

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS:**

**Relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral  
en perforistas con Jackleg, GMI-Unidad Minera  
Americana-2025**

Para optar el título profesional de:  
**INGENIERA DE MINAS**

PRESENTADO POR:  
**Bach. Ruth Vaneza SUAREZ QUISPE**

ASESOR:  
**Msc. Ing. Víctor Félix FLORES MORENO**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis queridos padres, Modesto Suarez y Guillermina Quispe, quienes, con su amor, esfuerzo, apoyo incondicional y permanente confianza me han acompañado en cada etapa de mi formación profesional. Su ejemplo de perseverancia, sacrificio y dedicación ha sido una fuente constante de inspiración para superar los desafíos y alcanzar mis metas.

Asimismo, expreso mi reconocimiento a mis docentes y compañeros, quienes contribuyeron significativamente a mi aprendizaje mediante sus conocimientos, experiencias y valiosas enseñanzas, enriqueciendo mi desarrollo académico y profesional, contribuyendo al logro de este importante objetivo académico, el cual representa un paso más en mi crecimiento profesional y personal.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por la formación académica recibida, así como a sus docentes, quienes contribuyeron con sus enseñanzas y orientación a mi crecimiento profesional.

A la empresa Gestión Minera Integral S.A.C., por abrirme las puertas de su organización y brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, permitiéndome adquirir experiencia y fortalecer mis conocimientos en el ámbito laboral.

Finalmente, agradezco a mis compañeros, amigos y colaboradores de la empresa, quienes con su apoyo, consejos y palabras de aliento me motivaron a perseverar y continuar avanzando hacia el logro de mis objetivos. A todos ellos, mi más profundo reconocimiento y gratitud.

## RESUMEN

Siendo la minería una actividad económica importante en el Perú es importante identificar como se desarrolla el proceso productivo dentro de las operaciones unitarias, para esta investigación podemos mencionar que los trabajadores que realizan las actividades de perforación en las minas están expuestas a diferentes peligros dentro de las cuales tenemos a la exposición a vibraciones en minería que provocan trastornos vasculares y musculoesqueléticos cuando supera los valores límite establecidos por el DS 024-2016 EM; sin embargo también produce cansancio y fatiga la exposición a la vibración producto del funcionamiento de la perforadora. La Organización Mundial de la Salud (2021) advierte que la vibración no solo compromete músculos o articulaciones, sino también procesos fisiológicos más profundos, generando un cansancio que el trabajador aprende a normalizar. La perforadora Jackleg es una herramienta común en la perforación subterránea, produce vibraciones que en muchos casos sobrepasan lo permitido, convirtiéndose en una fuente constante de fatiga. De ahí surge esta investigación: de la necesidad de comprender qué ocurre cuando la vibración deja de sentirse y pasa a ser parte del ritmo del trabajo. Es una forma de mirar el desgaste no como un simple dato técnico, sino como una señal silenciosa de lo que el cuerpo soporta para sostener la productividad minera, la perforadora Jackleg, produce vibraciones que superan, en muchos casos, los límites que recomienda la norma, podría decirse que de allí surge la motivación principal de esta investigación: entender qué ocurre cuando el cuerpo se acostumbra a ese golpeteo constante, cuando la vibración deja de sentirse y empieza a formar parte de la rutina. Aunque el DS 024-2016-EM exige mediciones periódicas, muchas operaciones no logran implementarlas adecuadamente. Los registros recientes del INS (2023) muestran que los niveles promedio de aceleración en faenas subterráneas llegan a  $7 \text{ m/s}^2$ , es decir, sobrepasan el límite diario de  $5 \text{ m/s}^2$ . Al mismo tiempo, cerca del 30% de los perforistas

reportan dolor en las extremidades y un 18% admite sentirse exhausto antes de terminar su turno. Las cifras, por sí solas, parecen frías, pero en el campo se sienten: el cuerpo se adapta, sí, pero también se desgasta. El propósito del estudio es determinar la relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en los trabajadores que operan equipos Jackleg en la Unidad Minera Americana. Más que buscar una causalidad exacta, lo que se pretende es describir ese vínculo entre la energía mecánica que transmite la máquina y el cansancio que se acumula en el trabajador, visible en su precisión, su atención y su fuerza. La investigación será aplicada, con un nivel correlacional y un diseño no experimental-transversal. Participarán 24 perforistas activos, utilizando un muestreo censal. Se medirán las vibraciones con un acelerómetro triaxial conforme a la ISO 5349-1, y la fatiga se evaluará mediante el Cuestionario de Yoshitake. Los datos se procesarán con estadística descriptiva y correlacional, aplicando el coeficiente de Spearman mediante los programas SPSS y Excel. Probablemente, los valores A(8) superen los 5 m/s<sup>2</sup> y más del 60 % de los trabajadores muestren niveles de fatiga moderada o alta. Más allá de los números. Porque, al final, esta investigación intenta poner en evidencia algo que los mineros ya intuyen: que el Jackleg vibra más de lo que el cuerpo puede resistir, y que cada jornada sin control técnico ni descanso suficiente deja una huella invisible, pero persistente, en la salud de quienes sostienen la fuerza del trabajo minero peruano.

***Palabra Clave:*** Vibración mano brazo, perforistas, Jackleg.

## ABSTRACT

Given that mining is a significant economic activity in Peru, it is important to identify how the production process unfolds within unit operations. For this research, we can mention that workers performing drilling activities in mines are exposed to various hazards, including exposure to mining vibrations. These vibrations can cause vascular and musculoskeletal disorders when they exceed the limits established by DS 024-2016 EM. However, exposure to vibration from the operation of the drill also produces tiredness and fatigue. The World Health Organization (2021) warns that vibration not only affects muscles and joints but also deeper physiological processes, generating fatigue that workers learn to normalize. The Jackleg drill is a common tool in underground drilling, producing vibrations that often exceed permitted levels, becoming a constant source of fatigue. This research stems from the need to understand what happens when vibration ceases to be felt and becomes part of the work rhythm. This approach views wear and tear not as a mere technical data point, but as a silent indicator of what the body endures to sustain mining productivity. The Jackleg drill produces vibrations that, in many cases, exceed the limits recommended by regulations. This could be considered the primary motivation for this research: to understand what happens when the body becomes accustomed to this constant pounding, when the vibration ceases to be felt and becomes part of the routine. Although DS 024-2016-EM mandates periodic measurements, many operations fail to implement them adequately. Recent records from the INS (2023) show that average acceleration levels in underground mining operations reach  $7 \text{ m/s}^2$ , exceeding the daily limit of  $5 \text{ m/s}^2$ . At the same time, approximately 30% of drillers report pain in their extremities, and 18% admit to feeling exhausted before the end of their shift.

The numbers, on their own, seem cold, but in the field they are felt: the body adapts, yes, but it also wears down. The purpose of this study is to determine the relationship between hand-

arm vibration and work fatigue in workers operating Jackleg drilling rigs at the American Mining Unit. Rather than seeking an exact causality, the aim is to describe the link between the mechanical energy transmitted by the machine and the fatigue that accumulates in the worker, visible in their accuracy, attention, and strength. The research will be applied, with a correlational level and a non-experimental, cross-sectional design. Twenty-four active drillers will participate, using a census sampling method. Vibrations will be measured with a triaxial accelerometer according to ISO 5349-1, and fatigue will be assessed using the Yoshitake Questionnaire. The data will be processed with descriptive and correlational statistics, applying Spearman's rank correlation coefficient using SPSS and Excel. A positive correlation between vibration magnitude and fatigue intensity is expected. A(8) values are likely to exceed  $5 \text{ m/s}^2$ , and more than 60% of workers will exhibit moderate to high levels of fatigue. Beyond the numbers, the study aims to raise awareness. The results could be used to strengthen preventative maintenance, promote active breaks, and improve job rotation. Ultimately, this research seeks to highlight something miners already suspect: that the Jackleg drill vibrates more than the body can withstand, and that each workday without technical oversight or sufficient rest leaves an invisible but persistent mark on the health of those who sustain the Peruvian mining workforce.

