

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS**



**T E S I S**

**Protección de los trabajadores frente a los riesgos ergonómicos que  
puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas en labores  
mineras, en la Unidad Minera Animón**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Lizeth Evelin OLIVARES OSORIO**

**Asesor:**

**Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS**

**Cerro de Pasco - Perú - 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS**



**T E S I S**

**Protección de los trabajadores frente a los riesgos ergonómicos que  
puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas en labores  
mineras, en la Unidad Minera Animón**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Edwin Elias SANCHEZ ESPINOZA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Edwin Elias SANCHEZ ESPINOZA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Manuel Mayor CARHUARICRA RIVERA**  
**MIEMBRO**



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR SURCHAQUE Santa Silvia FAU 20154800046 soft  
Soy el autor del documento  
12.2025 13:54:02 -05:00



## INFORME DE ORIGINALIDAD N° 070-2025

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bach. Lizeth Evelin OLIVARES OSORIO**

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:  
**Tesis**

Título del trabajo  
**"PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES FRENTE A LOS RIESGOS ERGONÓMICOS QUE PUEDAN DERIVARSE DE LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES MECANICAS EN LABORES MINERAS, EN LA UNIDAD MINERA ANIMON".**

Asesor:  
**Ing. Toribio, GARCIA CONTRERAS**

Índice de Similitud: **5 %**

Calificativo  
**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 19 de diciembre de 2025.

Sello y Firma del responsable  
de la Unidad de Investigación

## **DEDICATORIA**

Quiero Dedicar esta Tesis a mis padres Miguel y Victoria,  
porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos,  
por su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que he  
logrado hasta hoy es gracias a ellos.

## **AGRADECIMIENTO**

El principal Agradecimiento es a Dios quien me ha guiado a me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia, por su comprensión y estímulo constante, además de su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Y a todas las personas que me apoyaron en la realización de esta tesis, quedo con profundo agradecimiento de su apoyo.

## RESUMEN

Esta investigación, titulada “PROTECCION DE LOS TRABAJADORES FRENTE A LOS RIESGOS PARA SU SEGURIDAD QUE PUEDAN DERIVASE DE LA EXPOCISION A VIBRACIONES MECANICAS EN LABORES MINERAS, EN LA UNIDAD MINERA ANIMON”, tuvo como objetivo principal: Determinar los resultados del monitoreo de las vibraciones mecánicas, utilizando el método de cuerpo entero en los trabajos realizados en las labores mineras. La hipótesis planteada sostuvo que: Los resultados del monitoreo de las vibraciones mecánicas, utilizando el método de cuerpo entero en los trabajos son aceptables. Metodológicamente, el estudio se enmarca en una investigación de tipo aplicada, con nivel descriptivo- explicativo y un diseño no experimental. La muestra estuvo constituida por 24 operadores de equipos mineros, incluyendo camiones, dumpers, motoniveladoras, cargadores frontales, tractores de orugas, tractores de ruedas y cisternas. Como conclusión principal, se determinó que las aceleraciones equivalentes continuas para 8 horas (A(8)) representaron un riesgo moderado para los operadores de la mayoría de los equipos, a excepción de los operadores de cisternas, para los cuales el nivel de riesgo fue clasificado como bajo.

La comparación de los resultados del monitoreo con el valor estipulado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 024-2016-EM) demostró que el 100% de los puestos de trabajo evaluados se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP), lo que clasifica a todos los puntos monitoreados en la categoría de cumplimiento normativo.

Con base en estos hallazgos, se formularon propuestas de medidas de control para la atenuación de los niveles de vibración transmitidos al cuerpo entero de los operarios. Dichas medidas se estructuraron en tres líneas de acción principales: controles técnicos y administrativos, evaluación periódica de la exposición, y un sistema de seguimiento continuo del personal.

**Palabras claves:** Seguridad, vibraciones, monitoreo, cuerpo entero.

## **ABSTRACT**

This research project, entitled “Protection of Workers Against Safety Risks Arising from Exposure to Mechanical Vibrations in Mining Operations at the Animon Mining Unit,” has as its main objective: To determine the results of mechanical vibration monitoring using the whole-body method in mining operations. Its main hypothesis was: The results of mechanical vibration monitoring using the whole-body method are acceptable. Regarding the methodology, the research is applied in nature with a descriptive and explanatory level. The design is non-experimental. The sample will consist of 24 workers who operate equipment such as trucks, dump trucks, graders, front loaders, crawler tractors, wheeled tractors, and tankers at the Animon Mining Unit. The conclusions are as follows: The results obtained during the investigation of the vibrations produced in the operators of the different equipment, referring to the equivalent continuous accelerations during 8 hours, showed a moderate risk, with the exception of the tanker operators, who had a low risk.

Comparing the vibration monitoring results with the values recommended in Supreme Decree 024-2016-EM revealed that all monitored workstations were below the Maximum Permissible Limit (MPL), with 100% of the evaluated points meeting the compliance criteria.

The proposed measures for controlling whole-body vibration levels in equipment operators were based on three components: control, evaluation, and monitoring.

**Keywords:** Safety, vibration, monitoring, whole body

## INTRODUCCION

En la Unidad Minera Animón, el personal operativo se encuentra expuesto a vibraciones mecánicas generadas por la maquinaria utilizada en sus labores diarias. Esta exposición resulta en la transmisión de energía vibratoria al organismo a través de los sistemas mano-brazo y de cuerpo entero, constituyendo un factor de riesgo ocupacional que, con el tiempo, puede generar efectos adversos sobre la salud de los trabajadores. Por consiguiente, se considera imperativo evaluar el estado de este colectivo mediante la cuantificación de los niveles de exposición y la comparación con los estándares normativos vigentes para determinar los riesgos asociados.

La presente investigación tiene como finalidad determinar la exposición a vibraciones a la que están sujetos los trabajadores en sus puestos de trabajo, considerando el tiempo diario de exposición al agente físico. El estudio busca verificar si los niveles de vibración registrados en los sistemas de cuerpo entero y mano-brazo cumplen con los límites establecidos en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, D.S. 024-2016-EM.

Respecto a la estructura del documento, esta se organiza de la siguiente manera:

El Capítulo I comprende el planteamiento del problema, formulando el problema general y los problemas específicos relacionados con los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas en labores mineras.

Asimismo, detalla los objetivos generales y específicos, la justificación e importancia del estudio, las hipótesis planteadas, la descripción de variables, y la delimitación e identificación de limitaciones de la investigación.

El Capítulo II desarrolla el Marco Teórico, analizando los antecedentes de investigaciones previas sobre vibraciones generadas por equipos mineros en distintas operaciones. Adicionalmente, se exponen las bases teóricas y conceptuales fundamentales que sustentan el tema de estudio.

El Capítulo III describe la Metodología empleada, especificando el método, tipo y nivel

de investigación, el diseño de estudio seleccionado, la definición de la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos y los procedimientos para su procesamiento y análisis.

El Capítulo IV presenta los Resultados y el Análisis de los datos obtenidos respecto a los riesgos para la seguridad que pueden derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas en las labores de la Unidad Minera Animón.

Finalmente, se exponen las Conclusiones y Recomendaciones derivadas del estudio, seguidas de las Referencias Bibliográficas que sustentan la investigación.

## ÍNDICE

### Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|        |                                                   |   |
|--------|---------------------------------------------------|---|
| 1.1.   | Identificación y determinación del problema ..... | 1 |
| 1.2.   | Delimitación de la investigación .....            | 2 |
| 1.3.   | Formación del problema .....                      | 3 |
| 1.3.1. | Problema general .....                            | 3 |
| 1.3.2. | Problemas específicos .....                       | 3 |
| 1.4.   | Formulación de objetivos .....                    | 3 |
| 1.4.1. | Objetivo general .....                            | 3 |
| 1.4.2. | Objetivos específicos .....                       | 3 |
| 1.5.   | Justificación de la investigación .....           | 4 |
| 1.6.   | Limitaciones de la investigación .....            | 5 |

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

|        |                                                         |    |
|--------|---------------------------------------------------------|----|
| 2.1.   | Antecedentes de estudio .....                           | 6  |
| 2.2.   | Bases teóricas – científicas .....                      | 10 |
| 2.3.   | Definición de términos básicos .....                    | 30 |
| 2.4.   | Formulación de hipótesis .....                          | 36 |
| 2.4.1. | Hipótesis General .....                                 | 36 |
| 2.4.2. | Hipótesis específicas .....                             | 36 |
| 2.5.   | Identificación de variables .....                       | 36 |
| 2.6.   | Definición operacional de variables e indicadores ..... | 38 |

### CAPITULO III

#### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

|      |                              |    |
|------|------------------------------|----|
| 3.1. | Tipo de investigación .....  | 39 |
| 3.2. | Nivel de investigación ..... | 39 |

|      |                                                      |    |
|------|------------------------------------------------------|----|
| 3.3. | Métodos de investigación .....                       | 40 |
| 3.4. | Diseño de investigación .....                        | 40 |
| 3.5. | Población y muestra.....                             | 41 |
| 3.6. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 42 |
| 3.7. | Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....  | 43 |
| 3.8. | Orientación ética filosófica y epistémica .....      | 44 |

## CAPITULO IV

### PRESENTACION DE RESULTADOS

|      |                                                            |    |
|------|------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. | Descripción del trabajo de campo .....                     | 45 |
| 4.2. | Presentación, análisis e interpretación de resultados..... | 48 |
| 4.3. | Prueba de hipótesis .....                                  | 54 |
| 4.4. | Discusión de resultados.....                               | 67 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                          | <b>Página.</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Tabla 1. Ponderaciones de frecuencia.....                                                                                                                                                | 35             |
| Tabla 2. Operacionalización de variables e indicadores .....                                                                                                                             | 38             |
| Tabla 3. Las Coordenadas UTM.....                                                                                                                                                        | 45             |
| Tabla 4. Acceso a la mina Animón .....                                                                                                                                                   | 47             |
| Tabla 5. Clima y vegetación .....                                                                                                                                                        | 48             |
| Tabla 6. Geomorfología de la mina Animón.....                                                                                                                                            | 48             |
| Tabla 7. Ponderaciones de Frecuencia según ISO 2631-1: Vibraciones Mecánicas y<br>Choques - Evaluación de la exposición humana a las vibraciones del Cuerpo<br>Entero y Mano-Brazo ..... | 50             |
| Tabla 8. Equipo de Monitoreo .....                                                                                                                                                       | 52             |
| Tabla 9. Base legal sobre vibraciones .....                                                                                                                                              | 52             |
| Tabla 10. Límites de la exposición del Cuerpo Entero .....                                                                                                                               | 53             |
| Tabla 11. Exposición a Vibración en Mano-Brazo .....                                                                                                                                     | 53             |
| Tabla 12. Categorización de riesgo para Cuerpo Entero para un tiempo de exposición de<br>8 horas .....                                                                                   | 54             |
| Tabla 13. Categorización de riesgo para Mano-Brazo .....                                                                                                                                 | 54             |
| Tabla 14. Equipo de Monitoreo .....                                                                                                                                                      | 54             |
| Tabla 15. Características de los Puntos Monitoreados .....                                                                                                                               | 55             |
| Tabla 16. Características de los Puntos Monitoreados/Camiones .....                                                                                                                      | 55             |
| Tabla 17. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Camiones.....                                                                                                                         | 55             |
| Tabla 18. Comparación del monitoreo de Vibraciones .....                                                                                                                                 | 56             |
| Tabla 19. Características de los Puntos Monitoreados/damper .....                                                                                                                        | 57             |
| Tabla 20. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Damper .....                                                                                                                          | 58             |
| Tabla 21. Comparación del monitoreo de Vibraciones .....                                                                                                                                 | 59             |
| Tabla 22. Características de los Puntos Monitoreados/Cargadores frontales.....                                                                                                           | 60             |
| Tabla 23. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Cargador frontal .....                                                                                                                | 60             |
| Tabla 24. Comparación del monitoreo de Vibraciones .....                                                                                                                                 | 60             |
| Tabla 25. Características de los Puntos Monitoreados/Motoniveladoras .....                                                                                                               | 61             |
| Tabla 26. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /motoniveladoras .....                                                                                                                 | 62             |
| Tabla 27. Comparación del monitoreo de Vibraciones .....                                                                                                                                 | 63             |
| Tabla 28. Características de los Puntos Monitoreados/tractor de orugas.....                                                                                                              | 64             |
| Tabla 29. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /tractor de orugas.....                                                                                                                | 64             |
| Tabla 30. Comparación del monitoreo de Vibraciones.....                                                                                                                                  | 65             |
| Tabla 31. Características de los Puntos Monitoreados/tractor de ruedas.....                                                                                                              | 66             |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 32. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /tractor de ruedas..... | 66 |
| Tabla 33. Comparación del monitoreo de Vibraciones .....                  | 67 |
| Tabla 34. Características de los Puntos Monitoreados/cisternas.....       | 68 |
| Tabla 35. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Cisterna.....          | 68 |
| Tabla 36. Comparación del monitoreo de Vibraciones.....                   | 69 |
| Tabla 37. Resumen comparativo de monitoreo de vibraciones .....           | 77 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Página. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Figura 1. Factores determinantes de la carga de trabajo .....                                                                                                                                                                                                                                    | 17      |
| Figura 2. Partes del ojo humano .....                                                                                                                                                                                                                                                            | 20      |
| Figura 3. Equipo de medición Luxómetro .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 22      |
| Figura 4. Ejes de referencia para la medida de vibraciones de cuerpo entero .....                                                                                                                                                                                                                | 28      |
| Figura 5. Ejes de referencia para la medida de vibraciones de vibraciones mano-brazo .....                                                                                                                                                                                                       | 28      |
| Figura 6. Ejemplo de vibrómetro con sus accesorios .....                                                                                                                                                                                                                                         | 29      |
| Figura 7. Esquema de un equipo de medición de vibraciones .....                                                                                                                                                                                                                                  | 30      |
| Figura 8. Sistema de coordenadas biodinámicas para medir las aceleraciones (según<br>ISO 2631). ax, ay, az: aceleración en la dirección de los ejes: x, y, z; Eje x:<br>dirección espalda – pecho.; Eje y: dirección derecha izquierda; Eje z: dirección<br>pies – cabeza .....                  | 32      |
| Figura 9. Sistema de coordenadas biodinámicas para la medición sistema mano – brazo.<br>Eje Z: Corresponde a la línea longitudinal ósea. Eje X: Corresponde a la línea<br>perpendicular a la palma de la mano. Eje Y: Corresponde a la línea en la<br>dirección de los nudillos de la mano. .... | 32      |
| Figura 10. Plano de ubicación de la mina Animón .....                                                                                                                                                                                                                                            | 46      |
| Figura 11. Comparativo de niveles de vibración en operadores de camión con la<br>normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM .....                                                                                                                                                                   | 70      |
| Figura 12. Comparativo de niveles de vibración en operadores de Damper con la<br>normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM .....                                                                                                                                                                   | 71      |
| Figura 13. Comparativo de niveles de vibración en operadores de camión con la<br>normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM .....                                                                                                                                                                   | 72      |
| Figura 14. Comparativo de niveles de vibración en operadores de motoniveladoras con la<br>normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM .....                                                                                                                                                          | 73      |
| Figura 15. Comparativo de niveles de vibración en operadores de tractor de orugas con<br>la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM .....                                                                                                                                                        | 74      |
| Figura 16. Comparativo de niveles de vibración en operadores de tractor de ruedas con<br>la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM .....                                                                                                                                                        | 75      |
| Figura 17. Comparativo de niveles de vibración en operadores de cisternas con la<br>normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM .....                                                                                                                                                                | 76      |

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La exposición laboral a vibraciones generadas por vehículos, maquinaria pesada y herramientas manuales eléctricas constituye un agente físico reconocido como causal de diversas patologías ocupacionales. La caracterización precisa de dicha exposición requiere considerar múltiples factores, entre los que destacan: la multiplicidad de tareas realizadas por el trabajador, el tiempo de exposición dedicado a cada actividad, las condiciones operativas de los equipos y la tipología de vibraciones a las que se encuentra sometido el personal.

Pese a la evidencia científica, existe una subestimación generalizada respecto a los efectos adversos de las vibraciones sobre la salud humana. Lejos de ser una simple molestia operativa, la exposición crónica a este agente físico se correlaciona con trastornos médicos graves, incluyendo lumbalgias, síndrome del túnel carpiano y alteraciones vasculares periféricas.

Desde el punto de vista ergonómico, la exposición vibratoria se clasifica en dos categorías principales: vibraciones de cuerpo entero y vibraciones mano-brazo. Ambas categorías presentan diferentes fuentes de generación, afectan regiones anatómicas específicas y manifiestan sintomatologías diferenciadas. Los efectos

crónicos sobre la salud surgen como consecuencia de la transferencia prolongada de energía vibratoria entre las superficies de contacto y el sistema biomecánico del operador.

En el contexto específico de la Unidad Minera Animón, el personal operativo experimenta exposición dual a vibraciones durante la ejecución de sus labores, recibiendo transmisión simultánea a través del subsistema mano- brazo y del sistema de cuerpo entero. Esta condición representa un riesgo ocupacional acumulativo que justifica la evaluación cuantitativa de los niveles de exposición y su contraste con los parámetros normativos vigentes.

En consecuencia, esta investigación se establece con el propósito fundamental de determinar los niveles de exposición vibratoria en los puestos de trabajo, considerando la jornada laboral completa, y verificar el cumplimiento de los sistemas cuerpo entero y mano-brazo con los límites establecidos en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. 024-2016- EM). La conjunción de estos aspectos evidencia la pertinencia y necesidad del presente estudio.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **Delimitación espacial**

El presente estudio se desarrollará en las instalaciones de la Unidad Minera Animón, localizada en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco. La investigación se circunscribirá específicamente a las áreas operativas donde se realiza el monitoreo de vibraciones mecánicas, abarcando las secciones donde operan los equipos mineros sujetos a evaluación.

### **Delimitación temporal**

El desarrollo de la investigación se extenderá por un período de seis meses, comprendido entre julio y diciembre del año 2024. Este marco temporal incluirá las fases de planificación, trabajo de campo para la recolección de datos, procesamiento y análisis de resultados, y la elaboración del informe final.

### **1.3. Formación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuáles son los resultados del monitoreo de las vibraciones mecánicas, utilizando el metodo de cuerpo entero en los trabajos realizados en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

##### **Problema específico a**

¿Las vibraciones mecánicas en el sistema de cuerpo entero evaluado en las labores mineras cumplen con los estándares establecidos por el D:S: 024 - 2016 - EM en la Unidad Minera Animon?

##### **Problema específico b**

¿Qué medidas de control se deben proponer para minimizar el riesgo de ocurrencia generados por las vibraciones mecánicas que pueden afectar a la salud del personal, en la Unidad Minera Animon?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar los resultados del monitoreo de las vibraciones mecánicas, utilizando el metodo de cuerpo entero en los trabajos realizados en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

##### **Objetivo específico a**

Determinar si las vibraciones mecánicas en el sistema de cuerpo entero evaluado en las labores mineras cumplen con los estándares establecidos por el D:S: 024 - 2016 - EM en la Unidad Minera Animon.

##### **Objetivo específico b.**

Proponer medidas de control para minimizar el riesgo de ocurrencia generados por las vibraciones mecánicas que pueden afectar a la salud del personal, en la Unidad Minera Animon.

## **1.5. Justificación de la investigación**

La realización de este estudio se justifica en los siguientes ámbitos:

### **Justificación Teórica**

Desde la perspectiva teórica, esta investigación contribuirá al cuerpo de conocimiento en higiene ocupacional minera mediante la caracterización sistemática de la exposición a vibraciones mecánicas. El estudio considera variables fundamentales como la multimodalidad de tareas, los tiempos de exposición diferenciales por equipo, las condiciones operativas de la maquinaria y la tipología de vibraciones, proporcionando un modelo metodológico aplicable en contextos mineros análogos.

### **Justificación Practica**

La exposición a vibraciones mecánicas constituye un riesgo laboral reconocido que, ante una exposición constante, puede desencadenar patologías como lumbalgias ocupacionales, síndrome del túnel carpiano y trastornos vasculares periféricos.

