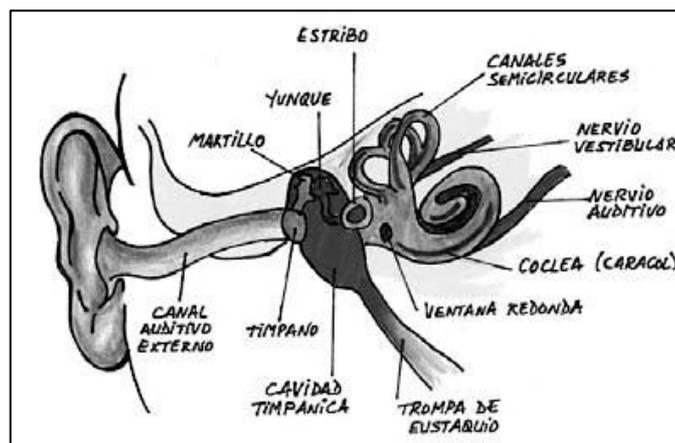
8.6. Nociones sobre anatomía y fisiología del oído

El oído humano tiene unas características extraordinarias, es capaz de responder sobre un intervalo aproximado de 20 a 20000 Hz y a 1kHz, se pueden detectar sonidos que desplazan el tímpano solamente una décima parte del diámetro de la molécula de hidrógeno (Henaó, 2014, pág. 35).

El esquema del sistema auditivo se clasifica en tres partes principales:

- **Oído externo:** Es el órgano de transmisión que recoge las ondas sonoras del ambiente y las envía al interior del oído, que incluye el pabellón de la oreja y el canal auditivo externo (Cortés, 2013, pág. 113).
- **Oído medio:** Está compuesto principalmente por la cavidad timpánica, la membrana timpánica y trompa de Eustaquio (Cortés, 2013, pág. 113).
- **Oído interno:** Esta cavidad ósea se encuentra en continuidad con el oído medio. En la parte anterior de la misma, se encuentra la cóclea que es el órgano específico de la audición (Cortés, 2013, pág. 113).

Figura 1. Estructura del oído humano.

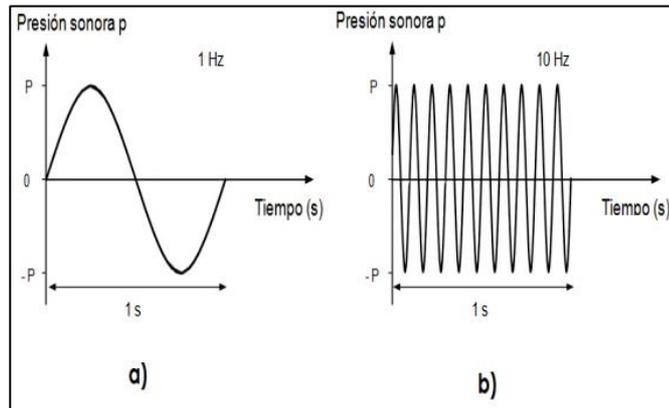


Fuente: Cortés (2013).

8.7.Frecuencia

Según (CEL, 2008) define este término como “La frecuencia es el número de oscilaciones o variaciones de presión en un segundo”; expresada en la figura 2.

Figura 2. Oscilaciones de frecuencia.



Fuente: (Roberto & Paulin, 2010).

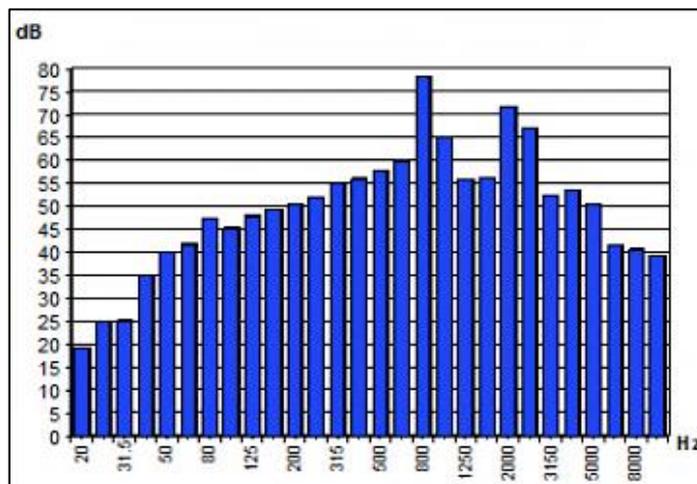
8.8. Decibelio

Según Henao (2014) define “El decibelio (dB) es la unidad adoptada para medir el sonido. El decibel es usado para describir los niveles de presión, potencia o intensidad sonora” (pág. 26).

8.9. Espectro de frecuencia

Para Roberto & Paulin (2010) afirman que “Se refiere a la representación gráfica de las frecuencias que integran a un sonido junto con su correspondiente nivel de presión sonora”, como puede expresarse en la figura 3.

Figura 3. Espectro de frecuencia.



Fuente: (Roberto & Paulin, 2010).

8.10. Nivel de presión acústica ponderado “A”, L_{pA}

Según Cortés (2013) la “Escala de ponderación A se usa para equiparar el posible daño en el oído en función de la distribución energética del nivel de presión sonora al que se esté sometido. Dependiendo de si las frecuencias predominantes son graves, medias o agudas, el oído amortiguará o incluso amplificará ese sonido. Los niveles de presión acústica con filtro de ponderación A expresados en pascales” (pág. 18).

8.12. Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”, $L_{Aeq,Te}$

“Es aquel nivel de ruido constante que posee la misma energía que el ruido variable en el período de tiempo estudiado” (Cortés, 2013, pág. 19), se obtiene mediante la ecuación 1.

$$L_{Aeq,Te} = 10 * \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(10^{0.1 * L_{Aeq,T,n}} \right) \right] dB(A) \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde:

N = número de muestras.

$L_{Aeq,T,n}$ = nivel de presión sonora continuo equivalente de cada medición.

8.13. Nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$

“Es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”, $L_{Aeq,T}$, promediado a un tiempo de exposición de 8 horas” (Cortés, 2013, pág. 20), siendo su ecuación 2.

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left(\frac{T}{8} \right) \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

$L_{Aeq,T}$ = es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”.

T = es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día.

8.14. Nivel de pico, L_{pico}

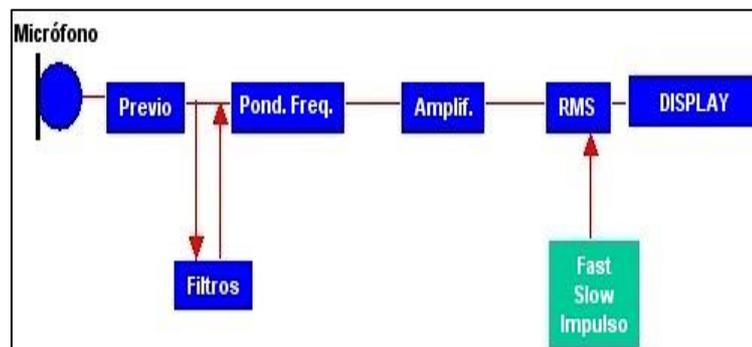
“Es el nivel máximo de la presión acústica instantánea a la que está expuesto un trabajador” (García & Luna, 2012, pág.15).

8.15. Instrumentos de medición para ruido

Sonómetro

“El sonómetro integrador-promediador obtiene el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” y el nivel de pico. En función de la precisión en la medición pueden ser de clase 1 o 2, siendo los primeros más exactos” (Cortés, 2013, pág. 40).

Figura 4. Diagrama de un sonómetro.



Fuente: Castro (2016).

Figura 5. Sonómetro.



Fuente: (Cirrus Research plc, 2015).

Dosímetro

Es un aparato que mide la dosis de ruido recibida por un ser humano durante un fragmento o toda su jornada de trabajo ya que un dosímetro tiene incorporado un sistema que expresa la dosis acumulada en el tiempo de su funcionamiento (Chico, 2014, pág. 20).

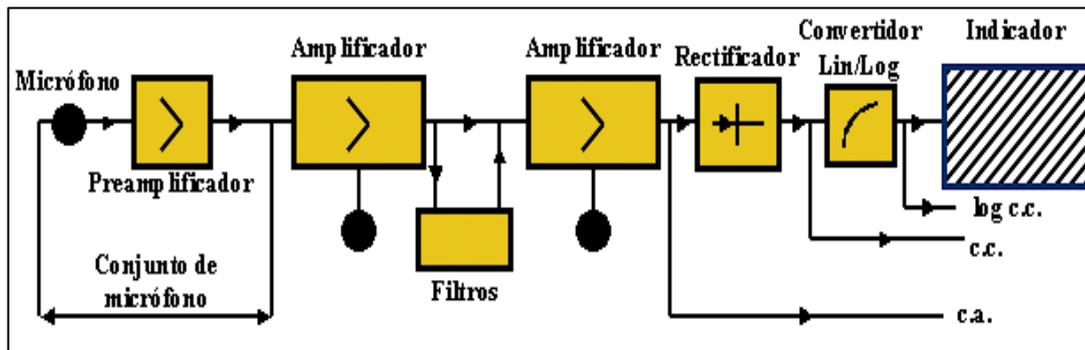
Figura 6. Dosímetro



Fuente: (Cirrus Research plc, 2015).

Diagrama de un dosímetro

Figura 7. Diagrama de un dosímetro.



Fuente: (Práctica, 2011).

8.16. Efectos del ruido en la salud de las personas

Los efectos en la salud de la exposición al ruido dependen del nivel del ruido y de la duración de la exposición. A continuación, se presentan los principales efectos ocasionados por el ruido. (Práctica, 2011):

- Malestar

- Hipertensión (disminución de la capacidad auditiva)
- Diminución del rendimiento
- Influencia en la calidad de sueño
- Hipoacusia
- Pérdida de la audición
- Fatiga y depresión

8.17. Metodología para realizar la medición de ruido, con etapas cronológicas

Se determina que la metodología para la medición de ruido son las siguientes:

Etapa 1: Análisis de trabajo

(INEN, 2014a) establece que “El análisis de trabajo debe proporcionar suficiente información sobre el trabajo y los trabajadores sometidos al estudio, de manera que se pueda escoger la estrategia de medición más adecuada y se puedan planificar las mediciones. Se requerirá un análisis de trabajo en todas las situaciones donde se debe proporcionar la información necesaria” para:

- Describir las actividades de la empresa y las funciones de los trabajadores;
- Identificar las tareas que constituyen las funciones;
- Identificar los posibles eventos de ruido significativos;
- Elegir la estrategia de medición;
- Establecer el plan de medición.

Etapa 2: Selección de la estrategia de medición

La evaluación de exposición al ruido debe tenerse en cuenta todos los eventos significativos, es fundamental seleccionar correctamente la estrategia de medición (INEN, 2014, pág. 15):

- **Medición basada en la tarea:** Para cada tarea, se llevan a cabo mediciones por separado del nivel de presión sonora (Cortés, 2013, pág. 31).

- **Medición basada en la función:** Se toma un cierto número de muestras aleatorias del nivel de presión sonora durante la realización de funciones particulares (INEN, 2014, pág. 15).
- **Medición de una jornada completa:** Se mide el nivel de presión sonora de forma continua a lo largo de jornadas laborales (INEN, 2014, pág. 15):

Figura 8. Selección de la estrategia de medición.

Selección de la estrategia de medición				
Características del puesto de trabajo		Características del puesto de trabajo		
Tipo de puesto	Tipo o pauta de trabajo	Basada en la tarea	Basada en muestreos durante el trabajo (función)	Basada en la jornada completa
FIJO	Tarea simple o una única operación	RECOMENDADA	-	-
FIJO	Tarea compleja o varias operaciones	RECOMENDADA	APLICABLE	APLICABLE
MÓVIL	Patrón de trabajo definido y con pocas tareas	RECOMENDADA	APLICABLE	APLICABLE
MÓVIL	Trabajo definido con muchas tareas o un patrón de trabajo complejo	APLICABLE	APLICABLE	RECOMENDADA
MÓVIL	Patrón de trabajo impredecible	-	APLICABLE	RECOMENDADA
FIJO O MÓVIL	Tarea compuesta de muchas operaciones cuya duración es impredecible	-	RECOMENDADA	APLICABLE
FIJO O MÓVIL	Sin tareas asignadas, a demanda	-	RECOMENDADA	APLICABLE

Fuente: Cortés (2013).

Etapa 3: Mediciones

“Las mediciones se deberían realizar colocando el micrófono al nivel de las posiciones que ocupa la cabeza del trabajador durante la realización habitual de la función o de la tarea (INEN, 2014, pág. 22).

Cuando el/la trabajador/a “tiene que estar presente en su puesto de trabajo, el micrófono se debe colocar o sostener a una distancia entre 0,1 m y 0,4 m de la entrada del canal auditivo externo y en el lado del oído más expuesto (INEN, 2014, pág. 23).

Etapa 4: Tratamiento de errores e incertidumbres

Algunas fuentes de incertidumbre requieren una atención específica para poder reducir su influencia todo lo posible. Las incertidumbres pueden estar causadas tanto por errores como por la variación natural de la situación de trabajo (INEN, 2014, pág. 25).

Etapa 5: Cálculos de la incertidumbre y presentación de los resultados

Las incertidumbres asociadas a la medición de la exposición al ruido se deben determinar de acuerdo con la estrategia escogida según se especifica cada una. En el resultado final se debe indicar el valor medido y el valor de la incertidumbre, la incertidumbre de medición expandida se debe indicar para un intervalo de confianza unilateral de 95% junto con el correspondiente factor de cobertura (INEN, 2014, pág. 25).

8.18. Tiempo de exposición al ruido

Para el caso de ruido continuo, los niveles sonoros, medidos en decibeles con el filtro "A" en posición lenta, que se permitirán, estarán relacionados con el tiempo de exposición según la siguiente tabla 4 (IESS, 2008):

Tabla 4. Tiempo de exposición para ruido continuo con el filtro "A" en posición lenta.

Nivel sonoro dB (A-lento)	Tiempo de exposición por Jornada/hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0.25
115	0.125

Fuente: (IESS, 2008).

Los distintos niveles sonoros y sus correspondientes tiempos de exposición permitidos señalados, corresponden a exposiciones continuas equivalentes en que la dosis de ruido diaria (D) es igual a 1. En el caso de exposición intermitente a ruido continuo, debe considerarse el efecto combinado de aquellos niveles sonoros que son iguales o que excedan de 85 dB (A) (IESS, 2008).

8.19. Vibraciones

La vibración puede describirse como un movimiento oscilatorio de un sistema. El movimiento puede ser armónico simple o tratarse de un movimiento extremadamente complejo. El sistema puede ser gaseoso, líquido o sólido (Henaó, 2014, pág. 130).

Tipos de vibraciones

Según Henaó (2014) las vibraciones se pueden clasificar en:

- **Vibración aleatoria:** es la que consta de muchas frecuencias comprendidas en un amplio intervalo; generalmente se determina con funciones estadísticas ya que son totalmente irregulares (pág. 131).
- **Vibración libre:** se refiere al movimiento que existe cuando un sistema masa-resorte se encuentra libre de fuerzas externas (pág. 131).
- **Vibraciones forzadas:** se produce cuando sobre un sistema masa-resorte actúan fuerzas externas a través de una fuerza oscilante del apoyo (pág. 131).
- **Choques:** son de corta duración y ocurren de forma repentina; se pueden medir y describir por la amplitud de su aceleración, velocidad o desplazamiento (pág. 131).

8.20. Características de las vibraciones

Los efectos que producen las vibraciones mecánicas en el cuerpo humano, dependen fundamentalmente de las siguientes características: magnitud, frecuencia, dirección, tiempo de exposición e impedancia (IDEARA, 2014).

- **Magnitud de la vibración:** La magnitud de una vibración puede medirse en función del desplazamiento producido por dicha vibración. Al tratarse de un movimiento, es posible determinarla en términos de velocidad o aceleración (IDEARA, 2014).
- **Frecuencia:** Las vibraciones producidas por las máquinas generalmente no tienen una frecuencia determinada, sino que son una mezcla de vibraciones de diversas frecuencias (IDEARA, 2014).

- **Dirección en que incide en el cuerpo humano:** Los efectos de la vibración sobre el cuerpo humano dependen de la dirección de incidencia de la misma (IDEARA, 2014).
- **Tiempo de exposición:** El tiempo de exposición es el tiempo que el trabajador/a está sometido a la vibración durante la jornada laboral. (Henaó, 2014, pág. 146).

8.21. Efectos de las vibraciones en la salud de las personas

Las vibraciones pueden causar efectos muy diversos que van desde la simple molestia hasta alteraciones graves de la salud, pasando por la interferencia en la actividad humana (en la ejecución de ciertas tareas como la lectura, en la pérdida de precisión al ejecutar movimientos, pérdida de rendimiento debido a la fatiga, etc.) (Gómez, 2012, pág. 7).

En la tabla 5 se detallan los efectos de las vibraciones:

Tabla 5. Efectos de las vibraciones.

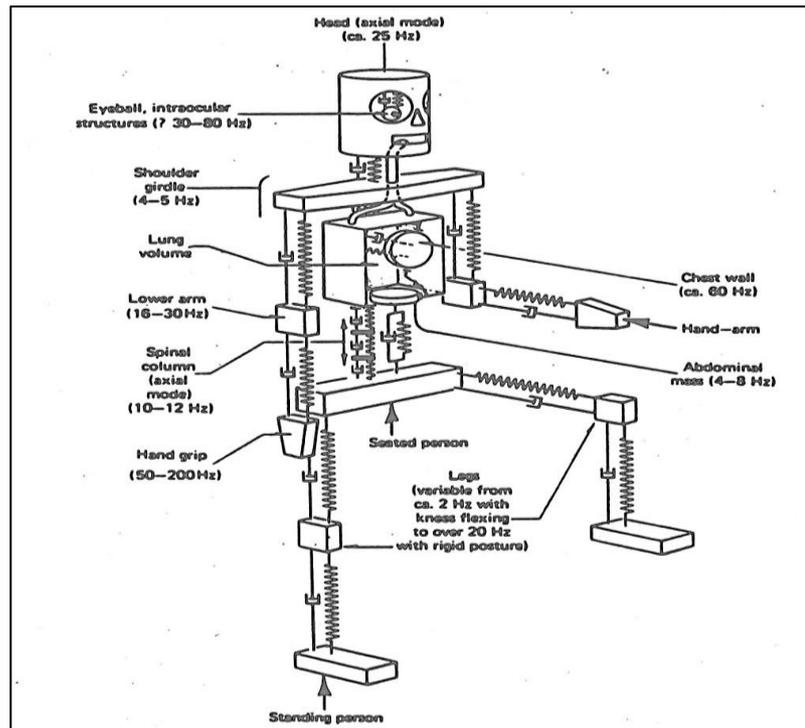
Efectos para la salud	Otros efectos
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema músculo-esquelético particularmente trantornos a nivel de la columna vertebral. • Alteraciones de las funciones fisiológicas. • Alteraciones neuromusculares. • Alteraciones cardiovasculares, respiratorias, endocrinas y metabólicas. • Alteraciones sensoriales y del sistema nervioso central. 	<ul style="list-style-type: none"> • Malestar (disconfort). • Interferencia con la actividad. • Percepción. • Mareo inducido por el movimiento.

Fuente: Gómez (2012).

Según Henaó (2014) afirma “La respuesta del cuerpo humano a las vibraciones es en general compleja y difícilmente simplificable. No obstante, es posible, hacer una serie de simplificaciones, reduciéndolo a un conjunto de masas interconectadas elásticamente y que pueden moverse en más de una dirección. A partir de este esquema, es posible encontrar cuales son las frecuencias de resonancia, para cada uno de los sistemas de articulaciones, músculos y órganos más representativos del cuerpo” (pág. 96).

En la figura 9 aparece el mencionado esquema.

Figura 9. Sistema mecánico que representa el cuerpo humano sobre una plataforma vibrante.



Fuente: Henao (2014).

8.22. Medición de vibraciones

Este monitoreo consiste en evaluar el agente físico presente en el ambiente de trabajo. Las vibraciones, generadas por equipos o máquinas utilizadas a menudo en el ámbito laboral, generan consecuencias significativas sobre el cuerpo humano (Henao, 2014, pág. 148).