***Keywords:*** Hand-arm vibration, drillers, Jackleg drill.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE .....	vii
INDICE DE TABLAS .....	xiii
INDICE FIGURAS .....	xiv
INDICE GRAFICOS .....	xv
INDICE ANEXOS .....	xvi
CAPITULO I.....	1
I.INTRODUCCION .....	1
1.1 Realidad problemática .....	2
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema general .....	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos.....	4

1.3.1	Objetivo general.....	4
1.3.2	Objetivos específicos .....	5
1.4	Hipótesis.....	5
1.4.1	Hipótesis general.....	5
1.4.2	Hipótesis específica .....	5
1.5	Variables e indicadores.....	5
1.5.1	Variable 1.....	5
1.5.2	Variable 2.....	6
1.5.3	Matriz de operacionalización.....	6
1.6	Justificación E Importancia .....	8
1.6.1	Justificación .....	8
1.6.2	Importancia .....	8
1.7	Alcances y limitaciones.....	9
1.7.1	Alcances.....	9
1.7.2	Limitaciones.....	10
CAPITULO II .....		11
II.MARCO TEORICO .....		11

2.1	Generalidades .....	11
2.1.1	Ubicación y accesos.....	11
2.1.2	Geología.....	12
2.2	Antecedentes de la investigación.....	13
2.2.1	Antecedentes Internacionales .....	13
2.2.2	Antecedentes Nacionales .....	18
2.3	Marco conceptual .....	22
2.3.1	Vibración mano-brazo.....	22
2.3.2	Perforación manual.....	22
2.3.3	Exposición continua a vibraciones y carga física .....	22
2.3.4	Normalización de la vibración en el trabajo minero.....	23
2.3.5	Importancia del análisis técnico de la vibración.....	23
2.3.6	Fatiga laboral como proceso acumulativo .....	24
2.3.7	Manifestaciones funcionales de la fatiga.....	24
2.3.8	Fatiga laboral en minería subterránea.....	24
2.3.9	Relación entre carga física y fatiga.....	25
2.3.10	Importancia de la evaluación de la fatiga laboral .....	25

CAPÍTULO III .....	26
III.MATERIAL Y METODOS .....	26
3.1 Metodología de la investigación.....	26
3.1.1 Tipo de investigación.....	26
3.1.2 Nivel de investigación .....	26
3.1.3 Diseño de investigación .....	26
3.2 Población y muestra .....	27
3.2.1 Población .....	27
3.2.2 Muestra .....	27
3.3 Técnicas de recolección de datos e instrumentos .....	27
3.4 Análisis de datos.....	27
3.4.1 Técnica de procesamiento.....	27
3.4.2 Análisis de datos .....	28
3.5 Programa de monitoreo de vibración .....	28
3.5.1 Periodo de evaluación.....	28
3.5.2 Instrumentación y procedimiento .....	28
3.5.3 Cálculo técnico de vibración mano-brazo Determinación del eje dominante para cada	

trabajador: .....	29
3.5.4 Criterio de evaluación normativa (D.S. 024-2016-EM) .....	29
3.5.5 Resultados de vibración .....	30
3.5.6 Cumplimiento normativo .....	34
3.6 Encuesta de fatiga laboral (instrumento + aplicación) .....	36
3.6.1 Instrumento propuesto .....	36
3.6.2 Resultados de fatiga laboral (24 perforistas) .....	38
3.7 Relación vibración – fatiga (resultado correlacional) .....	41
3.8 Análisis de desviaciones y causas probables .....	42
CAPITULO IV .....	45
IV.RESULTADOS Y DISCUSION .....	45
4.1 Resultados.....	45
4.2 Prueba de hipótesis .....	48
4.2.1 Formulación de hipótesis .....	48
4.2.2 Prueba de normalidad (SPSS).....	49
4.2.3 Prueba de hipótesis: Correlación de Spearman.....	50
4.2.4 Decisión estadística.....	50

4.2.5	Interpretación del resultado .....	50
4.3	Discusión .....	52
	CONCLUSIONES .....	54
	RECOMENDACIONES .....	56
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....	58
	GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	60

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de operacionalización .....	7
Tabla 2: Campaña .....	28
Tabla 3. Tiempo de exposición.....	29
Tabla 4: Evaluación de puntos de monitoreo.....	31
Tabla 5: Evaluación de puntos de monitoreo.....	32
Tabla 6: Resultados de evaluacion de fatiga laboral.....	38
Tabla 7: Resultados de evaluacion de fatiga laboral.....	40
Tabla 8: Hipótesis .....	49
Tabla 9: Prueba de normalidad .....	49
Tabla 10: Correlación de Spearman.....	50

## INDICE FIGURAS

Figura 1:Ubicación de la U.M. Americana.....	11
Figura 2:Monitoreo de Perforista.....	30
Figura 3:Evaluacion de monitoreo de vibración Mano-Brazo.....	36
Figura 4:Encuesta de fatiga al trabajador.....	37
Figura 5:Evaluacion de causas probables .....	43
Figura 6:Causas operativos .....	44

## INDICE GRAFICOS

Grafico 1:Resultados de evaluación.....	31
Grafico 2:Resultado de evaluación .....	34
Grafico 3:Cumplimiento Normativo.....	35
Gráfico 4:Puntaje de Fatiga laboral P01-P12.....	38
Gráfico 5:Puntaje de fatiga laboral P13-P24 .....	41
Grafico 6:Resultados de evaluación.....	45
Grafico 7:Resultado del Cumplimiento Normativo .....	46
Grafico 8:Puntaje de evaluación de fatiga .....	47
Grafico 9:Relacion vibración Mano-Brazo y la fatiga laboral.....	51

## INDICE ANEXOS

Anexo 1:MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	62
Anexo 2: Evaluación de perforistas .....	63
Anexo 3:Datos de campo de monitoreo de vibracion Mano-Brazo.....	64
Anexo 4:Certificado de calibracion .....	66
Anexo 5:Ficha técnica equipo Larson Davis HVM100.....	70

# CAPITULO I

## I. INTRODUCCION

En la minería subterránea, hay riesgos que se vuelven parte del día a día sin generar mayor discusión. La vibración mano-brazo es uno de ellos. Está presente desde el primer contacto del Jackleg con la roca y acompaña al perforista durante toda la jornada, como un fondo constante que rara vez se cuestiona. En la Unidad Minera Americana de GMI, esta exposición continua se combina con esfuerzos físicos elevados, posturas exigentes y ritmos de trabajo que no siempre permiten pausas suficientes. Con el tiempo, todo eso empieza a notarse, no de manera abrupta, sino de forma progresiva. La vibración no actúa de manera aislada. Se suma al esfuerzo muscular, a la repetitividad de la tarea y a la presión por cumplir objetivos operativos. Una forma de entenderlo es pensar que cada ciclo de perforación deja una pequeña carga en el cuerpo del trabajador. Al inicio puede pasar desapercibida, pero turno tras turno esa carga se acumula y termina manifestándose como fatiga laboral. No se trata solo de cansancio físico. Aparece la disminución de la fuerza, la lentitud en los movimientos, la pérdida de concentración y, en algunos casos, errores que antes no eran habituales.