La identificación cuantitativa de los niveles de exposición permitirá implementar medidas de control específicas, previniendo la incidencia de enfermedades profesionales entre el personal operativo de la unidad minera.

### **Justificación Económica**

La implementación de mejoras basadas en los resultados del estudio optimizará los sistemas de trabajo con equipos mineros, estableciendo protocolos de seguridad adecuados. Esta prevención reducirá las interrupciones operativas por incapacidades médicas relacionadas con exposición vibratoria, lo que se traducirá en una disminución de costos asociados a prima de seguros, ausentismo laboral y pérdida de productividad.

### **Justificación legal**

Podremos ver si las vibraciones mecánicas en el sistema de cuerpo entero y mano brazo cumplen con los estándares establecidos por el D:S: 024 – 2016 – EM en la Unidad Minera Animon.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

De acuerdo con la naturaleza del estudio, se anticipa que el desarrollo de la investigación no presentará contratiempos significativos que afecten el cumplimiento de sus objetivos. No obstante, es importante reconocer que el acceso continuo a las áreas operativas y la disponibilidad programada de los equipos y operadores para el monitoreo constituyen factores críticos para la ejecución del cronograma establecido. Se implementarán protocolos de coordinación con el área de operaciones de la unidad minera para mitigar posibles interrupciones en el proceso de recolección de datos.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **ANTECEDENTES NACIONALES**

##### **Primer antecedente:**

Chambi en su investigación titulada “ ” (CHAMBI, 2018) tuvo como objetivo principal evaluar los riesgos ergonómicos asociados a las operaciones de perforación. Entre sus conclusiones más relevantes se destaca:

- Se documentó detalladamente el proceso de perforación con equipos Jumbo para fundamentar la evaluación ergonómica del personal.
- Los resultados de las mediciones ambientales registraron niveles de ruido promedio de 109.6 dB, y valores de vibración de cuerpo entero con aceleraciones equivalentes de  $A_{eq} X = 0.08 \text{ m/s}^2$ ,  $A_{eq} Y = 0.07 \text{ m/s}^2$ , y  $A_{eq} Z = 0.06 \text{ m/s}^2$ .
- El análisis de exposición determinó que, conforme al D.S. 024-2016- EM, los niveles de ruido excedían el límite máximo permisible de 106 dBA, mientras que las vibraciones de cuerpo entero se mantenían por debajo del límite establecido de  $0.5 \text{ m/s}^2$ .
- El estudio culminó con la implementación de medidas de control dirigidas a mitigar la carga física, mejorar las condiciones del entorno físico y optimizar la

organización del tiempo de trabajo.

### **Segundo antecedente**

Caro (CARO, 2014) en su investigación titulada “ ”, tuvo como objetivo analizar la influencia de los factores ergonómicos en las condiciones de seguridad y salud del personal. Entre sus principales conclusiones se establece:

- Se verificó la presencia de riesgos ergonómicos significativos en
- puestos de trabajo que involucran la operación de equipos móviles y maquinaria estacionaria.
- La obsolescencia tecnológica de los equipos mineros, el deterioro de los mobiliarios y la insuficiencia de espacios operativos constituyeron factores críticos que generaron exposición concurrente a riesgos de ruido, vibraciones, agentes químicos y condiciones climáticas adversas.
- Se determinó que el diseño anticuado de la maquinaria en uso carece de principios ergonómicos básicos, exacerbando los riesgos identificados.
- El riesgo luminoso fue categorizado como de alto impacto, recomendándose su priorización para prevenir afectaciones visuales en los trabajadores.
- El estudio reveló que el 95% del personal desconoce las posturas corporales adecuadas durante la operación de equipos.
- Del análisis de 41 áreas evaluadas, se identificó que el 82.85% de las atenciones médicas por problemas musculoesqueléticos correspondieron a patologías lumbares, mientras que el 17.15% restante se distribuyó entre dolencias de muñeca, hombro y trastornos visuales.

### **Tercer antecedente**

La tesis de (ROBLES, 2021) titulada “ ”, tuvo como objetivo principal analizar los riesgos ergonómicos asociados a las posturas corporales durante operaciones de perforación. El estudio alcanzó las siguientes conclusiones:

- La aplicación del método REBA (Rapid Entire Body Assessment)

- permitió cuantificar el nivel de riesgo ergonómico en perforistas, determinando que las posturas físicas adoptadas durante las operaciones representan distintos grados de peligrosidad.
- Se identificó que los principales factores de riesgo ergonómico
- corresponden a la adopción de posturas corporales inapropiadas y la ejecución de movimientos repetitivos de forma continua.
- El análisis específico por segmentos corporales reveló que los miembros superiores presentaron riesgo medio en dos trabajadores y riesgo alto en otros dos operadores.
- Como medidas correctivas, el investigador implementó un programa integral que incluyó capacitaciones en principios ergonómicos, seguimiento continuo de las condiciones de trabajo y controles médicos periódicos especializados en salud ocupacional para el personal perforista.

#### **Cuarto antecedente**

La investigación de Antinori y Chilon (ANTINORI, CHILON, 2021) titulada " ", tuvo como objetivo realizar una evaluación comparativa de los niveles de exposición a vibraciones en dichos operarios. El estudio permitió establecer las siguientes conclusiones:

- El análisis histórico de los datos cuantitativos reveló niveles promedio de vibración de cuerpo entero de  $0.51 \text{ m/s}^2$  (2016),  $0.32 \text{ m/s}^2$  (2018) y  $0.36 \text{ m/s}^2$  (2019), identificándose el año 2016 como el periodo de mayor exposición vibratoria.
- La evaluación comparativa demostró que, a pesar de las variaciones interanuales, todos los valores registrados se mantuvieron sistemáticamente por debajo del Límite Máximo Permisible establecido en el D.S. 024-2016-EM.
- Como resultado del estudio, se implementó un sistema integral de gestión que incluyó medidas de prevención primaria, seguimiento continuo, evaluación periódica y monitoreo sistemático de los niveles de vibración transmitidos a los

operadores de camiones y maquinaria auxiliar.

#### **Quinto antecedente**

El trabajo de Lizano titulado "", (LIZANO, 2012) tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de control para mitigar los efectos de las vibraciones en este personal. El estudio concluyó lo siguiente:

- El análisis de cuatro empresas evidenció que en tres de ellas existían deficiencias significativas tanto en la gestión administrativa como en el factor humano, manifestándose mediante la presencia de enfermedades profesionales directamente asociadas a las condiciones de trabajo.
- Se identificaron factores técnicos críticos en la operación de montacargas que influyen directamente en la transmisión de vibraciones: estado de los pisos, condiciones de las llantas, eficiencia del sistema antivibratorio y características del asiento operator.
- Se detectó un desconocimiento generalizado entre los operadores respecto a los procedimientos de calibración correcta de los asientos y la importancia de mantener velocidades inferiores a 20 km/h para reducir significativamente los niveles de vibración transmitida.
- Los exámenes médicos ocupacionales anuales resultaron insuficientes para detectar precozmente las afectaciones relacionadas con la exposición crónica a vibraciones.

#### **Sexto antecedente**

Ivorra en su tesis (IVORRA, 2023) titulada "", tuvo como objetivo principal atenuar la transmisión de vibraciones a través de la modificación estructural del mango de herramientas neumáticas. El estudio alcanzó las siguientes conclusiones:

- Se optimizaron los parámetros técnicos de la empuñadura del martillo neumático, específicamente en el sistema de amortiguación, superando las prestaciones del diseño comercial convencional mediante la validación con ensayos operativos y

modelamiento numérico.

- Se estableció una correlación directa entre la aparición de sintomatologías clínicas y patologías documentadas con el uso prolongado de equipos y herramientas que generan vibraciones.
- La integración de principios biomecánicos, biodinámicos y ergonómicos demostró ser fundamental para el diseño de equipos, permitiendo comprender la respuesta fisiológica a las vibraciones y desarrollar dispositivos antivibratorios eficientes.
- La evaluación comparativa de materiales identificó al compuesto EVA D50 como el más efectivo, presentando una resiliencia del 40.48% y una histéresis elástica del 59.51%, valores significativamente superiores a los observados en poliuretanos (PU), caucho natural y caucho negro analizados.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **Ergonomía**

#### ***Concepto de ergonomía***

La ergonomía se define como la disciplina científica que estudia las interacciones entre los seres humanos y los demás componentes de un sistema laboral. Según el Consejo de la Asociación Internacional de Ergonomía (IEA, 2000), constituye "la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos al diseño con el fin de optimizar el bienestar humano y el desempeño global del sistema".

Complementariamente, la IEA establece que "la ergonomía consiste en la aplicación de conocimientos científicos para que el trabajo, los sistemas, los productos y los entornos se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales del ser humano". Esta conceptualización enfatiza el enfoque antropocéntrico de la disciplina, donde la adaptación del medio laboral a las características del operador resulta fundamental para garantizar la eficiencia operacional y la preservación de la salud.

#### ***Sistema de trabajo***

De acuerdo con la norma ISO 26800:2011, un sistema de trabajo en el

contexto laboral se define como la integración de uno o más trabajadores con el equipo de trabajo, actuando de manera conjunta para ejecutar la función del sistema dentro de un espacio laboral determinado, bajo condiciones específicas impuestas por las tareas a desarrollar.

Esta concepción sistémica enfatiza la interdependencia entre los componentes humanos y técnicos, donde el entorno laboral y las exigencias de la tarea constituyen factores determinantes en el desempeño global del sistema. La optimización de este conjunto de elementos interrelacionados representa un objetivo fundamental del análisis ergonómico en entornos mineros.

### **Áreas de actuación de la ergonomía**

La ergonomía se estructura en tres dominios de especialización principales:

#### ***Ergonomía física***

Esta área se enfoca en el estudio de la organización del trabajo analizando las relaciones entre la anatomía humana, antropometría, fisiología y biomecánica con la actividad física requerida en el puesto laboral. Sus principales campos de aplicación incluyen:

- Diseño del puesto de trabajo
- Análisis de posturas laborales
- Manipulación manual de cargas
- Movimientos repetitivos
- Prevención de trastornos musculoesqueléticos

#### ***Ergonomía cognitiva***

Denominada también cognoscitiva, examina cómo la organización del trabajo influye en los procesos mentales (percepción, memoria, razonamiento y respuesta motora) y su impacto en la interacción persona-sistema. Sus ámbitos de estudio comprenden:

- Carga de trabajo mental

- Procesos de toma de decisiones
- Desarrollo del funcionamiento experto
- Interacción persona-ordenador
- Análisis de fiabilidad humana
- Estrés laboral y programas de formación

### ***Ergonomía organizacional***

Se dedica a la optimización de sistemas socio-técnicos, incluyendo estructuras organizativas, procesos y políticas. Sus aplicaciones principales son:

- Diseño de horarios laborales
- Organización de tiempos y turnos de trabajo
- Gestión de pausas y descansos
- Análisis del trabajo nocturno
- Dinámicas de trabajo en equipo
- Ergonomía comunitaria
- Organizaciones virtuales y teletrabajo
- Sistemas de gestión de calidad

### **Objetivos de la ergonomía**

El objetivo fundamental de la ergonomía consiste en adaptar las condiciones y organización del trabajo a las capacidades y limitaciones del trabajador, mediante el diseño adecuado de puestos de trabajo, equipos y entornos laborales, buscando optimizar simultáneamente el bienestar humano y la eficiencia del sistema productivo.

### **Factores de riesgo de la ergonomía**

Los factores de riesgo ergonómico constituyen aquellas condiciones laborales que establecen las exigencias físicas y mentales impuestas por la tarea al trabajador, incrementando la probabilidad de ocurrencia de daños a la salud. Estos se clasifican en las siguientes categorías:

**Factores psicosociales:** Derivados de deficiencias en la organización del

trabajo que afectan el bienestar psicológico.

**Condiciones ambientales desfavorables:** Comprenden variables como temperatura extrema, humedad inadecuada, niveles de iluminación insuficientes o excesivos, y exposición a vibraciones.

**Características deficientes del entorno laboral:** Incluyen espacios de trabajo inadecuados, deficiente distribución de áreas y falta de orden y limpieza.

**Variables individuales del operario:** Abarcan dimensiones corporales (antropometría), sexo, edad, experiencia laboral y nivel de formación específica.

**Organización del trabajo:** Engloba factores como ritmo de trabajo acelerado, sistemas de turnos inadecuados, falta de autonomía en la ejecución de tareas y gestión incorrecta de pausas recuperadoras.

Esta conceptualización establece que la ergonomía equivale a la integración adecuada entre la organización del trabajo y las condiciones laborales, donde cualquier desequilibrio en estos componentes genera exposición a factores de riesgo.

### **Organización del trabajo**

Se define como aquella estructura organizacional que promueve la comunicación entre trabajadores, el apoyo social mutuo y la participación activa del personal en la toma de decisiones relacionadas con seguridad y salud ocupacional.

Los factores constitutivos de la organización del trabajo incluyen:

- Configuración de horarios laborales
- Determinación del ritmo de trabajo
- Grado de automatización de los procesos productivos
- Sistemas de comunicación y calidad de las relaciones interpersonales
- Estilo de liderazgo predominante
- Contenido y complejidad de las tareas
- Grado de identificación del trabajador con su labor
- Margen de autonomía y capacidad de iniciativa

- Adecuación de la carga laboral a la duración de la jornada
- Implementación de pausas efectivas para la reducción de la fatiga física
- Estrategias de rotación de tareas
- Oportunidades de desarrollo y promoción profesional
- Nivel de estabilidad en el empleo

La optimización de estos factores contribuye significativamente a la prevención de riesgos ergonómicos y al mejoramiento del clima organizacional.

### **Diseño del puesto de trabajo**

El diseño adecuado de puestos de trabajo requiere un enfoque integral que considere múltiples factores interdependientes. Entre los elementos críticos a considerar destacan:

- La distribución y adecuación de espacios físicos
- Las condiciones ambientales del entorno laboral
- Los componentes y herramientas necesarias para la ejecución de tareas y sus interrelaciones
- Las características específicas de las actividades a desarrollar
- La estructura organizacional del trabajo
- Las capacidades y limitaciones antropométricas, fisiológicas y psicológicas del personal involucrado

Esta perspectiva sistémica garantiza que el diseño del puesto se adapte tanto a los requerimientos técnicos de la producción como a las características

humanas, optimizando así el desempeño global mientras se preserva la salud y bienestar de los trabajadores.

### **Manipulación de cargas**

Se define como cualquier operación de transporte o sujeción de una carga por parte de uno o varios trabajadores, que incluye levantamiento, colocación, empuje, tracción o desplazamiento, y que por sus características ergonómicas inadecuadas

genera riesgos para la salud laboral, particularmente en la región dorsolumbar.

Se considera manipulación manual de cargas en las siguientes situaciones:

- Levantamiento de cargas superiores a 3 kg sin desplazamiento
- Transporte de cargas superiores a 3 kg con desplazamiento mayor a 1 metro en posición erguida
- Empuje y arrastre de cargas que requieren el movimiento completo del cuerpo en posición de pie o con desplazamiento

Esta actividad representa un factor de riesgo que puede generar lesiones musculoesqueléticas tanto en trabajadores que realizan estas tareas de forma habitual como ocasional.

En escenarios que implican esfuerzo físico significativo, como la manipulación de personas, animales u otros objetos móviles, se requiere la implementación de evaluaciones específicas de riesgos ergonómicos para determinar las medidas de control adecuadas.

### **Posturas de trabajo**

En el ámbito ergonómico, el concepto "postura de trabajo" se refiere a la disposición relativa de los segmentos corporales durante la actividad laboral, trascendiendo la simple distinción entre trabajo en posición sedente o erguida.

Las posturas adoptadas durante la jornada laboral constituyen uno de los principales factores etiológicos asociados al desarrollo de trastornos musculoesqueléticos de origen ocupacional. La manifestación de estas patologías depende de múltiples variables interrelacionadas con la organización del trabajo, entre las que destacan:

- Adopción de posturas forzadas o antiálgicas
- Tiempo de mantenimiento de posturas estáticas
- Frecuencia en la realización de movimientos que requieren posturas forzadas

- Combinación de posturas inadecuadas con otros factores de riesgo ergonómico

La evaluación sistemática de estos aspectos resulta fundamental para implementar estrategias preventivas efectivas en el entorno minero.

### **Trabajos repetitivos**

Los movimientos repetitivos de las extremidades superiores constituyen uno de los factores de riesgo más significativos en la generación de trastornos musculoesqueléticos de origen laboral.

Este riesgo se ve incrementado cuando se combina con otros factores concurrentes:

- Ausencia de pausas recuperadoras adecuadas
- Adopción de posturas forzadas
- Aplicación de fuerzas excesivas
- Exposición a vibraciones segmentarias
- Condiciones térmicas adversas
- Tiempos de recuperación insuficientes

Se identifica la necesidad de evaluación ergonómica específica cuando se presentan las siguientes condiciones:

1. Ejecución de tareas repetitivas durante más de 2 horas continuas en la jornada laboral
2. Existencia de ciclos de trabajo definidos, o cuando más del 50% del tiempo se dedique a la misma secuencia gestual
3. Ciclos de trabajo inferiores a 30 segundos o repetición de movimientos elementales en más del 50% del ciclo
4. Esfuerzos que superen el 30% de la capacidad muscular máxima del trabajador
5. Adopción de posturas extremas en segmentos corporales específicos
6. Mantenimiento prolongado de posturas estáticas
7. Manipulación de herramientas vibratorias

8. Exposición segmentaria al frío o contacto con superficies duras
9. Periodos de recuperación insuficientes entre ciclos de trabajo La identificación temprana de estos factores permite implementar medidas correctivas para prevenir la aparición de patologías ocupacionales.

### **Carga mental**

De acuerdo con la norma ISO 10075-1 sobre "Principios ergonómicos relativos a la carga mental de trabajo", se define la tensión mental como el efecto inmediato de la carga mental en el individuo, excluyendo los efectos a largo plazo. Esta tensión está determinada por las condiciones previas y actuales del trabajador, incluyendo sus estrategias individuales de afrontamiento.

La carga mental representa así la respuesta psicofisiológica inmediata del organismo a las demandas cognitivas del puesto de trabajo, cuya intensidad varía según las características individuales y las capacidades de adaptación de cada operario frente a las exigencias laborales.

**Figura 1.** Factores determinantes de la carga de trabajo



### **Trastornos musculo esquelético (TME)**

Los Trastornos Musculoesqueléticos (TME) de origen laboral comprenden alteraciones que afectan estructuras corporales como músculos, articulaciones, tendones, ligamentos, nervios, huesos y el sistema circulatorio, siendo causados o agravados predominantemente por la actividad laboral y las condiciones del entorno donde ésta se desarrolla (OSHA-Europa, 2007).

Los principales factores de riesgo asociados a la aparición de TME se clasifican en:

**Factores físicos:** Incluyen sobreesfuerzos, manipulación manual de cargas, posturas forzadas, movimientos repetitivos, aplicación de fuerzas excesivas y exposición a vibraciones mecánicas.

**Factores organizacionales:** Comprenden falta de autonomía operativa, ritmos de trabajo elevados, ausencia de pausas recuperadoras, y tareas monótonas y repetitivas.

**Factores ambientales:** Abarcan condiciones térmicas inadecuadas, niveles de iluminación insuficientes o excesivos, y diseño inadecuado del puesto de trabajo.

**Factores psicosociales:** Incluyen insatisfacción laboral, falta de apoyo organizacional por parte de dirección, supervisores y compañeros.

**Factores individuales:** Como edad, condición física, índice de masa corporal y antecedentes médicos previos.

La interacción de estos factores incrementa significativamente la probabilidad de desarrollo de TME en trabajadores expuestos.

### **Ambiente térmico**

Las condiciones termohigrométricas del entorno laboral, resultantes de la combinación de temperatura y humedad, interactúan con la intensidad de la actividad física desarrollada, las características de la indumentaria y las variables individuales de los trabajadores, generando distintos niveles de aceptabilidad térmica.

Aún en ausencia de condiciones térmicas extremas, un ambiente térmico inadecuado puede afectar negativamente el bienestar del trabajador, provocando:

- Disminución del rendimiento físico y cognitivo
- Incremento de distracciones debido a molestias térmicas
- Reducción de la capacidad de concentración
- Aumento en la probabilidad de ocurrencia de accidentes laborales

Esta relación subraya la importancia del control ambiental como factor crítico en la prevención de riesgos laborales y el mantenimiento de la eficiencia operativa.