Cuando las superficies vibrantes entran en contacto con el cuerpo o alguna de sus partes se produce una agresión mecánica cuyos efectos pueden ser la incomodidad, la reducción de eficiencia o inclusive lesiones (Henao, 2014, pág. 148).

8.22.1. Dirección de la medición

Las vibraciones deben medirse en relación a un sistema de coordenadas que parta desde un punto desde el que se considera que las vibraciones entran en el cuerpo humano (INEN, 2014).

8.22.2. Localización de la medición

Los transductores deben situarse para determinar la vibración en el punto de contacto entre el cuerpo humano y la fuente de vibración por eso la vibración que se transmite al cuerpo debe medirse sobre la superficie entre el cuerpo y dicha superficie (INEN, 2014).

Las tres áreas principales para medir vibraciones transmitidas al cuerpo completo son:

- **Para personas sentadas:** Las mediciones sobre la superficie de apoyo del asiento deben realizarse bajo la tuberosidad isquial y las mediciones en el respaldo del asiento deberían realizarse en el área principal de apoyo del cuerpo (INEN, 2014).
- **Para personas paradas:** Las mediciones en los pies deben realizarse sobre la superficie en la que los pies se apoyan más frecuentemente (INEN, 2014).
- **Para posiciones tumbadas:** Se considera como superficie de apoyo la que se encuentra bajo la pelvis, la espalda y la cabeza (INEN, 2014).

8.22.3. Duración de la medición

Debe ser una duración suficiente como para asegurar la precisión estadística razonable y que la vibración sea típica de las exposiciones que están siendo evaluadas, cuando la exposición completa conste de varios periodos de diferentes características, podrá requerirse un análisis separado de los diferentes periodos (INEN, 2014).

8.23. Instrumento de medición para la vibración

Para Soto (2012) “En el caso de las vibraciones, lo que se mide es la aceleración, la velocidad o el desplazamiento de la vibración. En la aceleración sus unidades son m/s^2 , el vibrómetro que, seleccionando la frecuencia con un filtro, convierte la aceleración de una vibración en una señal eléctrica, mediante un indicador nos determina el valor en las unidades pertinentes de dicha aceleración, el vibrómetro dispone de un acelerómetro para medir la aceleración.” (pág. 44).

Figura 10. Vibrómetro.



Fuente: (Cirrus Research plc, 2015).

8.24. Tipos de transmisiones de vibraciones mecánicas

Se considera dos tipos de transmisiones vibraciones mecánicas al cuerpo:

- **Vibraciones transmitidas al sistema mano – brazo:** Son las que transmiten su energía al cuerpo humano a través de la mano y el brazo, cuyo origen hay que buscar, por regla general, en las herramientas portátiles (Senovilla, 2009).
- **Vibraciones transmitidas al cuerpo completo:** Son aquellas que el cuerpo recibe cuando gran parte de su peso descansa sobre una superficie vibrante (Senovilla, 2009).

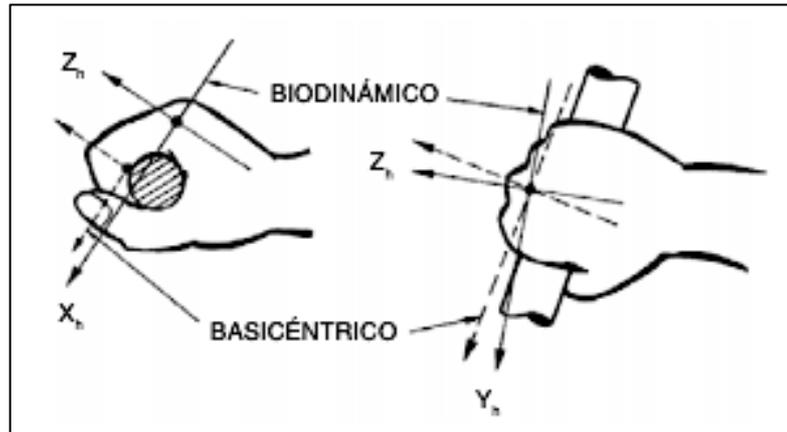
8.25. Evaluación de la exposición sistema mano – brazo

Tenemos el sistema biodinámico para establecer los ejes:

- **Eje z:** dirección del eje longitudinal del tercer hueso metacarpiano. Sentido positivo hacia la extremidad distal del dedo (Senovilla, 2009).
- **Eje x:** dirección dorso – palma. Sentido positivo hacia la palma (Senovilla, 2009).
- **Eje y:** dirección perpendicular a los otros dos. Sentido positivo hacia el pulgar (Senovilla, 2009).

Aunque en la práctica se suele usar el sistema basicéntrico que es igual al biodinámico, aunque rotado alrededor del eje x de forma que el eje y coincida con la línea de los nudillos y por tanto con el eje de agarre de las máquinas (Senovilla, 2009, pág. 4).

Figura 11. Ejes de referencia al sistema mano-brazo.



Fuente: Senovilla (2009).

Para Senovilla (2009) “La evaluación se basa en el cálculo del valor total de la aceleración eficaz de las vibraciones mano-brazo”, expresada en la ecuación 3:

$$A_{hv,eq} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad \text{ecuación (3)}$$

Donde:

a_{hwx} : valor de la aceleración en m/s^2 para el eje x.

a_{hwy} : valor de la aceleración en m/s^2 para el eje y.

a_{hwz} : valor de la aceleración en m/s^2 para el eje z.

$A_{hv,eq}$: valor total de la aceleración eficaz de las vibraciones.

Para el nivel de exposición diario a vibraciones mano-brazo normalmente en una jornada laboral de 8 horas se determina por la ecuación 4:

$$A_{hv,eq(d)} = A_{hv,eq(T)} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}} \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

T_{exp} : Tiempo de exposición a la vibración.

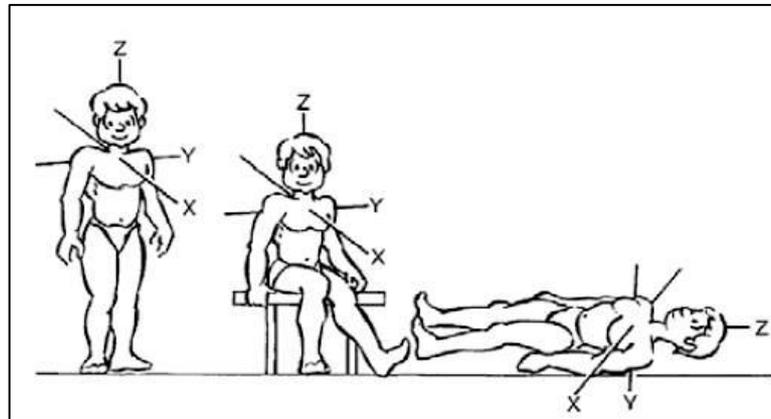
T_0 : Tiempo de referencia establecido en 8 horas de trabajo.

8.26. Evaluación de la exposición a cuerpo completo

El sistema de coordenadas para esta evaluación se compone de los ejes x, y, z:

- **Eje x:** dirección espalda – pecho. Sentido positivo hacia al frente.
- **Eje y:** dirección hombro – hombro. Sentido positivo hacia el hombro izquierdo.
- **Eje z:** dirección pies – cabeza. Sentido positivo hacia la cabeza.

Figura 12. Ejes de referencia para el cuerpo completo.



Fuente: Senovilla (2009).

Para tener una base en el cálculo del valor de exposición diaria, tomando en cuenta que normalmente las jornadas de trabajo diarias son de 8 horas, calculada como el mayor de los valores eficaces de las aceleraciones ponderadas en frecuencia según los tres ejes ortogonales (a_{wx} , a_{wy} , a_{wz}) para personas que trabajan sentadas o de pie (Senovilla, 2009, pág. 3), y para este cálculo tenemos las ecuaciones 5, 6, 7:

$$A_{wx(d)} = 1,4 * a_{wx} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}} \quad \text{ecuación (5)}$$

$$A_{wy(d)} = 1,4 * a_{wy} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}} \quad \text{ecuación (6)}$$

$$A_{wz(d)} = a_{wz} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}} \quad \text{ecuación (7)}$$

Donde:

A_{wx} : aceleración ponderada diaria respecto del eje x.

A_{wy} : aceleración ponderada diaria respecto del eje y.

A_{wz} : aceleración ponderada diaria respecto del eje z.

T_0 : duración de referencia de 8 horas.

T_{exp} : tiempo de exposición.

8.27. Valores límite de exposición y valores que dan lugar a una acción

Existen dos tipos de valores límite (medidos en m/s^2):

- **Valor límite de exposición:**

Se interpreta como el valor por encima del cual es probable la aparición de efectos adversos para la salud de los trabajadores expuestos (CEL, 2008).

- **Valor que da lugar a una acción:**

Se puede interpretar como un valor seguro, es decir, por debajo de él no hay evidencia de que se hayan producido efectos adversos (CEL, 2008).

En la siguiente tabla se presentan los valores máximos especificados por el Real Decreto 1311/2005:

Tabla 6. Valores que dan lugar a una acción y valores límite.

RD 1311/2005	Mano-brazo	Cuerpo entero
Valor límite de exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de 8h	5 m/s^2	1,15 m/s^2
Valor de exposición diaria de normalizado para un periodo de referencia de 8h que da lugar a una acción	2,5 m/s^2	0,5 m/s^2

Fuente: (DECRETO, 2009).

8.28. Legislación en Seguridad y Salud en el Trabajo

Seguridad, salud en el trabajo y gestión integral de riesgos

La Dirección de Seguridad, Salud en el Trabajo y Gestión Integral de Riesgos del Ministerio Rector del Trabajo existe desde que la ley determinara que “los riesgos del trabajo son de cuenta del empleador” y que hay obligaciones, derechos y deberes de cumplimiento técnico-legal en materia de prevención de riesgos laborales, con el fin de velar por la integridad físico-mental de los trabajadores (Ministerio del Trabajo, 2012).

Marco Legal

La implementación de acciones en seguridad y salud en el trabajo, se respalda en el Art. 326, numeral 5 de la Constitución del Ecuador, en Normas Comunitarias Andinas, Convenios Internacionales de la OIT, Código del Trabajo, Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Acuerdos Ministeriales (Ministerio del Trabajo, 2012).

Tabla 7. Lista de archivos de legislación en seguridad y salud en el trabajo.

Lista de archivos	
Normativa legal	Decreto Ejecutivo 2393. Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores.
Normativa Técnica INEN:	<ul style="list-style-type: none"> • NTE INEN-ISO 9612:2014. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. • NTE INEN-ISO 2631-1:2014. Evaluación de la exposición de los seres humanos a la vibración en todo el cuerpo.
Convenios internacionales	<ul style="list-style-type: none"> • NTP 270, Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos. • NTP 839, Exposición a vibraciones mecánicas. Evaluación del riesgo

Fuente: (Ministerio del Trabajo, 2012).

9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS

- ¿La identificación de ruido y vibraciones ayudará a disminuir los factores de riesgo físicos en la Central Hidroeléctrica Pucará en el periodo septiembre 2019 - febrero 2020?
- ¿La medición de ruido y vibraciones permitirá conocer los valores significativos en la Central Hidroeléctrica Pucará en el periodo septiembre 2019 - febrero 2020?
- ¿La evaluación de ruido y vibraciones contribuirá a conocer los puestos de trabajo con riesgo intolerable en la Central Hidroeléctrica Pucará en el periodo septiembre 2019 - febrero 2020?

10. METODOLOGÍA

10.1. Modalidad de investigación

Para el presente estudio de investigación se ha considerado las siguientes modalidades de proyecto:

Tabla 8. Modalidad de proyecto según los objetivos planteados.

Modalidades de proyecto	
Objetivo	Modalidad
Identificar las áreas y puestos de trabajo a posibles eventos de ruido y vibraciones significativos.	Investigación de campo.
Determinar los niveles de ruido y vibraciones en los puestos de trabajo detectados con eventos de riesgos significativos, mediante equipos calibrados.	Investigación de campo.

<p>Evaluar el nivel de exposición al ruido y vibraciones en el personal de la Central Hidroeléctrica Pucará, en los puestos de trabajo detectados con eventos de riesgo significativos.</p>	<p>Bibliográfica documental</p>
---	---------------------------------

Elaborado por: John Paucar (2019).

10.1.1. Investigación de campo

Se a considerado esta modalidad de investigación ya que se procederá a la recolección de datos de ruido y vibraciones directamente de los trabajadores donde ocurren los hechos de riesgo de exposición en los puestos de trabajo que laboran.

10.1.2. Documental y bibliográfica

Se acogió la información a partir de documentos escritos, libros, tesis, manuales, artículos científicos, internet y de diferentes fuentes para ser utilizados dentro del propósito de profundizar, ampliar el conocimiento y criterios de diferentes autores.

10.2. Recolección de información

La recolección de la información se realiza utilizando el método de observación en el área de casa de máquinas, en los puestos de trabajo que estén expuestos a riesgos de ruido y vibraciones.

10.3. Procesamiento y análisis de datos

10.3.1. Caracterización de los puestos de trabajo

A partir de la observación se procede a registrar las condiciones del trabajo, detallar las actividades y fuentes de ruido, vibraciones en cada puesto de trabajo.

10.3.2. Selección de los instrumentos de medición

Los equipos seleccionados para la medición basada en el puesto de trabajo es un sonómetro clase 2 marca CASELLA 63x cumpliendo la Norma IEC 61672-1:2002. Un vibrómetro de 3 ejes marca SVANTEK 958A cumpliendo la ISO 8041:2005. Los certificados de calibración de los equipos se pueden observar en los Anexos 6, 7 y 8.

10.3.3. Procedimiento de evaluación para ruido basada en el puesto de trabajo

El procedimiento para evaluar el ruido se detalla a continuación:

- **Objetivo:** establecer técnicas y directrices para medir los niveles de ruido utilizando como estrategia de medición (basada en el puesto de trabajo), en el área casa de máquinas y puestos de trabajo identificados con eventos de riesgo de vibraciones significativas de la Central Hidroeléctrica Pucará.
- **Alcance:** destinada a los puestos de trabajo identificados con eventos de riesgos de ruido significativos.
- **Periodicidad:** según establece el Real Decreto 286/2006, sobre la protección de la salud de los trabajadores contra riesgos de exposición al ruido, se debe realizar evaluaciones cada año en los puestos de trabajo que tengan valores de exposición superior a los 85dBA con ruido continuo de 8 horas de trabajo.
- **Tipo de ruido:** se verifica el tipo de ruido en cada puesto de trabajo ya sea (ruido estable, periódico, aleatorio o de impacto).
- **Calibración del equipo:** el instrumento de medición para ruido debe tener un certificado de calibración para respaldar los datos de medición.
- **Número de mediciones:** se realiza seis mediciones por cada puesto de trabajo.
- **Comparación del nivel de exposición:**
- **Bibliografía:** Decreto Ejecutivo 2393, NTE INEN-ISO 9612 y NTP 270.

10.3.4. Procedimiento de evaluación para vibraciones transmitidas al cuerpo entero

El procedimiento para evaluar las vibraciones se detalla a continuación:

- **Objetivo:** establecer técnicas y directrices para medir los niveles de vibraciones transmitidas al cuerpo entero en el área casa de máquinas y puestos de trabajo identificados con eventos de riesgo de vibraciones significativas de la Central Hidroeléctrica Pucará.
- **Alcance:** destinada a los puestos de trabajo identificados con eventos de riesgos de vibraciones significativos.
- **Periodicidad:** según el Decreto Ejecutivo 2393 reglamento de seguridad y salud de los trabajadores se debe realizar cada año en los puestos de trabajo que este presente el riesgo de vibraciones.
- **Calibración del equipo:** el instrumento de medición para vibraciones debe tener un certificado de calibración para respaldar los datos de medición.
- **Número de mediciones:** se escogen 3 mediciones por cada puesto de trabajo.
- **Comparación del nivel de exposición:**
- **Bibliografía:** Decreto Ejecutivo 2393, NTE INEN-ISO 2631-1 y NTP 839.

10.3.5. Procesamiento de la información

Método de cálculo para el nivel de exposición al ruido equivalente diario con ponderación “A” y su incertidumbre

Para el (INSHT, 2018) el “cálculo del nivel de exposición al ruido con ponderación “A” y su incertidumbre de medición se lo realiza utilizando el software del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), cumpliendo con la norma UNE -EN ISO 9612 Determinación de la exposición al ruido en el trabajo”.

Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”, $L_{Aeq,Te}$ y la incertidumbre

Para comparar verificar los valores obtenidos del software se procede a calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente $L_{Aeq,Te}$, para cada puesto de trabajo identificado con eventos de riesgo significativos mediante la ecuación 1:

$$L_{Aeq,Te} = 10 * \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(10^{0.1 * L_{Aeq,T,n}} \right) \right] dB(A) \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde:

N= número de muestras.

$L_{Aeq,T,n}$ = nivel de presión sonora continuo equivalente de cada medición.

Una vez obtenido el nivel de presión sonora continuo equivalente se procede a calcular el nivel de exposición al ruido equivalente diario $L_{Aeq,d}$ con la ecuación 2:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left(\frac{T}{8} \right) \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

$L_{Aeq,T}$, = es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”.

T = es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día.

La incertidumbre combinada estándar para el nivel de exposición diario u ($L_{Aeq,d}$) se calcula a partir de las distintas contribuciones c_i , u_i , de las diferentes componentes de incertidumbre, según la ecuación 8 (García & Luna, 2012b).

$$u^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad \text{ecuación (8)}$$

Donde:

u : incertidumbre combinada estándar.

$c_1 u_1$: factor en función de N y del cálculo de u_1 .

u_2 : incertidumbre típica del instrumento.

u_3 : incertidumbre generada por la posición del micrófono.

c_1 : coeficientes de sensibilidad del tipo de instrumento.

c_2 : coeficientes de sensibilidad de la posición del micrófono.

El valor del factor $c_1 u_1$ es función del número de mediciones, N, llevadas a cabo durante el muestreo y del valor de la componente de incertidumbre u_1 asociada a los valores de $L_{Aeq,T,n}$ obtenidos (García & Luna, 2012b). El valor se calcula según la ecuación 9.

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - \bar{L}_{Aeq,T,n})^2 \right]} \quad \text{ecuación (9)}$$

Donde:

$\bar{L}_{Aeq,T,n}$ = es la media aritmética de las N muestras del nivel de presión sonora continuo.

u_1 = incertidumbre asociada a los valores de $L_{Aeq,T,n}$.

Cabe destacar que el valor de u_1 sólo se calcula para utilizarlo como entrada en la de la NTE INEN-ISO 9612, mostrado en la figura 13, junto con el valor de N, y obtener el valor del factor $c_1 u_1$.

Figura 13. Valores (en dB) del factor $c_1 u_1$.

N	Incertidumbre estándar u_1											
	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

Fuente: (García & Luna, 2012a).

Los coeficientes de sensibilidad c_2 y c_3 debidos, respectivamente al instrumento empleado y a la disposición del micrófono valen ambos la unidad (INEN, 2014a).

Para (García & Luna, 2012a) “El valor de u_2 correspondiente a la incertidumbre típica por el tipo de instrumento empleado”, se puede observar en la tabla de la NTE INEN-ISO 9612, la misma que se muestra a continuación en la figura 14.

Para (García & Luna, 2012b) “La norma NTE INEN-ISO 9612, basándose en datos empíricos, considera que la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono es de 1.0 dB, entonces se tiene que $u_3 = 1 \text{ dB}$ ”.

Figura 14. Incertidumbre típica, u_2 , de los instrumentos.

Tipo de instrumento	Desviación típica u_2 (o $u_{2,m}$) dB
Sonómetro de clase 1, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002	0,7
Exposímetro sonoro personal, según se especifica en la Norma IEC 61252	1,5
Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002	1,5

Fuente: (INEN, 2014a).

A partir de la incertidumbre estándar combinada, u , se obtiene la incertidumbre expandida, U , que aporta el intervalo dentro del cual se encuentra el valor del mensurando con un determinado nivel de confianza. Se calcula multiplicando la incertidumbre estándar combinada, u , por un factor de cobertura, k , que es función del nivel de confianza que queremos asumir (García & Luna, 2012a).