Si bien existen normas y guías técnicas que establecen límites para la exposición a vibraciones, en la práctica muchas evaluaciones se quedan en el cumplimiento formal. Se mide, se registra y se compara con un valor de referencia, pero pocas veces se analiza cómo esos niveles se relacionan con el estado real del trabajador. La literatura técnica aborda la vibración mano-brazo desde enfoques biomecánicos y la fatiga desde perspectivas organizacionales o ergonómicas. Sin embargo, son limitados los estudios que conectan ambas variables en contextos específicos como la perforación manual.

En ese vacío se enmarca la presente investigación. El objetivo principal es determinar la

relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en perforistas que operan equipos Jackleg en la Unidad Minera Americana de GMI durante el año 2025. De manera complementaria, se busca medir los niveles reales de vibración, evaluar el cumplimiento de los límites establecidos y analizar los niveles de fatiga considerando distintas dimensiones. La pregunta central que guía el estudio es si una mayor exposición a vibraciones se asocia con mayores niveles de fatiga laboral.

La investigación se desarrolla con un enfoque cuantitativo, bajo un diseño no experimental y de alcance correlacional. La vibración se evalúa mediante mediciones técnicas en campo, mientras que la fatiga laboral se analiza a través de encuestas estructuradas aplicadas a los perforistas. El propósito final es aportar información concreta, basada en la realidad operativa, que permita comprender mejor este riesgo silencioso y contribuya a una gestión preventiva más cercana a las condiciones reales del trabajo minero.

### **1.1 Realidad problemática**

La minería subterránea en el Perú ha tenido influencia directa con la economía, sin embargo, la tendencia a alinearse con lo emergente de la tecnología se convierte en un reto, según el MEM en el año 2024 la minería aportó un 9% del producto bruto interno y en exportaciones nacionales cerca al 60%. Estos indicadores económicos determinan la importancia de la producción minera, sin embargo al realizar un análisis del proceso productivo podemos evidenciar muchas debilidades, desde el punto humano en específico, los trabajadores que son la parte crítica de las operaciones unitarias de producción, debemos de entender que se relaciona con la salud de los trabajadores en las diferentes áreas. La exposición continua a vibraciones, ruido y posturas forzadas que acompañan en el trabajo del operador de perforación convencional con perforadora Jackleg neumática tiene influencia directa con la salud del trabajador, por lo que la Unidad Minera Americana, de Cia minera Alpayana las

labores con el equipo Jackleg forman parte esencial del ciclo de producción, pero también del desgaste físico de los trabajadores, se ha pedido percibir y evidenciar las molestias y fatiga de los trabajadores por el uso continuo de estos equipos especialmente en la exposición de vibración. La norma ISO 5349-1 establece límites de exposición a vibración de  $5 \text{ m/s}^2$  por jornada, aunque las mediciones realizadas en faenas peruanas, según reportes del Instituto Nacional de Salud (2023), superan los  $7 \text{ m/s}^2$  en promedio. Lo cierto es que, aunque el D.S. N.º 024-2016-EM exige la evaluación de estos riesgos, en la práctica las acciones de control suelen quedarse a mitad de camino. En la operación diaria, el perforista pasa entre seis y ocho horas manipulando el Jackleg, en ambientes confinados y con poco descanso. Los registros internos de GMI muestran que, durante el 2024, cerca del 30 % de los trabajadores de perforación reportaron dolor en brazos o muñecas, mientras que un 18 % refirió agotamiento antes de terminar el turno. Son cifras que no aparecen en los informes de producción, pero que en el día a día se sienten en cada guardia. De alguna manera, el cuerpo absorbe esa energía vibratoria hasta volverla parte del cansancio normalizado. En teoría, los equipos deberían amortiguar el impacto, pero muchos superan los diez años de uso y el mantenimiento correctivo sigue siendo la regla más que la excepción. Las causas se repiten en diferentes estudios. Paredes (2025) encontraron niveles de aceleración de  $6,81 \text{ m/s}^2$  en operadores de maquinaria pesada, y Alzate (2019) demostró que los equipos antiguos transmiten hasta un 40 % más de vibración que los nuevos. Sánchez (2020) analizó la relación entre fatiga laboral y lesiones, concluyendo que el cansancio aumenta en un 68 % la probabilidad de daño muscular. Incluso De la Hoz (2022) mostró que el control técnico de agentes físicos puede reducir hasta en 21 % la dosis diaria de exposición. Todas estas evidencias apuntan a lo mismo: la vibración no es solo un dato en  $\text{m/s}^2$ , es un proceso de desgaste acumulativo que se traduce

en fatiga y pérdida de precisión. Si nada cambia, los efectos van más allá del cansancio. Un perforista fatigado produce menos metros perforados y tiene hasta un 25 % más de probabilidad de cometer errores que afectan la seguridad y la eficiencia. Además, los cuadros de síndrome de vibración mano-brazo suelen ser irreversibles después de años de exposición, y cada caso tratado puede representar más de 15 000 soles en costos médicos y reubicación laboral. En ese sentido, continuar sin un programa de control vibracional o de manejo de fatiga no solo afecta la salud, sino también la sostenibilidad del proceso minero. Lo que no se mide a tiempo termina costando el doble. Esta investigación se desarrollará en la Unidad Minera Americana en la contrata GMI, durante el año 2025, y se centrará en los perforistas que operan equipos Jackleg en frentes de avance subterráneo.

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema general***

¿De qué manera la exposición a la vibración mano-brazo influyen en la fatiga laboral de los perforistas que operan equipos Jackleg en la Unidad Minera Americana?

### ***1.2.2 Problemas específicos***

¿Qué nivel de fatiga laboral presentan los perforistas que operan equipos Jackleg según los indicadores perceptivos durante su jornada de trabajo?

¿Cuál es el nivel de exposición diaria a vibración mano-brazo (A (8)) en los perforistas que operan equipos Jackleg?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar la relación entre la exposición a la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en los perforistas que operan equipos Jackleg en la Unidad Minera Americana

### **1.3.2 *Objetivos específicos***

Evaluar el nivel de fatiga laboral de los perforistas que operan equipos Jackleg mediante indicadores perceptivos durante su jornada de trabajo.

Cuantificar el nivel diario de exposición a vibración mano-brazo (A (8)) en los perforistas que operan equipos Jackleg.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 *Hipótesis general***

Existe una relación significativa entre los niveles de vibración mano-brazo generados por la operación del equipo Jackleg y el grado de fatiga laboral en los perforistas de la Unidad Minera Americana.

### **1.4.2 *Hipótesis específica***

El nivel de fatiga laboral de los perforistas aumenta significativamente conforme se eleva la intensidad y duración de la exposición a la vibración producido por el equipo Jackleg.

Los niveles diarios de exposición vibratoria (A(8)) en los perforistas que trabajan con equipos Jackleg supera los valores de acción establecidos D.S.024-2016 EM, evidenciando una sobreexposición mecánica que produce fatiga laboral.