## **Iluminación**

La iluminación o luminancia se define como el flujo luminoso que incide de manera constante sobre una superficie, cuantificado en lux (lx) o lúmenes (lm). Metrológicamente, un lux equivale a un lumen distribuido uniformemente sobre una superficie de un metro cuadrado (Caminos, 2011).

El flujo luminoso representa la totalidad de la radiación luminosa visible emitida por una fuente. La relación entre flujo luminoso e iluminación establece que a mayor cantidad de lúmenes, mayor será la intensidad luminosa emitida (Saavedra, Rey y Luyo, 2016). Esta característica es inherente a las propiedades ópticas de la fuente luminosa y constituye un parámetro técnico proporcionado por los fabricantes de luminarias y sistemas de iluminación.

La adecuación de los niveles de iluminación a los requerimientos específicos de cada tarea minera resulta fundamental para garantizar condiciones visuales óptimas, prevenir la fatiga visual y mantener los estándares de seguridad operacional.

## **Luz**

Forma de energía que se propaga mediante radiación electromagnética sin requerir un medio conductor material. Se define específicamente como la porción del espectro electromagnético con capacidad de ser detectada por el fotorreceptor humano, comprendiendo longitudes de onda entre aproximadamente 380 y 780 nanómetros.

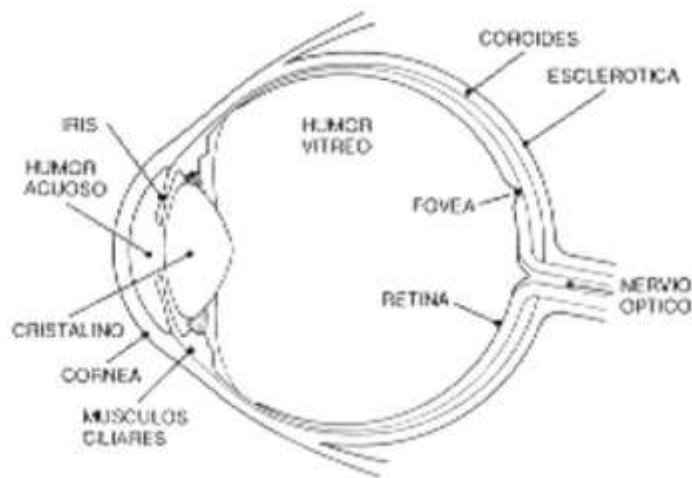
## **La visión**

Proceso neurofisiológico mediante el cual la energía lumínica captada por el sistema ocular se transforma en impulsos nerviosos que generan percepciones visuales. El ojo constituye el órgano especializado responsable de esta conversión fotoeléctrica, iniciando el procesamiento cognitivo de la información visual.

Estos conceptos fundamentales establecen las bases para el diseño de sistemas de iluminación que optimicen la percepción visual en entornos mineros, donde las condiciones lumínicas adecuadas son críticas para la seguridad y eficiencia

operativa.

**Figura 2. Partes del ojo humano**



### **Confort Visual**

Se define como el estado de equilibrio entre las variables lumínicas ambientales y los requerimientos visuales exigidos por la tarea laboral desarrollada.

#### **Factores para determinar el confort visual**

- Uniformidad en la distribución lumínica
- Ausencia de deslumbramientos directos o reflejados
- Fidelidad cromática adecuada
- Condiciones de contraste óptimas
- Niveles de luminancia apropiados
- Eliminación de fenómenos de parpadeo luminoso

#### **Medición de la iluminación**

La cuantificación del flujo luminoso se realiza mediante el lumen (lm), unidad que representa la medida de la energía luminosa emitida por una fuente.

#### **Tipos de Iluminación**

##### ***Iluminación Natural:***

Fuente: Radiación solar directa o difusa

Ventajas: Costo energético nulo, espectro cromático completo, reducción de la fatiga visual

Desventajas: Dependencia de ciclos diurnos/nocturnos, variabilidad por condiciones meteorológicas

### ***Iluminación Artificial:***

Fuente: Sistemas de iluminación tecnológicos

Ventajas: Independencia temporal, control preciso de niveles lumínicos, consistencia en la intensidad

Desventajas: Costos de implementación y mantenimiento, potencial generación de fatiga visual por características espectrales

La integración balanceada de ambos sistemas constituye la estrategia óptima para entornos mineros que requieren iluminación constante y adecuada.

### **Equipos de medición de la iluminación**

#### ***Luxómetro***

Instrumento electrónico de medición fotométrica diseñado para cuantificar los niveles de iluminancia en ambientes interiores y exteriores. Su principio de operación se basa en la conversión de la energía lumínica incidente, captada mediante una célula fotoeléctrica, en señales eléctricas proporcionales. Esta señal es procesada y presentada numéricamente en un display digital en unidades de lux (lx), correspondientes a lúmenes por metro cuadrado.

El dispositivo incorpora elementos esenciales como:

- Sensor fotosensible con respuesta espectral corregida
- Sistema de difusor para atenuación angular
- Circuito electrónico de acondicionamiento de señal
- Interface de visualización de mediciones

Su calibración periódica resulta fundamental para garantizar la precisión metrológica en las evaluaciones de condiciones lumínicas en puestos de trabajo

minero.

**Figura 3.** Equipo de medición Luxómetro



### **Vibraciones**

Tanto las vibraciones mano-brazo como las de cuerpo entero constituyen agentes físicos de amplia prevalencia en entornos laborales industriales y mineros.

Estas vibraciones pueden generar patologías específicas por exposición crónica, además de inducir efectos psicofisiológicos, alteraciones subjetivas de confort y deterioro del rendimiento laboral. Los efectos en el desempeño se manifiestan a través de mecanismos multifactoriales, donde las vibraciones provocan respuestas de malestar físico y alteraciones psicofísicas que comprometen las capacidades psicomotoras y cognitivas de los trabajadores expuestos.

### **Vibraciones mano / brazo**

La exposición a vibraciones segmentarias en el sistema mano-brazo genera diversas patologías específicas clasificadas en:

**Alteraciones Vasculares:** La exposición prolongada a vibraciones mano-brazo puede generar alteraciones vasculares agrupadas bajo la denominación de Síndrome de Vibración en Mano-Brazo (SVMB), siendo su manifestación más característica el Fenómeno de Raynaud ocupacional o "síndrome del dedo blanco". Este cuadro se produce por vasoespasmos arteriales intermitentes que provocan

palidez digital acusada, acompañada de pérdida progresiva de la sensibilidad táctil y termoalgésica, así como una notable disminución de la destreza manual fina. La progresión de esta patología conlleva un incremento sustancial en la probabilidad de accidentes laborales, ya que el deterioro de la función motora y la capacidad de respuesta táctil comprometen tanto la seguridad del operario como la eficiencia operacional en las actividades mineras.

**Alteraciones Neurológicas:** Las vibraciones segmentarias generan afectación neurológica mediante la aparición de parestesias (sensación de hormigueo) e hipoestesias (entumecimiento) en los dedos y manos. Cuando la exposición se prolonga en el tiempo, estas alteraciones evolucionan hacia neuropatías periféricas establecidas que comprometen la función nerviosa, deteriorando progresivamente la capacidad para realizar tareas laborales y afectando las actividades de la vida diaria del trabajador.

**Alteraciones Osteoarticulares:** Se desarrollan lesiones osteoarticulares degenerativas como consecuencia de los microtraumatismos repetitivos transmitidos por las vibraciones. Estas alteraciones se manifiestan predominantemente como artrosis prematura en las articulaciones de manos y muñecas, especialmente en trabajadores que utilizan herramientas de percusión de forma continua, constituyendo una de las patologías crónicas más discapacitantes en este tipo de exposición laboral.

**Alteraciones Musculares:** El sistema muscular responde a la exposición vibratoria con debilidad muscular progresiva en los miembros superiores, acompañada de mialgias y fatiga muscular localizada. Estos síntomas se relacionan directamente con la disminución de la fuerza de prensión manual, afectando la capacidad del trabajador para desarrollar tareas que requieren fuerza sostenida o manipulación precisa de herramientas y equipos.

**Otros Trastornos Asociados:** La exposición a vibraciones mano-brazo frecuentemente se asocia con pérdida auditiva neurosensorial, derivada de la exposición concurrente al ruido generado por las herramientas vibratorias.

Adicionalmente, se observan trastornos circulatorios periféricos y alteraciones en la termorregulación local, completando un cuadro clínico multifacético que requiere abordaje preventivo integral.

### **Vibraciones de cuerpo entero**

#### ***Efectos agudos:***

##### **Efectos Agudos en el Sistema Respiratorio**

La exposición a vibraciones de cuerpo entero genera alteraciones inmediatas en la función respiratoria. La transmisión de energía vibratoria a la caja torácica interfiere con los mecanismos normales de ventilación, provocando patrones respiratorios irregulares y modificaciones en la frecuencia ventilatoria. Esta disrupción puede afectar el intercambio gaseoso y contribuir a la fatiga física durante jornadas prolongadas de exposición.

##### **Efectos Agudos en el Sistema Musculoesquelético**

Las vibraciones de cuerpo entero desencadenan respuestas neuromusculares reflejas caracterizadas por la activación involuntaria de grupos musculares.

Este fenómeno genera contracciones musculares pasivas y movimientos no voluntarios que alteran significativamente la estabilidad postural. La constante necesidad de compensación postural conlleva un incremento sustancial en el gasto energético muscular, acelerando la aparición de fatiga durante la jornada laboral.

##### **Efectos Agudos en el Sistema Nervioso Central y Sensorial**

La exposición a vibraciones de alta amplitud afecta directamente el sistema vestibular, induciendo cinetosis laboral comúnmente denominada "mal del movimiento" o mareo inducido por vibración. Este trastorno se manifiesta mediante alteraciones en la percepción espacial, descoordinación motora y compromiso del equilibrio. Estas afectaciones sensoriales impactan directamente en la capacidad de concentración, tiempo de reacción y coordinación del operador, comprometiendo tanto la seguridad personal como la eficiencia operativa en las actividades mineras.

**Otros efectos:** La exposición a vibraciones de cuerpo entero induce

alteraciones cardiovasculares inmediatas, caracterizadas por un incremento en la frecuencia cardíaca, elevación de la presión arterial y un mayor consumo de oxígeno. Estas respuestas fisiológicas reflejan el estrés cardiovascular generado por la necesidad de mantener la homeostasis corporal ante la perturbación vibratoria, lo que puede exacerbar la fatiga y reducir la tolerancia al esfuerzo físico durante la jornada laboral.

**Efectos a largo plazo:**

**Efectos sobre el sistema músculo-esquelético:** La exposición prolongada a vibraciones de cuerpo entero genera alteraciones degenerativas en la columna vertebral, incrementando significativamente la incidencia de trastornos en la región torácica y lumbar. Estudios epidemiológicos demuestran una correlación entre la exposición vibratoria crónica y el desarrollo prematuro de artrosis en articulaciones de carga, particularmente en cadera y rodillas, debido a los microtraumatismos repetitivos.

**Efectos sobre el sistema nervioso:** Se manifiestan mediante sintomatología inespecífica pero debilitante, que incluye cefaleas persistentes, irritabilidad neurosensorial y trastornos del sueño. Estas alteraciones impactan negativamente en la calidad de vida del trabajador y su capacidad para desempeñar tareas que requieren concentración sostenida.

**Efectos Crónicos en el Sistema Coclear-Vestibular:** La exposición combinada a vibraciones y ruido genera sinergias patológicas, manifestándose mediante vértigo posicional y pérdida auditiva neurosensorial irreversible. Este daño coclear se potencia mutuamente, creando un círculo vicioso de deterioro vestibular-auditivo.

**Efectos sobre el sistema circulatorio:** Se observa una diversidad de trastornos vasculares periféricos, incluyendo alteraciones en la microcirculación, fenómenos vasoespásticos y deterioro del retorno venoso. Estas condiciones predisponen al desarrollo de enfermedades vasculares ocupacionales de carácter

incapacitante.

**Efectos Crónicos en el Sistema Digestivo:** La transmisión vibratoria a cavidad abdominal se asocia con patologías gastrointestinales como úlceras gástricas y duodenales, gastritis crónica y trastornos inflamatorios intestinales. La vibración afecta la motilidad gástrica y la secreción ácida, creando condiciones propicias para el desarrollo de patologías digestivas.

**Efectos en el Sistema Reproductivo:** En mujeres gestantes expuestas se documenta mayor riesgo de amenaza de aborto, parto pretérmino y otras complicaciones obstétricas. En varones, se observa mayor incidencia de prostatitis crónica y posibles alteraciones en la función reproductora, atribuidas a la vibración transmitida a pelvis y órganos reproductivos.

### **Calidad del ambiente en interiores**

La calidad del aire interior comprende el conjunto de condiciones ambientales que deben adecuarse tanto a las características de los ocupantes como a la naturaleza de las actividades desarrolladas. Su evaluación considera específicamente:

- Niveles de contaminación química por compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros contaminantes gaseosos
- Contaminación microbiológica por bacterias, hongos y virus en suspensión
- Parámetros físicos ambientales previamente establecidos, que incluyen:
  - Niveles de ruido ambiental
  - Condiciones de iluminación artificial y natural
  - Variables termohigrométricas (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire)

La interacción de estos factores determina la habitabilidad de los espacios interiores y su impacto en el confort, rendimiento y salud ocupacional de los trabajadores.

## **Vibraciones**

### ***Concepto de vibraciones***

Se definen como movimientos oscilatorios que una partícula describe alrededor de un punto de referencia fijo. Estos movimientos pueden caracterizarse como regulares en frecuencia, dirección e intensidad, o bien como aleatorios, siendo estos últimos los más frecuentes en entornos laborales mineros.

### ***Parámetros de Medición***

La cuantificación de vibraciones se realiza predominantemente mediante la aceleración, expresada en metros por segundo cuadrado ( $\text{m/s}^2$ ).

Alternativamente, se emplea una escala logarítmica cuyo valor se expresa en decibelios (dB), análoga a la utilizada en la medición de ruido.

### ***Caracterización Direccional***

La exposición vibratoria puede presentarse como unidireccional y de frecuencia única, aunque lo más común en operaciones mineras es la exposición multidireccional y multifrecuencial. Esta complejidad hace indispensable la identificación precisa de la dirección de transmisión, para lo cual se establece el sistema de referencia tridimensional mediante los ejes ortogonales X, Y y Z, aplicable tanto para vibraciones de cuerpo entero como para el sistema mano- brazo.

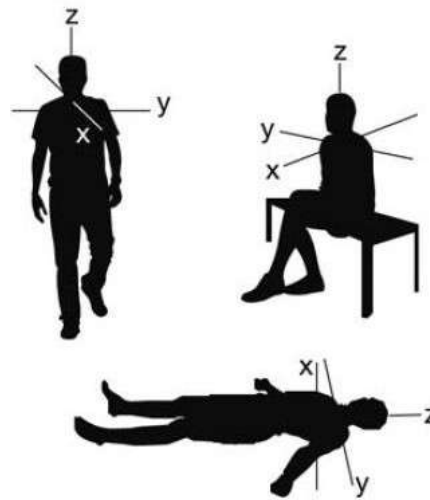
### ***Clasificación de las vibraciones***

Las vibraciones se clasifican en dos categorías principales según su vía de transmisión al organismo:

- **Vibraciones de cuerpo completo:**

Se producen cuando la mayor parte del peso corporal está en contacto con una superficie vibrante, transmitiéndose principalmente a través de asientos o plataformas de apoyo podal. Esta modalidad afecta globalmente al sistema musculoesquelético y órganos internos.

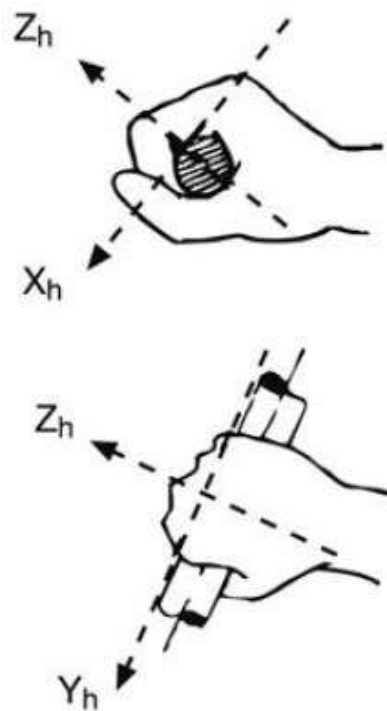
**Figura 4.** Ejes de referencia para la medida de vibraciones de cuerpo entero



#### **Vibraciones mano-brazo:**

Se transmiten específicamente a través de las extremidades superiores durante el manejo de herramientas mecánicas vibratorias, afectando predominantemente al sistema vascular, nervioso y osteoarticular de la región mano-brazo.

**Figura 5.** Ejes de referencia para la medida de vibraciones de vibraciones mano-brazo



## Medición de las vibraciones

El instrumento fundamental para la cuantificación de vibraciones es el vibrómetro. Similar a los procedimientos de medición acústica, este equipo incorpora filtros de ponderación frecuencia-específicos que permiten transformar aceleraciones complejas en valores ponderados, considerando la distinta sensibilidad del organismo humano según las frecuencias.

**Figura 6.** Ejemplo de vibrómetro con sus accesorios

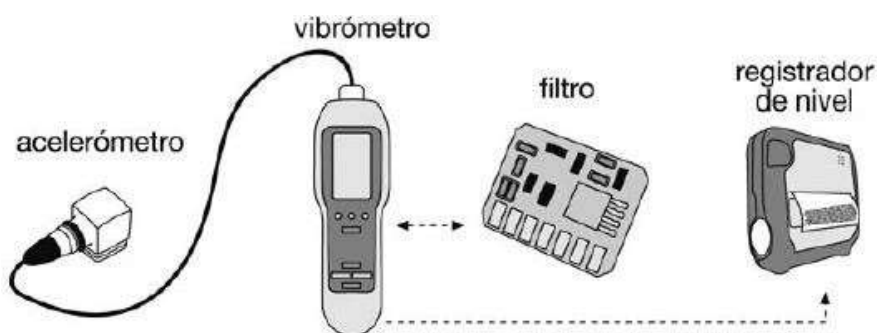


El acelerómetro constituye el transductor primario, análogo funcional al micrófono en mediciones de ruido. Su colocación debe realizarse en la interfaz de transmisión vibratoria:

- En vehículos: asiento, respaldo y plataformas de apoyo podal
- En estaciones de trabajo en posición erguida: superficie inmediatamente bajo los pies
- En operaciones con herramientas manuales: interfaz mano- herramienta

Esta disposición garantiza la captura representativa de la energía vibratoria efectivamente transmitida al operario.

**Figura 7.** Esquema de un equipo de medición de vibraciones



Los vibrómetros deben realizar mediciones simultáneas en los tres ejes ortogonales (X, Y, Z). Cuando el equipo no disponga de esta capacidad, se procederá a realizar tres mediciones consecutivas, orientando el acelerómetro secuencialmente en cada eje para obtener los componentes vectoriales completos.

Para la comparación con los valores límite establecidos en la normativa, los resultados deben expresarse como aceleración equivalente continua ponderada a 8 horas [a(8)]. Este valor se calcula considerando:

La magnitud de la aceleración en cada eje

El tiempo real de exposición diaria a la vibración

Los factores de ponderación frecuencia-específicos aplicables Este procedimiento garantiza la evaluación adecuada del riesgo vibratorio conforme a lo establecido en el D.S. 024-2016-EM y permite la comparabilidad de resultados entre diferentes puestos de trabajo y jornadas laborales.

### 2.3. Definición de términos básicos

#### **Aceleración equivalente ponderada:**

La aceleración eficaz (r.m.s.) ponderada en frecuencia, denotada como  $a_w$ , se define mediante la expresión matemática:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

La Fórmula anterior establece como se calcula la Aceleración Equivalente Ponderada.

Donde:

$a_w(t)$  : Representa la aceleración instantánea ponderada en frecuencia (en traslación o rotación) como función del tiempo, expresada en metros por segundo al cuadrado ( $m/s^2$ ). Esta ponderación considera la distinta sensibilidad del cuerpo humano a diferentes frecuencias de vibración.