(García & Luna, 2012a) “El intervalo de confianza unilateral o un intervalo de confianza bilateral simétrico, en la figura 15 describe los niveles de confianza y el valor de k según el intervalo que se seleccione”.

Figura 15. Valores del factor de cobertura, k .

Nivel de confianza	k	
	Intervalo bilateral simétrico	Intervalo unilateral
90	1,645	1,2816
95	1,96	1,645
95.45	2	-
97.5	-	1,96

Fuente: (García & Luna, 2012a).

La norma NTE INEN-ISO 9612, propone un intervalo unilateral con un 95% de nivel de confianza, por lo tanto, se tiene que $k = 1,645$. Para calcular la incertidumbre expandida se aplica la ecuación 10 (Pico, 2019).

$$U = k * u$$

ecuación (10)

Donde:

U: incertidumbre expandida

k: factor de cobertura

u: incertidumbre combinada estándar

Evaluación del nivel de exposición al ruido

Se basa en el decreto ejecutivo 2393 (reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo), se fija como límite máximo de presión sonora el de 85 dB medidos con el filtro o escala A en posición lenta “Slow” para el trabajo continuo de una jornada de 8 horas (IESS, 2008).

Se toma el valor calculado del nivel de exposición al ruido equivalente diario y se compara con el valor límite máximo del decreto ejecutivo 2393, según la ecuación 11 (Pico, 2019).

$$D = \frac{L_{Aeq,d} (dBA)}{85 (dB)} \quad \text{ecuación (11)}$$

Donde:

D: dosis de exposición al ruido

$L_{Aeq,d}$: nivel de exposición al ruido diario

Cálculo del nivel de exposición diaria a vibraciones transmitidas a cuerpo completo y su incertidumbre

Se utiliza los cálculos del método general de la incertidumbre estándar tipo A para calcular el nivel de exposición diaria a vibraciones transmitidas al cuerpo completo y la incertidumbre de la medición. Los valores eficaces de la aceleración ponderada medidos (a_{wxm} , a_{wym} , a_{wzm}) de cada eje en cada puesto de trabajo se promedian mediante la fórmula de la media aritmética expresada en la ecuación 12 (Pico, 2019).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{ecuación (12)}$$

Donde: \bar{x} : media aritmética n : número de mediciones realizadas x_i : valor de la medición

Con la media aritmética de cada eje en los puestos de trabajo se calcula las exposiciones diarias a vibraciones.

La varianza experimental de las mediciones es la dispersión de los resultados y se determina por la ecuación 13 (Pico, 2019):

$$s^2(x) = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (\bar{x} * x_i)^2 \quad \text{ecuación (13)}$$

Donde: $s^2(x)$: varianza experimental

La varianza del promedio es un estimador sesgado de la varianza de la media de las muestras, y se determina según la ecuación 14 (Pico, 2019):

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s^2(x)}{n} \quad \text{ecuación (14)}$$

Donde: $s^2(\bar{x})$: varianza de la media

La desviación estándar del promedio es la raíz cuadrada positiva de la varianza del promedio según la ecuación 15 (Pico, 2019):

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad \text{ecuación (15)}$$

Donde: $s(\bar{x})$: desviación estándar de la media

Para las mediciones menores o iguales que 10 la incertidumbre estándar tipo A se calcula mediante la ecuación 16 (Pico, 2019):

$$u_A = t_p(v) * s(\bar{x}) \quad \text{ecuación (16)}$$

Donde:

u_A : incertidumbre estándar “verdadera” o teórica tipo A

$t_p(v)$: se obtiene a partir de la distribución t-Student para el número de grados de libertad (n-1)

Con el número de observaciones se recurre a la tabla de la figura 16 para obtener el valor de $t_p(v)$, en esta investigación se usa el nivel de confianza del 95,45%.

Figura 16. Distribución t-Student.

Numero de Observaciones	Grados de libertad (n-1)	Nivel de confianza					
		99%	98%	95,46%	0,9	0,8	68
2	1	63,66	31,82	13,97	6,31	3,06	1,82
3	2	9,92	6,96	4,53	2,92	1,89	1,31
4	3	5,84	4,54	3,31	2,35	1,64	1,19
5	4	4,6	3,75	2,87	2,13	1,53	1,13
6	5	4,03	3,36	2,65	2,02	1,48	1,1
7	6	3,71	3,14	2,52	1,94	1,44	1,08
8	7	3,5	3	2,43	1,89	1,41	1,07
9	8	3,36	2,9	2,37	1,86	1,4	1,06
10	9	3,25	2,82	2,32	1,83	1,38	1,05
11	10	3,17	2,76	2,28	1,81	1,37	1,05
12	11	3,11	2,72	2,25	1,8	1,36	1,04
13	12	3,05	2,68	2,23	1,78	1,36	1,04
14	13	3,01	2,65	2,21	1,77	1,35	1,03
15	14	2,98	2,62	2,2	1,76	1,35	1,03
16	15	2,95	2,6	2,18	1,75	1,34	1,03
17	16	2,92	2,58	2,17	1,75	1,34	1,03
18	17	2,9	2,57	2,16	1,74	1,33	1,02
19	18	2,88	2,55	2,15	1,73	1,33	1,02
20	19	2,66	2,54	2,14	1,73	1,33	1,02
Infinito	Infinito	2,58	2,33	2	1,64	1,28	1

Fuente: (Reyes, 2016).

Evaluación del nivel de exposición a vibraciones

En la Nota Técnica de Prevención 839 (NTP 839) para vibraciones transmitidas al cuerpo completo se establece que si el valor de aceleración ponderada en cualquier eje es menor $0,5 \text{ m/s}^2$, la situación es aceptable y el riesgo es tolerable, si el valor esta entre $0,5 \text{ m/s}^2$ y $1,15 \text{ m/s}^2$, es una situación de riesgo y se debe dar lugar a una acción para mitigar las vibraciones, si el valor calculado sobrepasa el $1,15 \text{ m/s}^2$, es considerado un riesgo intolerable (Senovilla, 2009).

Se toma el mayor valor calculado de exposición diaria a vibraciones en los ejes de cada puesto de trabajo y se lo compara con los valores límites de la NTP 839 (Senovilla, 2009).

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1. Información de la empresa

La Central Hidroeléctrica Pucará está ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Santiago de Píllaro, parroquia San José de Poaló, sector Pucará, el proyecto hidroeléctrico fue concebido para aprovechar el recurso hídrico de la zona proveniente de lagos que está localizada en la Cordillera Oriental de los Andes, el embalse Pisayambo está ubicado dentro del Parque Nacional Llanganates.

La presa de Pisayambo tiene un volumen total de almacenamiento de 100'706.000 metros cúbicos de agua, de los cuales 90'000'000 de metros cúbicos son de volumen útil. La altura de nivel máximo de almacenamiento es de 3.565 m.s.n.m. y la altura de nivel mínimo de operación es de 3.541 m.s.n.m.

Figura 17. Presa de Pisayambo.



Fuente: (CELEC EP, 2019).

Al reservorio de Pisayambo aportan los Ríos:

- El Roncador
- El Milín
- El Tambo
- Talatag

- Quillopaccha

Los ríos mencionados son conducidos al embalse mediante obras de captación.

La central hidroeléctrica Pucará es subterránea, al mismo que se ingresa por un túnel de acceso de 234 m. de longitud. Las turbinas que trabajan dentro de la central son de tipo Pelton de 6 inyectoros, de eje vertical, estas poseen una potencia normal de 36.5 MW cada turbina, siendo su gasto de agua por turbina de 9.3 m³/seg, la sala de Controles de la central se encuentra ubicada en la Casa de Máquinas.

Figura 18. Ingreso al área de Casa de Máquinas.



Fuente: (CELEC EP, 2019).

11.2. Descripción de las áreas a posibles eventos de ruido y vibraciones

Dentro de las áreas a posibles eventos de ruido y vibraciones significativas se a considerado notablemente que existe estos riesgos en el área de Casa de Máquinas, siendo el punto principal para el presente estudio, verificar el Anexo 1.

11.2.1. Clasificación del área y sus puestos de trabajo

Se identificó casa de máquinas como el área con mayor riesgo de ruido y vibraciones, y de igual manera se identificó sus puestos de trabajo utilizando como técnica la observación, en la tabla 9 se detalla los puestos de trabajo.

Tabla 9. Clasificación de los puestos de trabajo.

Clasificación de los puestos de trabajo			
Área	Puesto de trabajo	Número de trabajadores	Genero
Casa de máquinas	Operador sala de control	4	Masculino/Femenino
	Operador casa de máquinas	4	Masculino
	Supervisor de operación	2	Masculino

Fuente: (CELEC EP, 2019).

11.3. Análisis de los puestos de trabajo

Es fundamental realizar un análisis de cada puesto de trabajo tomando en cuenta las actividades que realizan, y principalmente detallar las fuentes de ruido y vibraciones, la frecuencia y el tiempo a la que los trabajadores están expuestos, en las tablas 10, 11 y 12 se detallan.

Tabla 10. Características del puesto de trabajo de operador sala de control.

		Nº revisión: 01	Fecha: 27/11/2019
		Realizado por: John Paucar	Aprobado por: MSc. Jorge Freire
Área:	Casa de Máquinas		
Puesto de trabajo:	Operador sala de control Piso Sala de control		
Nº de trabajadores:	1 por turno		
Horarios:	23:30 – 07:30		
	07:30 – 15:30		
	15:30 – 23:30		
Posición de trabajo:	Sentado – De pie		
Tipo de trabajo (Fijo o móvil):	Fijo		

Localización:	Dentro de casa de máquinas.	
Exposición a ruido y vibraciones		
Fuentes de ruido	Frecuencia de exposición	Tiempo de exposición
Generador U1	Muy frecuente	8 horas
Generador U2	Muy frecuente	8 horas
Bombas de enfriamiento	Frecuente	2 horas
Compresor	Frecuente	1 hora
Fuentes de vibración	Frecuencia de exposición	Tiempo de exposición
Estructural debido a la cercanía con los generadores U1 y U2.	Muy frecuente	8 horas
Actividades realizadas		
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos. • Informe diario por turno. • Supervisión de trabajo diario. • Maniobras en sistema de control. • Coordinación de despachos de carga con CENACE. • Verificación de parámetros operativos de los equipos. • Levantamiento de registros operativos y novedades presentadas. 		
Tipo de ruido		
<p>En el presente puesto de trabajo se ha considerado como tipo de ruido estable porque es emitido por el tipo de fuente y que presentan una diferencia del nivel de presión acústica ponderada A entre los valores máximo y mínimo es inferior de 5 dB.</p>		

Elaborado por: John Paucar (2019).

Fuente: (CELEC EP, 2019).

Tabla 11. Características del puesto de trabajo de operador casa de máquinas.

		Nº revisión: 01	Fecha: 27/11/2019
		Realizado por: John Paucar	Aprobado por: MSc. Jorge Freire
Área:	Casa de Máquinas		
Puesto de trabajo:	Operador casa de máquinas. Piso sala de control.		
Nº de trabajadores:	1 por turno		
Horarios:	23:30 – 07:30		
	07:30 – 15:30		
	15:30 – 23:30		
Posición de trabajo:	Sentado – De pie		
Tipo de trabajo (Fijo o móvil):	Fijo		
Localización:	Dentro de casa de máquinas.		
Exposición a ruido y vibraciones			
Fuentes de ruido	Frecuencia de exposición	Tiempo de exposición	
Generador U1	Muy frecuente	8 horas	
Generador U2	Muy frecuente	8 horas	
Bombas de enfriamiento	Frecuente	2 horas	
Compresores de regulación	Frecuente	1 hora	
Compresores de servicio	Frecuente	1 hora	
Fuentes de vibración	Frecuencia de exposición	Tiempo de exposición	
Estructural debido a la cercanía con los generadores U1 y U2.	Muy frecuente	8 horas	
Actividades realizadas			
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos. 			

- Informe diario por turno.
- Supervisión de trabajo diario.
- Maniobras en sistema de control.
- Coordinación de despachos de carga con CENACE.
- Verificación de parámetros operativos de los equipos.
- Levantamiento de registros operativos y novedades presentadas.

Tipo de ruido

En el presente puesto de trabajo se ha considerado como tipo de ruido estable porque es emitido por el tipo de fuente y que presentan una diferencia del nivel de presión acústica ponderada A entre los valores máximo y mínimo es inferior de 5 dB.

Elaborado por: John Paucar (2019).

Fuente: (CELEC EP, 2019).

Tabla 12. Características del puesto de trabajo de supervisor de operación.

		Nº revisión: 01	Fecha: 27/11/2019
		Realizado por: John Paucar	Aprobado por: MSc. Jorge Freire
Área:	Casa de Máquinas		
Puesto de trabajo:	Supervisor de operación Piso principal y sala de control.		
Nº de trabajadores:	2		
Horarios:	07:30 – 15:30		
Posición de trabajo:	Sentado – De pie		
Tipo de trabajo (Fijo o móvil):	Fijo		
Localización:	Dentro de casa de máquinas.		
Exposición a ruido y vibraciones			
Fuentes de ruido	Frecuencia de exposición	Tiempo de exposición	
Generador U1	Frecuente	8 horas	
Generador U2	Frecuente	8 horas	
Actividades realizadas			
<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión de trabajo diario. • Verificación de parámetros operativos de los equipos. • Levantamiento de registros operativos y novedades presentadas. 			
Tipo de ruido			
<p>En el presente puesto de trabajo se ha considerado como tipo de ruido estable porque es emitido por el tipo de fuente y que presentan una diferencia del nivel de presión acústica ponderada A entre los valores máximo y mínimo es inferior de 5 dB.</p>			

Elaborado por: John Paucar (2019).

Fuente: (CELEC EP, 2019).

11.4. Selección de la estrategia para la medición de ruido.

En el presente estudio la selección de la estrategia de medición de ruido es primordial porque se toma en consideración las características significativas de los puestos de trabajo y a partir de su patrón de trabajo se escogerá la estrategia, en la tabla 13, se determinará el patrón de trabajo y la estrategia de medición en cada puesto de trabajo del área casa de máquinas de la Central Pucará.

Tabla 13. Selección de la estrategia de medición de ruido.

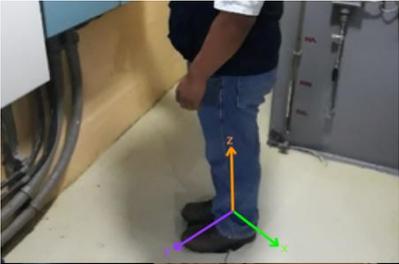
Patrón de operación y estrategia de medición seleccionada para ruido				
Puesto de trabajo	Tipo de trabajo	Patrón de trabajo	Estrategia	Instrumento de medición
Operador sala de control	Fijo	Tareas diversas con duración no específica de las tareas.	Basada en el puesto de trabajo	Sonómetro
Operador casa de máquinas	Fijo	Tareas diversas con duración no específica de las tareas.	Basada en el puesto de trabajo	Sonómetro
Supervisor de operación	Fijo	Tareas diversas con duración no específica de las tareas.	Basada en el puesto de trabajo	Sonómetro

Elaborado por: John Paucar (2019).

11.5. Ubicación del acelerómetro para la medición de vibraciones

El procedimiento señala que los transductores del vibrómetro deben ser colocados según el sistema de ejes basicéntricos del cuerpo entero que se muestra en la figura 12, cabe mencionar que las mediciones se realizaran sobre la superficie entre el cuerpo y mencionada superficie, como se lo muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Ubicación del acelerómetro para la medición de vibraciones en los puestos de trabajo.

Ubicación del acelerómetro para la medición de vibraciones en los puestos de trabajo.		
Puesto de trabajo	Posición de trabajo	Localización del acelerómetro
Operador sala de control	Sentado (Sobre la superficie de apoyo de la silla).	
Operador casa de máquinas	Sentado (Sobre la superficie de apoyo de la silla).	
Supervisor de operación	De pie (Sobre la superficie en la que los pies se apoyan).	

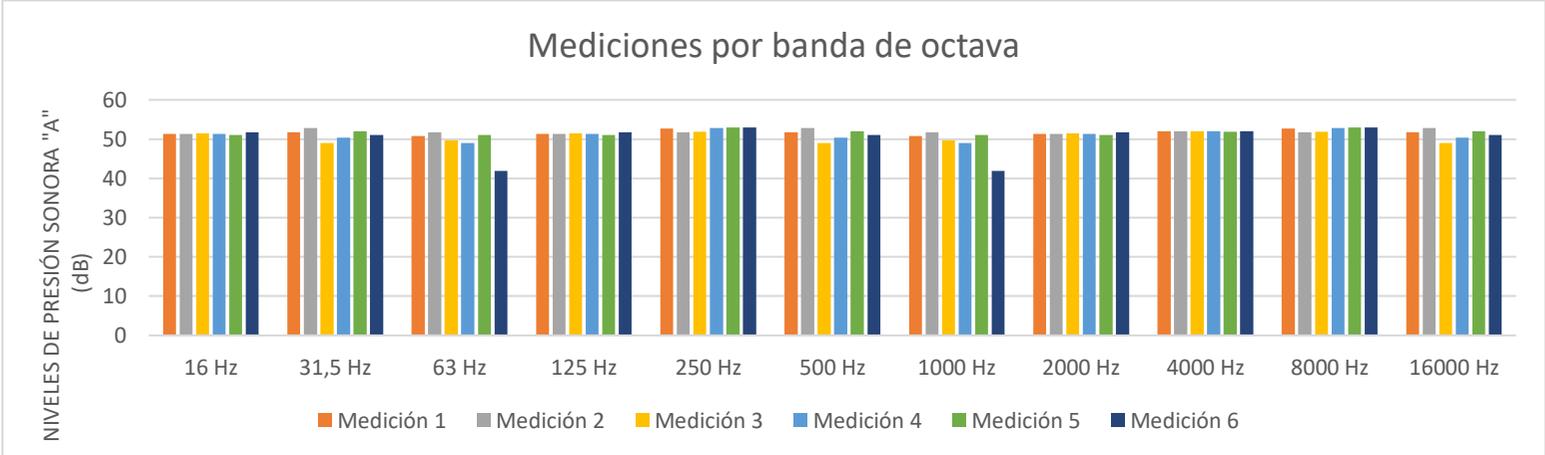
Elaborado por: John Paucar (2019).

11.6. Recolección y procesamiento de datos de ruido y vibraciones

11.6.1. Valores medidos de ruido en los puestos de trabajo

Las mediciones con estrategia de medición basada en el puesto de trabajo se detallan en las tablas 15, 16 y 17.

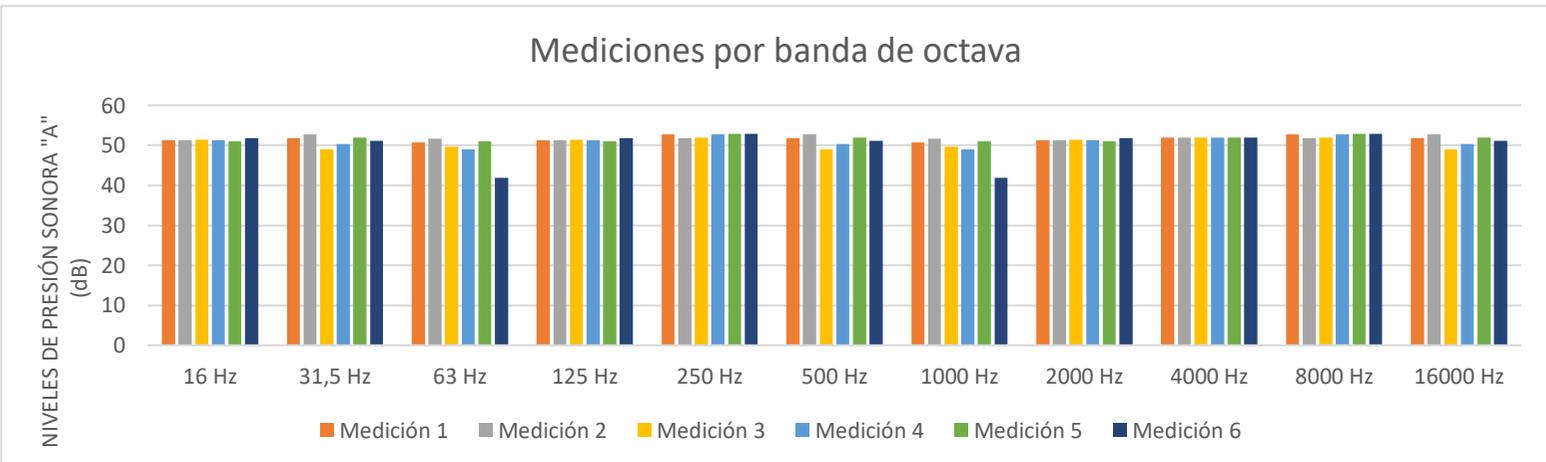
Tabla 15. Medición de ruido para operador sala de control.