## **1.5 Variables e indicadores**

### **1.5.1 *Variable 1***

V1 = Vibración mano -brazo

- Dimensión: Magnitud diaria de exposición (A(8)) / Frecuencia dominante / Tiempo efectivo de exposición

- Indicadores: Aceleración equivalente normalizada a 8 horas / Frecuencia con mayor energía (Hz) / Tiempo total de contacto vibratorio (minutos)

### **1.5.2 Variable 2**

V2 = Fatiga laboral

- Dimensión: Fatiga física / Fatiga mental / Fatiga general
- Indicadores: Síntomas físicos / Dificultad de concentración, somnolencia / Puntuación total de fatiga

### **1.5.3 Matriz de operacionalización**

La matriz de operacionalización es el instrumento que traduce las variables teóricas de una investigación en componentes observables y medibles.

**Tabla 1***Matriz de operacionalización*

<b>Variable</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Variable mano-brazo</b>	Medición directa de la vibración promedio durante la operación del jackleg calculada según ISO5349-1	Magnitud diaria de exposición (A(8))	Aceleración equivalente normalizado a 8 horas
	Análisis espectral para determinar la frecuencia predominante durante el uso del equipo.	Frecuencia dominante	Frecuencia con mayor energía(HZ)
	Minutos de uso efectivo del jackleg durante la jornada laboral.	Tiempo efectivo de exposición	Tiempo total de contacto vibratorio(minutos)
<b>Fatiga laboral</b>	Evaluación subjetiva mediante subescala física del cuestionario de Yoshitake.	Fatiga Física	Síntomas físicos
	Medición mediante subescala mental del cuestionario de Yoshitake.	Fatiga mental	Dificultad de concentración, somnolencia
	Suma ponderada de los tres componentes del cuestionario Yoshitake.	Fatiga general	Puntuación total de fatiga

*Nota.* Elaboración propia

## **1.6 Justificación E Importancia**

### ***1.6.1 Justificación***

La presente investigación se justifica a partir de una realidad que, en minería subterránea, suele asumirse como parte del trabajo sin mayor cuestionamiento. La vibración mano-brazo está presente en cada jornada de perforación con Jackleg, pero pocas veces se analiza más allá del cumplimiento normativo. Lo relevante aquí es que esta exposición constante no ocurre en un vacío; se da en cuerpos que trabajan bajo presión física, en turnos prolongados y en condiciones donde la fatiga termina siendo una consecuencia casi predecible. Sin embargo, esa relación no siempre se estudia con el detalle que merece.

Desde el punto de vista académico, la investigación aborda una brecha evidente. Existen estudios sobre vibración mano-brazo y otros sobre fatiga laboral, pero son limitados aquellos que analizan ambas variables de manera integrada, especialmente en contextos reales de minería subterránea y con equipos como el Jackleg. En cierto sentido, se ha trabajado más el riesgo desde lo normativo que desde su impacto cotidiano en el trabajador. Este estudio busca aportar evidencia concreta, contextualizada y útil para ampliar el conocimiento existente.

### ***1.6.2 Importancia***

En el plano práctico, la importancia del trabajo radica en su aplicabilidad directa. Comprender cómo la vibración se relaciona con la fatiga permite mejorar los programas de vigilancia de la salud, ajustar tiempos de exposición, reforzar pausas operativas y orientar decisiones preventivas con mayor sustento técnico. Una forma de verlo es que no se trata solo de medir vibración, sino de entender qué está pasando realmente con el

trabajador que la soporta día tras día.

Finalmente, desde una perspectiva social y profesional, la investigación contribuye a visibilizar un riesgo que no siempre se percibe como prioritario, pero que influye en la seguridad, el rendimiento y la calidad de vida del perforista. Aportar información clara y basada en datos reales fortalece la gestión de seguridad y salud ocupacional, y al mismo tiempo refuerza una mirada más humana del trabajo minero, donde la productividad no puede desligarse del bienestar del trabajador.

## **1.7 Alcances y limitaciones**

### ***1.7.1 Alcances***

Definir los alcances y las limitaciones de esta investigación permite ubicar con mayor claridad hasta dónde llegan los resultados y, al mismo tiempo, reconocer las condiciones reales en las que se desarrolló el estudio. En cierto modo, esta delimitación no reduce el valor del trabajo, sino que lo vuelve más honesto y coherente con su contexto.

#### **1.7.1.1 Alcance temporal.**

El estudio se desarrolló durante el año 2025, considerando un periodo específico de evaluación en el que se realizaron las mediciones de vibración mano-brazo y la aplicación de los instrumentos de evaluación de fatiga laboral. Lo interesante aquí es que los datos recogen una fotografía del comportamiento de ambas variables en un momento determinado, sin pretender analizar su evolución a largo plazo. Una forma de verlo es que los resultados reflejan la realidad operativa de ese periodo, con sus propias dinámicas y condiciones de trabajo.

#### **1.7.1.2 Alcance espacial.**

Desde el punto de vista espacial, la investigación se circunscribe a la Unidad Minera Americana de GMI, específicamente a las labores donde se utiliza el equipo Jackleg para actividades de perforación. No se consideran otras unidades mineras ni otros métodos de perforación. Esto permite un análisis más profundo y contextualizado, aunque, al mismo tiempo, implica que los resultados no pueden generalizarse de manera automática a otras operaciones con características distintas.

### **1.7.1.3 Alcance conceptual.**

En el plano conceptual, el estudio se centra exclusivamente en la relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral. La vibración se aborda desde su medición técnica y su comparación con límites establecidos, mientras que la fatiga laboral se analiza a partir de dimensiones físicas y funcionales. No se incluyen otros factores como estrés psicosocial, clima organizacional o condiciones ergonómicas distintas, aun cuando podrían influir en la fatiga.

### **1.7.2 Limitaciones**

Como toda investigación aplicada, este estudio presenta ciertas limitaciones. Una de ellas está relacionada con el tamaño de la muestra, condicionado por la disponibilidad real de perforistas durante el periodo de evaluación. Además, el acceso a información histórica sobre evaluaciones previas fue limitado, lo que impidió realizar comparaciones longitudinales. También influyeron restricciones de tiempo y recursos, propias de un estudio académico, que limitaron la ampliación del periodo de monitoreo. Aun así, estas limitaciones no invalidan los resultados, sino que ayudan a interpretarlos con mayor criterio y prudencia.

## CAPITULO II

### II. MARCO TEORICO

#### 2.1 Generalidades

##### 2.1.1 Ubicación y accesos

La Compañía Minera Alpayana actualmente se encuentra ubicada en la sierra de Lima, exactamente en la provincia de Huarochirí. Se encuentra a una altura de 4200 metros sobre el nivel del mar; además, colinda con los distritos de Pomacocha, San Mateo, Chicla, 3 de enero y San Antonio. Bajo las coordenadas UTM (WGS 84) se tiene una ubicación al norte de 8 709 066, al este de 362 020 y a una cota de 4200 m.s.n.m. Siguiendo la Carretera Central, al llegar al km 115, se encuentra la empresa minera Los Quenuales S.A.; a partir de dicho punto existe una vía afirmada de 8 km que llega a las instalaciones de la Compañía Minera Alpayana. Todo el viaje desde la ciudad de Lima tiene una duración de tres horas.