$T$  : Corresponde a la duración total de la medición, expresada en horas. Este parámetro temporal es fundamental para determinar el valor promedio de la exposición durante el periodo de evaluación.

Interpretación física:

La ecuación calcula la raíz cuadrada del promedio temporal del cuadrado de la aceleración ponderada, proporcionando así el valor eficaz (r.m.s.) que caracteriza la energía vibratoria total transmitida al operario durante el periodo de medición.

#### **Acelerómetro:**

Transductor que convierte el movimiento mecánico vibratorio en señales eléctricas proporcionales a la aceleración instantánea. Su principio de operación se basa en la relación entre la fuerza de inercia y la aceleración, generando una salida eléctrica analógica o digital que permite la cuantificación precisa de las vibraciones.

#### **Ciclo de trabajo:**

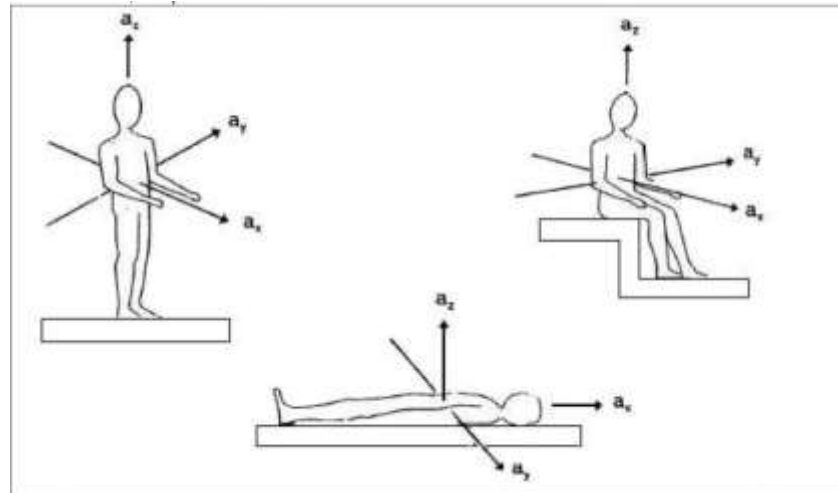
Secuencia operativa compuesta por procesos, actividades y operaciones técnicas que se repiten periódicamente durante la jornada laboral. La identificación y caracterización temporal del ciclo completo es fundamental para determinar los patrones de exposición vibratoria y calcular los valores equivalentes ponderados.

#### **Direcciones de medición:**

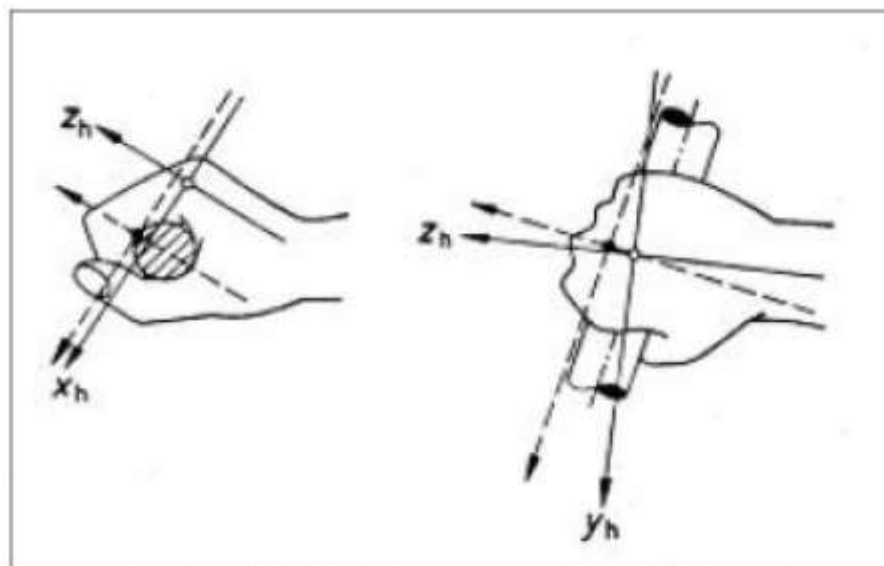
Se establece un sistema de coordenadas ortogonales báscentrico cuyo origen se define en el punto de entrada de la vibración al cuerpo humano. Este sistema se especifica de la siguiente manera. En las figuras 1 y 2 se presentan los sistemas de

coordenadas basicentricas para la exposición de cuerpo entero y de mano – brazo, respectivamente.

**Figura 8.** Sistema de coordenadas biodinámicas para medir las aceleraciones (según ISO 2631).  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ : aceleración en la dirección de los ejes: x, y, z; Eje x: dirección espalda – pecho.; Eje y: dirección derecha izquierda; Eje z: dirección pies – cabeza



**Figura 9.** Sistema de coordenadas biodinámicas para la medición sistema mano – brazo. Eje Z: Corresponde a la línea longitudinal ósea. Eje X: Corresponde a la línea perpendicular a la palma de la mano. Eje Y: Corresponde a la línea en la dirección de los nudillos de la mano.



#### Exposición de mano – brazo:

La exposición a vibraciones mano-brazo se define como la vibración mecánica que, al transmitirse al sistema biológico de mano y brazo, genera riesgos significativos para la salud y seguridad laboral. Esta transmisión ocurre predominantemente a través

de las superficies palmares en contacto directo con elementos vibratorios, tales como empuñaduras de herramientas motorizadas o superficies sometidas a impactos repetitivos.

### **Efectos en la Salud**

La exposición crónica puede desencadenar múltiples patologías:

- Alteraciones vasculares periféricas (síndrome de Raynaud ocupacional)
- Trastornos osteoarticulares degenerativos
- Neuropatías periféricas por compresión
- Miopatías y trastornos musculares

### **Protocolo de Evaluación**

La evaluación debe realizarse de manera individualizada para cada mano, considerando la exposición diferencial según las tareas específicas y las herramientas utilizadas. Esta aproximación permite identificar asimetrías en la exposición y diseñar medidas de control personalizadas.

### **Exposición de cuerpo entero:**

La exposición a vibraciones de cuerpo entero se define como la vibración mecánica que, al transmitirse al sistema biológico completo, representa riesgos sustanciales para la salud y seguridad ocupacional. La transmisión se produce a través de las principales superficies de contacto corporal, incluyendo:

- Región glútea a través de asientos vibratorios
- Superficies plantares mediante plataformas de apoyo
- Región dorsal mediante respaldos y superficies de contacto

### **Efectos en la Salud**

La exposición sostenida se asocia principalmente con:

- Patologías lumbares degenerativas (lumbalgias ocupacionales)
- Lesiones discales y de la columna vertebral
- Trastornos musculoesqueléticos en región dorsal y cervical

- Alteraciones del sistema vestibular y digestivo

### **Contextos de Exposición**

Esta modalidad vibratoria es característica en operadores de:

- Vehículos mineros (camiones, volquetes, tractores)
- Equipos de perforación y maquinaria pesada
- Plataformas y estructuras sometidas a impactos

La evaluación debe considerar la posición corporal durante la operación y las características técnicas del sistema de asiento y amortiguación.

### **Jornada laboral efectiva:**

Período temporal durante el cual el operador se encuentra directamente expuesto a vibraciones mecánicas en su puesto de trabajo. Este parámetro es fundamental para el cálculo de la dosis de exposición diaria y debe excluir los tiempos de descanso y actividades no expuestas.

### **Medidor de vibración humana:**

Sistema integral de medición compuesto por:

- Transductor de vibración (acelerómetro)
- Etapa de acondicionamiento de señal
- Procesador de datos
- Indicador de valores medidos
- Sistema de registro de datos

Este equipo debe cumplir con los requisitos establecidos en las normativas ISO 8041:2017 e ISO 5349-2 para garantizar la precisión metrológica.

### **Período del ciclo:**

Intervalo de tiempo requerido para completar una secuencia operativa completa y repetitiva. La determinación precisa de este parámetro permite establecer los patrones de exposición y calcular valores promediados representativos.

### **Ponderaciones de frecuencia:**

Curvas de ponderación estandarizadas que representan la sensibilidad diferencial del cuerpo humano a vibraciones según la frecuencia. Se aplican filtros específicos para:

- Vibraciones de cuerpo entero (según ISO 2631-1)
- Vibraciones mano-brazo (según ISO 5349-1)

Estas ponderaciones permiten correlacionar las mediciones físicas con los efectos biológicos reales.

En el ámbito de la evaluación de la exposición ocupacional se consideran las ponderaciones que se indican a continuación en la tabla N° 2:

**Tabla 1. Ponderaciones de frecuencia**

| Ponderaciones | Condición de aplicación                                              |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|
| $W_h$         | Exposición de Mano - Brazo, ejes Z, X e Y                            |
| $W_k$         | Exposición de Cuerpo Entero, vertical o posición sentado eje Z.      |
| $W_d$         | Exposición de Cuerpo Entero, vertical o posición sentado ejes X e Y. |

#### **Ponderaciones:**

Condición de Aplicación

Wh: Exposición de Mano-Brazo, ejes Z, X e Y.

Wk: Exposición de Cuerpo Entero, vertical o posición sentado, eje Z. Wd:

Exposición de Cuerpo Entero, horizontal o posición sentado, ejes X e Y

#### **Definición Operacional de Vibración**

Para los fines de aplicación del presente estudio y conforme a los estándares técnicos, se define vibración como:

Movimiento oscilatorio de las partículas en medios sólidos, que para efectos de evaluación de riesgos ocupacionales se cuantifica mediante magnitudes físicas que describen la dinámica de un sistema mecánico en relación con un estado de referencia establecido.

Esta definición operacional engloba los parámetros de:

- Aceleración (valor eficaz ponderado en frecuencia)
- Frecuencia (espectro de bandas de octava o tercio de octava)
- Dirección (componentes vectoriales en ejes ortogonales)
- Duración (tiempo de exposición efectiva)

La caracterización multivariable permite la evaluación integral del riesgo según los criterios establecidos en la normativa nacional e internacional aplicable.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Los resultados del monitoreo de las vibraciones mecánicas, utilizando el metodo de cuerpo entero en los trabajos son aceptables, realizados en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis específica a**

Las vibraciones mecánicas en el sistema de cuerpo entero evaluado en las labores mineras si cumplen con los estándares establecidos por el D:S: 024 - 2016 - EM en la Unidad Minera Animon.

#### **Hipótesis específica b**

Las medidas de control que se deben proponer para minimizar el riesgo de ocurrencia generados por las vibraciones mecánicas que pueden afectar a la salud del personal, nos permitirán mantener los niveles de vibraciones por debajo de los parámetros establecidos en la normativa, en la Unidad Minera Animon.

## **2.5. Identificación de variables**

### **Variables para la hipótesis general**

#### ***Variable independiente***

Monitoreo de vibraciones mecánicas

#### ***Variable dependiente***

Metodo de cuerpo entero

**Variables para la hipótesis específicas**

***Variables para la hipótesis específica a***

*Variable independiente*

Niveles vibración mecánica cuerpo entero

*Variable dependiente*

Limites Máximos Permisibles

***Variables para la hipótesis específica b***

*Variable independiente*

Medidas de control

*Variable dependiente*

Niveles de vibraciones

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

*Tabla 2. Operacionalización de variables e indicadores*

| OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| VARIABLE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | DEFINICION CONCEPTUAL                                                                                                                                                                                                                                                                         | DEFINICION OPERACIONAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DIMENCION                                                                                                                                                                                       | INDICADORES                                                                                 |
| <b>Identificación de variables</b><br><b>Variables para la hipótesis general</b><br><b>Variable independiente</b><br><b>Monitoreo de vibraciones mecánicas</b><br><b>Variable dependiente</b><br><b>Método de cuerpo entero</b><br><b>Variables para la hipótesis específicas</b><br><b>Variables para la hipótesis específica a</b><br><b>Variable independiente</b><br><b>Niveles vibración mecánica cuerpo entero</b><br><b>Variable dependiente</b><br><b>Límites Máximos Permisibles</b><br><b>Variables para la hipótesis específica b</b><br><b>Variable independiente</b><br><b>Medidas de control</b><br><b>Variable dependiente</b><br><b>Niveles de vibraciones</b> | <b>Concepto de vibraciones</b><br>Se entiende por vibraciones cualquier movimiento oscilante que efectúa una partícula alrededor de un punto fijo. Este movimiento puede ser regular o aleatorio en dirección, frecuencia y/o intensidad. Son más habituales aquellas vibraciones aleatorias. | En la investigación sobre vibraciones mecánicas de los trabajadores trataremos. Niveles de vibración mecánica de cuerpo entero, niveles de vibración mecánica de mano brazo, cumplimiento del estándar sobre vibraciones D:S: 024 – 2016 – EM, medidas de control para minimizar ocurrencias de riesgos por vibraciones | - Niveles de vibración mecánica de cuerpo entero<br>- Niveles de vibración mecánica de mano brazo<br>- Cumplimiento del estándar sobre vibraciones D:S: 024 – 2016 – EM<br>- Medidas de control | - m/seg <sup>2</sup><br>-m/seg <sup>2</sup><br>-Nivel de cumplimiento<br>-reglas de control |

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca en una investigación de tipo aplicada, conforme a la clasificación establecida por (BAENA , 2017). Esta tipología se justifica en la naturaleza del estudio, orientado a la evaluación específica de las vibraciones mecánicas que afectan a los trabajadores de la Unidad Minera Animón, con el propósito fundamental de generar soluciones concretas y medidas de control directamente implementables en el contexto operativo minero.

La investigación aplicada permite la utilización de conocimientos teóricos existentes sobre vibraciones ocupacionales para diagnosticar, analizar y proponer intervenciones específicas que respondan a la problemática identificada en el ámbito laboral minero.

#### 3.2. Nivel de investigación

El estudio desarrollará un nivel mixto descriptivo-explicativo, de acuerdo con la clasificación metodológica de (HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, 2014)

Este enfoque dual permite:

**Descriptivo:** Caracterizar sistemáticamente las condiciones de exposición a vibraciones mecánicas mediante la cuantificación de parámetros como aceleraciones

equivalentes, tiempos de exposición y perfiles espectrales en los diferentes puestos de trabajo de la Unidad Minera Animón.

**Explicativo:** Analizar las relaciones causales entre la exposición a vibraciones y los potenciales efectos en la salud de los trabajadores, identificando los factores que determinan los niveles de riesgo y estableciendo correlaciones entre las variables técnicas y los impactos en el bienestar laboral.

Esta combinación de niveles permite no solo documentar el estado actual de la exposición vibratoria, sino también comprender los mecanismos subyacentes que explican los riesgos identificados.

### **3.3. Métodos de investigación**

La investigación empleará el método científico como enfoque fundamental, aplicando específicamente los métodos analítico-deductivo según los lineamientos de: (BERNAL, 2010) .

**Método Analítico:** Se descompondrá el fenómeno de estudio en sus componentes esenciales, analizando separadamente:

- Las características físicas de las vibraciones (frecuencia, amplitud, aceleración)
- Los factores de exposición (tiempo, intensidad, dirección)
- Las variables organizacionales (jornadas, ciclos de trabajo)
- Los efectos en la salud por sistemas corporales afectados

**Método Deductivo:** Se partirá de los principios generales de la higiene ocupacional y la física de vibraciones para inferir conclusiones específicas aplicables al contexto particular de la Unidad Minera Animón, validando mediante mediciones empíricas las premisas teóricas establecidas.

Esta combinación metodológica garantiza un abordaje sistemático que integra el fundamento teórico con la verificación experimental.

### **3.4. Diseño de investigación**

El estudio empleará un diseño no experimental transversal, de acuerdo con la

tipología establecida por: (SANCHEZ, REYES, MEJIA, 2018)

Esta elección metodológica se fundamenta en que la investigación se centrará en observar y medir las variables en su contexto natural, sin manipularlas ni establecer condiciones controladas.

**Características del diseño no experimental:**

- Observacional directo: Recopilación de datos en condiciones operativas reales sin intervención en los procesos productivos.
- Transversal temporal: Las mediciones de vibraciones y variables asociadas se realizarán durante un período específico, proporcionando una caracterización actual del fenómeno.
- Descriptivo-correlacional: Permitirá establecer relaciones entre las variables técnicas (niveles de vibración) y factores operativos (tipos de equipo, jornadas laborales) sin inferir causalidad.

Este diseño resulta apropiado para diagnosticar la exposición a vibraciones mecánicas en condiciones reales de trabajo, manteniendo la validez ecológica de los resultados obtenidos.

### **3.5. Población y muestra**

**Población**

La población de estudio está constituida por la totalidad de trabajadores de la Unidad Minera Animón que, durante sus labores habituales, operan equipos y maquinarias que generan vibraciones mecánicas transmitidas al sistema de cuerpo entero y/o al sistema mano-brazo.

Criterios de inclusión:

Personal operativo con exposición documentada a equipos vibratorios  
Trabajadores con jornada mínima de 4 horas en operación de equipos Operadores de equipos mineros identificados como fuentes generadoras de vibración

Alcance poblacional:

Comprende operadores de equipos móviles, herramientas manuales y maquinaria estacionaria utilizada en las diferentes fases operativas de la unidad minera, representando el universo completo de trabajadores expuestos a este agente físico en el ámbito de estudio.

### **Muestra**

El estudio contemplará una muestra de 24 trabajadores seleccionados de la población operativa de la Unidad Minera Animón. La muestra incluirá operadores de los siguientes equipos mineros:

- Camiones de acarreo
- Dumpers
- Motoniveladoras
- Cargadores frontales
- Tractores de orugas
- Tractores de ruedas
- Cisternas

Criterios de selección muestral:

- Representatividad proporcional por tipo de equipo
- Antigüedad mínima de 6 meses en el puesto
- Exposición continua durante jornada completa
- Distribución que refleje la variabilidad operativa

Esta muestra permitirá caracterizar la exposición vibratoria en los principales equipos generadores de vibraciones en la unidad minera, garantizando una cobertura representativa de las condiciones operativas predominantes.

## **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas**

**Observación directa:** Aplicada para caracterizar los puestos de trabajo, identificar los equipos generadores de vibración y documentar los procedimientos

operativos y posturas adoptadas por los trabajadores durante la jornada laboral.

**Análisis de documentos:** Utilizada para revisar registros históricos de mantenimiento de equipos, reportes de salud ocupacional, protocolos existentes de evaluación de vibraciones y documentación técnica de los fabricantes de equipos.

**Medición de vibración de cuerpo entero:** Implementada para cuantificar los niveles de aceleración equivalente ponderada en los tres ejes ortogonales (X, Y, Z) según lo establecido en la norma ISO 2631-1. **Medición de vibración de mano-brazo:** Aplicada para determinar la exposición vibratoria en el sistema mano-brazo conforme a los protocolos de la norma ISO 5349-1, mediante evaluaciones individuales para cada mano.

### **Instrumentos**

Tenemos:

- Guía de observación
- Ficha de registro
- Documentos escritos
- Vibrometro
- Acelerómetro

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

El procesamiento de datos se realizará mediante herramientas ofimáticas especializadas:

Microsoft Excel: Para la organización sistemática de datos cuantitativos, aplicación de fórmulas de cálculo de aceleraciones equivalentes ponderadas a 8 horas [a(8)], generación de tablas dinámicas y elaboración de gráficos estadísticos comparativos.

Microsoft Word: Para la sistematización de observaciones cualitativas, integración de hallazgos y elaboración del informe final con estructura académica normalizada.

El análisis integrará métodos estadísticos descriptivos (medias, desviaciones

estándar, valores extremos) y comparativos con los límites establecidos en el D.S. 024-2016-EM.

### **3.8. Orientación ética filosófica y epistémica**

La investigación se regirá por los principios éticos fundamentales:

Veracidad: Registro fiel y objetivo de todos los datos sin alteración o omisión.

Honestidad: Reconocimiento adecuado de fuentes y metodologías empleadas.

Confidencialidad: Protección de la identidad de los participantes y datos sensibles.

Respeto institucional: Coordinación formal con las autoridades de la unidad minera.

Consentimiento informado: Obtención de autorización expresa de los trabajadores previa explicación clara de los procedimientos y fines del estudio.