	Código: CHP-MR-01		Realizado por: John Paucar													
	Nº revisión: 01		Revisado por: MSc. Jorge Freire													
	Fecha: 11/12/2019		Aprobado por: MSc. Jorge Freire													
Instrumento: Sonómetro clase 2		Marca: Casella		Modelo: 63x												
Área: Casa de máquinas			Puesto de trabajo: Operador sala de control.													
Condiciones ambientales: Temperatura:23,8 °C.						Humedad relativa: 50,9 %.										
Fecha	Periodo de muestreo	Valores medidos														
		# Medida	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Ceq,T} (dBA)	L _{Cpeak} (dBA)	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
11/12/2019	09:00am-10:00am	1	50,3	50,2	55,3	32,7	50,4	49,9	50	50,3	50,2	50,2	50	32,7	50,4	49,9
11/12/2019	10:00am-11:00am	2	50,7	49,9	56,6	32,8	47,8	50	50,1	50,7	49,9	49,9	50,1	32,8	47,8	50
11/12/2019	11:00am-12:00pm	3	50,6	48,7	55,9	32,9	47,3	49,7	49,9	50,6	48,7	48,7	49,9	32,9	47,3	49,7
11/12/2019	12:00pm-13:00pm	4	50,1	50	57,3	32,8	47,2	49,5	48,7	50,1	50	50	48,7	32,8	47,2	49,5
11/12/2019	13:00pm-14:00pm	5	49,9	50	56,9	32,9	46,6	50	50	49,9	50	50	50	32,9	46,6	50
11/12/2019	14:00pm-15:00pm	6	50	49,9	55,6	32,9	46,5	50,1	49	50	49,9	49,9	49	32,9	46,5	50,1
Bandas de octava																
																

Elaborado por: John Paucar (2019).

Fuente: (CELEC EP, 2019).

Tabla 16. Medición de ruido para operador casa de máquinas.

		Código: CHP-CM-01					Realizado por: John Paucar									
		Nº revisión: 01					Revisado por: MSc. Jorge Freire									
		Fecha: 12/12/2019					Aprobado por: MSc. Jorge Freire									
Instrumento: Sonómetro clase 2			Marca: Casella			Modelo: 63x										
Área: Casa de máquinas					Puesto de trabajo: Operador casa de máquinas.											
Condiciones ambientales: Temperatura: 23,8 °C.							Humedad relativa: 48,7 %.									
Fecha	Periodo de muestreo	Valores medidos														
		# Medida	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Ceq,T} (dBA)	L _{Cpeak} (dBA)	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
12/12/2019	09:00am-10:00am	1	51,8	50,8	51,3	51,3	51,8	50,8	51,3	52,7	51,8	50,8	51,3	52	52,7	51,8
12/12/2019	10:00am-11:00am	2	52,8	51,7	51,3	51,3	52,8	51,7	51,3	51,8	52,8	51,7	51,3	52	51,8	52,8
12/12/2019	11:00am-12:00pm	3	49	49,7	51,4	51,4	49	49,7	51,4	51,9	49	49,7	51,4	52	51,9	49
12/12/2019	12:00pm-13:00pm	4	50,3	49	51,3	51,3	50,3	49	51,3	52,8	50,3	49	51,3	52	52,8	50,3
12/12/2019	13:00pm-14:00pm	5	52	51	51	51	52	51	51	52,9	52	51	51	51,9	52,9	52
12/12/2019	14:00pm-15:00pm	6	51,1	41,9	51,8	51,8	51,1	41,9	51,8	52,9	51,1	41,9	51,8	52	52,9	51,1
Bandas de octava																
																

Elaborado por: John Paucar (2019).

Fuente: (CELEC EP, 2019).

Tabla 17. Medición de ruido para supervisor de operación.

		Código: CHP-MR-01					Realizado por: John Paucar									
		Nº revisión: 01					Revisado por: MSc. Jorge Freire									
		Fecha: 13/12/2019					Aprobado por: MSc. Jorge Freire									
Instrumento: Sonómetro clase 2			Marca: Casella			Modelo: 63x										
Área: Casa de máquinas					Puesto de trabajo: Supervisor de operación.											
Condiciones ambientales: Temperatura: 22,7 °C.												Humedad relativa: 52,6 %.				
Fecha	Periodo de muestreo	Valores medidos														
		# Medida	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Ceq,T} (dBA)	L _{Cpeak} (dBA)	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
13/12/2019	09:00am-10:00am	1	91,2	91,8	90,3	91,2	91,8	90,3	92	91,1	92	90,1	90	91,8	90,3	90,3
13/12/2019	10:00am-11:00am	2	91,7	91,7	90,3	91,7	91,7	90,3	91	91,3	91	91,2	91,3	91,7	90,3	90,3
13/12/2019	11:00am-12:00pm	3	91,8	91,7	90	91,8	91,7	90	92	91,5	90,9	92	91,5	91,7	90	90
13/12/2019	12:00pm-13:00pm	4	91,8	91	91,3	91,8	91	91,3	91	91,9	91,8	90,1	91,9	91	91,3	91,3
13/12/2019	13:00pm-14:00pm	5	91,6	90	91	91,6	90	91	90	92	92	90	92	90	91	91
13/12/2019	14:00pm-15:00pm	6	91,6	90,9	91,8	91,6	90,9	91,8	91	92,9	92,1	90,2	90	90,9	91,8	91,8
Bandas de octava																

Elaborado por: John Paucar (2019).

Fuente: (CELEC EP, 2019).

11.6.2. Valores medidos de vibraciones cuerpo entero en los puestos de trabajo

Las mediciones de vibraciones transmitidas al cuerpo entero en los puestos de trabajo se detallan en las tablas 18, 19 y 20.

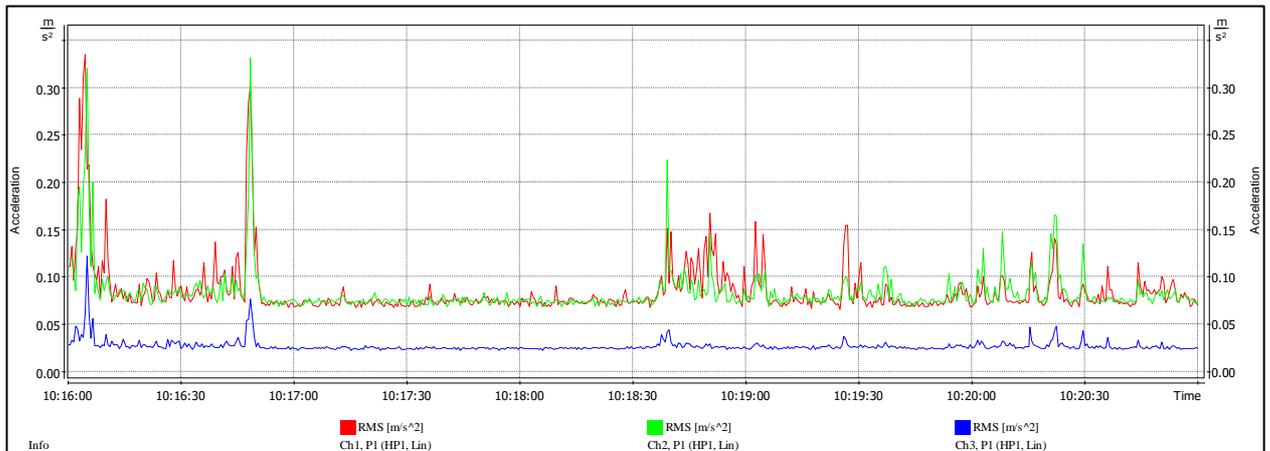
Tabla 18. Medición de vibraciones para operador sala de control.

	Código: CHP-MV-01		Realizado por: John Paucar		
	Nº revisión: 01		Revisado por: MSc. Jorge Freire		
	Fecha: 17/12/2019		Aprobado por: MSc. Jorge Freire		
Instrumento: Vibrómetro	Marca: SVAN		Modelo: 958A		
Área: Casa de máquinas	Puesto de trabajo: Operador sala de control		Posición del operador: Sentado		
Tipo de asiento: Cuero-Esponja					
Parámetros técnicos de la medición:					
Tiempo de muestreo: 5 minutos					
Condiciones ambientales: Temperatura: 23,8 °C. Humedad relativa: 50,9 %.					
Fecha:	Periodo de muestreo	Valores medidos			
		# Medida	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
17/12/2019	10:00-10:05 am	1	0,08660	0,08964	0,02767
17/12/2019	10:05-10:10 am	2	0,09089	0,09226	0,02704
17/12/2019	10:10-10:15 am	3	0,10280	0,10715	0,02938
OBSERVACIÓN: Las mediciones se ejecutaron de forma normal sin ningún tipo de acontecimiento.					

Elaborado por: John Paucar (2019).

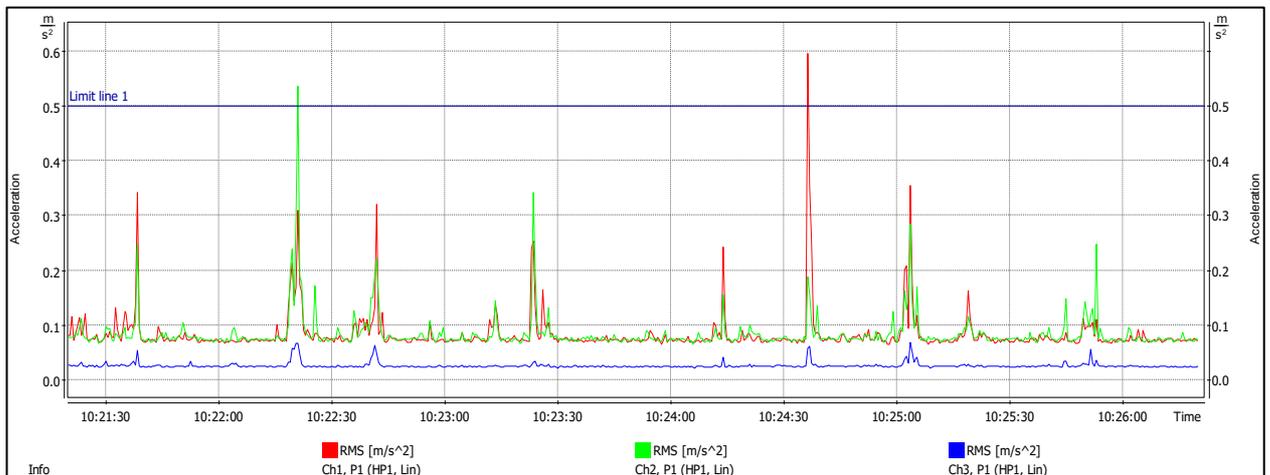
Fuente: (CELEC EP, 2019).

Figura 19. Muestra 1 de vibraciones cuerpo entero operador sala de control.



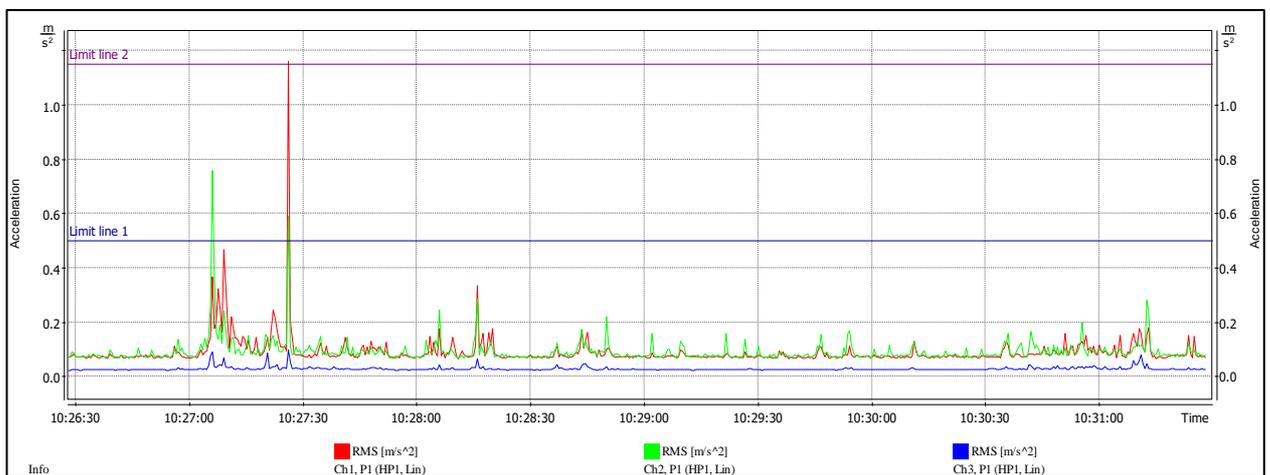
Elaborado por: John Paucar (2019).

Figura 20. Muestra 2 de vibraciones cuerpo entero operador sala de control.



Elaborado por: John Paucar (2019).

Figura 21. Muestra 3 de vibraciones cuerpo entero operador sala de control.



Elaborado por: John Paucar (2019).

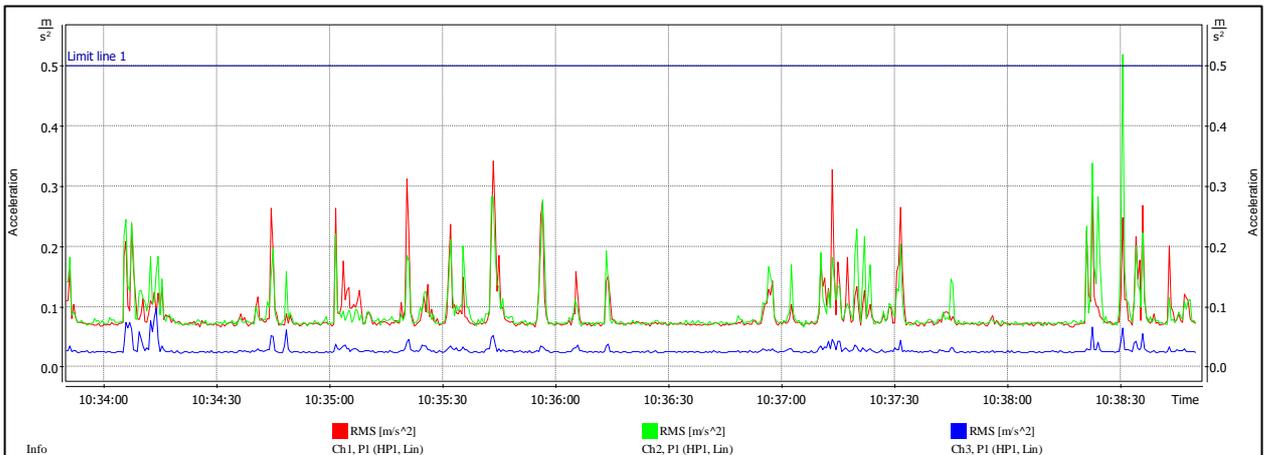
Tabla 19. Medición de vibraciones para operador casa de máquinas.

	Código: CHP-MV-01		Realizado por: John Paucar		
	Nº revisión: 01		Revisado por: MSc. Jorge Freire		
	Fecha: 17/12/2019		Aprobado por: MSc. Jorge Freire		
Instrumento:	Marca: SVAN		Modelo: 958A		
Área: Casa de máquinas	Puesto de trabajo: Operador casa de máquinas		Posición del operador: Sentado		
Tipo de asiento: Cuero-Esponja					
Parámetros técnicos de la medición:					
Tiempo de muestreo: 5 minutos					
Condiciones ambientales: Temperatura: 23,8 °C. Humedad relativa: 48,7 %.					
Fecha:	Periodo de muestreo	Valores medidos			
		# Medida	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
17/12/2019	10:30-10:35am	1	0,09954	0,09638	0,02897
17/12/2019	10:35-10:40am	2	0,13137	0,12618	0,03010
17/12/2019	10:40-10:45am	3	0,10233	0,10471	0,02802
OBSERVACIÓN: Las mediciones se ejecutaron de forma normal sin ningún tipo de acontecimiento.					

Elaborado por: John Paucar (2019).

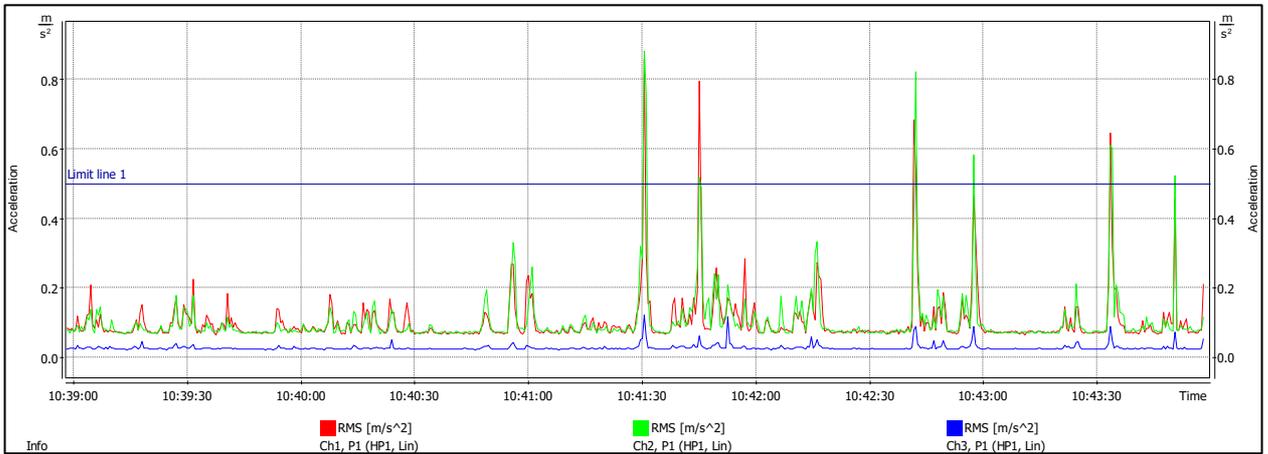
Fuente: (CELEC EP, 2019).

Figura 22. Muestra 1 de vibraciones cuerpo entero operador casa de máquinas.



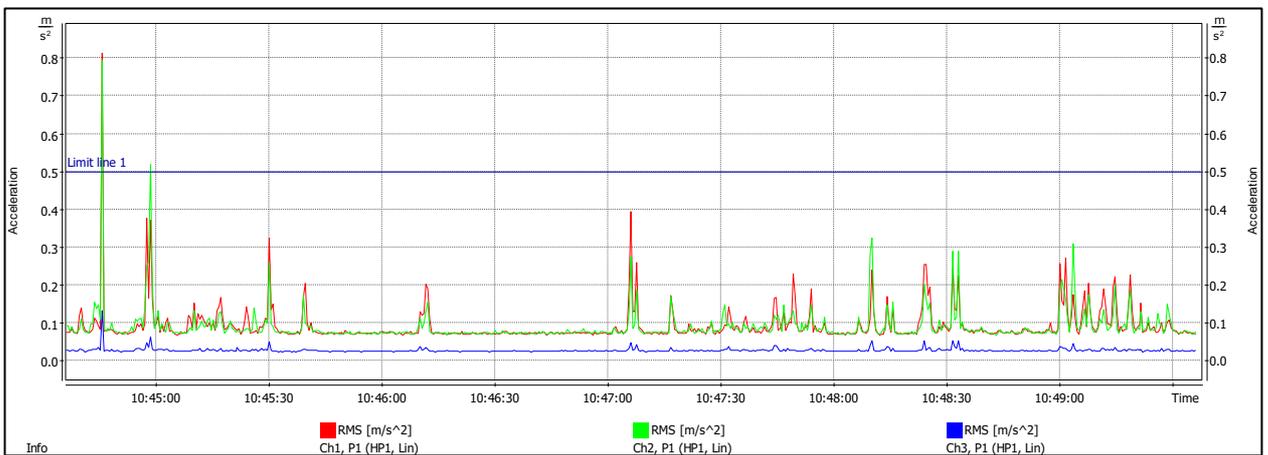
Elaborado por: John Paucar (2019).