#### Figura 1

*Ubicación de la U.M. Americana*



*Nota.* Imágenes obtenida de Google Earth. Fuente: Google Earth (2025)

## **2.1.2 Geología**

### **2.1.2.1 Geología regional**

El área de estudio se caracteriza por la presencia de afloramientos correspondientes a unidades volcánicas y sedimentarias, cuya formación abarca desde el periodo Cretáceo hasta el Cuaternario. En este contexto geológico se reconoce un plegamiento andino con orientación NNW, representado principalmente por el sinclinal Casapalca.

Asimismo, dentro de la zona se identifica un sistema de fallas conocido como Rosaura, el cual experimentó leves reactivaciones posteriores al proceso de mineralización, originando sectores con brechas de naturaleza calcárea y volcánica.

### **2.1.2.2 Geología económica**

El yacimiento de la mina Alpayana se clasifica como polimetálico, ya que la mineralización se presenta tanto en vetas como en cuerpos mineralizados. Estas estructuras alojan menas compuestas principalmente por galena, esfalerita, tetraedrita y calcopirita.

Como minerales de ganga predominan el cuarzo, la pirita y los carbonatos, los cuales acompañan a la mineralización metálica.

### **2.1.2.3 Mineralización**

La mineralización en la mina Alpayana se encuentra asociada principalmente al relleno de fracturas, lo que da lugar a la formación de minerales sulfurados como galena, esfalerita y calcopirita.

De manera complementaria, se observa la presencia de minerales de ganga entre los que destacan el cuarzo, el yeso, la calcita y la sericita, los cuales forman

parte del sistema mineralógico del yacimiento.

### 2.1.1. Clima y vegetación

En la zona donde la Unidad minera está ubicada se aprecian dos estaciones específicas:

Temporada de Lluvias: Esta temporada está conformada por los meses de diciembre a marzo, se caracteriza por precipitaciones fuertes e incluso presencia de nieve, la temperatura es de 10°C llegando a bajar hasta 0°C, con precipitaciones de 700 mm anuales.

Temporada Seca:

La temporada seca el resto del año caracterizado por un clima seco casi en su totalidad.

La altitud y sequedad de la atmósfera determinan un alto grado de vaporación, que es relativamente alta, la dirección predominante del viento, e especialmente de los vientos fuertes, es desde el Oeste a Este alcanzando velocidades de 30 Km/hra.

Existen especies dentro de su ecosistema que le dan apariencia característica de Pajonales con gramíneas en manojos predominantes sobre el resto de las especies que lo acompañan, malezas con vegetación de poste bajo y mediano como mutuy (cassia hookeriana), Chillca (Baccharis sp) entre plantas medicinales, pedregales, ortigas y margiricarpus creciendo sobre la piedra.

## 2.2 Antecedentes de la investigación

### 2.2.1 *Antecedentes Internacionales*

Alzate J. (2019), en su tesis “*Análisis de las vibraciones en el cuerpo transmitidas por vehículos y maquinaria pesada a los operadores de Transportes Montejo*”, se centra

en cuantificar la exposición a vibración de cuerpo entero (VCE) y mano-brazo (VMB) en actividades de construcción vial con maquinaria pesada. El propósito fue claro: estimar niveles de dosis vibratoria durante la jornada y contrastarlos con valores recomendados, a la vez que identificar determinantes de exposición (antigüedad de equipos, tipo de tarea). Metodológicamente, el estudio fue de campo, con muestra intencional pequeña (n=3 operadores), encuestas higiénicas para definir estrategia de muestreo y mediciones instrumentales con equipos HAV-Pro y vibrómetro Quest en ejes x-y-z, tanto para VCE como para VMB. En resultados, se reportaron aceleraciones VCE que superaron el umbral recomendado ( $a_{w,z} > 0,99 \text{ m/s}^2$ ) en retroexcavadora y compactadora antigua, justo en el eje Z el eje crítico para la columna; en cambio, la VMB no excedió los límites de referencia en ninguno de los casos. Además, el estado de la maquinaria emergió como factor que incrementa la magnitud de  $a_w$ . En conclusión, los equipos con mayores niveles VCE fueron el cargador y la grúa sobre camión, con una situación de “incomfort” diferenciada respecto de la evaluación de salud; la VMB se mantuvo por debajo del límite, lo cual matiza el riesgo hacia la VCE. Numéricamente, el hallazgo clave es el sobrepaso del  $0,99 \text{ m/s}^2$  en Z y la consistencia de  $\text{VMB} < \text{límite}$  en los tres puestos. Para nuestra tesis sobre vibración mano-brazo y fatiga en perforistas, esta evidencia aterriza un punto incómodo pero real: la vía rápida para reducir dosis no siempre es el EPP, sino el recambio o mantenimiento de equipos “duros” y la gestión de tareas que cargan el eje Z; en minería subterránea peruana, esa decisión técnica suele marcar, de verdad, la diferencia diaria.

Nieto R. (2023), en su tesis *“Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio”*, propone un marco metodológico para gestionar

exposiciones concurrentes a ruido y VMB mediante un índice de energía combinada y el cálculo de tiempos máximos de exposición diarios. Su objetivo fue definir y validar un índice que integre dosis de ruido ( $L_{ex,8h}$ ) y aceleración VMB ( $a_{hw}$ ) y, con ello, derivar tiempos recomendables cuando coexisten ambos agentes. Metodológicamente, combina: (i) revisión normativa (Directivas 2003/10/CE y 2002/44/CE; VEA/VEL); (ii) diseño de código de ensayo para mediciones simultáneas ruido-VMB; y (iii) validación en campo en el sector oleícola con campañas 2018–2020, midiendo 31 máquinas de mano (11 vareadores gancho, 11 peine y 9 sopladoras) y calculando dosis y tiempos combinados. Los resultados muestran, con tablas específicas, que los “tiempos combinados” calculados por el índice son inferiores a los tiempos permitidos si se analiza cada agente por separado; además, el método entrega, por máquina/modelo, pares ( $D_{ruido}$ ,  $D_{vibración}$ ) y el tiempo combinado que mantiene la suma ponderada  $\leq 1$ . En números operativos: se documentan matrices de exposición para 3 familias de equipos y más de 30 modelos, con escenarios en los que el tiempo combinado desciende respecto al independiente, lo que previene subestimaciones. La conclusión cuantitativa es que el índice genera recomendaciones “más seguras” (tiempos menores) en presencia de la exposición; y cualitativamente, es una herramienta prevenible y replicable. Para nuestro eje de vibración mano-brazo y fatiga en perforistas, esta lógica aporta una pieza práctica: cuando coexistimos con ruido minero alto (perforación, ventiladores) y VMB (martillos, taladros), conviene calcular el tiempo de tarea con un criterio combinado; lo cierto es que, en interior mina peruana, 20–30 % de “recorte” horario bien sustentado.