## CAPITULO IV

### PRESENTACION DE RESULTADOS

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

##### Aspectos generales de la mina Animon

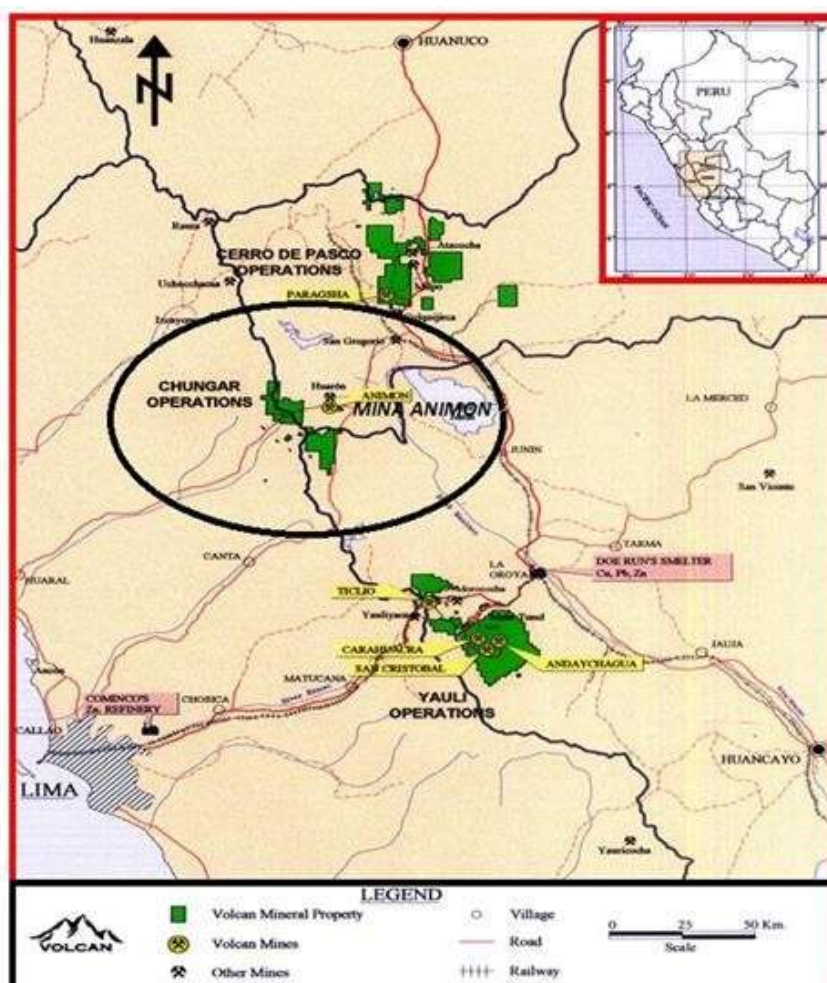
##### *Ubicación*

La Unidad Minera Animón se localiza en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, posicionada a una altitud de 4,600 metros sobre el nivel del mar (msnm). Esta ubicación altitudinal representa un factor ambiental significativo que incide en las condiciones operativas y fisiológicas del personal.

***Tabla 3. Las Coordenadas UTM***

|                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| P.P : ANIMON                                                                            |
| N : 8'780,728                                                                           |
| E : 344,654                                                                             |
| La altitud de la mina se encuentra en 4,600 m.s.n.m., dentro de la hoja 23-K - Ondores. |

**Figura 10. Plano de ubicación de la mina Animón**



### **Accesibilidad**

La Unidad Minera Animón cuenta con tres corredores viales principales que conectan con la ciudad de Lima, cada uno con implicancias logísticas y operativas específicas:

#### **Ruta Principal (Lima - Otoyá - Cerro de Pasco - Animón)**

- Distancia: 328 kilómetros Tiempo de recorrido: 6 horas
- Característica vial: 100% asfaltada
- Ventaja: Transitabilidad garantizada en todas las condiciones climáticas Impacto operativo: Menor transmisión de vibraciones al transporte de personal y equipos

#### **Ruta Alterna 1 (Lima - Huaral - Animón)**

- Distancia: 225 kilómetros Tiempo de recorrido: 4 horas
- Característica vial: 30% asfaltada

Consideración: Reduce el tiempo de viaje, pero incrementa la exposición a vibraciones por tramos sin pavimentar

#### **Ruta Alternativa 2 (Lima - Canta - Animón)**

- Distancia: 219 kilómetros (más corta) Tiempo de recorrido: 4 horas Característica vial: 30% asfaltada
- Consideración: Similar a la ruta Huaral, presenta limitaciones en la transitabilidad durante épocas de lluvia

**Análisis Comparativo:** La selección de ruta impacta directamente en la exposición a vibraciones de cuerpo entero del personal durante los desplazamientos, así como en el desgaste acelerado de los equipos mineros movilizados por vías no pavimentadas.

**Tabla 4. Acceso a la mina Animón**

| Ruta |   |        |     |             |   |        | Distancia | Tiempo | Asfalto |
|------|---|--------|-----|-------------|---|--------|-----------|--------|---------|
|      |   |        |     |             |   |        | Km        | Hrs    | %       |
| Lima | ⇒ | Oroya  | por | C. de Pasco | a | Animón | 328       | 6      | 100     |
|      | ⇒ | Huaral |     | Animón      |   |        | 225       | 4      | 30      |
|      | ⇒ | Canta  |     | Animón      |   |        | 219       | 4      | 30      |

#### **Clima y vegetación**

Características Climáticas:

La unidad minera presenta un clima frígido de tipo puna con marcada estacionalidad térmica:

Temporada de enero a marzo: Registra temperaturas promedio entre 3°C y 4°C, correspondiente al período menos riguroso aunque aún caracterizado por condiciones frías y secas.

Temporada de abril a junio: Presenta las condiciones más extremas con temperaturas consistentemente bajo cero, representando el período de mayor estrés térmico para personal y equipos.

Cobertura Vegetal:

El ecosistema se caracteriza por una formación de pajonal de puna dominado

por el género *Stipa*, conocido localmente como "Ichhu". Esta especie presenta adaptaciones morfológicas y fisiológicas para sobrevivir en condiciones de alta altitud, bajas temperaturas y fuerte radiación solar.

**Tabla 5.** *Clima y vegetación*

| <b>Zona</b>  |                       |             |           |               |
|--------------|-----------------------|-------------|-----------|---------------|
|              | <b>Característica</b> |             | <b>C°</b> | <b>Meses</b>  |
|              | Frígido               |             | 3         | Ene – Mar     |
| <b>Clima</b> | Seco                  | Temperatura | 4         | Ene – Mar     |
|              | Típico de las puna    |             | Bajo cero | Abril – Junio |

### **Geomorfología**

La zona corresponde al dominio de la cordillera Occidental de los Andes, con geoformas típicas de alta montaña que incluyen superficies de roca expuesta, depósitos glaciares y suelos poco desarrollados, factores que inciden en la operatividad minera y las condiciones de trabajo.

**Tabla 6.** *Geomorfología de la mina Animón*

| <b>Geomorfología</b> |          |         |                    |
|----------------------|----------|---------|--------------------|
| Superficie           | Ambiente | Altitud | Altitud de la mina |
| Puna                 | Glaciar  | msnm    | msnm               |
|                      |          | 4,200   | 4,600              |

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **Metodología del monitoreo**

Para el trabajo de campo se siguió los siguientes pasos:

El procedimiento de campo se ejecutó siguiendo un protocolo secuencial estandarizado:

- Reconocimiento Preliminar: Se realizó un levantamiento topográfico- operacional del área para identificar y georreferenciar los puntos críticos de monitoreo según las actividades desarrolladas.
- Análisis de Puestos de Trabajo: Se caracterizaron sistemáticamente las fuentes generadoras de vibraciones y las interfaces de contacto trabajador- equipo,

documentando posturas y tiempos de exposición.

- c) Ubicación de Transductores: Se determinaron las posiciones óptimas para la colocación de acelerómetros según los protocolos ISO 2631-1 (cuerpo entero) e ISO 5349-1 (mano-brazo).
- d) Caracterización Vibratoria: Se estimaron preliminarmente los perfiles espectrales y niveles de vibración para definir estrategias de medición.
- e) Selección de Transductores: Se eligieron acelerómetros triaxiales considerando sensibilidad (100 mV/g), rango frecuencial (0.5-1000 Hz) y compatibilidad ambiental (temp. -20°C a 70°C).
- f) Instalación No Invasiva: Los transductores se fijaron mediante sistemas de sujeción magnética o adhesiva que garantizaron mediciones precisas sin interferir en las tareas operativas.
- g) Condiciones de Medición: Las lecturas se realizaron durante operaciones normales, registrando variables contextuales (velocidad de trabajo, carga, condiciones de terreno).
- h) Procesamiento de Datos: Se cuantificaron las aceleraciones equivalentes continuas (aeq) en ejes X, Y, Z, calculando los valores ponderados para comparación con los Límites Máximos Permisibles del D.S. 024-2016-EM.
- i) Elaboración del Informe Técnico.

Para el cálculo de los niveles de las vibraciones de cuerpo completo y mano brazo se utilizará el método básico usando la aceleración ponderada en frecuencia (r.m.s.)

$$a_w(rms) = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \dots\dots\dots (a)$$

Donde:

$A_w(t)$ : es el valor de la aceleración ponderada en frecuencia T: es la duración de la medida, en segundos

- Para determinar los valores promedio por cada eje se realizará mediante la siguiente ecuación:

$$A_{hw} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{hwi}^2 T_i} \dots\dots\dots (b)$$

### Parámetros de la medición

Para la evaluación de la exposición ocupacional a vibraciones se aplicaron las ponderaciones de frecuencia establecidas en las normativas internacionales, como se detalla a continuación:

**Tabla 7.** Ponderaciones de Frecuencia según ISO 2631-1: Vibraciones Mecánicas y Choques - Evaluación de la exposición humana a las vibraciones del Cuerpo Entero y Mano-Brazo

| Ponderación de Frecuencias |               |              |
|----------------------------|---------------|--------------|
| Eje                        | Cuerpo Entero | Mano - Brazo |
| Eje X                      | $W_D$         | $W_H$        |
| Eje Y                      | $W_D$         | $W_H$        |
| Eje Z                      | $W_K$         | $W_H$        |

Fundamentación Técnica:

Para vibraciones de cuerpo entero (ISO 2631-1):

Ejes X e Y (horizontales): Se aplica la curva de ponderación  $W_D$  que considera la sensibilidad humana a vibraciones transversales.

Eje Z (vertical): Se utiliza la curva  $W_K$  que pondera la respuesta humana a vibraciones axiales.

Para vibraciones mano-brazo (ISO 5349-1):

Todos los ejes (X, Y, Z): Se emplea la curva de ponderación  $W_H$  que evalúa la transmisión de vibraciones al sistema mano-brazo en todas las direcciones. Estas ponderaciones permiten correlacionar las mediciones físicas con los efectos biológicos reales, transformando las aceleraciones medidas en valores representativos del riesgo para la salud.

## **CUERPO ENTERO**

La evaluación se realizó mediante la colocación de un sensor triaxial tipo plato en la superficie del asiento del operador, posicionado en la interfaz entre el trabajador y la fuente de vibración. Esta configuración permite capturar la energía vibratoria transmitida a través del sistema de asiento hacia el organismo completo, siguiendo los protocolos establecidos en la norma ISO 2631-1.

### **Parámetro de Evaluación**

El riesgo por exposición a vibraciones se cuantificó mediante el parámetro A(8), que representa el valor eficaz de la aceleración ponderada en frecuencia proyectada a una jornada de 8 horas. Este valor se calcula mediante la ecuación:

### **Criterio de Comparación**

Para la determinación del cumplimiento normativo, se comparó la aceleración resultante dominante (valor más alto entre los ejes ponderados) con el Límite Máximo Permisible establecido en el D.S. 024-2016-EM para una exposición de 8 horas, garantizando así la protección de la salud del trabajador frente a exposiciones crónicas.

## **MANO-BRAZO**

La evaluación se realizó mediante un acelerómetro triaxial acoplado a un adaptador en forma de "T", fijado rígidamente a la empuñadura de la herramienta o superficie vibrante. Este montaje garantizó la captura precisa de las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo sin interferir en la operatividad del trabajador.

### **Criterios Temporales de Medición**

Duración mínima: El monitoreo abarcó al menos el 70% de la jornada laboral efectiva para capturar condiciones representativas.

Operaciones cíclicas: Para tareas repetitivas, se registraron como mínimo 2 ciclos completos con duración no inferior a 10 minutos cada uno.

### **Parámetros de Evaluación**

Las mediciones se realizaron simultáneamente en los tres ejes del sistema

báscentrico (X, Y, Z), aplicando la curva de ponderación W~H~ a todas las direcciones según lo establecido en la norma ISO 5349-1. La magnitud de evaluación fue la aceleración equivalente ponderada en frecuencia ( $a_x$ ), calculada para cada eje.

#### Criterio de Cumplimiento

Se consideró cumplimiento con la normativa cuando el valor resultante de la aceleración equivalente ponderada para cada eje de medición fue igual o inferior a los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. 024-2016- EM, considerando el tiempo específico de exposición del trabajador.

#### Instrumento de medición

**Tabla 8.** Equipo de Monitoreo

| Equipo     | Marca   | Modelo  | N° Serie |
|------------|---------|---------|----------|
| Vibrómetro | Criffer | Vibrate | 51000143 |

#### Base legal

**Tabla 9.** Base legal sobre vibraciones

| NORMA DE REFERENCIA    | TÍTULO                                                                                                                                 |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley N° 29783           | Ley de seguridad y Salud en el Trabajo                                                                                                 |
| Ley N° 30222           | Ley que modifica la ley 29783, Ley de seguridad y salud en el trabajo.                                                                 |
| D.S. N° 005-2012-TR    | Reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo.                                                                                         |
| R.M. N° 375-2008-TR    | Aprueba la norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo Disergonómico.                                         |
| R.M. N°480-2008-MINSA. | Norma Técnica de Salud que establece el listado de enfermedades profesionales.                                                         |
| D.S. N°024-2016-EM     | Reglamento de Seguridad y Salud ocupacional en minería.                                                                                |
| D.S. N°023-2017-EM     | Modificatoria del reglamento de Seguridad y Salud ocupacional en minería.                                                              |
| ISO 2631-1-2008        | Vibraciones mecánicas y choques, evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo completo. Parte: Requisitos generales. |
| Real Decreto 1311/2005 | Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas.                                |

Dispositivo Legal de Referencia:

El estudio se fundamenta en el Decreto Supremo N° 024-2016-EM, que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, específicamente en lo establecido en el Artículo 109 referido a la exposición laboral a vibraciones mecánicas.

**Límites Máximos Permisibles (LMP) Vibraciones de Cuerpo Entero**

De conformidad con el Artículo 109 del reglamento, para exposición a vibraciones de cuerpo completo se establece que el valor máximo de la aceleración equivalente ponderada en 8 horas no debe exceder  $1.15 \text{ m/s}^2$ .

Este parámetro constituye el criterio técnico-legal fundamental para la evaluación del riesgo vibratorio en los operadores de equipos mineros de la Unidad Minera Animón, siendo aplicable a todos los trabajadores expuestos a este agente físico durante su jornada laboral.

**Tabla 10.** Límites de la exposición del Cuerpo Entero

| Límite de exposición diaria 8 horas | Nivel de acción akeq ( $\text{m/s}^2$ ) | Límite akeq ( $\text{m/s}^2$ ) |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| Cuerpo entero                       | 0.5                                     | 1.15                           |

Para Exposición a Vibración en Mano-Brazo:

**Tabla 11.** Exposición a Vibración en Mano-Brazo

| Duración total diaria de la exposición <sup>1</sup> | Valores a no exceder por el componente de la aceleración dominante, rms y ponderada <sup>2</sup> ( $\text{m/s}^2$ ) |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 horas a menos de 8 horas                          | 4                                                                                                                   |
| 2 horas a menos de 4 horas                          | 6                                                                                                                   |
| 1 hora a menos de 2 horas                           | 8                                                                                                                   |
| Menos de 1 hora                                     | 12                                                                                                                  |

### Categorización del riesgo

Se estableció una categorización del nivel de riesgo, tomando como base el nivel de acción y el límite máximo permisible establecido en la normativa competente, según el siguiente detalle:

**Tabla 12.** Categorización de riesgo para Cuerpo Entero para un tiempo de exposición de 8 horas

| Categorización del riesgo                                   | Nivel de riesgo |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| Valor de Akeq < 0.5 m/s <sup>2</sup>                        | BAJO            |
| 0.5 m/s <sup>2</sup> ≤ Valor de Akeq < 1.15m/s <sup>2</sup> | MODERADO        |
| Valor de Akeq ≥ 1.15 m/s <sup>2</sup>                       | ALTO            |

**Tabla 13.** Categorización de riesgo para Mano-Brazo

| Categorización del riesgo                             | Nivel de riesgo |
|-------------------------------------------------------|-----------------|
| Valor de Akeq < Límite de Acción                      | BAJO            |
| Límite de Acción ≤ Valor de Akeq < Límite Permissible | MODERADO        |
| Valor de Akeq ≥ Límite Permissible                    | ALTO            |

#### 4.3. Prueba de hipótesis

##### Instrumentos de medición

**Tabla 14.** Equipo de Monitoreo

| Equipo     | Marca   | Modelo  | N° Serie |
|------------|---------|---------|----------|
| Vibrómetro | Criffer | Vibrate | 51000143 |

##### Desarrollo de la evaluación

A partir del mes de julio 2024, se realizó las mediciones de vibración de Cuerpo entero a los puestos operativos de la empresa Minera Chungar, Unidad Animon. Con los diferentes equipos que generan vibraciones.

La medición de vibraciones se realizó a los Operadores ya que presenta exposición de vibración

**Tabla 15. Características de los Puntos Monitoreados**

| Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado |      |        |            |                     |                         |
|--------------------------------------------------------------------|------|--------|------------|---------------------|-------------------------|
| N°                                                                 | Área | Equipo | Trabajador | Fuente de vibración | Tiempo expuesto (horas) |
| 01                                                                 | Mina |        |            |                     |                         |

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del monitoreo de vibraciones en las instalaciones de la Unidad Animon, en sus trabajos realizados

### a. Punto monitoreado operador Camión Tabla 16

**Tabla 16. Características de los Puntos Monitoreados/Camiones**

| Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado |      |          |            |                                                                                                                                                              |                         |
|--------------------------------------------------------------------|------|----------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| N°                                                                 | Área | Equipo   | Trabajador | Fuente de vibración                                                                                                                                          | Tiempo expuesto (horas) |
| 01                                                                 | Mina | Camiones |            | El trabajador se encuentra expuesto a la vibración generada por la interacción con el equipo camión con el terreno irregular en interior mina al trasladarse | 6                       |

**Tabla 17. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Camiones**

| N°   | Equipo   | Fecha     | Tiempo (hrs) | Valor obtenido (m/seg <sup>2</sup> ) |                 |                 | Ahrms (m/seg <sup>2</sup> ) | Ahrms(8h) (m/seg <sup>2</sup> ) |
|------|----------|-----------|--------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
|      |          |           |              | Aw <sub>x</sub>                      | Aw <sub>y</sub> | Aw <sub>z</sub> |                             |                                 |
| C-01 | CAT 793D | 02 agosto | 09.30        | 0.402                                | 0.475           | 0.321           | 0.475                       | 0.543                           |
| C-02 | CAT 793D | 03 agosto | 09.00        | 0.348                                | 0.345           | 0.420           | 0.420                       | 0.477                           |
| C-03 | CAT 793D | 04 agosto | 10.0         | 0.366                                | 0.381           | 0.477           | 0.477                       | 0.545                           |
| C-04 | CAT 793D | 05 agosto | 10.30        | 0.401                                | 0.353           | 0.443           | 0.443                       | 0.506                           |
| C-05 | CAT 793D | 06 agosto | 10.15        | 0.363                                | 0.297           | 0.465           | 0.465                       | 0.530                           |
| C-06 | CAT 793D | 07 agosto | 10.20        | 0.325                                | 0.455           | 0.459           | 0.459                       | 0.520                           |
| C-07 | CAT 793D | 08 agosto | 10.05        | 0.372                                | 0.339           | 0.438           | 0.438                       | 0.502                           |
| C-08 | CAT 793D | 09 agosto | 09.30        | 0.359                                | 0.279           | 0.494           | 0.494                       | 0.566                           |
| C-09 | CAT 793D | 10 agosto | 09.30        | 0.385                                | 0.376           | 0.510           | 0.510                       | 0.584                           |
| C-10 | CAT 793D | 10 agosto | 09.30        | 0.378                                | 0.373           | 0.432           | 0.432                       | 0.495                           |

## ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMATIVA

### *Criterio de Evaluación*

Para el análisis de cumplimiento normativo se consideró como valor de exposición equivalente el mayor valor resultante entre los tres ejes medidos (X, Y, Z) para cada puesto de trabajo evaluado. Este criterio conservador garantiza que se utiliza el peor escenario de exposición en la comparación con los límites establecidos en el D.S. 024-2016-EM.