Figura 23. Muestra 2 de vibraciones cuerpo entero operador casa de máquinas.



Elaborado por: John Paucar (2019).

Figura 24. Muestra 3 de vibraciones cuerpo entero operador casa de máquinas.



Elaborado por: John Paucar (2019).

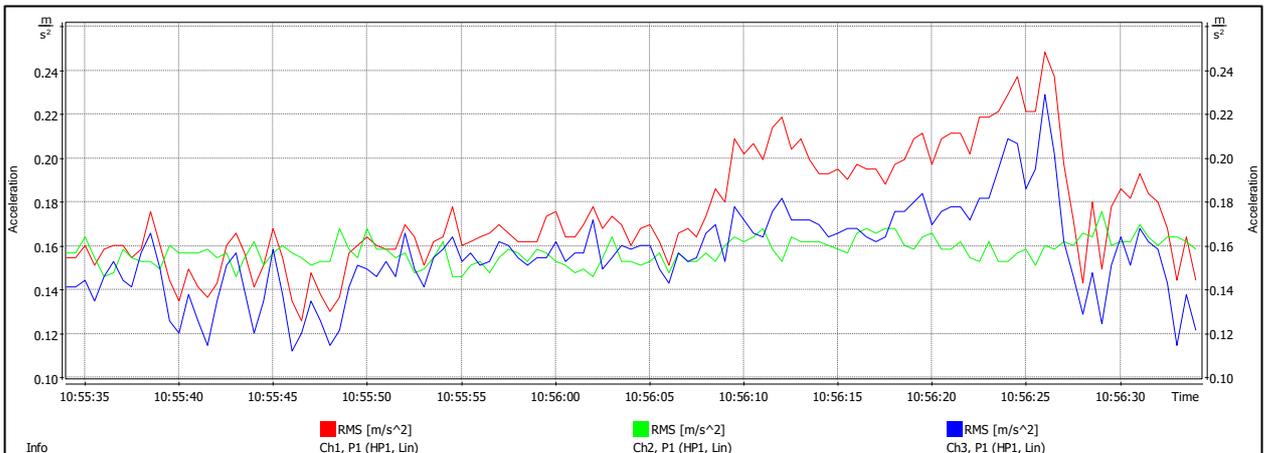
Tabla 20. Medición de vibraciones para supervisor de operaciones.

	Código: CHP-MV-01		Realizado por: John Paucar		
	Nº revisión: 01		Revisado por: MSc. Jorge Freire		
	Fecha: 17/12/2019		Aprobado por: MSc. Jorge Freire		
Instrumento: Vibrómetro	Marca: SVAN		Modelo: 958A		
Área: Casa de máquinas	Puesto de trabajo: Supervisor de operación		Posición del operador: De pie		
Parámetros técnicos de la medición: Tiempo de muestreo: 5 minutos Condiciones ambientales: Temperatura: 22,7 °C. Humedad relativa: 52,6 %.					
Fecha:	Periodo de muestreo	Valores medidos			
		# Medida	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
17/12/2019	11:00-11:05 am	1	0,15758	0,17701	0,15758
17/12/2019	11:05-11:10am	2	0,14894	0,13335	0,13243
17/12/2019	11:10-11:15am	3	0,10508	0,10387	0,08902
OBSERVACIÓN: Las mediciones se ejecutaron de forma normal sin ningún tipo de acontecimiento.					

Elaborado por: John Paucar (2019).

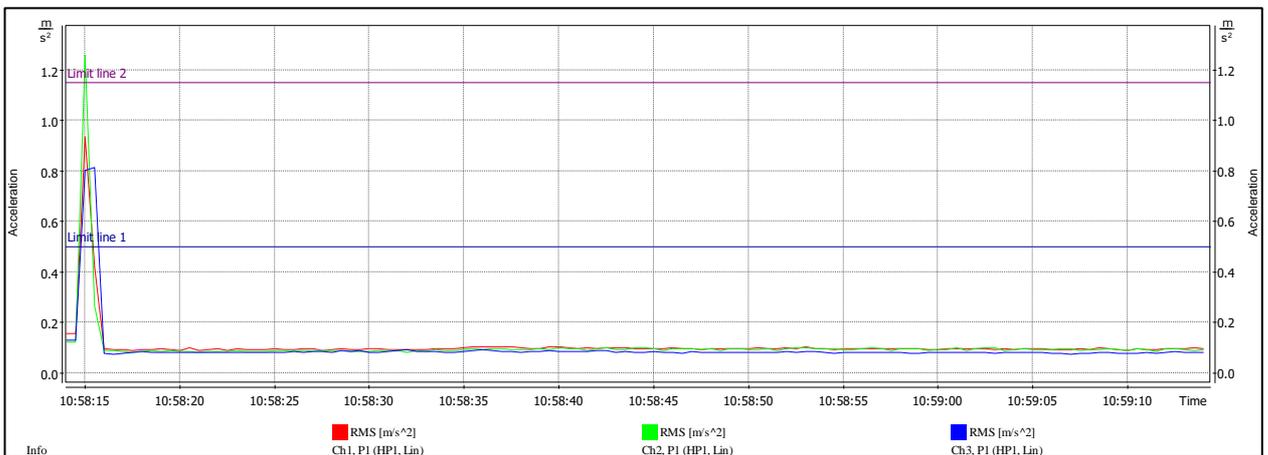
Fuente: (CELEC EP, 2019).

Figura 25. Muestra 1 de vibraciones cuerpo entero supervisor de operación.



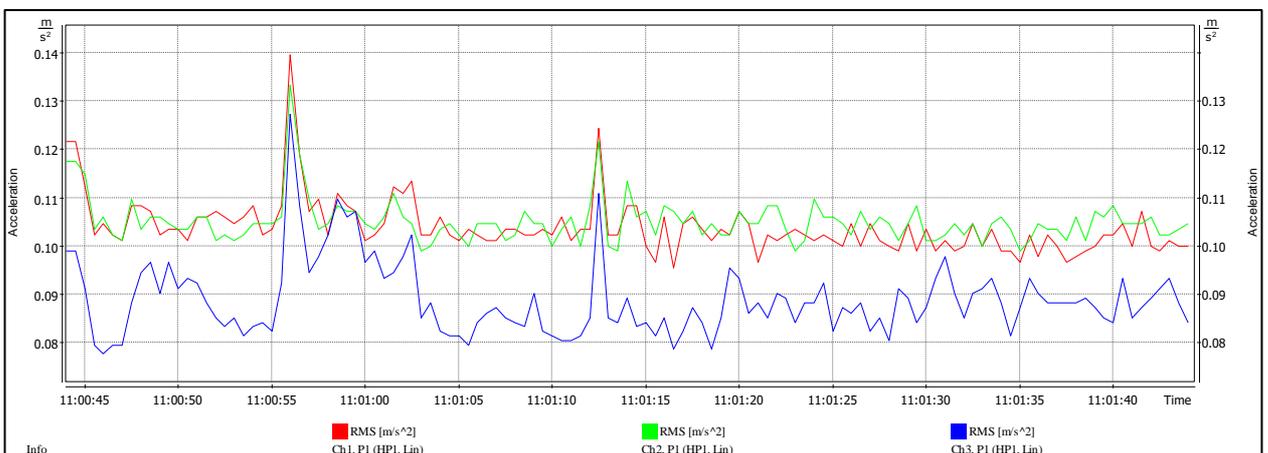
Elaborado por: John Paucar (2019).

Figura 26. Muestra 2 de vibraciones cuerpo entero supervisor de operación.



Elaborado por: John Paucar (2019).

Figura 27. Muestra 3 de vibraciones cuerpo entero supervisor de operación.



Elaborado por: John Paucar (2019).

11.7. Análisis e interpretación de las mediciones de ruido y vibraciones

11.7.1. Análisis e interpretación de resultados de mediciones de ruido para operador sala de control.

Cálculo de $L_{Aeq,d}$ para operador sala de control

Se calcula el nivel de presión sonora continuo para el puesto de trabajo con la ecuación 1. El cálculo para obtener el $L_{Aeq,Te}$ es:

$$L_{Aeq,Te} = 10 * \log \left[\frac{1}{6} \left(10^{\frac{50,3}{10}} + 10^{\frac{50,7}{10}} + 10^{\frac{50,6}{10}} + 10^{\frac{50,1}{10}} + 10^{\frac{49,9}{10}} + 10^{\frac{50}{10}} \right) \right] dB(A)$$

$$L_{Aeq,Te} = 50,3 \text{ dB (A)}$$

Para el cálculo del nivel de exposición al ruido equivalente diario se utiliza la ecuación 2. El cálculo para obtener el $L_{Aeq,d}$ es:

$$L_{Aeq,d} = 50,3 + 10 \log \frac{8}{8} dB(A)$$

$$L_{Aeq,d} = 50,3 \text{ dB (A)}$$

Cálculo de la incertidumbre de la medición para operador sala de control

Para lograr obtener u_1 se utiliza la ecuación 9 y reemplazando los valores obtenemos:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{6-1} \left[(50,3-50,3)^2 + (50,7-50,3)^2 + (50,6-50,3)^2 + (50,1-50,3)^2 + (49,9-50,3)^2 + (50-50,3)^2 \right]}$$

$$u_1 = 0,3 \text{ dB}$$

Cabe mencionar que el valor u_1 sólo se calcula para utilizarlo como entrada en la tabla mostrada en la figura 13, junto con el valor de N, y de esta manera obtener $c_1 u_1$.

$$c_1 u_1 = 0,17 \text{ dB}$$

$$(c_1 u_1)^2 = 0,03 \text{ dB}$$

Los coeficientes de sensibilidad c_2 y c_3 , respectivamente al instrumento que se empleó en las mediciones y a la posición del micrófono valen ambos la unidad:

$$c_2 = c_3 = 1dB$$

En las mediciones de ruido se utilizó un sonómetro de clase 2 según la tabla mostrada en la figura 14 de la incertidumbre típica, u_2 .

El valor de $u_2 = 1,5dB$, entonces:

$$u_2^2 = 2,25 \text{ dB}$$

La norma NTE INEN-ISO 9612, “basándose en datos empíricos, considera que la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono es de 1.0 dB”, entonces:

Se tiene que $u_3 = 1dB$.

Al aplicar la incertidumbre estándar combinada de la ecuación 8 obtenemos:

$$u^2 = 0,17^2 + 1*(1,5^2 + 1^2)$$

$$u^2 = + 3,28dB$$

La Norma NTE INEN-ISO 9612, propone “un intervalo unilateral con un 95% de nivel de confianza, por lo tanto, se tiene que $k= 1,645$ ”. Para calcular la incertidumbre expandida se aplica la ecuación 10:

$$U = 1,645 * \sqrt{3,28}$$

$$U = \pm 3dB$$

Los resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones, y comparación con la dosis permitida del Decreto 2393 de operador sala de control, se las detalla en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones de operador sala de control.

		Código: CHP-MR-01		Realizado por: John Paucar		
		Nº revisión: 01		Revisado por: Ing. MSc. Jorge Freire		
		Fecha: 19/12/2019		Aprobado por: Ing. MSc. Jorge Freire		
Puesto de trabajo: Operador sala de control						
Tiempo de muestreo: 60 min						
Valores medidos						
L_{Aeq,T1} (dBA)	L_{Aeq,T2} (dBA)	L_{Aeq,T3} (dBA)	L_{Aeq,T4} (dBA)	L_{Aeq,T5} (dBA)	L_{Aeq,T6} (dBA)	L_{Aeq,d} (dBA)
50,3	50,7	50,6	50,1	49,9	50	50,3
Incertidumbre					Comparación con la dosis permitida Decreto 2393	
Nivel de ruido (dB)	Instrumento (dB)	Posición (dB)	Suma (dB)	Expandida (dB)	Dosis	
0,03	2,25	1	3,28	±3	0,59	T
T: Riesgo tolerable I: Riesgo intolerable						

Elaborado por: John Paucar (2019).

Análisis

Los niveles de exposición al ruido equivalente diario ponderado A en el puesto de trabajo operador sala de control, como observamos en los resultados es de 50,3 dB ponderación “A”, con una incertidumbre expandida de ± 3 , mismos que no son dañinos para la salud ocupacional de los trabajadores de dicho puesto de trabajo.

Interpretación

En el puesto de trabajo operador sala de control si cumple con la normativa al no sobrepasar los 85 dBA, con un tiempo de 8 horas por jornada laboral, los niveles bajos de exposición al ruido presentes en este puesto de trabajo se debe a que sus actividades se desarrollan dentro de un cuarto cubierto la parte frontal por vidrios el cual minimiza el impacto directo de ruido al trabajador, las fuentes principales de ruido como lo son las turbinas U1 y U2, que se encuentran a 3 metros del cuarto de sala de control.

11.7.2. Análisis e interpretación de resultados de mediciones de ruido para operador casa de máquinas.

Cálculo de $L_{Aeq,d}$ para operador casa de máquinas

Se calcula el nivel de presión sonora continuo para el puesto de trabajo con la ecuación 1. El cálculo para obtener el $L_{Aeq,Te}$ es:

$$L_{Aeq,Te} = 10 * \log \left[\frac{1}{6} \left(10^{\frac{51,8}{10}} + 10^{\frac{52,8}{10}} + 10^{\frac{49}{10}} + 10^{\frac{50,3}{10}} + 10^{\frac{52}{10}} + 10^{\frac{51,1}{10}} \right) \right] dB(A)$$

$$L_{Aeq,Te} = 51,3 \text{ dB (A)}$$

Para el cálculo del nivel de exposición al ruido equivalente diario se utiliza la ecuación 2. El cálculo para obtener el $L_{Aeq,d}$ es:

$$L_{Aeq,d} = 51,3 + 10 \log \frac{8}{8} dB(A)$$

$$L_{Aeq,d} = 51,3 \text{ dB (A)}$$

Cálculo de la incertidumbre de la medición para operador casa de máquinas

Para lograr obtener u_1 se utiliza la ecuación 9 y reemplazando los valores se obtiene:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{6-1} \left[(51,8-51,3)^2 + (52,8-51,3)^2 + (49-51,3)^2 + (50,3-51,3)^2 + (52-51,3)^2 + (51,1-51,3)^2 \right]}$$

$$u_1 = 1,4 \text{ dB}$$

Cabe mencionar que el valor u_1 sólo se calcula para utilizarlo como entrada en la tabla mostrada en la figura 13, junto con el valor de N, y de esta manera obtener $c_1 u_1$.

$$c_1 u_1 = 0,82 dB$$

$$(c_1 u_1)^2 = 0,67 dB$$

Los coeficientes de sensibilidad c_2 y c_3 , respectivamente al instrumento que se empleó en las mediciones y a la posición del micrófono valen ambos la unidad:

$$c_2 = c_3 = 1dB$$

En las mediciones de ruido se utilizó un sonómetro de clase 2 según la tabla mostrada en la figura 14 de la incertidumbre típica, u_2 .

El valor de $u_2 = 1,5dB$, entonces:

$$u_2^2 = 2,25 \text{ dB}$$

La norma NTE INEN-ISO 9612, “basándose en datos empíricos, considera que la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono es de 1.0 dB”, entonces:

Se tiene que **$u_3 = 1dB$** .

Al aplicar la incertidumbre estándar combinada de la ecuación 8 obtenemos:

$$u^2 = 0,82^2 + 1(1,5^2 + 1^2)$$

$$u^2 = \pm 3,92dB$$

La Norma NTE INEN-ISO 9612, propone “un intervalo unilateral con un 95% de nivel de confianza, por lo tanto, se tiene que $k= 1,645$ ”. Para calcular la incertidumbre expandida se aplica la ecuación 10:

$$U = 1,645 * \sqrt{3,92}$$

$$U = \pm 3dB$$

Los resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones, y comparación con la dosis permitida del Decreto 2393 de operador casa de máquinas, se las detalla en la tabla 22.

Tabla 22. Resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones de operador casa de máquinas.

		Código: CHP-MR-01		Realizado por: John Paucar		
		Nº revisión: 01		Revisado por: Ing. MSc. Jorge Freire		
		Fecha: 19/12/2019		Aprobado por: Ing. MSc. Jorge Freire		
Puesto de trabajo: Operador casa de máquinas						
Tiempo de muestreo: 60 min						
Valores medidos						
L_{Aeq,T1} (dBA)	L_{Aeq,T2} (dBA)	L_{Aeq,T3} (dBA)	L_{Aeq,T4} (dBA)	L_{Aeq,T5} (dBA)	L_{Aeq,T6} (dBA)	L_{Aeq,d} (dBA)
51,8	52,8	49	50,3	52	51,1	51,3
Incertidumbre					Comparación con la dosis permitida Decreto 2393	
Nivel de ruido (dB)	Instrumento (dB)	Posición (dB)	Suma (dB)	Expandida (dB)	Dosis	
0,67	2,25	1	3,92	±3	0,60	T
T: Riesgo tolerable						
I: Riesgo intolerable						

Elaborado por: John Paucar (2019).

Análisis

Los niveles de exposición al ruido equivalente diario ponderado A en el puesto de trabajo operador casa de máquinas, como observamos en los resultados es de 51,3 dB ponderación “A”, con una incertidumbre expandida de ± 3 , mismos que no son dañinos para la salud ocupacional de los trabajadores de dicho puesto de trabajo.

Interpretación

En el puesto de trabajo operador casa de máquinas si cumple con la normativa al no sobrepasar los 85 dBA, con un tiempo de 8h por jornada laboral, los niveles bajos de exposición al ruido presentes en este puesto de trabajo se debe a que sus actividades se desarrollan dentro de un cuarto cubierto la parte frontal por vidrios el cual minimiza el impacto directo de ruido al trabajador, las fuentes principales de ruido como lo son las turbinas U1 y U2, que se encuentran a 3 metros del cuarto de sala de control.

11.7.3. Análisis e interpretación de resultados de mediciones de ruido para supervisor de operación

Cálculo de $L_{Aeq,d}$ para supervisor de operación

Se calcula el nivel de presión sonora continuo para el puesto de trabajo con la ecuación 1. El cálculo para obtener el $L_{Aeq,Te}$ es:

$$L_{Aeq,Te} = 10 * \log \left[\frac{1}{6} \left(10^{\frac{91,2}{10}} + 10^{\frac{91,7}{10}} + 10^{\frac{91,8}{10}} + 10^{\frac{91,8}{10}} + 10^{\frac{91,6}{10}} + 10^{\frac{91,6}{10}} \right) \right] dB(A)$$

$$L_{Aeq,Te} = 91,6 \text{ dB (A)}$$

Para el cálculo del nivel de exposición al ruido equivalente diario se utiliza la ecuación 2. El cálculo para obtener el $L_{Aeq,d}$ es:

$$L_{Aeq,d} = 91,6 + 10 \log \frac{8}{8} dB(A)$$

$$L_{Aeq,d} = 91,6 \text{ dB (A)}$$

Calculo de la incertidumbre de la medición para supervisor de operación

Para lograr obtener u_1 se utiliza la ecuación 9 y reemplazando los valores obtenemos:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{6-1} \left[(91,2-91,6)^2 + (91,7-91,6)^2 + (91,8-91,6)^2 + (91,8-91,6)^2 + (91,6-91,6)^2 + (91,6-91,6)^2 \right]}$$

$$u_1 = 0,2 \text{ dB}$$

Cabe mencionar que el valor u_1 sólo se calcula para utilizarlo como entrada en la tabla mostrada en la figura 13, junto con el valor de N, y de esta manera obtener $c_1 u_1$.

$$c_1 u_1 = 0,10 dB$$

$$(c_1 u_1)^2 = 0,01 dB$$

Los coeficientes de sensibilidad c_2 y c_3 , respectivamente al instrumento que se empleó en las mediciones y a la posición del micrófono valen ambos la unidad:

$$c_2 = c_3 = 1dB$$

En las mediciones de ruido se utilizó un sonómetro de clase 2 según la tabla mostrada en la figura 14 de la incertidumbre típica, u_2 .