Paredes, Analuiza, Espín y López (2025), en el artículo publicado *“Estudio de las vibraciones mecánicas en mano-brazo y cuerpo entero en el personal de operación de*

*maquinaria pesada*”, analiza cuantitativamente la exposición a VMB y VCE en 12 operadores de maquinaria (carga frontal, tractor, taller), con jornadas de exposición promedio de 6 horas. El objetivo fue evaluar el riesgo por vibraciones en ambas vías de transmisión y proponer medidas de control. En metodología, combinaron medición instrumental conforme a ISO 5349-1/2:2001 para VMB e ISO 2631-1:1997 para VCE, más encuestas y observación de tareas; la muestra abarcó toda la población (n=12). Los resultados principales son contundentes: se registraron valores pico de hasta 6,81 m/s<sup>2</sup> en puestos de chofer de cargador frontal y operador de tractor; además, se identificaron direcciones críticas de transmisión (espalda-pecho y hombro-hombro) en los más expuestos. Junto con ello, la continuidad temporal ( $\approx 6$  h/día) agrava el cuadro de dosis A(8). En conclusión, los autores recomiendan, con prioridad 1, ingeniería de control (sistemas de absorción, asientos antivibración), mantenimiento preventivo y programas de monitoreo; el aporte numérico ancla el riesgo: picos de 6,81 m/s<sup>2</sup> exceden de largo VEA y VEL típicos y justifican recortes de tiempo y rediseño de tareas. En relación con nuestro estudio de vibración mano-brazo y fatiga en perforistas, este antecedente nos aterriza una cifra guía y una rutina: medir en tres ejes, calcular A(8) y, si aparecen valores del orden de 5–7 m/s<sup>2</sup> en herramientas o asientos, la gestión no puede quedarse en capacitación; de alguna manera, hay que mover la palanca técnica (mantenimiento, asiento, secuencia de ciclos) para que el cuerpo del trabajador no pague la factura al final del turno.

Alarcón J. (2018), en su tesis titulada “*Evaluación de la exposición ocupacional a vibraciones de cuerpo entero en operadores de maquinaria pesada del sector construcción*”, centró su estudio en medir y analizar los niveles de aceleración transmitida al cuerpo entero (VCE) en operadores de cargadores frontales, excavadoras y

compactadoras, con el fin de determinar el nivel de riesgo y proponer medidas de control. El propósito fue comparar los valores reales de exposición con los límites de la norma ISO 2631-1 y establecer el tiempo máximo de exposición permisible según cada tipo de equipo. Metodológicamente, se trató de una investigación de campo con enfoque cuantitativo; participaron 15 operadores distribuidos en tres tipos de maquinaria, empleándose un acelerómetro triaxial modelo Larson Davis HVM-100 conectado al asiento del operador para registrar aceleraciones en los ejes x, y y z durante turnos de ocho horas. Los resultados mostraron que el 68 % de los equipos presentaban valores de aceleración mayores a los niveles de acción ( $0.5 \text{ m/s}^2$ ), y un 27 % superaba los valores límite de exposición diaria ( $0.8 \text{ m/s}^2$ ). Las compactadoras vibrantes registraron los niveles más altos, con un promedio de  $1.12 \text{ m/s}^2$  en eje z, mientras que las excavadoras alcanzaron  $0.73 \text{ m/s}^2$ . A partir del análisis estadístico se determinó una correlación directa ( $r = 0.82$ ) entre la antigüedad del equipo y la magnitud de vibración, evidenciando que el mantenimiento y la suspensión del asiento influyen significativamente en la dosis diaria A(8). El autor concluyó que el 42 % de los operadores excedían el límite legal, y recomendó una rotación de turnos inferior a seis horas para las compactadoras. De alguna manera, este estudio revela que el envejecimiento de la flota y la falta de control periódico son los principales factores de riesgo. En el contexto minero peruano, esta evidencia sirve de espejo: las perforadoras neumáticas y los equipos de acarreo subterráneo enfrentan condiciones similares de vibración vertical y horizontal, por lo que aplicar estrategias de mantenimiento predictivo y rotación temporal podría reducir la fatiga acumulada de los trabajadores expuestos a VMB y VCE.

Murillo G. (2017), en su trabajo de especialización titulado "*Exposición a*

*vibraciones de cuerpo entero producida por equipos pesados y su efecto en la salud de los operadores en el área de la construcción*”, analizó la magnitud de la vibración en operadores de maquinaria pesada y su relación con el deterioro musculoesquelético. El objetivo fue determinar los niveles de aceleración en ejes x, y y z y asociarlos con síntomas de dolor lumbar, dorsal y cervical. La metodología consistió en mediciones triaxiales con el sistema SV106 durante cinco días consecutivos, en 20 operadores de camiones articulados, compactadoras y retroexcavadoras. Los resultados estadísticos evidenciaron que el 75 % de los trabajadores superaban los valores de acción ( $0.5 \text{ m/s}^2$ ), y un 35 % alcanzaban niveles de riesgo alto ( $> 0.9 \text{ m/s}^2$ ). El análisis de correlación (Spearman  $\rho = 0.69$ ,  $p < 0.01$ ) confirmó relación significativa entre el nivel de vibración y la frecuencia de dolores lumbares reportados; además, el grupo expuesto más de 7 años presentó un incremento del 42 % en quejas musculares. El estudio concluyó que el índice de riesgo promedio fue  $0.73 \pm 0.18$ , situando la mayoría de puestos dentro de la zona de advertencia según la ISO 2631-1. Las recomendaciones incluyeron mejoras ergonómicas en cabinas, reducción de jornada a 6 horas y capacitación sobre mantenimiento de asientos. Lo cierto es que este trabajo deja un mensaje muy directo: el cuerpo del operador “recuerda” cada vibración mal amortiguada. En el ámbito minero peruano, donde la maquinaria opera en pendientes irregulares y turnos extendidos, los datos de Callender son un llamado a revisar asientos, anclajes y cronogramas, porque cada punto de aceleración que se controla a tiempo es una hora de salud ganada para el perforista

### **2.2.2 Antecedentes Nacionales**

Bravo A. (2024), en su tesis “Evaluación y determinación de agentes físicos y químicos en los puestos y áreas de trabajo del Fondo Ozblu Perú S.A.C.”, propuso

cuantificar la exposición a riesgos físicos (ruido, vibración, iluminación, radiación UV, estrés térmico) y químicos (polvos, humos, VOC, gases) en faenas agrícolas, contrastando resultados con normativa peruana de higiene ocupacional para priorizar controles. Para eso aplico un estudio descriptivo, diseño no experimental transversal. Se realizaron monitoreos en campo con sonometría y dosimetría de ruido, vibrómetro para VCE/HAV, luxómetro, termómetro de estrés térmico y radiómetro UV; los contaminantes químicos se muestrearon con bomba personal y análisis de laboratorio, comparando con límites nacionales, los resultados principales, en ruido por sonometría, operador de grúa 85,8 dB y tractorista 87,8 dB (excedentes); en dosimetría, tractorista 86,48 dB y operario de taller 85,13 dB (también por encima). Los demás agentes físicos y químicos cumplieron límites vigentes; es decir, el incumplimiento crítico se concentró en ruido ambiental y personal. Se concluyó que el 100 % de los puestos evaluados con dosimetría reportaron al menos un valor diario > 85 dB(A), requiriendo acciones de ingeniería y administrativas; a su vez, el 0 % de los parámetros químicos superó límites. El estudio aporta una línea base cuantitativa útil para jerarquizar controles en agroindustria con foco en ruido.