### *Metodología de Comparación*

La evaluación se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente ponderada a 8 horas [A(8)] obtenidos en las mediciones de campo con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Artículo 109 del reglamento minero, específicamente:

Vibraciones de cuerpo entero: Límite máximo de 1.15 m/s<sup>2</sup>

Vibraciones mano-brazo: Límites específicos por eje según tiempo de exposición

El análisis permite categorizar el nivel de riesgo y determinar las necesidades de implementación de medidas de control para cada caso evaluado.

**Tabla 18.** Comparación del monitoreo de Vibraciones

| N°   | Equipo   | Puesto             | Aheq(8h)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Límite Permisible<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Cumplimiento con el Límite Máximo Permisible | Nivel de Riesgo |
|------|----------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| C-01 | CAT 793D | Operador de camión | 0.543                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-02 | CAT 793D | Operador de camión | 0.477                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | BAJO            |
| C-03 | CAT 793D | Operador de camión | 0.545                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-04 | CAT 793D | Operador de camión | 0.506                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-05 | CAT 793D | Operador de camión | 0.530                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-06 | CAT 793D | Operador de camión | 0.520                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-07 | CAT 793D | Operador de camión | 0.502                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-08 | CAT 793D | Operador de camión | 0.566                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-09 | CAT 793D | Operador de camión | 0.584                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| C-10 | CAT 793D | Operador de camión | 0.495                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |

## Resultado

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, el puesto monitoreado en camiones, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento.

Del monitoreo realizado en el área de camiones, en la empresa Chungar, Unidad Animon, se obtiene:

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de camión, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024-2016-EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.

Punto monitoreado operador Damper

**Tabla 19.** Características de los Puntos Monitoreados/damper

| Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado |      |        |            |                                                                                                                                                              |                         |
|--------------------------------------------------------------------|------|--------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Nº                                                                 | Área | Equipo | Trabajador | Fuente de vibración                                                                                                                                          | Tiempo expuesto (horas) |
| 01                                                                 | Mina | Damper |            | El trabajador se encuentra expuesto a la vibración generada por la interacción con el equipo Damper con el terreno irregular en interior mina al trasladarse | 6                       |

**Tabla 20. Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Damper**

| N°   | Equipo      | Fecha      | Tiempo (hrs) | Valor obtenido (m/seg <sup>2</sup> ) |                 |                 | Ahrms (m/seg <sup>2</sup> ) | Ahrms(8h) (m/seg <sup>2</sup> ) |
|------|-------------|------------|--------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
|      |             |            |              | Aw <sub>x</sub>                      | Aw <sub>y</sub> | Aw <sub>z</sub> |                             |                                 |
| D-01 | EPIROC 790D | 08 octubre | 13.30        | 0.470                                | 0.380           | 0.720           | 0.720                       | 0.735                           |
| D-02 | EPIROC 790D | 10 octubre | 14.30        | 0.368                                | 0.345           | 0.520           | 0.520                       | 0.600                           |
| D-03 | EPIROC 790D | 11 octubre | 13.00        | 0.452                                | 0.379           | 0.685           | 0.685                       | 0.710                           |
| D-04 | EPIROC 790D | 05 agosto  | 1430         | 0.465                                | 0.367           | 0.538           | 0.538                       | 0.602                           |

## ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMATIVA

### *Metodología de Evaluación de Cumplimiento*

Para determinar el cumplimiento de los niveles de vibración medidos con la normativa vigente, se aplicó el siguiente procedimiento:

Selección del valor representativo: Se tomó como valor de exposición equivalente el mayor valor resultante entre los tres ejes ortogonales (X, Y, Z) para cada puesto de trabajo evaluado, siguiendo un criterio conservador que garantiza la protección del trabajador.

Proyección temporal: Todos los valores medidos fueron proyectados a una jornada de 8 horas mediante la aplicación de la fórmula de aceleración equivalente A(8), conforme a lo establecido en el D.S. 024-2016-EM.

Comparación con LMP: Los resultados proyectados fueron contrastados con los Límites Máximos Permisibles definidos en el Artículo 109 del reglamento minero.

### *Categorización de Resultados*

Los puntos de medición fueron clasificados en dos categorías según su nivel de cumplimiento:

Cumplimiento: Cuando el valor de A(8) no supera el Límite Máximo Permisible

No cumplimiento: Cuando el valor de A(8) excede el LMP establecido Este análisis comparativo permite identificar los puestos de trabajo que

requieren implementación prioritaria de medidas de control.

**Tabla 21.** Comparación del monitoreo de Vibraciones

| N°   | Equipo      | Puesto             | Aheq(8h)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Límite Permisible<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Cumplimiento con el Límite Máximo Permisible | Nivel de Riesgo |
|------|-------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| D-01 | EPIROC 790D | Operador de Damper | 0.735                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| D-02 | EPIROC 790D | Operador de Damper | 0.600                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| D-03 | MO          | Operador de Damper | 0.710                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| D-04 | EPIROC 790D | Operador de Damper | 0.602                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |

### Resultado

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, el puesto monitoreado en equipos Damper, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento.

Del monitoreo realizado en el área de equipos Damper, en la empresa Chungar, Unidad Animon, se obtiene:

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de Damper, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024-2016-EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.

Punto monitoreado operador Cargadores frontales

**Tabla 22.** Características de los Puntos Monitoreados/Cargadores frontales

| Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado |      |                  |            |                                                                                                                                                                        |                         |
|--------------------------------------------------------------------|------|------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| N°                                                                 | Área | Equipo           | Trabajador | Fuente de vibración                                                                                                                                                    | Tiempo expuesto (horas) |
| 01                                                                 | Mina | Cargador frontal |            | El trabajador se encuentra expuesto a la vibración generada por la interacción con el equipo cargador frontal con el terreno irregular en interior mina al trasladarse | 6                       |

**Tabla 23.** Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Cargador frontal

| N°    | Equipo   | Fecha     | Tiempo (hrs) | Valor obtenido (m/seg <sup>2</sup> ) |                 |                 | Ahrms (m/seg <sup>2</sup> ) | Ahrms(8h) (m/seg <sup>2</sup> ) |
|-------|----------|-----------|--------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
|       |          |           |              | Aw <sub>x</sub>                      | Aw <sub>y</sub> | Aw <sub>z</sub> |                             |                                 |
| CF-01 | CAT 794F | 25 julio  | 09.30        | 0.670                                | 0.571           | 0.410           | 0.670                       | 0.680                           |
| CF-02 | CAT 794F | 02 agosto | 09.00        | 0.348                                | 0.345           | 0.420           | 0.420                       | 0.555                           |

### ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMATIVA

A continuación, se muestran los resultados comparados con el D.S. 024- 2016-EM, en donde se indican los límites para vibración. Se toma como valor de exposición equivalente, el mayor valor de la resultante en algunos de sus ejes.

**Tabla 24.** Comparación del monitoreo de Vibraciones

| N°    | Equipo   | Puesto               | A <sub>heq</sub> (8h) (m/s <sup>2</sup> ) | Límite Permisible (m/s <sup>2</sup> ) | Cumplimiento con el Límite Máximo Permisible | Nivel de Riesgo |
|-------|----------|----------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| CF-01 | CAT 793D | Operador cargador F. | 0.680                                     | 1.15                                  | Si cumple                                    | MODERADO        |
| CF-02 | CAT 793D | Operador cargador F. | 0.555                                     | 1.15                                  | Si cumple                                    | MODERADO        |

### Resultado

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de

vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, el puesto monitoreado en cargador frontal, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento.

Del monitoreo realizado en el área cargador frontal, en la empresa Chungar, Unidad Animon, se obtiene:

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de cargador frontal, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024-2016-EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.

Punto monitoreado operador Motoniveladoras

**Tabla 25.** Características de los Puntos Monitoreados/Motoniveladoras

| <b>Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado</b> |             |                 |                   |                                                                                                                                                                       |                                |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>N°</b>                                                                 | <b>Área</b> | <b>Equipo</b>   | <b>Trabajador</b> | <b>Fuente de vibración</b>                                                                                                                                            | <b>Tiempo expuesto (horas)</b> |
| 01                                                                        | Mina        | Motoniveladoras |                   | El trabajador se encuentra expuesto a la vibración generada por la interacción con el equipo motoniveladoras con el terreno irregular en interior mina al trasladarse | 6                              |

**Tabla 26.** Monitoreo de vibración en cuerpo entero /motoniveladoras

| N°    | Equipo          | Fecha    | Tiempo (hrs) | Valor obtenido (m/seg <sup>2</sup> ) |                 |                 | Ahrms (m/seg <sup>2</sup> ) | Ahrms(8h) (m/seg <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------------|----------|--------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
|       |                 |          |              | Aw <sub>x</sub>                      | Aw <sub>y</sub> | Aw <sub>z</sub> |                             |                                 |
| MO-01 | CAT-<br><br>24H | 12 julio | 09.00        | 0.357                                | 0.430           | 0.320           | 0.430                       | 0.552                           |
| MO-02 | CAT-<br><br>24H | 13 julio | 08.30        | 0.378                                | 0.488           | 0.353           | 0.488                       | 0.510                           |
| MO-03 | CAT-<br><br>24H | 14 julio | 09.00        | 0.436                                | 0.490           | 0.291           | 0.490                       | 0.545                           |
| MO-04 | CAT-<br><br>24H | 15 julio | 10.00        | 0.435                                | 0.492           | 0.289           | 0.492                       | 0.550                           |
| MO-05 | CAT-<br><br>24H | 16 julio | 10.00        | 0.363                                | 0.297           | 0.465           | 0.465                       | 0.530                           |
| MO-06 | CAT-<br><br>24H | 18 julio | 10.30        | 0.325                                | 0.455           | 0.459           | 0.459                       | 0.520                           |

### ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMATIVA

A continuación, se muestran los resultados comparados con el D.S. 024- 2016-EM, en donde se indican los límites para vibración. Se toma como valor de exposición equivalente, el mayor valor de la resultante en algunos de sus ejes.

**Tabla 27.** Comparación del monitoreo de Vibraciones

| N°    | Equipo  | Puesto                  | A <sub>heq</sub> (8h)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Límite Permisible<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Cumplimiento con el Límite Máximo Permisible | Nivel de Riesgo |
|-------|---------|-------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| MO-01 | CAT-24H | Operador motoniveladora | 0.543                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| MO-02 | CAT-24H | Operador motoniveladora | 0.477                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | BAJO            |
| MO-03 | CAT-24H | Operador motoniveladora | 0.545                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| MO-04 | CAT-24H | Operador motoniveladora | 0.506                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| MO-05 | CAT-24H | Operador motoniveladora | 0.530                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| MO-06 | CAT-24H | Operador motoniveladora | 0.520                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |

### Resultado

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, el puesto monitoreado en Moto niveladoras, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento.

Del monitoreo realizado en el área de camiones, en la empresa Chungar, Unidad Animon, se obtiene:

- a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de moto niveladoras, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.
- b. Punto monitoreado operador Tractor de orugas

**Tabla 28.** Características de los Puntos Monitoreados/tractor de orugas

| Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado |      |                   |            |                                                                                                                                                                         |                         |
|--------------------------------------------------------------------|------|-------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| N°                                                                 | Área | Equipo            | Trabajador | Fuente de vibración                                                                                                                                                     | Tiempo expuesto (horas) |
| 01                                                                 | Mina | Tractor de orugas |            | El trabajador se encuentra expuesto a la vibración generada por la interacción con el equipo tractor de orugas con el terreno irregular en interior mina al trasladarse | 6                       |

**Tabla 29.** Monitoreo de vibración en cuerpo entero /tractor de orugas

| N°    | Equipo   | Fecha     | Tiempo (hrs) | Valor obtenido (m/seg <sup>2</sup> ) |                 |                 | Ahrms (m/seg <sup>2</sup> ) | Ahrms(8h) (m/seg <sup>2</sup> ) |
|-------|----------|-----------|--------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
|       |          |           |              | Aw <sub>x</sub>                      | Aw <sub>y</sub> | Aw <sub>z</sub> |                             |                                 |
| TO-01 | CAT D11R | 07 agosto | 10.30        | 0.519                                | 0.435           | 0.344           | 0.519                       | 0.540                           |
| TO-02 | CAT D11R | 09 agosto | 10.00        | 0.638                                | 0.552           | 0.445           | 0.638                       | 0.682                           |
| TO-03 | CAT D11R | 10 agosto | 11.0         | 0.323                                | 0.246           | 0.335           | 0.335                       | 0.352                           |
| TO-04 | CAT D11R | 11 agosto | 11.0         | 0.630                                | 0.557           | 0.365           | 0.635                       | 0.678                           |

### ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMATIVA

A continuación, se muestran los resultados comparados con el D.S. 024- 2016-EM, en donde se indican los límites para vibración. Se toma como valor de exposición equivalente, el mayor valor de la resultante en algunos de sus ejes.

**Tabla 30.** Comparación del monitoreo de Vibraciones

| N°    | Equipo   | Puesto             | Aheq(8h)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Límite Permisible<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Cumplimiento con el Límite Máximo Permisible | Nivel de Riesgo |
|-------|----------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| TO-01 | CAT D11R | Operador tractor O | 0.540                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| TO-02 | CAT D11R | Operador tractor O | 0.682                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |
| TO-03 | CAT D11R | Operador tractor O | 0.352                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | BAJO            |
| TO-04 | CAT D11R | Operador tractor O | 0.678                           | 1.15                                     | Si cumple                                    | MODERADO        |

### Resultado

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, el puesto monitoreado en operadores de tractor de orugas, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento.

Del monitoreo realizado en el área de operadores de tractores de orugas camiones, en la empresa Chungar, Unidad Animon, se obtiene:

- a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de tractor de orugas, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.
- b. Punto monitoreado operador Tractor de ruedas

**Tabla 31.** Características de los Puntos Monitoreados/tractor de ruedas

| Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado |      |                   |            |                                                                                                                                                                         |                         |
|--------------------------------------------------------------------|------|-------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| N°                                                                 | Área | Equipo            | Trabajador | Fuente de vibración                                                                                                                                                     | Tiempo expuesto (horas) |
| 01                                                                 | Mina | Tractor de ruedas |            | El trabajador se encuentra expuesto a la vibración generada por la interacción con el equipo tractor de ruedas con el terreno irregular en interior mina al trasladarse | 6                       |

**Tabla 32.** Monitoreo de vibración en cuerpo entero /tractor de ruedas

| N°    | Equipo   | Fecha    | Tiempo (hrs) | Valor obtenido (m/seg <sup>2</sup> ) |                 |                 | Ahrms (m/seg <sup>2</sup> ) | Ahrms(8h) (m/seg <sup>2</sup> ) |
|-------|----------|----------|--------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
|       |          |          |              | Aw <sub>x</sub>                      | Aw <sub>y</sub> | Aw <sub>z</sub> |                             |                                 |
| TR-01 | CAT 884R | 02 sept. | 10.0         | 0.558                                | 0.559           | 0.355           | 0.559                       | 0.575                           |
| TR-02 | CAT 884R | 03 sept. | 10.0         | 0.466                                | 0.626           | 0.248           | 0.626                       | 0.650                           |
| TR-03 | CAT 884R | 04 sept. | 10.0         | 0.585                                | 0.764           | 0.290           | 0.764                       | 0.788                           |
| TR-04 | CAT 884R | 05 sept. | 10.30        | 0.520                                | 0.631           | 0.258           | 0.631                       | 0.655                           |

#### 4.4. Discusión de resultados

##### ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMATIVA

A continuación, se muestran los resultados comparados con el D.S. 024- 2016-EM, en donde se indican los límites para vibración. Se toma como valor de exposición equivalente, el mayor valor de la resultante en algunos de sus ejes.

**Tabla 33.** Comparación del monitoreo de Vibraciones

| N°    | Equipo   | Puesto              | Aheq(8h)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Límite<br>Permisible<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Cumplimiento<br>con el Límite<br>Máximo<br>Permisible | Nivel de<br>Riesgo |
|-------|----------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|
| TR-01 | CAT 793D | Operador tractor R. | 0.575                           | 1.15                                        | Si cumple                                             | MODERADO           |
| TR-02 | CAT 793D | Operador tractor R. | 0.650                           | 1.15                                        | Si cumple                                             | MODERADO           |
| TR-03 | CAT 793D | Operador tractor R. | 0.788                           | 1.15                                        | Si cumple                                             | MODERADO           |
| TR-04 | CAT 793D | Operador tractor R. | 0.655                           | 1.15                                        | Si cumple                                             | MODERADO           |

##### Resultado

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, el puesto monitoreado en el puesto de operador de tractor de ruedas, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento.

Del monitoreo realizado en el área de camiones, en la empresa Chungar, Unidad Animon, se obtiene:

- a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de tractor de ruedas, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.

**b. Punto monitoreado operador Cisternas**

**Tabla 34.** Características de los Puntos Monitoreados/cisternas

| Vibración en cuerpo entero / Características del punto monitoreado |      |           |            |                                                                                                                                                                |                         |
|--------------------------------------------------------------------|------|-----------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| N°                                                                 | Área | Equipo    | Trabajador | Fuente de vibración                                                                                                                                            | Tiempo expuesto (horas) |
| 01                                                                 | Mina | Cisternas |            | El trabajador se encuentra expuesto a la vibración generada por la interacción con el equipo cisterna con el terreno irregular en interior mina al trasladarse | 6                       |

**Tabla 35.** Monitoreo de vibración en cuerpo entero /Cisterna

| N°   | Equipo          | Fecha        | Tiempo (hrs) | Valor obtenido (m/seg <sup>2</sup> ) |                 |                 | Ahrms (m/seg <sup>2</sup> ) | Ahrms(8h) (m/seg <sup>2</sup> ) |
|------|-----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|
|      |                 |              |              | Aw <sub>x</sub>                      | Aw <sub>y</sub> | Aw <sub>z</sub> |                             |                                 |
| C-01 | CAT 793C WTK051 | 05 setiembre | 07.30        | 0.290                                | 0.267           | 0.395           | 0.395                       | 0.452                           |
| C-02 | CAT 793C WTK047 | 08 setiembre | 07.00        | 0.248                                | 0.249           | 0.375           | 0.375                       | 0.428                           |
| C-03 | CAT 793C WTK050 | 04 setiembre | 7.30         | 0.180                                | 0.165           | 0.258           | 0.258                       | 0.296                           |

### ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA NORMATIVA

A continuación, se muestran los resultados comparados con el D.S. 024- 2016-EM, en donde se indican los límites para vibración. Se toma como valor de exposición equivalente, el mayor valor de la resultante en algunos de sus ejes.

**Tabla 36.** Comparación del monitoreo de Vibraciones

| N°   | Equipo             | Puesto               | A <sub>heq</sub> (8h)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Límite Permisible<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Cumplimiento con el Límite Máximo Permisible | Nivel de Riesgo |
|------|--------------------|----------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| C-01 | CAT 793C<br>WTK051 | Operador de cisterna | 0.452                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | BAJO            |
| C-02 | CAT 793C<br>WTK051 | Operador de cisterna | 0.428                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | BAJO            |
| C-03 | CAT 793C<br>WTK051 | Operador de cisterna | 0.296                                        | 1.15                                     | Si cumple                                    | BAJO            |

### Resultado

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, el puesto monitoreado en operador de cisternas, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento.