El valor de $u_2 = 1,5dB$, entonces:

$$u_2^2 = 2,25 \text{ dB}$$

La norma NTE INEN-ISO 9612, “basándose en datos empíricos, considera que la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono es de 1.0 dB”, entonces:

Se tiene que $u_3 = 1dB$.

Al aplicar la incertidumbre estándar combinada de la ecuación 4 obtenemos:

$$u^2 = 0,10^2 + 1(1,5^2 + 1^2)$$

$$u^2 = \pm 3,26dB$$

La Norma NTE INEN-ISO 9612, propone “un intervalo unilateral con un 95% de nivel de confianza, por lo tanto, se tiene que $k= 1,645$ ”. Para calcular la incertidumbre expandida se aplica la ecuación 10:

$$U = 1,645 * \sqrt{3,26}$$

$$U = \pm 3dB$$

Los resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones, y comparación con la dosis permitida del Decreto 2393 de supervisor de operación, se las detalla en la tabla 23.

Tabla 23. Resultados sobre la exposición al ruido e incertidumbre en las mediciones de supervisor de operación.

		Código: CHP-MR-01		Realizado por: John Paucar		
		N ^o revisión: 01		Revisado por: Ing. MSc. Jorge Freire		
		Fecha: 19/12/2019		Aprobado por: Ing. MSc. Jorge Freire		
Puesto de trabajo: Supervisor de operación						
Tiempo de muestreo: 60 min						
Valores medidos						
L_{Aeq,T1} (dBA)	L_{Aeq,T2} (dBA)	L_{Aeq,T3} (dBA)	L_{Aeq,T4} (dBA)	L_{Aeq,T5} (dBA)	L_{Aeq,T6} (dBA)	L_{Aeq,d} (dBA)
91,2	91,7	91,8	91,8	91,6	91,6	91,6
Incertidumbre					Comparación con la dosis permitida Decreto 2393	
Nivel de ruido (dB)	Instrumento (dB)	Posición (dB)	Suma (dB)	Expandida (dB)	Dosis	
0,01	2,25	1	3,26	±3	1,07	I
T: Riesgo tolerable						
I: Riesgo intolerable						

Elaborado por: John Paucar (2019).

Análisis

Los niveles de exposición al ruido equivalente diario ponderado A en el puesto de trabajo supervisor de operación, como observamos en los resultados es de 91,6 dB ponderación “A”, con una incertidumbre expandida de ± 3 .

Interpretación

En el puesto de trabajo supervisor de operación no cumple con la normativa al sobrepasar los 85 dBA, con un tiempo de 8h por jornada laboral, los niveles altos de exposición al ruido presentes en este puesto de trabajo se deben a que sus actividades se desarrollan cerca de las fuentes principales de ruido como lo son las turbinas U1 y U2.

11.7.4. Análisis e interpretación de resultados de mediciones de vibraciones para operador sala de control

Cálculo de $A_{w(d)}$ para operador sala de control

Se procede a calcular la media aritmética de las mediciones de cada eje para el puesto de trabajo con la ecuación 12. Los cálculos para obtener el $\overline{a_{wx}}$, $\overline{a_{wy}}$ y $\overline{a_{wz}}$ es:

$$\overline{a_{wx}} = \frac{0,08660 + 0,09089 + 0,10280}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wx}} = 0,09343 \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wy}} = \frac{0,08964 + 0,09226 + 0,10715}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wy}} = 0,09635 \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wz}} = \frac{0,02767 + 0,02704 + 0,02938}{3}$$

$$\overline{a_{wz}} = 0,02803 \frac{m}{s^2}$$

Para realizar el cálculo del nivel de exposición diario a vibraciones cuerpo entero se usa la ecuación 5, 6, 7 y se escoge el mayor de los 3 resultados para la evaluación. Los cálculos para obtener el $A_{wx(d)}$, $A_{wy(d)}$ y $A_{wz(d)}$ es:

$$A_{wx(d)} = 1,4 * 0,093 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,131 \frac{m}{s^2}$$

$$A_{wy(d)} = 1,4 * 0,096 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,135 \frac{m}{s^2}$$

$$A_{wz(d)} = 0,028 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,028 \frac{m}{s^2}$$

Cálculo de la incertidumbre de la medición para operador sala de control

La varianza experimental de las mediciones es la dispersión de los resultados y se la determina para cada eje por la ecuación 13:

$$s_x^2(x) = \frac{(0,093 - 0,0866)^2 + (0,093 - 0,0908)^2 + (0,093 - 0,1028)^2}{3 - 1}$$

$$s_x^2(x) = 7,04 * 10^{-5}$$

$$s_y^2(x) = \frac{(0,096 - 0,0896)^2 + (0,096 - 0,0922)^2 + (0,096 - 0,1071)^2}{3 - 1}$$

$$s_y^2(x) = 8,92 * 10^{-5}$$

$$s_z^2(x) = \frac{(0,028 - 0,0276)^2 + (0,028 - 0,0270)^2 + (0,028 - 0,0293)^2}{3 - 1}$$

$$s_z^2(x) = 1,47 * 10^{-6}$$

La desviación estándar del promedio es la raíz cuadrada positiva de la varianza del promedio de las muestras, y se determina para cada eje según las ecuaciones 14 y 15.

$$s_x(\bar{x}) = \sqrt{\frac{7,04 * 10^{-5}}{3}} = \pm 0,0048$$

$$s_y(\bar{x}) = \sqrt{\frac{8,92 * 10^{-5}}{3}} = \pm 0,0055$$

$$s_z(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1,47 * 10^{-6}}{3}} = \pm 0,0007$$

La desviación estándar del promedio es la raíz cuadrada positiva de la varianza del promedio. Para mediciones menores o iguales que 10 la incertidumbre estándar tipo A se calcula para cada eje mediante la ecuación 16, con el número de observaciones se recurre a la tabla de la figura 16, para obtener el valor de $t_p(v)$, en la presente investigación se utiliza el nivel de confianza del 95,46%.

$$u_{Ax} = 4,53 * 0,0048$$

$$u_{Ax} = 0,0220 \frac{m}{s^2}$$

$$u_{Ay} = 4,53 * 0,0055$$

$$u_{Ay} = 0,0247 \frac{m}{s^2}$$

$$u_{Az} = 4,53 * 0,0007$$

$$u_{Az} = 0,0032 \frac{m}{s^2}$$

Evaluación de resultados sobre exposición a vibraciones transmitidas cuerpo entero.

Los resultados obtenidos de los cálculos de los niveles a exposición de vibraciones transmitidas cuerpo entero y su incertidumbre para el puesto de trabajo operador sala de control.

Tabla 24. Resultados sobre exposición a vibraciones e incertidumbre en las mediciones de operador sala de control.

			Código: CHP-MV-01		Realizado por: John Paucar
			Nº revisión: 01		Revisado por: Ing. MSc. Jorge Freire
			Fecha: 19/12/2019		Aprobado por: Ing. MSc. Jorge Freire
Puesto de trabajo: operador sala de control					
Tiempo de muestreo: 5 min					
Valores medidos			Media aritmética		
a_{wx} (m/s ²)	a_{wy} (m/s ²)	a_{wz} (m/s ²)	$\overline{a_{wx}}$ (m/s ²)	$\overline{a_{wy}}$ (m/s ²)	$\overline{a_{wz}}$ (m/s ²)
0,0866	0,08964	0,02767	0,093	0,096	0,028
0,09089	0,09226	0,02704			
0,1028	0,10715	0,02938			

Valores calculados			Incertidumbre estándar			Comparación con valores límites permitidos NTP 839
$A_{wx(d)}$ (m/s^2)	$A_{wy(d)}$ (m/s^2)	$A_{wz(d)}$ (m/s^2)	u_{Ax}	u_{Ay}	u_{Az}	
0,131	0,135	0,028	0,0220	0,0247	0,0032	T
T: Riesgo tolerable A: Riesgo que da lugar a una acción I: Riesgo Intolerable ■: Valores seleccionados para la evaluación						

Elaborado por: John Paucar (2019).

Análisis

En la tabla 24 se puede observar los resultados de los cálculos de las mediciones de vibraciones transmitidas a cuerpo completo y su respectiva incertidumbre de medición donde el puesto de trabajo operador sala de control existe un riesgo tolerable con respecto a las vibraciones. Los valores de exposición diaria son $0,135 \text{ m/s}^2$ con una incertidumbre tipo “A” de $\pm 0,0247 \text{ m/s}^2$.

Interpretación

El puesto de trabajo presenta valores de exposición diaria a vibraciones transmitidas a cuerpo completo menores a $0,5 \text{ m/s}^2$ mismo que es el valor que da a una acción, el cual es establecido por la Norma Técnica de Prevención 839. En el puesto de trabajo presente solo se presenta vibraciones a través de la turbina U1 y U2, mismas que transmiten vibraciones por medio de la estructura, donde el puesto de trabajo desarrolla sus actividades, al no tener contacto directo con las turbinas hace que los niveles de exposición diaria sean bajos.

11.7.5. Análisis e interpretación de resultados de mediciones de vibraciones para operador casa de máquinas

Cálculo de $A_{w(d)}$ para operador casa de máquinas

Se procede a calcular la media aritmética de las mediciones de cada eje para el puesto de trabajo con la ecuación 12. Los cálculos para obtener el a_{wx} , a_{wy} y a_{wz} es:

$$\overline{a_{wx}} = \frac{0,09954 + 0,13137 + 0,10233}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wx}} = \mathbf{0,111} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wy}} = \frac{0,09638 + 0,12618 + 0,10471}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wy}} = \mathbf{0,109} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wz}} = \frac{0,02897 + 0,0301 + 0,02802}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wz}} = \mathbf{0,029} \frac{m}{s^2}$$

Para realizar el cálculo del nivel de exposición diario a vibraciones cuerpo entero se usa la ecuación 5, 6, 7 y se escoge el mayor de los 3 resultados para la evaluación. Los cálculos para obtener el $A_{wx(d)}$, $A_{wy(d)}$ y $A_{wz(d)}$ es:

$$A_{wx(d)} = 1,4 * 0,111 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,156 \frac{m}{s^2}$$

$$A_{wy(d)} = 1,4 * 0,109 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,153 \frac{m}{s^2}$$

$$A_{wz(d)} = 0,029 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,029 \frac{m}{s^2}$$

Cálculo de la incertidumbre de la medición para operador casa de máquinas

La varianza experimental de las mediciones es la dispersión de los resultados y se la determina para cada eje por la ecuación 13:

$$s_x^2(x) = \frac{(0,111 - 0,0995)^2 + (0,111 - 0,1313)^2 + (0,111 - 0,1023)^2}{3 - 1}$$

$$s_x^2(x) = 3,11 * 10^{-4}$$

$$s_y^2(x) = \frac{(0,109 - 0,0963)^2 + (0,109 - 0,1261)^2 + (0,109 - 0,1047)^2}{3-1}$$

$$s_y^2(x) = 2,36 * 10^{-4}$$

$$s_z^2(x) = \frac{(0,029 - 0,0289)^2 + (0,029 - 0,0301)^2 + (0,029 - 0,0280)^2}{3-1}$$

$$s_z^2(x) = 1,08 * 10^{-6}$$

La desviación estándar del promedio es la raíz cuadrada positiva de la varianza del promedio de las muestras, y se determina para cada eje según las ecuaciones 14 y 15.

$$s_x(\bar{x}) = \sqrt{\frac{3,11 * 10^{-4}}{3}} = \pm 0,0102$$

$$s_y(\bar{x}) = \sqrt{\frac{2,36 * 10^{-4}}{3}} = \pm 0,0089$$

$$s_z(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1,08 * 10^{-6}}{3}} = \pm 0,0006$$

La desviación estándar del promedio es la raíz cuadrada positiva de la varianza del promedio. Para mediciones menores o iguales que 10 la incertidumbre estándar tipo A se calcula para cada eje mediante la ecuación 16, con el número de observaciones se recurre a la tabla de la figura 16, para obtener el valor de $t_p(v)$, en la presente investigación se utiliza el nivel de confianza del 95,46%.

$$u_{Ax} = 4,53 * 0,0102$$

$$u_{Ax} = 0,0461 \frac{m}{s^2}$$

$$u_{Ay} = 4,53 * 0,0089$$

$$u_{Ay} = 0,0402 \frac{m}{s^2}$$

$$u_{Az} = 4,53 * 0,0006$$

$$u_{Az} = 0,0027 \frac{m}{s^2}$$

Evaluación de resultados sobre exposición a vibraciones transmitidas cuerpo entero.

Los resultados obtenidos de los cálculos de los niveles a exposición de vibraciones transmitidas cuerpo entero y su incertidumbre para el puesto de trabajo operador casa de máquinas, se expresa en la tabla 25.

Tabla 25. Resultados sobre exposición a vibraciones e incertidumbre en las mediciones de operador casa de máquinas.

			Código: CHP-MV-01		Realizado por: Investigador	
			Nº revisión: 01		Revisado por: Ing. MSc. Jorge Freire	
			Fecha: 19/12/2019		Aprobado por: Ing. MSc. Jorge Freire	
Puesto de trabajo: operador casa de máquinas						
Tiempo de muestreo: 5 min						
Valores medidos			Media aritmética			
a_{wx} (m/s ²)	a_{wy} (m/s ²)	a_{wz} (m/s ²)	\bar{a}_{wx} (m/s ²)	\bar{a}_{wy} (m/s ²)	\bar{a}_{wz} (m/s ²)	
0,09954	0,09638	0,02897	0,111	0,109	0,029	
0,13137	0,12618	0,0301				
0,10233	0,10471	0,02802				
Valores calculados			Incertidumbre estándar			Comparación con valores límites permitidos NTP 839
A_{wx(d)} (m/s ²)	A_{wy(d)} (m/s ²)	A_{wz(d)} (m/s ²)	u_{Ax}	u_{Ay}	u_{Az}	
0,156	0,153	0,029	0,0461	0,0402	0,0027	
T: Riesgo tolerable A: Riesgo que da lugar a una acción I: Riesgo Intolerable ■: Valores seleccionados para la evaluación						

Elaborado por: John Paucar (2019).

Análisis

En la tabla 25 se puede observar los resultados de los cálculos de las mediciones de vibraciones transmitidas a cuerpo completo y su respectiva incertidumbre de medición donde el puesto de trabajo operador casa de máquinas existe un riesgo tolerable con respecto a las vibraciones. Los valores de exposición diaria son $0,156 \text{ m/s}^2$ con una incertidumbre tipo "A" de $\pm 0,0461 \text{ m/s}^2$.

Interpretación

El puesto de trabajo presenta valores de exposición diaria a vibraciones transmitidas a cuerpo completo menores a $0,5 \text{ m/s}^2$ mismo que es el valor que da a una acción, el cual es establecido por la Norma Técnica de prevención 839. En el puesto de trabajo presente solo se presenta vibraciones a través de la turbina U1 y U2, mismas que transmiten vibraciones por medio de la estructura, donde el puesto de trabajo desarrolla sus actividades, al no tener contacto directo con las turbinas hace que los niveles de exposición diaria sean bajos.

11.7.6. Análisis e interpretación de resultados de mediciones de vibraciones para supervisor de operación

Cálculo de $A_{w(d)}$ para supervisor de operación

Se procede a calcular la media aritmética de las mediciones de cada eje para el puesto de trabajo con la ecuación 12. Los cálculos para obtener el a_{wx} , a_{wy} y a_{wz} es:

$$\bar{a}_{wx} = \frac{0,15758 + 0,14894 + 0,10508}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\bar{a}_{wx} = 0,137 \frac{m}{s^2}$$

$$\bar{a}_{wy} = \frac{0,17701 + 0,13335 + 0,10387}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\bar{a}_{wy} = 0,138 \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wz}} = \frac{0,15758 + 0,13243 + 0,08902}{3} \frac{m}{s^2}$$

$$\overline{a_{wz}} = 0,126 \frac{m}{s^2}$$

Para realizar el cálculo del nivel de exposición diario a vibraciones cuerpo entero se usa la ecuación 5, 6, 7 y se escoge el mayor de los 3 resultados para la evaluación. Los cálculos para obtener el $A_{wx(d)}$, $A_{wy(d)}$ y $A_{wz(d)}$ es:

$$A_{wx(d)} = 1,4 * 0,137 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,192 \frac{m}{s^2}$$

$$A_{wy(d)} = 1,4 * 0,138 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,193 \frac{m}{s^2}$$

$$A_{wz(d)} = 0,126 \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,126 \frac{m}{s^2}$$

Cálculo de la incertidumbre de la medición para supervisor de operación

La varianza experimental de las mediciones es la dispersión de los resultados y se la determina para cada eje por la ecuación 13:

$$s_x^2(x) = \frac{(0,137 - 0,15758)^2 + (0,137 - 0,14894)^2 + (0,137 - 0,10508)^2}{3 - 1}$$

$$s_x^2(x) = 7,92 * 10^{-4}$$

$$s_y^2(x) = \frac{(0,138 - 0,17701)^2 + (0,138 - 0,13335)^2 + (0,138 - 0,10387)^2}{3 - 1}$$

$$s_y^2(x) = 1,35 * 10^{-3}$$

$$s_z^2(x) = \frac{(0,126 - 0,0289)^2 + (0,126 - 0,0301)^2 + (0,126 - 0,0280)^2}{3-1}$$

$$s_z^2(x) = 1,20 * 10^{-3}$$

La desviación estándar del promedio es la raíz cuadrada positiva de la varianza del promedio de las muestras, y se determina para cada eje según las ecuaciones 14 y 15.

$$s_x(\bar{x}) = \sqrt{\frac{7,92 * 10^{-4}}{3}} = \pm 0,0163$$

$$s_y(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1,35 * 10^{-3}}{3}} = \pm 0,0212$$

$$s_z(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1,20 * 10^{-3}}{3}} = \pm 0,0200$$

La desviación estándar del promedio es la raíz cuadrada positiva de la varianza del promedio. Para mediciones menores o iguales que 10 la incertidumbre estándar tipo A se calcula para cada eje mediante la ecuación 16, con el número de observaciones se recurre a la tabla de la figura 16, para obtener el valor de $t_p(v)$, en la presente investigación se utiliza el nivel de confianza del 95,46%.

$$u_{Ax} = 4,53 * 0,0163$$

$$u_{Ax} = 0,0736 \frac{m}{s^2}$$

$$u_{Ay} = 4,53 * 0,0212$$

$$u_{Ay} = 0,0962 \frac{m}{s^2}$$

$$u_{Az} = 4,53 * 0,0200$$

$$u_{Az} = 0,0907 \frac{m}{s^2}$$

Evaluación de resultados sobre exposición a vibraciones transmitidas cuerpo entero.

Los resultados obtenidos de los cálculos de los niveles a exposición de vibraciones transmitidas cuerpo entero y su incertidumbre para el puesto de trabajo supervisor de operación.

Tabla 26. Resultados sobre exposición a vibraciones e incertidumbre en las mediciones de supervisor de operación.

			Código: CHP-MV-01		Realizado por: John Paucar	
			Nº revisión: 01		Revisado por: Ing. MSc. Jorge Freire	
			Fecha: 19/12/2019		Aprobado por: Ing. MSc. Jorge Freire	
Puesto de trabajo: supervisor de operación.			Tiempo de muestreo: 5 min			
Valores medidos			Media aritmética			
a_{wx} (m/s ²)	a_{wy} (m/s ²)	a_{wz} (m/s ²)	$\overline{a_{wx}}$ (m/s ²)	$\overline{a_{wy}}$ (m/s ²)	$\overline{a_{wz}}$ (m/s ²)	
0,15758	0,17701	0,15758	0,137	0,138	0,126	
0,14894	0,13335	0,13243				
0,10508	0,10387	0,08902				
Valores calculados			Incertidumbre estándar			Comparación con valores límites permitidos NTP 839
$A_{wx(d)}$ (m/s ²)	$A_{wy(d)}$ (m/s ²)	$A_{wz(d)}$ (m/s ²)	u_{Ax}	u_{Ay}	u_{Az}	
0,192	0,193	0,126	0,0736	0,0962	0,0907	
T: Riesgo tolerable A: Riesgo que da lugar a una acción I: Riesgo Intolerable ■: Valores seleccionados para la evaluación						

Elaborado por: John Paucar (2019).