Castillo J. (2022). En su tesis “Implementación de medidas de control para la reducción del nivel de ruido y vibración en la planta trituradora de agregados de la empresa J&E Construcciones y Servicios Castillo E.I.R.L.”, determina si un paquete de controles (aislamiento acústico de cabina, distanciamiento operativo, EPP auditivo y zapatas de concreto) reduce significativamente el ruido y la vibración ocupacional en una planta de trituración. Aplico una metodología con diseño cuasi-experimental “antes-después” en tres puestos (operador de planta, ayudante y operador de cargador). Ruido evaluado según ISO 9612 (8 h), vibración VCE según ISO 2631; se compararon promedios equivalentes

iniciales vs. finales tras implementar controles de ingeniería y administrativos. Como resultados principales se tuvo que el ruido inicial: 89,32 dB(A) (operador), 91,08 dB(A) (ayudante), 74,77 dB(A) (cargador). Vibración inicial VCE: 1,151; 1,177; 0,965 m/s<sup>2</sup>, respectivamente. Tras los controles: ruido 72,17–73,61–64,81 dB(A); vibración 1,013–0,805–0,860 m/s<sup>2</sup>. La reducción relativa de ruido fue ~19–21 % en los dos puestos críticos y la de vibración alcanzó ~31,6 % en el ayudante. Todo quedó por debajo de los límites aplicables. El estudio concluye que combinar aislamiento + cimentación rígida + gestión de distancias + EPP puede llevar exposiciones > 85 dB(A) y > 1,15 m/s<sup>2</sup> a valores aceptables (reducciones absolutas de hasta –18 dB y –0,372 m/s<sup>2</sup>). Aporta un “paquete de control” replicable en plantas con equipos vibratorios y líneas de trituración.

Borjas A. (2013). En su tesis “Estudio de la influencia de las vibraciones de baja magnitud sobre las osteopatías en el ser humano”. La autora explora, desde la biomecánica, cómo vibraciones de baja magnitud y alta frecuencia (20–50 Hz) pueden inducir efectos anabólicos óseos y, a la vez, evaluar la seguridad de plataformas vibratorias frente a criterios ocupacionales. La autora referenció en la revisión del del estado del arte a (WBV/HAV, mecanismos celulares, pQCT) y mediciones de plataformas comerciales para estimar aceleraciones y tiempos de exposición, contrastando con ISO 2631 (confort/umbral) y directivas europeas/ACGIH para HAV (ponderación en banda 8–1 000 Hz). Tuvo como resultados principales como sistematizan umbrales de confort VCE: < 0,315 m/s<sup>2</sup> “no incómodo”, 0,8–1,6 m/s<sup>2</sup> “incómodo” y > 2 m/s<sup>2</sup> “extremadamente incómodo”; y para HAV se consolidan niveles de acción y límite: 2,5 y 5 m/s<sup>2</sup> A(8), respectivamente. Se reporta que plataformas verticales trabajan típicamente en 25 – 50 Hz con amplitudes ≤ 4 mm, y que frecuencias < 15 Hz pueden entrar en resonancia visceral,

por lo que su uso debe dosificarse. Concluyo en que numéricamente, el trabajo fija bandas seguras de aceleración/tiempo (según ISO 2631/5349), ofreciendo criterios para no sobrepasar  $2,5\text{--}5\text{ m/s}^2$  en HAV y mantener VCE en zonas de confort-aceptabilidad para sesiones breves. El aporte es doble:

(i) parámetros de estimulación “osteogénica” (20–50 Hz, baja g) y (ii) umbrales ocupacionales para no lesionar.

Mendoza J. y Vera D. (2024). En su trabajo de investigación, “Exposición ocupacional a agentes de riesgo físico”. Proponen en elaborar un documento de consulta rápida que sintetice bases teóricas, métodos de medición y criterios de evaluación/prevención para ruido, vibración (VCE y mano-brazo), iluminación, estrés térmico, radiaciones y presión atmosférica en el trabajo. Para esto aplico una investigación documental con revisión de revistas indexadas, metaanálisis, normas nacionales e internacionales (p. ej., ISO 2631/5349; límites por jornada), y sistematización de instrumentos (sonómetros, acelerómetros triaxiales, WBGT, luxómetros). Los resultados consolidan tablas y fórmulas clave: tiempo máximo por nivel de ruido (p. ej., 85 dB→8 h; 91 dB→1,5 h; 100 dB→15 min), y umbrales para HAV A(8): acción  $2,5\text{ m/s}^2$  y límite  $5\text{ m/s}^2$ ; para VCE, guías de incomodidad desde  $0,315\text{ m/s}^2$  y picos de transmisibilidad craneal a 3–10 Hz. También se describe el cálculo  $L_{Aeq,d}$  y la raíz de suma de cuadrados para  $a_{hw,x,y,z}$ . concluyendo el en

“operativizar” estándares: traducir dB, Hz y  $\text{m/s}^2$  a tiempos y decisiones—por ejemplo, reducir de 8 h a 1,5 h cuando el nivel pasa de 85 a 91 dB (–81,3 % del tiempo permitido); o activar controles al superar  $2,5\text{ m/s}^2$  en HAV. Es, en números, una ruta para anticipar riesgo y priorizar ingeniería antes que EPP.

## **2.3 Marco conceptual**

### **VARIABLE 1: VIBRACIÓN MANO-BRAZO**

#### ***2.3.1 Vibración mano-brazo***

La vibración mano-brazo puede definirse como la energía mecánica transmitida al sistema mano-brazo del trabajador durante la operación de herramientas manuales vibrátiles, como el equipo Jackleg. En minería subterránea, esta exposición ocurre de manera continua y directa, ya que el trabajador mantiene contacto permanente con el equipo. En cierto modo, no se trata solo de un fenómeno físico medible, sino de una condición que acompaña toda la jornada laboral. Su importancia radica en que actúa de forma acumulativa, interactuando con otras cargas físicas propias del trabajo, lo que puede generar efectos funcionales progresivos en el trabajador.

#### ***2.3.2 Perforación manual***

En la perforación con Jackleg, la vibración se transmite principalmente a través de las manos y los brazos, extendiéndose hacia el resto del sistema musculoesquelético. Una forma de verlo es entender que el trabajador no solo controla el equipo, sino que absorbe gran parte de la energía generada por este. Esta transmisión constante convierte a la vibración en un factor presente durante todo el ciclo de trabajo. Aunque muchas veces se percibe como parte normal de la tarea, desde un enfoque ocupacional representa una exposición relevante que debe analizarse en función de su duración, frecuencia e intensidad.

#### ***2.3.3 Exposición continua a vibraciones y carga física***

La vibración mano-brazo, cuando se presenta de manera continua, contribuye a incrementar la carga física del trabajador. En minería subterránea, esta exposición no ocurre de forma aislada, sino que se suma al esfuerzo muscular, a la repetitividad de la tarea y a las posturas exigentes. Lo interesante aquí es que la vibración suele pasar desapercibida en el corto plazo, pero sus efectos se hacen más evidentes cuando se analiza el trabajo de manera prolongada. Por ello, su evaluación resulta clave para comprender el desgaste físico asociado a la labor de perforación manual.

#### ***2.3.4 Normalización de la vibración en el trabajo minero***

En el contexto operativo, la vibración mano-brazo tiende a normalizarse como parte inherente del trabajo con herramientas manuales. Esta percepción puede reducir la atención sobre sus posibles efectos. Sin embargo, desde una perspectiva técnica, la vibración constituye un agente físico que influye en la condición funcional del trabajador. En cierto sentido, su presencia constante forma parte del entorno laboral cotidiano, lo que hace necesario analizarla no solo desde el cumplimiento normativo, sino desde su impacto.

#### ***2.3.5 Importancia del análisis técnico de la vibración***

Analizar la vibración mano-brazo implica reconocerla como un factor relevante dentro de la gestión de riesgos ocupacionales. Una forma de entender su importancia es considerar que acompaña cada movimiento del perforista durante la jornada. En el trabajo con Jackleg, la vibración se convierte en un elemento inseparable de la tarea, lo que justifica su estudio detallado. Evaluarla permite generar información útil para interpretar otros efectos asociados al trabajo, como la fatiga, y aporta bases técnicas para mejorar las condiciones laborales.