Del monitoreo realizado en el área de operador de cisterna, en la empresa Chungar, Unidad Animon, se obtiene:

- a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de cisternas, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo bajo.
- b. Evaluación de los datos obtenidos en campo y los límites de vibración de cuerpo entero con la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017- EM.

El análisis de los datos obtenidos en campo para vibraciones de cuerpo entero se realizó contrastándolos con los dispositivos legales vigentes:

### Base Normativa Aplicada:

- D.S. N° 024-2016-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería
- D.S. N° 023-2017-EM: Modificatoria del reglamento anterior

### Criterio de Evaluación:

Conforme al Artículo 109 del D.S. N° 024-2016-EM, se establece que los trabajos que supongan exposición diaria a vibraciones de cuerpo entero deben mantenerse por debajo del Límite Máximo Permisible de  $1.15 \text{ m/s}^2$ , valor correspondiente a una exposición proyectada a 8 horas.

### Metodología de Verificación:

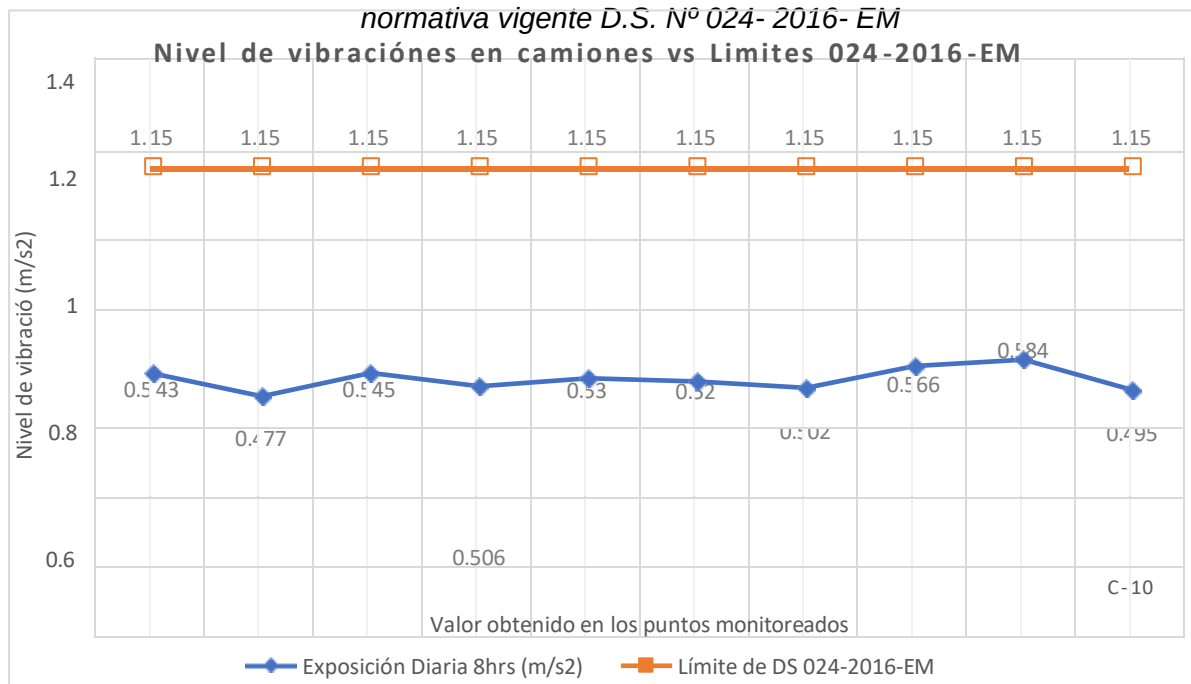
Para cada puesto de trabajo evaluado, se calculó la aceleración equivalente continua A(8) y se comparó con el LMP establecido, determinándose así el nivel de cumplimiento normativo y categorizando el riesgo según la magnitud de la exposición vibratoria medida en condiciones operativas reales.

### Comparativo de niveles de vibración en operadores

#### a. Comparativo de niveles de vibración en operadores de camión

El análisis comparativo se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente A(8) obtenidos en campo con el Límite Máximo Permisible de  $1.15 \text{ m/s}^2$  establecido en el D.S. 024-2016-EM para vibraciones de cuerpo entero. La categorización del riesgo se determinó según los niveles de exposición relativa al LMP.

**Figura 11.** Comparativo de niveles de vibración en operadores de camión con la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM

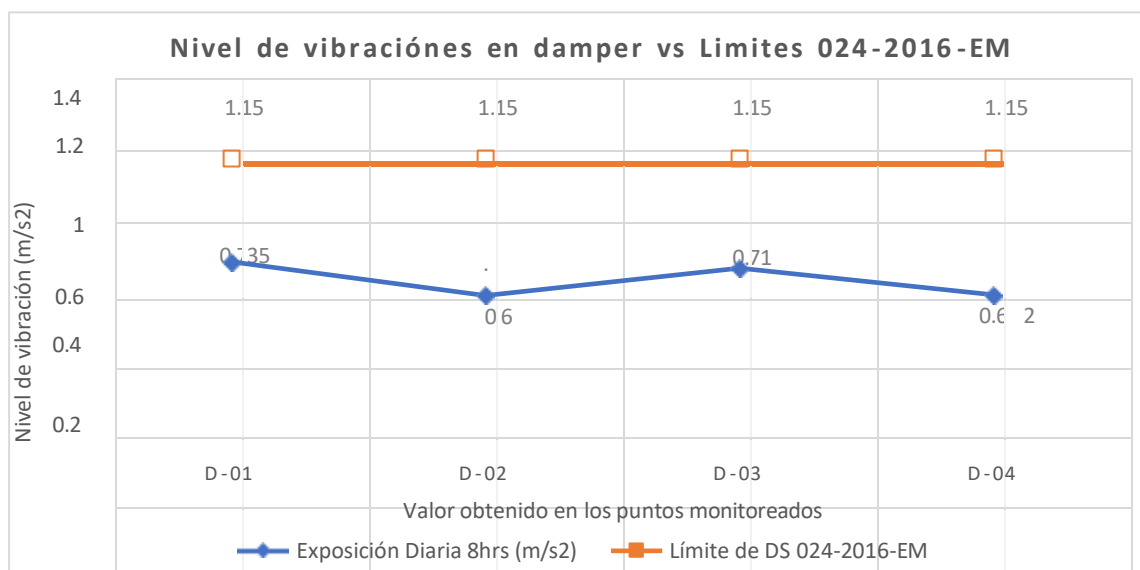


Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de camión, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.

**b. Comparativo de niveles de vibración en operador Damper**

El análisis comparativo se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente A(8) obtenidos en campo con el Límite Máximo Permisible de 1.15 m/s<sup>2</sup> establecido en el D.S. 024-2016-EM para vibraciones de cuerpo entero. La categorización del riesgo se determinó según los niveles de exposición relativa al LMP.

**Figura 12.** Comparativo de niveles de vibración en operadores de Damper con la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM

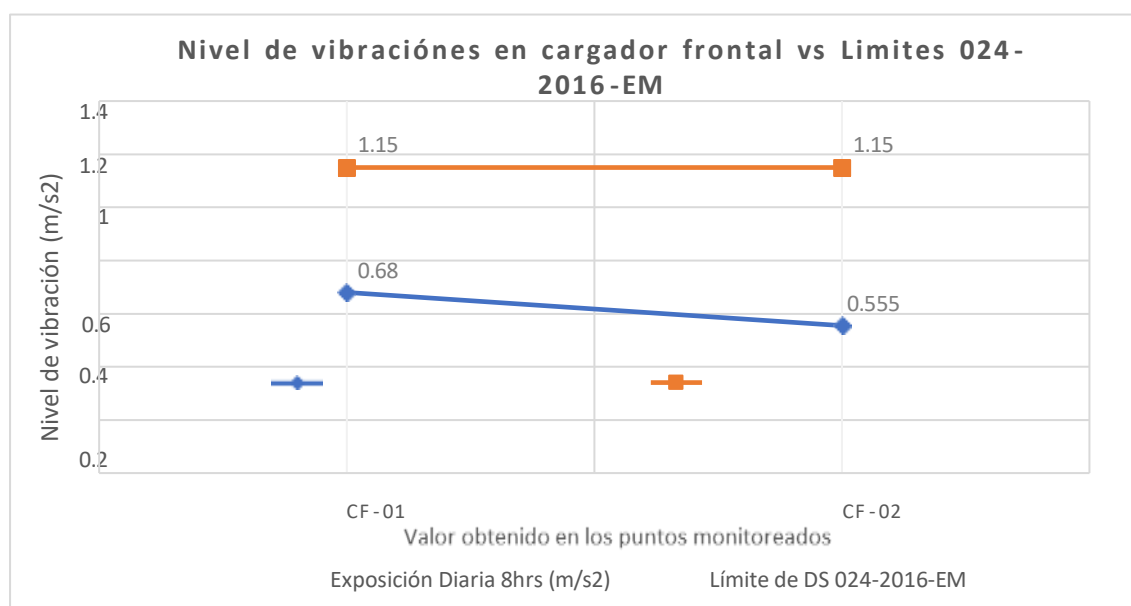


a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de Damper, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.

b. Comparativo de niveles de vibración en operador Cargadores frontales

El análisis comparativo se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente A(8) obtenidos en campo con el Límite Máximo Permisible de 1.15 m/s<sup>2</sup> establecido en el D.S. 024-2016-EM para vibraciones de cuerpo entero. La categorización del riesgo se determinó según los niveles de exposición relativa al LMP.

**Figura 13.** Comparativo de niveles de vibración en operadores de camión con la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM

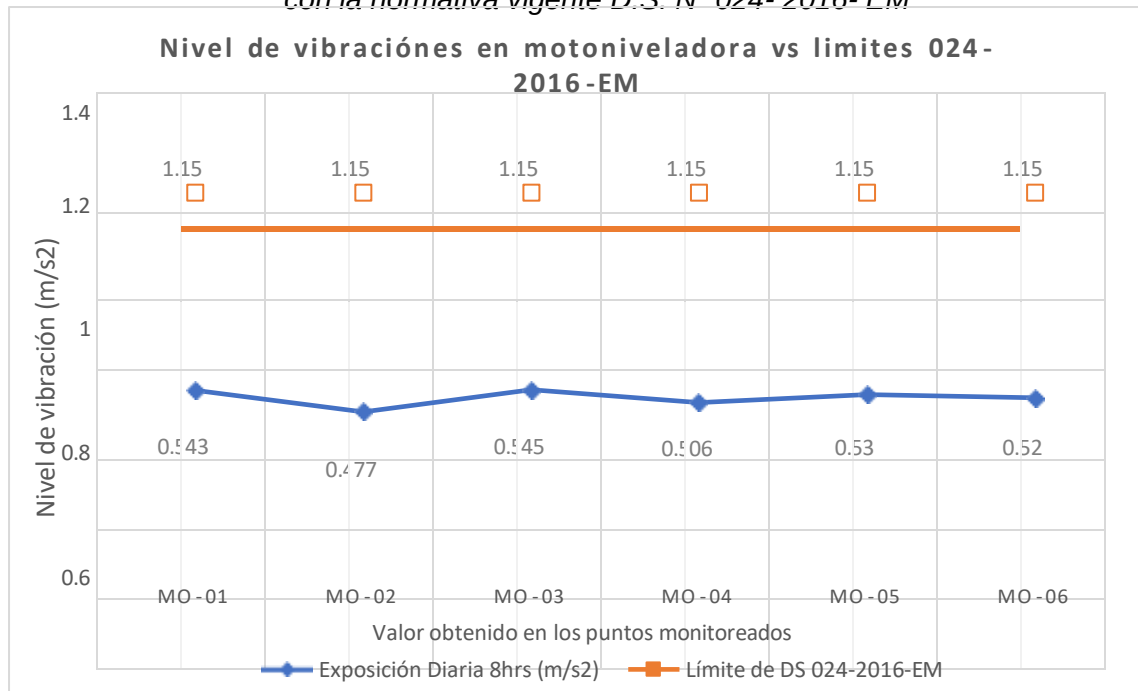


a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de cargador frontal, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado

b. Comparativo de niveles de vibración en operador Motoniveladoras

El análisis comparativo se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente A(8) obtenidos en campo con el Límite Máximo Permisible de 1.15 m/s<sup>2</sup> establecido en el D.S. 024-2016-EM para vibraciones de cuerpo entero. La categorización del riesgo se determinó según los niveles de exposición relativa al LMP.

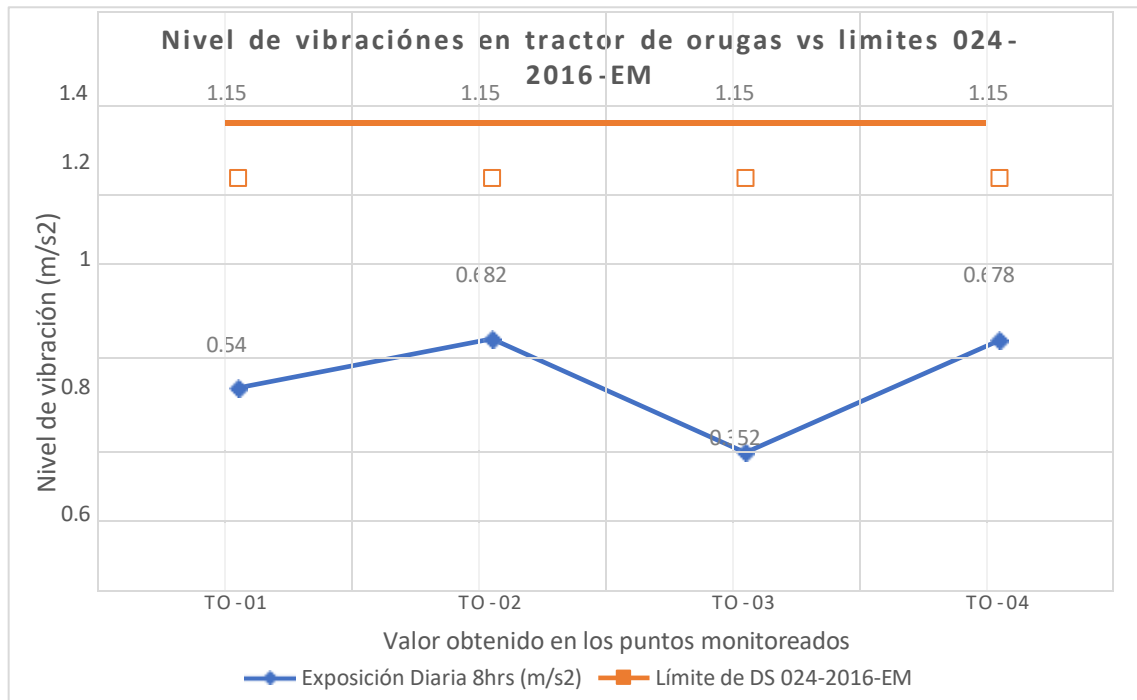
**Figura 14.** Comparativo de niveles de vibración en operadores de motoniveladoras con la normativa vigente D.S. Nº 024- 2016- EM



- a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de moto niveladoras, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.
- b. Comparativo de niveles de vibración en operador Tractor de orugas

El análisis comparativo se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente A(8) obtenidos en campo con el Límite Máximo Permisible de 1.15 m/s<sup>2</sup> establecido en el D.S. 024-2016-EM para vibraciones de cuerpo entero. La categorización del riesgo se determinó según los niveles de exposición relativa al LMP.

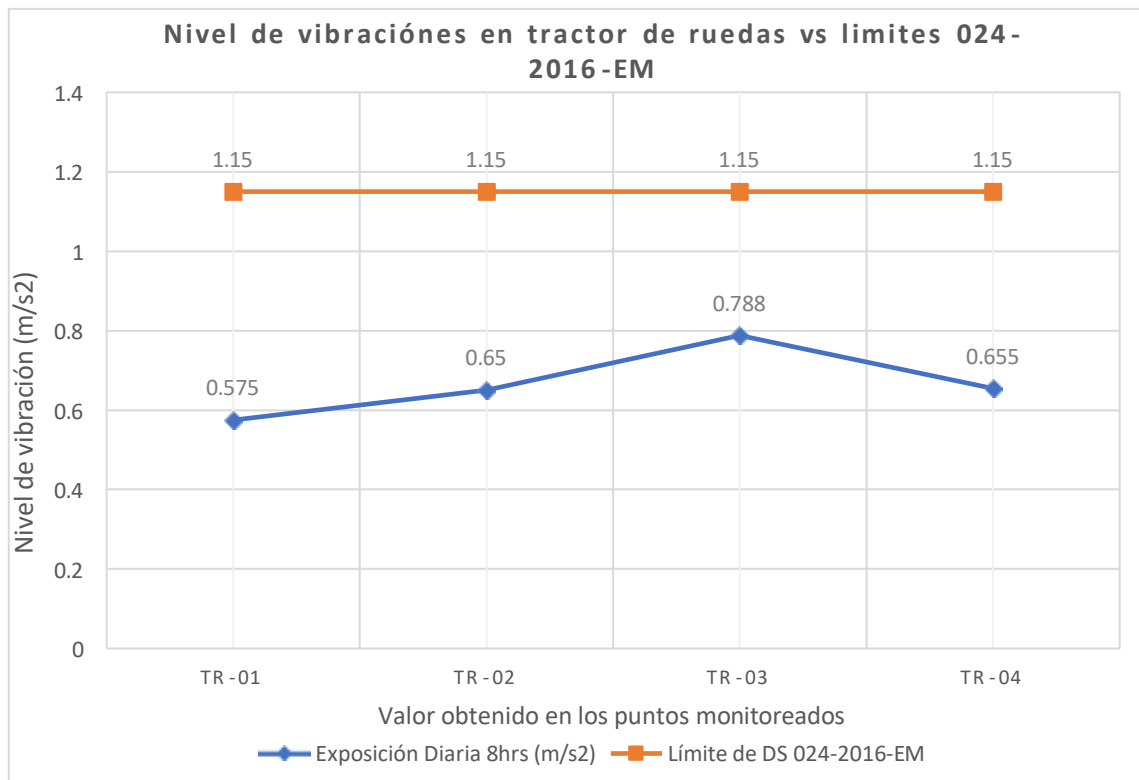
**Figura 15.** Comparativo de niveles de vibración en operadores de tractor de orugas con la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM



- Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de tractor de orugas, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.
- Comparativo de niveles de vibración en operador Tractor de ruedas

El análisis comparativo se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente A(8) obtenidos en campo con el Límite Máximo Permisible de 1.15 m/s<sup>2</sup> establecido en el D.S. 024-2016-EM para vibraciones de cuerpo entero. La categorización del riesgo se determinó según los niveles de exposición relativa al LMP.

**Figura 16.** Comparativo de niveles de vibración en operadores de tractor de ruedas con la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM

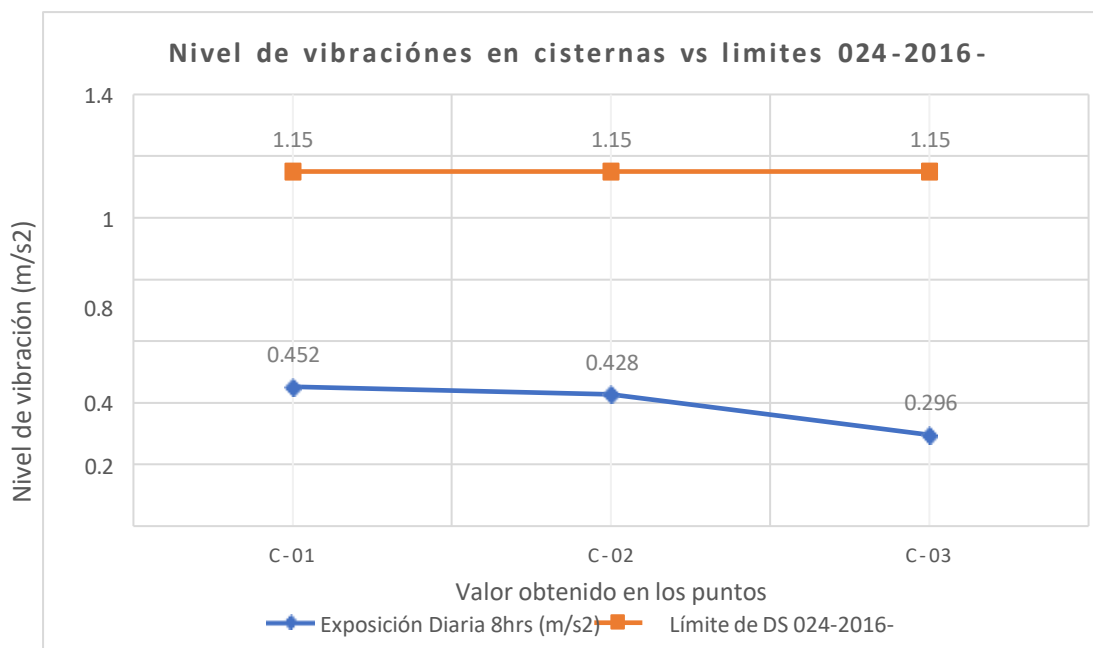


- a. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de tractor de ruedas, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15 m/s<sup>2</sup> para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo Moderado.