Análisis

En la tabla 26 se puede observar los resultados de los cálculos de las mediciones de vibraciones transmitidas a cuerpo completo y su respectiva incertidumbre de medición donde el puesto de trabajo supervisor de operación existe un riesgo tolerable con respecto a las vibraciones. Los valores de exposición diaria son 0,193 m/s² con una incertidumbre tipo “A” de $\pm 0,0962$ m/s².

Interpretación

El puesto de trabajo presenta valores de exposición diaria a vibraciones transmitidas a cuerpo completo menores a 0,5m/s² mismo que es el valor que da a una acción, el cual es establecido por la Norma Técnica de prevención 839. En el puesto de trabajo presente solo se presenta vibraciones a través de la turbina U1 y U2, mismas que transmiten vibraciones por medio de la

estructura, donde el puesto de trabajo desarrolla sus actividades, al no tener contacto directo con las turbinas hace que los niveles de exposición diaria sean bajos.

11.8. Medidas preventivas y correctivas para los puestos de trabajo evaluados con riesgo intolerable

11.8.1. Medidas preventivas para el ruido ocupacional en el puesto de trabajo supervisor de operación

- a) Se debe asegurar que los trabajadores reciban una formación adecuada, teórica y práctica en materia preventiva, tanto en el momento de su incorporación como cuando se produzcan cambios en sus funciones, tareas o se introduzcan cambios en los equipos de trabajo que utilicen. La formación deberá ser específica del puesto de trabajo o función que desempeñen.
- b) Los siguientes temas de capacitación relacionados a ruido que pudieren impartirse son:
 - Hipoacusia ocupacional
 - Protección auditiva
 - Buenas prácticas de trabajo con relación al ruido
- c) Es importante que los trabajadores tengan buenas prácticas de trabajo con relación al uso correcto de las orejeras siendo su colocación correcta la diferencia entre tener o no tener una hipoacusia.

11.8.2. Medidas correctivas para el ruido ocupacional en el puesto de trabajo supervisor de operación:

Fuente: Ejecutar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos existentes.

Medio: No aplica

Receptor:

- a) Que los trabajadores utilicen protectores auditivos código SNR: 27dB (3M PELTOR CODIGO H31).

Figura 28. Protector auditivo 3M Peltor código H31.



Fuente: 3M (2018).

- b) Capacitar al trabajador con el fin de hábitos en su puesto de trabajo en riesgos físicos enfocados a ruido.

Temas de capacitación relacionados a ruido que deben impartirse:

- Fisiología del oído humano
 - Hipoacusia ocupacional
 - Protección auditiva
- c) Como consecuencia de la evaluación el resultado de la Dosis Diaria supera el Valor de 1, el plan de medidas recomendadas incluye:
- Capacitar al trabajador sobre su adecuado uso, mantenimiento y reemplazo.
 - Examen audiométrico de los trabajadores al ingreso del puesto de trabajo y de acuerdo a las recomendaciones del médico ocupacional de la hidroeléctrica.
 - Por regla exigir el uso de protección auditiva durante el desarrollo de las actividades.

12. IMPACTOS

12.1. Impacto técnico

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que, de los 3 puestos de trabajo 1 puesto de trabajo presenta la magnitud del ruido sobrepasa los 85dB, límite permitido por el Decreto Ejecutivo 2393, haciéndose necesaria la implementación de medidas que permitan reducirlo en los puntos de control de riesgo que sea posible realizarlo. Estos puntos hacen mención a la fuente y el receptor.

12.2. Impacto económico

La implementación de medidas que permitan reducir el ruido en la jornada de trabajo, es una inversión que se considera necesaria en la empresa, ya que, es una forma de proteger a los trabajadores en cuanto a proteger su integridad física, y evitar que se produzcan enfermedades profesionales, lo cual conlleva a indemnizaciones costosas lo cual genera costos y afecta a la empresa.

12.3. Impacto salubre

El ruido que está expuesto en los puestos de trabajo causa diferentes trastornos a la salud del trabajador, estos efectos pueden ser a corto, mediano o largo plazo, lo cual es necesario que la empresa establezca acciones preventivas dependiendo los casos, entre ellos tenemos:

- **Corto plazo:** mala comunicación entre compañeros de trabajo, concentración baja, estrés laboral, etc.
- **Mediano plazo:** fatiga auditiva, distracciones, cansancio mental, entre otras.
- **Largo plazo:** una enfermedad profesional que se caracteriza por la pérdida de la audición, al suceder esto el daño es irreversible.

13. VALORACION ECONÓMICA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Recursos	VALORACIÓN ECONÓMICA		
	Cantidad	V. Unitario \$	Valor Total \$
Equipos			
Alquiler de equipo de medición para ruido (Sonómetro)	1	\$ 300	\$300
Alquiler de equipo de medición de vibraciones (Vibrómetro)	1	\$750	\$750
Valor total de equipos			\$1050
Transporte			
Visitas a la Central Hidroeléctrica Pucará	7	\$5	\$35
Valor total de transporte			\$35
Materiales			
Material Bibliográfico			
NORMA NTE INEN-ISO 9612:2014	1	\$11.44	\$11.44
NORMA NTE INEN-ISO 2631-1:2014	1	\$9.64	\$9.64
Suministro de oficina			
Carpeta	2	\$0,50	\$1,00
Cuaderno	1	\$2.10	\$2.10
Resma de papel tamaño A4	1	\$6.00	\$6.00
Valor total de materiales			\$30.18
TOTAL			\$1,115.18

Elaborado por: John Paucar (2019).

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Efectuada la investigación en la Central Hidroeléctrica Pucará se concluye que, el proceso de generación de energía eléctrica a partir del agua presenta una importante fuente de ruido ocupacional, por las turbinas hidráulicas. Teniendo un gran impacto en la salud auditiva de los trabajadores del área casa de máquinas y los mismos que operan en cercanía de las turbinas.
- En los puestos de trabajo estudiados, se presentaron con mayor nivel exposición sonora el puesto supervisor de operación, esto se debe a que sus actividades se desarrollan en cercanía a las turbinas U1 y U2 de generación eléctrica, afectando directamente al trabajador en el cual desarrolla sus actividades.
- En la evaluación de los niveles de exposición al ruido con ponderación "A" diaria se observó que el supervisor de operación está expuesto a un riesgo intolerable de 91,6dBA, los puestos de trabajo operador sala de control y operador casa de máquinas tienen un riesgo tolerable menor a los 85 dbA en comparación al nivel sonoro con el tiempo de exposición por jornada/hora, establecido por el Decreto Ejecutivo 2393.
- Los puestos de trabajo evaluados a vibraciones transmitidas al cuerpo entero, presentan valores de exposición diaria menores a los $0,5\text{m/s}^2$, siendo el valor que da lugar a una acción establecido por la Norma Técnica de Prevención 839, siendo de esta manera no determinar acciones correctivas pero si preventivas, esto se debe a las condiciones de trabajo al mantenimiento trimestral que se brindan a las turbinas U1 y U2 y a las actividades que se desarrollan por fuera del contacto directo con las fuentes de vibración.

Recomendaciones

- Teniendo los resultados de la evaluación de ruido ocupacional y vibraciones transmitidas al cuerpo entero se debe realizar monitoreos cada año en los puestos de trabajo que presentan riesgo intolerable según especifica el Real Decreto 286/2006, para cumplir normativas ambientales y de salud ocupacional ya que ellos representan un beneficio económico y salubre.
- Que, la Central hidroeléctrica Pucará tome mayor importancia en los temas de responsabilidad con relación a la salud de los trabajadores como realizar control epidemiológico de los trabajadores en especial en actividades de alto riesgo o donde los niveles de exposición están sobre las normativas vigentes.
- Realizada la evaluación en los puestos de trabajo y considerando que, existe un puesto de trabajo que resultó por encima del nivel permitido, se debe verificar el riguroso cumplimiento de uso de equipos de protección personal dentro del área casa de máquinas, donde es el área donde se produce niveles de ruido altos.
- Con la identificación de las fuentes de ruido y vibraciones es necesario establecer dentro del programa de higiene industrial los parámetros de referencia que deberán mantenerse dentro de la Central Hidroeléctrica Pucará con el objetivo de adoptar medidas correctivas según sea el caso.

BIBLIOGRAFÍA

- Castro. (2016). Equipos de medida. Retrieved November 3, 2019, de http://gcastro.webs.uvigo.es/PFC/Capitulo_uno_c.htm
- CEL. (2008). *Exposición Laboral Al Ruido Y Vibraciones*. 26. Obtenido de <http://www.cel.es/es/documentacion/download/27/>
- CELEC EP. (2019). INFORMACIÓN TÉCNICA PUCARÁ. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/14-centrales/pucara/45-informaciontecnica-pucara>
- Cirrus Research plc. (2015). Sonómetros para mediciones acústicas. Recuperado el Noviembre 3, 2019, de http://www.instrumentacion-metrologia.es/WebRoot/Store/Shops/dcl/MediaGallery/Cirrus_Optimus_Red.pdf
- DECRETO, R. (2009). *REAL DECRETO 1311/2005*. 36385–36390. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2005/11/05/pdfs/A36385-36390.pdf>
- Esteve Faubel. (2009). *El Sonido y sus cualidades*. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/12171/8/t2-1.pdf>
- Fernando Henao. (2014). Riesgos físicos I: ruido, vibraciones y presiones anormales. Recuperado el Noviembre 7, 2019, de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cotopaxisp/reader.action?docID=4870568&ppg=1&query=riesgos%2Bf%25C3%25ADsicos%2BI%253A%2Bruido%252C%2Bvibraciones>
- Fisa, A. G., & Mendaza, P. L. (2011). *INSHT. NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_270.pdf

- García, J., & Luna, P. (2012a). *NTP 950. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (I): incertidumbre de la medición.* (I), 2–4. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/926a937/950w.pdf>
- García, J., & Luna, P. (2012b). *NTP 951: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): tipos de estrategias.* *Notas Técnicas de Prevención. INSHT*, (Ii), 1–7. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/926a937/951w.pdf>
- Chico, G. (2014). *EVALUACIÓN DE RUIDO EN LA EMPRESA CIAUTO CÍA. LTDA. PARA PREVENIR ENFERMEDADES PROFESIONALES.* Universidad Técnica de Ambato.
- Gómes, M. (2012). *RUIDO: EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO ERGONÓMICO.*
- IDEARA, S. (2014). *VIBRACIONES MECÁNICAS. FACTORES RELACIONADOS CON LA FUENTE Y MEDIDAS DE CONTROL.* Obtenido de https://idearainvestigacion.es/wp-content/uploads/2014/10/GUIA_vibraciones-mecanicas_final_baixa-calidade.pdf
- IESS. (2008). *Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social DECRETO EJECUTIVO 2393.*
- INEN. (2014). *NORMA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 9612.* 1–5.
- INEN. (2014). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 2631-1.*
- INSHT. (2018). *Calculadores de prevención. Incertidumbre del ruido.* Recuperado en Enero 15, 2020, from <http://calculadores.insbt.es/Incertidumbredelruido/Introducción.aspx>
- Ministerio del Trabajo. (2012). *Seguridad y Salud en el Trabajo, Ministerio del Trabajo.* Recuperado Noviembre 12, 2019, de <http://www.trabajo.gob.ec/seguridad-y-salud-en-el-trabajo/>

- Näf Cortés, R. R. (2013). *Guía Práctica para el Análisis y la Gestión del Ruido Industrial*. 138. Obtenido de [https://prevencion.fremap.es/Buenas prcticas/LIB.018](https://prevencion.fremap.es/Buenas_prcticas/LIB.018) - Guia Prac. Analisis y Gestion Ruido Ind.pdf
- Pico, F. (2019). ESTUDIO DE RUIDO LABORAL Y VIBRACIONES EN LA EMPRESA HIDROELÉCTRICA HIDROTAMBO S.A. *Αγαη*, 8(5), 144.
- Práctica, O. D. E. L. A. (2011). *Ergonomía*. 1, 1–14. Obtenido de https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7148_practica_8_configuracion_de_puestos_de_trabajo_posicion_de_pie_.pdf
- Reyes, L. (2016). *Distribución de t Student*. Obtenido de https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Distribucion_tStudent.pdf
- Roberto, P., & Paulin, L. (2010). *Aislamiento y acondicionamiento acústico de una sala de videoconferencias*.
- Senovilla, L. P. (2009). Exposición a vibraciones mecánicas . Evaluación del riesgo. NTP 839. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo.*, 6.
- Soto, A. D. Á. (2012). *Procedimiento de Evaluación de Riesgos Ergonómicos y Psicosociales*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd49/aguilasoto.pdf>

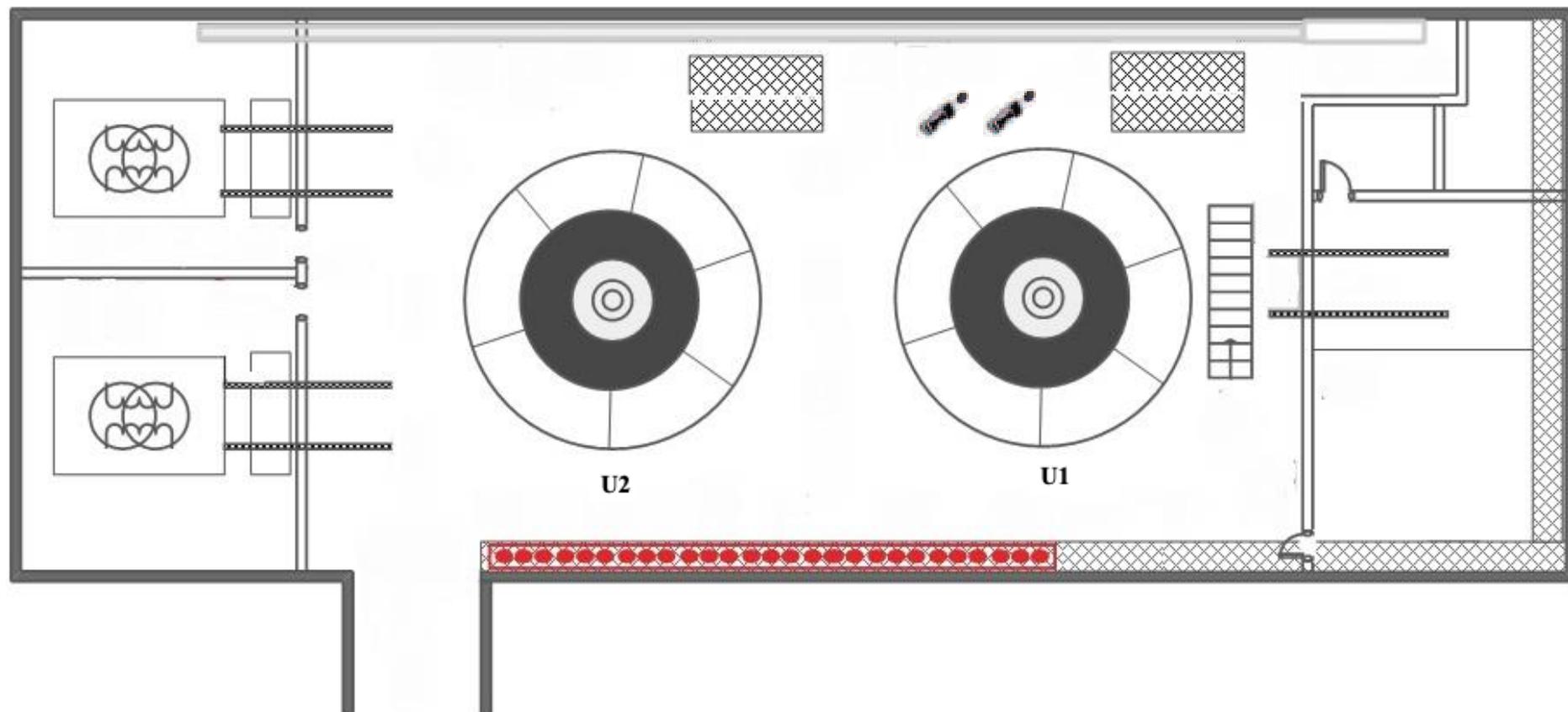
ANEXOS

Anexo 1: Matriz de identificación de riesgos físicos de la Central Hidroeléctrica Pucará.

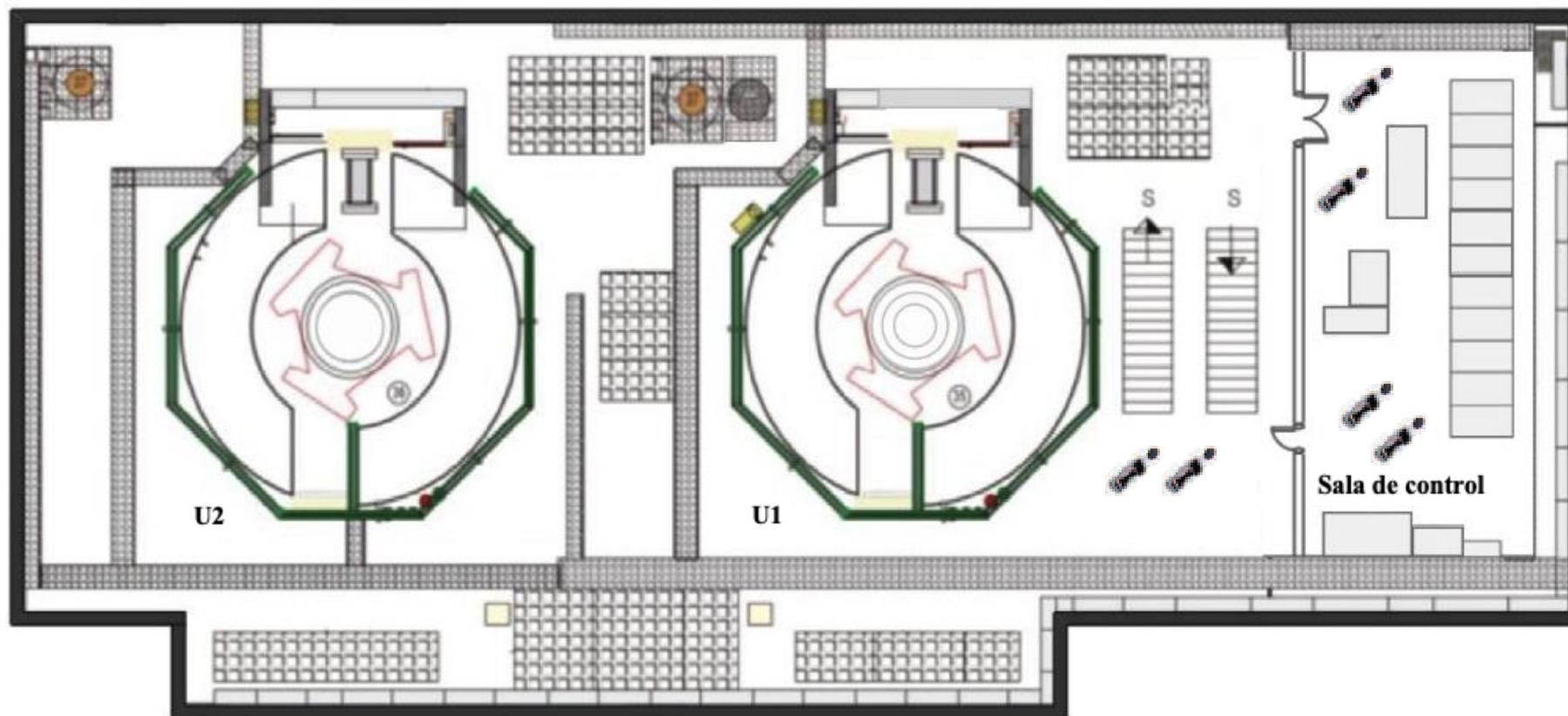
IDENTIFICACION DE RIESGOS FÍSICOS										
EMPRESA		UNIDAD DE NEGOCIO HIDROAGROYAN								
LOCALIZACIÓN		CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ								
RESPONSABLE DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL		ING. CARLOS RUBIO								
INFORMACION GENERAL				No.			Físicos			
PROCESO	SUBPROCESO	PUESTOS DE TRABAJO	ACTIVIDADES	TRABAJADORES (AS)	HOMBRES	MUJERES	TIEMPO DE EXPOSICION HORAS / MES	Ruido	Vibraciones	
CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ										
ADMINISTRACIÓN PRODUCCIÓN	ADMINISTRACION DE PRODUCCION	JEFE DE CENTRAL		1						
		ASISTENTE ADMINISTRATIVA	DESPACHO DE DOCUMENTACION	1	0	1	176			
		ANALISTA TECNICO		1						
	BODEGA	ASISTENTE DE INVENTARIOS A BODEGA	REVISIÓN Y DESPACHO DE INVENTARIOS	1	1	0	176			
ESPECIALISTA DE INVENTARIOS A BODEGA		REVISIÓN Y DESPACHO DE INVENTARIOS	1	1	0	176				
PRODUCCIÓN	GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL	MEDICO OCUPACIONAL	VIGILANCIA DE LA SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE	1	1	0	176			
		MANTENIMIENTO CIVIL	ESPECIALISTA MANTENIMIENTO CIVIL	PROGRAMAR, COORDINAR Y EVALUAR LA EJECUCIÓN DE LAS ÓRDENES DE TRABAJO (PROGRAMA DE MANTENIMIENTO)	1	1	0	176		
			TECNICO MISCELANEOS	TRABAJOS DE PINTURA, PLOMERIA, JARDINERIA Y ALBAÑILERIA	9	9	0	176		
			ESPECIALISTA TECNICO OBRA CIVIL	REVISIÓN Y COORDINACIÓN EN SITIO DE LA OBRA CIVIL	1	1	0	176		
		MANTENIMIENTO ELECTRICO	ESPECIALISTA MANTENIMIENTO ELECTRICO	EJECUCIÓN, SUPERVISION Y REPORTE DE LAS ORDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO	1	1	0	160		
			JEFE DE MANTENIMIENTO ELECTROMECANICO	REVISIÓN DE SISTEMAS ELECTROMECANICOS	1	1	0	176		
			ASISTENTE ELECTRONICO	REVISION DE CIRCUITOS ELECTRICOS Y TABLEROS	2	2	0	176		
		MANTENIMIENTO MECANICO	ESPECIALISTA MANTENIMIENTO MECANICO	COORDINACIÓN DE MANTENIMIENTO MECANICO	1	1	0	176		
			TECNICO MECANICO	REPARACIÓN DE PIEZAS Y SISTEMAS MECANICOS	4	4	0	176		
		OPERACION	JEFE DE OPERACIÓN	VERIFICACION DE PARAMETROS OPERATIVOS DE LOS EQUIPOS. LEVANTAMIENTO DE REGISTROS OPERATIVOS Y NOVEDADES PRESENTADAS	1	1	0	160		
			ESPECIALISTA EN PROGRAMACIÓN Y CONTROL	REVISION DE PARAMETROS TECNICOS	1	1	0	176		
			SUPERVISOR DE OPERACIÓN	VERIFICACION DE PARAMETROS OPERATIVOS DE LOS EQUIPOS. LEVANTAMIENTO DE REGISTROS OPERATIVOS Y NOVEDADES PRESENTADAS	2	2	0	160	Ruido periódico	Vibración cuerpo entero
			OPERADOR CUARTO DE CONTROL	VERIFICACION DE PARAMETROS OPERATIVOS DE LOS EQUIPOS. LEVANTAMIENTO DE REGISTROS OPERATIVOS Y NOVEDADES PRESENTADAS	4	4	0	224	Ruido periódico	Vibración cuerpo entero
		OPERADOR CASA DE MÁQUINAS	VERIFICACION DE PARAMETROS OPERATIVOS DE LOS EQUIPOS. LEVANTAMIENTO DE REGISTROS OPERATIVOS Y NOVEDADES PRESENTADAS	4	4	0	224	Ruido periódico	Vibración cuerpo entero	
				38	35	1				

Anexo 2: Layout del área casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Pucará.

ÁREA CASA DE MÁQUINAS
PISO EXCITATRICES Y TRANSFORMADORES
MONITOREO DE RUIDO Y VIBRACIONES



ÁREA CASA DE MÁQUINAS
PISO SALA DE CONTROL
MONITOREO DE RUIDO Y VIBRACIONES



Anexo 3: Fuentes de ruido y vibraciones

Fuentes de ruido y vibraciones	
Fotografía 1	Fotografía 2
 <p>Compresor de aire de servicio N° 1</p>	 <p>Compresor de aire de servicio N° 2</p>
Fotografía 3	Fotografía 4
 <p>Compresor de aire de servicio N° 3</p>	 <p>Bombas de enfriamiento</p>
Fotografía 5	Fotografía 6
 <p>Compresor</p>	 <p>Bombas de hidráulicas U2</p>

Fotografía 7



Compresor

Fotografía 8



Bombas hidráulicas U1

Fotografía 9



Generador U1

Anexo 4: Especificaciones del sonómetro.

SONÓMETRO		
MODELO	CLASE	NORMA DE CUMPLIMIENTO
CASELLA 63x	Sonómetro Clase 2	Norma IEC 61672-1:2002
TIPO	NIVEL DE RUIDO	OTRAS CARACTERÍSTICAS
Integrador	140 dB	En tiempo real, con adquisición de datos, digital.
Fotografía del instrumento		
		

Anexo 5: Especificaciones del vibrómetro.

Analizador de Vibraciones	
Parámetros	SVANTEK 958A
Rango de frecuencia	0,8 Hz a 20 kHz
Rango de medición	0.0005 m/s^2 RMS a 50 m/s^2
Temperatura operativa	De -10 °C a 50 °C.
Humedad Relativa	hasta 90% HR, sin condensación
Acelerómetro de asiento SV 38	
Parámetros	31987
Número de ejes	3
Rango de medición	0.01 m/s^2 RMS ÷ 50 m/s^2 PEAK
Respuesta de frecuencia	0.1 Hz ÷ 100 Hz
Temperatura	de -10 °C a +50 °C
Humedad	Hasta 90% RH sin condensación.
Verificador de Calibración	
Parámetros	SN: 394C06
Frecuencia de operación	159.2 Hz
Valor de aceleración	9.81 m/s^2 RMS
Temperatura operativa	-10 a +55 °C
Norma de cumplimiento: ISO 8041:2005	
Exposición a vibraciones: De cuerpo entero conforme a la Norma ISO 2631	
Fotografía del instrumento	
	

Anexo 6: Certificado del calibrador sonoro.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO: 25/04762

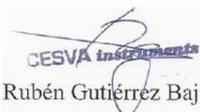
CASELLA *instruments, s.l.u.*
Laboratorio de metrologíaMaracaibo, 6
08030 BARCELONA
ESPAÑA
Teléfono 934 335 2401 Fax 933 479 310

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

INSTRUMENTO:	Calibrador sonoro
MARCA:	CASELLA
MODELO:	CB004
NÚMERO DE SERIE:	0900761
TIPO:	2

FECHA DE CALIBRACION:	2019-10-24
FECHA DE EMISIÓN:	2019-10-29

RESULTADO DE LA CALIBRACION: Dentro de especificaciones en los valores medidos

SUBJEFE DEL LABORATORIO
CESVA *instruments*
Rubén Gutiérrez Bajo

Anexo 7: Certificado de calibración del sonómetro.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO: 25/04762

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

Maracaibo, 6
08030 BARCELONA
ESPAÑA
Teléfono 934 335 240 1Fax 933 479 310

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

INSTRUMENTO:	Sonómetro integrador-promediador
MARCA:	CASELLA
MODELO:	63X
NÚMERO DE SERIE:	0849948
MICRÓFONO:	P-05, número serie A11397
TIPO:	2
FECHA DE CALIBRACIÓN:	2019-10-24
FECHA DE EMISIÓN:	2019-10-27
RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN:	Dentro de especificaciones en los valores medidos

SUBJEFE DEL LABORATORIO


CESVA *instruments*
Rubén Gutiérrez Bajo

Anexo 8: Certificado de calibración del vibrómetro.



SVANTEK

ISO9001 certified

FACTORY CALIBRATION DATA OF THE SV38 No. 31987

1. CALIBRATION

Channel 1 (X): sensitivity = 100.00 mV/(m/s²), calibration factor re. 10mV/(m/s²) = -20.00 dB (f=15.915Hz)
 Channel 2 (Y): sensitivity = 98.87 mV/(m/s²), calibration factor re. 10mV/(m/s²) = -19.90 dB (f=15.915Hz)
 Channel 3 (Z): sensitivity = 98.87 mV/(m/s²), calibration factor re. 10mV/(m/s²) = -19.90 dB (f=15.915Hz)

Input signal: 120dB, Frequency: 15.915Hz.

Filter	Wb	Wd	Wk	Wm
Channel 1 (X) Indication [dB]	-	101.90	-	110.43
Channel 1 (X) Error [dB]	-	-0.14	-	-0.12
Channel 2 (Y) Indication [dB]	-	102.03	-	110.54
Channel 2 (Y) Error [dB]	-	-0.03	-	-0.03
Channel 3 (Z) Indication [dB]	118.14	-	117.68	110.46
Channel 3 (Z) Error [dB]	-0.08	-	-0.10	-0.10

Input signal: 120dB:

Frequency [Hz]	79.577	159.155
Channel 1 (X) Measured sensitivity [mV/(m/s ²)]	92.90	84.43
Channel 2 (Y) Measured sensitivity [mV/(m/s ²)]	92.90	85.02
Channel 3 (Z) Measured sensitivity [mV/(m/s ²)]	91.73	81.10

2. LINEARITY TEST

Filter: Wm; Frequency: 15.915Hz;

Nominal result RMS [dB]	80.0	85.0	90.0	100.0	110.0	120.0	125.0	130.0
Channel 1 (X) Error [dB]	0.41	0.03	-0.09	-0.15	-0.10	0.00	0.05	0.06
Channel 2 (Y) Error [dB]	0.38	0.02	-0.14	-0.17	-0.10	0.05	0.11	0.14
Channel 3 (Z) Error [dB]	0.40	-0.10	-0.20	-0.27	-0.16	0.04	0.02	0.10

3. FREQUENCY RESPONSE

Filter: Wm; Input signal: 120dB.

Frequency [Hz]	4	8	16	31.5	63	125
Channel 1 (X) Gain [dB]	-2.27	-4.89	-9.52	-15.15	-22.22	-33.77
Channel 1 (X) Error [dB]	-0.53	-0.19	-0.08	-0.06	-0.64	-1.40
Channel 2 (Y) Gain [dB]	-2.30	-4.96	-9.59	-15.23	-22.37	-33.77
Channel 2 (Y) Error [dB]	-0.56	-0.26	-0.15	-0.14	-0.79	-1.40
Channel 3 (Z) Gain [dB]	-2.35	-5.03	-9.56	-15.23	-22.21	-33.70
Channel 3 (Z) Error [dB]	-0.61	-0.33	-0.12	-0.14	-0.63	-1.33

4. INTERNAL NOISE

Filter	Wb	Wd	Wk	Wm
Channel 1 (X) Indication [dB]	-	66.70	-	70.20
Channel 2 (Y) Indication [dB]	-	67.00	-	70.70
Channel 3 (Z) Indication [dB]	75.60	-	74.70	71.00

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Temperature	Relative humidity	Ambient pressure
24 °C	56 %	1001 hPa

TEST EQUIPMENT

Item	Manufacturer	Model	Serial no.	Description
1	SVANTEK	SVAN 401	84	Signal generator
2	SVANTEK	SVAN 958	15446	Sound & Vibration Analyser
3	SVANTEK	SVAN 912A	15900	Sound & Vibration Analyser
4	KEITHLEY	2000	0910165	Digital multimeter
5	VEB RFT	11075	81025	Shaker
6	DYTRAN	3233A	747	Reference accelerometer

CONFORMITY & TEST DECLARATION

1. Herewith Svantek company declares that this instrument has been calibrated and tested in compliance with the internal ISO9001 procedures and meets all specification given in the Manual(s) or respectively surpass them.
2. Traceability of the calibration is guaranteed by the above mentioned ISO9001 procedures.
3. The information appearing on this sheet has been compiled specifically for this instrument. This form is produced with advanced equipment & procedures which permit comprehensive quality assurance verification of all data supplied herein.
4. This calibration sheet shall not be reproduced except in full, without written permission of the SVANTEK Ltd.

Calibration specialist: Wacław Skarżycki

Test date: 2014-09-10

Anexo 9: Resultados de los cálculos en el software para mediciones de ruido.

Operador sala de control



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL



Calculadores INSHT > Incertidumbre del ruido > Entrada de datos [Volver a calculadores](#)

Incertidumbre del ruido

Introducción

Entrada de datos

Recursos adicionales

Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido

[Imprimir](#)

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	50,3 dB(A)
Incertidumbre expandida:	3,0 dB
Número de valores medidos:	6

Resultados		Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Contribución a la incertidumbre	Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,03
	Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
	Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
	Suma	$u^2 (L_{EX}, 8h)$	3,28

Datos de partida [Modificar datos](#)

Incertidumbre típica de los instrumentos:	1,5 dB <small>(Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)</small>														
Duración efectiva de la jornada laboral:	480 minutos														
Muestras:	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">dB(A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Muestra 1</td><td style="text-align: right;">50,3</td></tr> <tr><td>Muestra 2</td><td style="text-align: right;">50,7</td></tr> <tr><td>Muestra 3</td><td style="text-align: right;">50,6</td></tr> <tr><td>Muestra 4</td><td style="text-align: right;">50,1</td></tr> <tr><td>Muestra 5</td><td style="text-align: right;">49,9</td></tr> <tr><td>Muestra 6</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> </tbody> </table>		dB(A)	Muestra 1	50,3	Muestra 2	50,7	Muestra 3	50,6	Muestra 4	50,1	Muestra 5	49,9	Muestra 6	50
	dB(A)														
Muestra 1	50,3														
Muestra 2	50,7														
Muestra 3	50,6														
Muestra 4	50,1														
Muestra 5	49,9														
Muestra 6	50														

Operador casa de máquinas



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL



insst

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Calculadores INSHT > Incertidumbre del ruido > Entrada de datos Volver a calculadores

Incertidumbre del ruido

Introducción

Entrada de datos

Recursos adicionales

Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido

[Imprimir](#)

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A: **51,3 dB(A)**

Incertidumbre expandida: **3,3 dB**

Número de valores medidos: **6**

Resultados		Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Contribución a la incertidumbre	Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,67
	Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
	Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
	Suma	$u^2 (L-EX, 8h)$	3,92

Datos de partida [Modificar datos](#)

Incertidumbre típica de los instrumentos: **1,5 dB**
(Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)

Duración efectiva de la jornada laboral: **480 minutos**

Muestras:	dB(A)
Muestra 1	51,8
Muestra 2	52,8
Muestra 3	49
Muestra 4	50,3
Muestra 5	52
Muestra 6	51,1

Supervisor de operación



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL



Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Calculadores INSHT > Incertidumbre del ruido > Entrada de datos Volver a calculadores

Incertidumbre del ruido

Introducción

Entrada de datos

Recursos adicionales

Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido

Imprimir

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	91,6 dB(A)
Incertidumbre expandida:	3,0 dB
Número de valores medidos:	6

Resultados		Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Contribución a la incertidumbre	Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,01
	Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
	Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
	Suma	$u^2 (L-EX, 8h)$	3,26

Datos de partida Modificar datos

Incertidumbre típica de los instrumentos:	1,5 dB (Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)														
Duración efectiva de la jornada laboral:	480 minutos														
Muestras:	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="border-bottom: 1px solid black;"></th> <th style="border-bottom: 1px solid black;">dB(A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Muestra 1</td><td>91,2</td></tr> <tr><td>Muestra 2</td><td>91,7</td></tr> <tr><td>Muestra 3</td><td>91,8</td></tr> <tr><td>Muestra 4</td><td>91,8</td></tr> <tr><td>Muestra 5</td><td>91,6</td></tr> <tr><td>Muestra 6</td><td>91,6</td></tr> </tbody> </table>		dB(A)	Muestra 1	91,2	Muestra 2	91,7	Muestra 3	91,8	Muestra 4	91,8	Muestra 5	91,6	Muestra 6	91,6
	dB(A)														
Muestra 1	91,2														
Muestra 2	91,7														
Muestra 3	91,8														
Muestra 4	91,8														
Muestra 5	91,6														
Muestra 6	91,6														

Anexo 10: Tabla de registro para mediciones de ruido basada en el puesto de trabajo.

	Código:		Realizado por:													
	N ^o revisión:		Revisado por:													
	Fecha:		Aprobado por:													
Instrumento:	Marca:		Modelo:													
Área:		Puesto de trabajo:														
Condiciones ambientales:																
Fecha	Periodo de muestreo	Valores medidos														
		# Medida	L _{Aeq,T}	L _{Ceq,T}	L _{Cpeak}	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
Bandas de octava																

Anexo 11: Tabla de registro para mediciones de vibraciones cuerpo entero.

	Código:		Realizado por:		
	N ^o revisión:		Revisado por:		
	Fecha:		Aprobado por:		
Instrumento:	Marca:		Modelo:		
Área:	Puesto de trabajo:		Posición del operador:		
Tipo de asiento:					
Parámetros técnicos de la medición:					
Tiempo de muestreo:					
Condiciones ambientales: Temperatura: Humedad relativa:					
Fecha:	Periodo de muestreo	Valores medidos			
		# Medida	a _{wx}	a _{wy}	a _{wz}

Anexo 12: Tabla de evaluación para ruido basada en el puesto de trabajo.

		Código:		Realizado por:		
		Nº revisión:		Revisado por:		
		Fecha:		Aprobado por:		
Puesto de trabajo:						
Tiempo de muestreo:						
Valores medidos						
$L_{Aeq,T1}$ (dBA)	$L_{Aeq,T2}$ (dBA)	$L_{Aeq,T3}$ (dBA)	$L_{Aeq,T4}$ (dBA)	$L_{Aeq,T5}$ (dBA)	$L_{Aeq,T6}$ (dBA)	$L_{Aeq,d}$ (dBA)
Incertidumbre					Comparación con la dosis permitida Decreto 2393	
Nivel de ruido (dB)	Instrumento (dB)	Posición (dB)	Suma (dB)	Expandida (dB)	Dosis	
T: Riesgo tolerable I: Riesgo intolerable						

Anexo 13: Tabla de evaluación para vibraciones cuerpo entero.

		Código:		Realizado por:		
		Nº revisión:		Revisado por:		
		Fecha:		Aprobado por:		
Puesto de trabajo:						
Tiempo de muestreo:						
Valores medidos			Media aritmética			
a_{wx} (m/s ²)	a_{wy} (m/s ²)	a_{wz} (m/s ²)	$\overline{a_{wx}}$ (m/s ²)	$\overline{a_{wy}}$ (m/s ²)	$\overline{a_{wz}}$ (m/s ²)	
$A_{wx(d)}$ (m/s ²)	$A_{wy(d)}$ (m/s ²)	$A_{wz(d)}$ (m/s ²)	u_{Ax}	u_{Ay}	u_{Az}	Comparación con valores límites permitidos NTP 839

Anexo 14: Registro fotográfico medición de ruido.**Medición de ruido operador sala de control.**

Fotografía 10

**Medición de ruido supervisor de operación.**

Fotografía 11

**Medición de ruido operador casa de máquinas.**

Fotografía 12



Fotografía 13



Anexo 15: Registro fotográfico medición de vibraciones.**Medición de vibraciones operador sala de control**

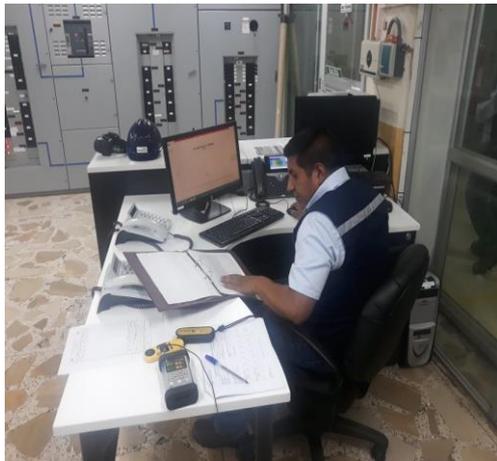
Fotografía 14



Fotografía 15

**Medición de vibraciones operador casa de máquinas**

Fotografía 16



Fotografía 17

**Medición de vibraciones supervisor de operación**

Fotografía 18



Fotografía 19