#### **Comparativo de niveles de vibración en operador Cisternas**

El análisis comparativo se realizó contrastando los valores de aceleración equivalente A(8) obtenidos en campo con el Límite Máximo Permisible de 1.15 m/s<sup>2</sup> establecido en el D.S. 024-2016-EM para vibraciones de cuerpo entero. La categorización del riesgo se determinó según los niveles de exposición relativa al LMP.

**Figura 17.** Comparativo de niveles de vibración en operadores de cisternas con la normativa vigente D.S. N° 024- 2016- EM



- Al realizar la comparación de los resultados obtenidos en el monitoreo de Vibración de Cuerpo Entero, se evidenció que el puesto de Operador de cisternas, se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido por el D.S. 024–2016–EM de 1.15  $m/s^2$  para una exposición proyectada para 08 horas a Vibraciones Cuerpo Entero; y obteniendo así un nivel de riesgo bajo.

### Resumen comparativo de monitoreo de vibraciones

Como resultado final del monitoreo de las vibraciones de cuerpo entero en los diferentes puestos de operador en la Unidad minera Animon se tiene la aceleración equivalente durante 8 horas siguiente:

#### Operadores de camiones

La aceleración equivalente continua para 8 horas ( $A_{eq}(8h)$  ( $m/s^2$ )) se halla en los rangos de (0.477 – 0.584)  $m/s^2$ , lo que indica un nivel de riesgo moderado.

#### Operadores de equipos Damper

La aceleración equivalente continua para 8 horas ( $A_{\text{heq}}(8h)$  ( $\text{m/s}^2$ )) se halla en los rangos de (0.600 – 0.735)  $\text{m/s}^2$ , lo que indica un nivel de riesgo moderado.

#### **Operadores de cargadores frontales**

La aceleración equivalente continua para 8 horas ( $A_{\text{heq}}(8h)$  ( $\text{m/s}^2$ )) se halla en los rangos de (0.555 – 0.680)  $\text{m/s}^2$ , lo que indica un nivel de riesgo moderado.

#### **Operadores de moto niveladoras**

La aceleración equivalente continua para 8 horas ( $A_{\text{heq}}(8h)$  ( $\text{m/s}^2$ )) se halla en los rangos de (0.477 – 0.545)  $\text{m/s}^2$ , lo que indica un nivel de riesgo moderado.

#### **Operadores de Tractor de orugas**

La aceleración equivalente continua para 8 horas ( $A_{\text{heq}}(8h)$  ( $\text{m/s}^2$ )) se halla en los rangos de (0.352 – 0.682)  $\text{m/s}^2$ , lo que indica un nivel de riesgo moderado.

#### **Operadores de Tractor de ruedas**

La aceleración equivalente continua para 8 horas ( $A_{\text{heq}}(8h)$  ( $\text{m/s}^2$ )) se halla en los rangos de (0.575 – 0.788)  $\text{m/s}^2$ , lo que indica un nivel de riesgo moderado.

#### **Operadores de cisternas**

La aceleración equivalente continua para 8 horas ( $A_{\text{heq}}(8h)$  ( $\text{m/s}^2$ )) se halla en los rangos de (0.296 – 0.452)  $\text{m/s}^2$ , lo que indica un nivel de riesgo moderado.

**Tabla 37.** Resumen comparativo de monitoreo de vibraciones

| <b>Puesto del operador</b>           | <b>Aceleración equivalente <math>A_{\text{heq}}(8h)</math> (<math>\text{m/s}^2</math>)</b> | <b>Cumplimiento con el Límite Máximo Permisible</b> | <b>Nivel de Riesgo</b> |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Operador de camión</b>            | (0.477 – 0.584)                                                                            | Si cumple                                           | MODERADO               |
| <b>operador Damper</b>               | (0.600 – 0.735)                                                                            | Si cumple                                           | MODERADO               |
| <b>operador Cargadores frontales</b> | (0.555 – 0.680)                                                                            | Si cumple                                           | MODERADO               |
| <b>operador Motoniveladoras</b>      | (0.477 – 0.545)                                                                            | Si cumple                                           | MODERADO               |
| <b>operador Tractor de orugas</b>    | (0.352 – 0.682)                                                                            | Si cumple                                           | MODERADO               |
| <b>operador Tractor de ruedas</b>    | (0.575 – 0.788)                                                                            | Si cumple                                           | MODERADO               |
| <b>operador Cisternas</b>            | (0.296 – 0.452)                                                                            | Si cumple                                           | BAJO                   |

## **Propuesta de las medidas de control de niveles de vibraciones transmitidos al cuerpo entero de los operarios**

### ***Medidas de control***

Para la gestión integral de las vibraciones transmitidas a los operarios, se propone la siguiente estrategia secuencial:

Identificación y caracterización de fuentes: Catalogar sistemáticamente los equipos generadores de vibración y cuantificar su contribución relativa a la exposición total mediante análisis espectral y temporal.

Evaluación de soluciones técnicas: Analizar la viabilidad técnico- económica de implementar sistemas de amortiguación mejorados, asientos antivibratorios y modificaciones en los equipos.

Planificación estratégica: Establecer objetivos cuantificables de reducción de exposición y desarrollar un cronograma priorizado de intervenciones.

Estructura organizacional: Designar responsabilidades específicas en la gestión del programa y asignar los recursos financieros y técnicos necesarios para su implementación.

Ejecución y monitoreo: Aplicar las medidas seleccionadas y realizar mediciones de verificación para cuantificar la efectividad de las intervenciones.

Evaluación continua: Establecer un sistema de revisión periódica que permita el ajuste y optimización del programa basado en los resultados obtenidos.

### **Medidas de evaluación del nivel de exposición a las vibraciones**

El sistema de evaluación incorporará los siguientes elementos:

Datos del fabricante: Utilizar los valores declarados de emisión de vibraciones, verificando que las condiciones operativas correspondan a las especificadas por el fabricante.

Estado de los equipos: Garantizar que la maquinaria se mantenga en condiciones óptimas mediante programas de mantenimiento preventivo alineados con las recomendaciones del fabricante.

Consistencia operacional: Emplear herramientas y accesorios equivalentes a los utilizados durante la caracterización inicial de los niveles de vibración.

### **Medidas de seguimiento**

El sistema de seguimiento contemplará:

Monitorización continua: Evaluar periódicamente el nivel, tipo y duración de la exposición vibratoria, contrastando con los valores límite establecidos.

Vigilancia epidemiológica: Documentar sistemáticamente los efectos en la salud relacionados con la exposición a vibraciones.

Actualización tecnológica: Evaluar continuamente las posibilidades de reducción mediante modernización, modificación o sustitución de equipos.

Factores ambientales: Considerar el impacto de condiciones adversas como bajas temperaturas que potencialmente incrementen el riesgo por exposición vibratoria.

Gestión adaptativa: Establecer un sistema de retroalimentación que incorpore experiencias operativas y avances tecnológicos para la mejora continua del programa.

## **CONCLUSIONES**

1. Los resultados obtenidos durante la investigación de las vibraciones producidas en los operadores de los diferentes equipos, referente a las aceleraciones equivalente continua durante 8 horas tuvieron un riesgo moderado a aceptación de los operadores de cisternas los cuales tuvieron un riesgo bajo.
2. Al realizar la comparación de los resultados obtenidos del monitoreo de vibración, con el valor recomendado en el D.S. 024-2016-EM, se evidenció que, los puestos monitoreados, se encuentra por debajo del Límite máximo permisible (LMP) representando el 100% de los puntos evaluados en categoría de cumplimiento. Del monitoreo realizado a la Unidad Minera Animon.
3. Las propuestas de las medidas de control de niveles de vibraciones transmitidos al cuerpo entero de los operarios de equipos se basaron en tres medidas, de control, de evaluación y de seguimiento.

## **RECOMENDACIONES**

1. Continuar con el mantenimiento programado de las maquinarias y verificar el estado de los accesorios que se encuentran en la línea de vibración (Asiento, superficies que absorban vibración, etc).
2. Realización de pausas activas, dando énfasis en zonas del cuerpo en contacto directo a vibraciones.
3. Evaluar la posibilidad de implementar EPP's de material absorbente de vibración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTINORI, CHILON, B. (2021). *“ESTUDIO DE VIBRACIONES DE CUERPO ENTERO PARA PREVENIR ENFERMEDADES OCUPACIONALES EN OPERADORES DE CAMIONES GIGANTES Y MAQUINARIAS AUXILIARES EN MINERÍA SUPERFICIAL, CAJAMARCA 2020”*. [tesis de licenciamento Universidad Privada del Norte ] repositorio de la Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Peru.
- BAENA , G. (2017). Metodologia de la investigacion. En G. E. PATRIA (Ed.).
- BERNAL, C. (2010). Metodologia de la investigacion (Tercera edicion ed.). (P. Educacion, Ed.)
- CARO, E. (2014). FACTORES DE RIESGO ERGONÓMICOS QUE INFLUYEN EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES MINEROS. [tesis de doctorado Universidad Nacional del Centro del Peru] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo - Per.
- CHAMBI, J. (2018). EVALUACIÓN DE RIESGOS DISERGONÓMICOS DURANTE TRABAJOS DE PERFORACIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA. [tesis de licenciamento Universidad nacional de San Agustin de Arequipa] repositorio institucional de la Universidad nacional de San Agustin de Arequipa, Arequipa - Peru.
- HERNANDEZ, FERNANDES, BAPTISTA, R. (2014). Metodologia de la investigacion (sexta edicion ed.). (M. e. S.A., Ed.)
- IVORRA, B. (2023). Rediseño de la empuñadura del martillo neumatico rotopercutor para la reduccion de vibraciones. [tesis de doctorado Universidad Politecnica de Madrid ] repositorio institucional Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- LIZANO, R. (2012). DISEÑO DE UN PROGRAMA DE PREVENCIÓN PARA OPERADORES DE MONTACARGAS EXPUESTOS A VIBRACIONES CUERPO ENTERO EN INDUSTRIAS DE LA CIUDAD DE QUITO. [tesis de Posgrado Universidad Internacional SEK ] repositorio institucional Universidad Internacional SEK, Quito - Ecuador.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MEM). (2017). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en mineria , D.S. N° 024-2016-EM, MODIFICADO POR D.S. N° 023-2017-EM.
- Ministerio de energia y minas (MINEM) . (2016). Decreto Supremo N° 024- 2016.

Lima.

- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. (2012). D.S. 005-2012-TR. Reglamento de la Ley N°29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Prevencion Laboral Rimac Seguros . (2018). Formato de un Análisis de seguridad en el trabajo (AST). Prevención Laboral, RIMAC seguros. Disponible en <https://prevencionlaboralrimac.com/Herramientas/ATS>.
- ROBLES, J. (2021). "FACTORES DE RIESGO ERGONOMICO Y SU RELACION A POSTURAS FÍSICAS EN EL USO DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN EN LA U.P CAPAC JUNÍN 2021". [tesis de licenciamento Universidad Nacional del Centro del Peru] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo - Peru.
- SANCHEZ, REYES, H. (2006). Metodología y Diseños en la Investigación Científica. (E. V. Universitaria, Ed.) Lima.
- SANCHEZ, REYES, MEJIA, H. (2018). Manual de terminos de investigacion cientifica, tecnologica y humanistica. Lima.
- SUPO, CAVERO, F. (2014). FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PROCEDIMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN CIENCIAS SOCIALES. (E. Universitario, Ed.)

## Anexo A

### Matriz de consistencia

| Título “PROTECCION DE LOS TRABAJADORES FRENTE A LOS RIESGOS PARA SU SEGURIDAD QUE PUEDAN DERIVASE DE LA EXPOSICION A VIBRACIONES MECANICAS EN LABORES MINERAS, EN LA UNIDAD MINERA ANIMON”.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROBLEMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | OBJETIVO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | HIPOTESIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | VARIABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | METODOLOGIA                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>Problema general</b><br/>¿Qué niveles de vibración mecánica se alcanza en los puestos operativos, durante las evaluaciones realizadas en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon?</p> <p><b>Problemas específicos</b><br/><b>Problema específico a</b><br/>¿Qué niveles de vibración mecánica de cuerpo entero y mano brazo se alcanza en los puestos operativos, durante las evaluaciones realizadas en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon?</p> <p><b>Problema específico b</b><br/>¿Las vibraciones mecánicas en el sistema de cuerpo entero y mano brazo evaluado en las labores mineras cumplen con los estándares establecidos por el D:S: 024 – 2016 – EM en la Unidad Minera Animon?</p> | <p><b>Objetivo general</b><br/>Determinar los niveles de vibración mecánica en los puestos operativos, durante las evaluaciones realizadas en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon.</p> <p><b>Objetivos específicos</b><br/><b>Objetivo específico a</b><br/>Determinación niveles de vibración mecánica de cuerpo entero y mano brazo en los puestos operativos, durante las evaluaciones realizadas en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon.</p> <p><b>Objetivo específico b.</b><br/>Evaluar si las vibraciones mecánicas en el sistema de cuerpo entero y mano brazo cumplen con los estándares establecidos por el D:S: 024 – 2016 – EM en la Unidad Minera Animon.</p> | <p><b>Hipótesis General</b><br/>Los niveles de vibración mecánica que se alcanza en los puestos operativos, están por debajo del Límite Máximo permisible establecido, durante las evaluaciones realizadas en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b><br/><b>Hipótesis específica a</b><br/>Los niveles de vibración mecánica de cuerpo entero y mano brazo están por debajo del Límite Máximo Permissible en los puestos operativos, durante las evaluaciones realizadas en las labores mineras, en la Unidad Minera Animon.</p> <p><b>Hipótesis específica b</b><br/>Las vibraciones mecánicas en el sistema de cuerpo entero y mano brazo evaluado en las labores mineras cumplen con los estándares establecidos por el D:S: 024 – 2016 – EM en la Unidad Minera Animon.</p> | <p><b>Identificación de variables</b><br/><b>Variables para la hipótesis general</b><br/><b>Variable independiente</b><br/>Niveles de vibración mecánica<br/><b>Variable dependiente</b><br/>Límites Máximos Permisibles de vibraciones<br/><b>Variables para la hipótesis específicas</b><br/><b>Variables para la hipótesis específica a</b><br/><b>Variable independiente</b><br/>Niveles vibración mecánica cuerpo entero y mano brazo<br/><b>Variable dependiente</b><br/>Límites Máximos Permisibles<br/><b>Variables para la hipótesis específica b</b><br/><b>Variable independiente</b><br/>Vibración mecánica cuerpo entero y mano brazo<br/><b>Variable dependiente</b><br/>Estándares D:S: 024 – 2016 – EM</p> | <p>-Tipo de I. aplicativo.<br/>-Nivel de I. Descriptivo, analítico<br/><b>Diseño de I. muestra</b><br/>La muestra estará por trabajadores que realizan operaciones de, transporte y perforacion con equipos Dumper, volquetes y jumbo de la Unidad Minera Animon.</p> |

## Anexo 2 Certificado de calibración



# Certificado de Calibración

Número del certificado: CRV3398/2022

Fecha de la calibración: 11/08/2022

Fecha de emisión del certificado: 11/08/2022

#### DATOS DEL CLIENTE:

Nombre: BLUE WORLD SOLUTION S.A.C.

Dirección: CAL. LOS TAMARINDOS NRO. 229 URB. LOS JARDINES LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES

#### DATOS DEL INSTRUMENTO CALIBRADO:

|               |                        |                  |                  |
|---------------|------------------------|------------------|------------------|
| Instrumento:  | Medidor de vibraciones | Acelerómetro VCI | Acelerómetro VMS |
| Marca:        | CRIFER                 | CRIFER           | CRIFER           |
| Modelo:       | VIBRATE                | CR-100           | CR-101           |
| Número serie: | 51000938               | 52000944         | 53000732         |

#### PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN: PCA-003 - Rev. C

MÉTODO DE CALIBRACIÓN: Medición por comparación con los patrones abajo. Se realizan tres mediciones para cada punto y se calcula la desviación estándar.

#### TRAZABILIDAD:

- Criffer - CR-1 - Certificado de calibración n° RBCS-11491-391 de Total Safety - Válido hasta 06/2023
- Keithley - 2015 - Certificado de calibración n° E1263/2021 del Labelo - Válido hasta 07/2023
- Testo - Testo 622 - Certificado de calibración n° T0648/2020 del Labelo - Válido hasta 05/2023

#### CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: 23,0°C ±3,0°C

Humedad Relativa del Aire: 70% UR ±25%UR

Presión Atmosférica: 101,32 Kpa ±10%

#### NOTAS:

- Los resultados de la calibración están contenidos en tablas adjuntas, que relacionan los valores indicados por el instrumento en prueba, con valores obtenidos a través de la comparación con los patrones e incertidumbres estimadas de la medición (IM).
- La incertidumbre ampliada de medición se declara como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k", corresponde al nivel de confianza del 95,45%.
- La incertidumbre estándar de la medición se determinó de acuerdo con la "Guía para Expresión de la Incertidumbre de Medición", Tercera Edición Brasileira.
- Este certificado se refiere exclusivamente al elemento calibrado, y no se extiende a ningún lote.
- El presente certificado sólo se puede reproducir en su forma y contenido integrales y sin cambios.
- Servicios ejecutados en el laboratorio de calibración de Criffer-Lab Serviços Especials Eireli - ME, CNPJ: 21.134.789/0001-43, ubicada en la avenida Theodomiro Porto da Fonseca, 3101, Unidad 6, sala 203, Barrio: Cristo Rei, Ciudad: São Leopoldo - RS, con estándares de calibración, calibrados en laboratorios acreditados por la Rede Brasileira de Calibración (RBC/INMETRO), de acuerdo con los requisitos de la NBR-17025.



## Certificado de Calibración

Número del certificado: CRV3398/2022

Fecha de la calibración: 11/08/2022

Fecha de emisión del certificado: 11/08/2022

Resultado de la calibración:

Calibración en función de la velocidad del movimiento vibratorio = 159,2 Hz (mm/s rms)

Instrumento: Acelerómetro Triaxial VQ

Marca: CRIFFER

Modelo: CR-100

Nº de Serie: CR10023

| Ensayo                      | Valores obtenidos en las mediciones en mV/g |                              |                              |
|-----------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                             | Eje X<br>Sensibilidad: 117,5                | Eje Y<br>Sensibilidad: 112,5 | Eje Z<br>Sensibilidad: 114,0 |
| Resultado (mV/g)            | 117,5                                       | 112,5                        | 114,0                        |
| ± Incertidumbre de medición | 1,0                                         | 1,0                          | 1,0                          |

El valor de referencia para la calibración fue de 1g.

Instrumento: Acelerómetro Triaxial VMB

Marca: CRIFFER

Modelo: CR-101

Nº de Serie: CRB0017

| Excitador<br>(010,00 m/s <sup>2</sup> ) | Valores obtenidos nas medições em mV/g |                             |                             |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                         | Eje X<br>Sensibilidad: 10,0            | Eje Y<br>Sensibilidad: 10,0 | Eje Z<br>Sensibilidad: 10,0 |
| Resultado (mV/g)                        | 10,0                                   | 10,0                        | 10,0                        |
| ± Incertidumbre de medición             | 1,0                                    | 1,0                         | 1,0                         |

El valor de referencia para la calibración fue de 1g.

  
Responsable Técnico  
João Carlos T.C. Isabel