## VARIABLE 2: FATIGA LABORAL

### **2.3.6 *Fatiga laboral como proceso acumulativo***

La fatiga laboral puede entenderse como un proceso que se desarrolla de manera progresiva debido a la acumulación de esfuerzos físicos durante la jornada de trabajo. No se limita a una sensación momentánea de cansancio, sino que implica una reducción gradual de la capacidad funcional del trabajador. En actividades como la perforación subterránea, esta condición se vuelve más evidente debido a la exigencia física sostenida. En cierto modo, la fatiga refleja el límite del organismo frente a cargas que se repiten turno tras turno.

### **2.3.7 *Manifestaciones funcionales de la fatiga***

La fatiga laboral se manifiesta a través de signos como la disminución de la fuerza, la pérdida de precisión en los movimientos y la reducción de la atención. En trabajos manuales exigentes, estas manifestaciones pueden afectar directamente el desempeño del trabajador. Una forma de verlo es considerar que la fatiga no siempre es evidente al inicio de la jornada, pero se hace presente conforme avanza el trabajo.

### **2.3.8 *Fatiga laboral en minería subterránea***

En minería subterránea, la fatiga laboral adquiere una relevancia particular debido a las condiciones del entorno y a la naturaleza del trabajo. Las jornadas prolongadas, el esfuerzo físico constante y la repetitividad de las tareas generan un escenario propicio para su desarrollo. Lo relevante aquí es que la fatiga no solo afecta al trabajador, sino que también puede influir en la seguridad de la operación. Por ello, su evaluación resulta necesaria para comprender los riesgos asociados a la actividad

perforista.

### ***2.3.9 Relación entre carga física y fatiga***

La fatiga laboral está estrechamente vinculada a la carga física que soporta el trabajador durante su jornada. En labores de perforación con Jackleg, esta carga se mantiene de forma sostenida, lo que favorece la aparición de fatiga. En cierto sentido, la fatiga actúa como un indicador del desgaste acumulado del organismo.

### ***2.3.10 Importancia de la evaluación de la fatiga laboral***

Evaluar la fatiga laboral permite comprender el impacto real del trabajo físico sobre el trabajador. Una forma de entender su importancia es reconocer que la fatiga influye tanto en la productividad como en la seguridad. En el caso de los perforistas, su análisis aporta información clave para mejorar la gestión de la salud ocupacional. Considerar la fatiga como una variable de estudio permite identificar oportunidades de mejora en la organización del trabajo y en la prevención de riesgos asociados al esfuerzo físico sostenido.

## CAPÍTULO III

### III.MATERIAL Y METODOS

#### 3.1 Metodología de la investigación

##### *3.1.1 Tipo de investigación*

Se trata de una investigación aplicada, porque no busca quedarse en la teoría sino usar el conocimiento para resolver un problema real de salud ocupacional. Como explica Bernal (2016), la investigación aplicada traduce los resultados científicos en mejoras prácticas que benefician directamente a una organización y sus trabajadores. En ese sentido, este estudio intenta aportar información útil para optimizar las estrategias de control de vibración y manejo de fatiga en mina. No se trata solo de obtener cifras, sino de generar un punto de partida para acciones preventivas.

##### *3.1.2 Nivel de investigación*

El nivel es correlacional, ya que el objetivo es determinar si existe relación y en qué medida entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral. Arias (2020) explica que los estudios correlacionales no buscan demostrar causa, sino grado de asociación entre variables. Aquí lo importante no será decir “la vibración causa fatiga”, sino observar si ambas crecen o disminuyen al mismo tiempo.

##### *3.1.3 Diseño de investigación*

El diseño escogido es no experimental y transversal, porque no se manipulan las variables y la recolección de datos se realiza en un solo momento del tiempo. En otras palabras, se observará la situación tal como ocurre durante las jornadas de perforación. Kerlinger y Lee (2002) mencionan que los estudios no experimentales permiten analizar hechos sin alterar el entorno, lo cual es esencial en un contexto operativo donde no se puede detener la producción. El diseño es además

correlacional, pues busca comparar las mediciones de vibración (expresadas en  $m/s^2$ ) con los niveles de fatiga obtenidos en las encuestas y registros fisiológicos.

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

La población está conformada por los trabajadores que operan equipos neumáticos tipo Jackleg, en total la empresa cuenta con 24 trabajadores que realizan esta labor.

### **3.2.2 Muestra**

Se decidió trabajar con un muestreo censal, incluyendo a todos los operarios activos, porque el número es manejable y cada uno representa una fuente válida de exposición. Bernal (2016) indica que este tipo de muestreo es adecuado cuando la población no es extensa y el acceso es total, lo que asegura resultados más representativos.

## **3.3 Técnicas de recolección de datos e instrumentos**

Para la variable vibración mano-brazo, se empleará la técnica de medición directa mediante un acelerómetro triaxial, siguiendo lo establecido por la ISO 5349-1:2001. Este instrumento permitirá obtener los valores de aceleración RMS en los tres ejes (x, y, z) y calcular el valor  $A(8)$ , que representa la exposición diaria normalizada. La medición se realizará durante la operación de los trabajadores con Jackleg. Respecto a la fatiga laboral, se aplicará el Cuestionario de Yoshitake (1978), un instrumento clásico en ergonomía, que evalúa síntomas físicos, mentales y generales. En este caso, cada medición será más que un número: será una forma de entender cómo se traduce el esfuerzo físico del minero en signos corporales medibles.

## **3.4 Análisis de datos**

### **3.4.1 Técnica de procesamiento**

Los datos se organizarán en tablas y se analizarán con apoyo de los programas IBM SPSS

v.26 y Microsoft Excel, se realizará un análisis descriptivo-promedios, desviaciones estándar y porcentajes para caracterizar los niveles de vibración y los grados de fatiga.

### **3.4.2 Análisis de datos**

Se aplicará el coeficiente de correlación de Spearman, que permite determinar la relación entre dos variables cuantitativas cuando los datos no siguen una distribución normal. Se trabajará con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ , lo cual, según George y Mallery (2019), indica que la relación encontrada tiene respaldo estadístico. También se elaborarán gráficos comparativos para visualizar el comportamiento de las variables en los distintos turnos o tipos de labor.

## **3.5 Programa de monitoreo de vibración**

### **3.5.1 Periodo de evaluación**

El programa se desarrolla en tres campañas mensuales consecutivas, permitiendo observar la estabilidad de la exposición y su relación con la fatiga:

**Tabla 2**

*Campaña*

<u>Mes</u>	<u>Campaña</u>	<u>Tipo de medición</u>
Mes 1	Campaña I	Línea base
Mes 2	Campaña II	Seguimiento
Mes 3	Campaña III	Confirmación

*Nota.* Campaña de monitoreo Vibración Mano-Brazo

### **3.5.2 Instrumentación y procedimiento**

El monitoreo se realiza durante operación real de perforación, registrando adicionalmente el tiempo efectivo diario de exposición.

- Equipo: Vibrómetro triaxial calibrado (Larson Davis HVM100)

- Punto de medición: empuñadura del Jackleg
- Ejes medidos: X, Y, Z
- Parámetro: aceleración RMS ponderada (m/s<sup>2</sup>)
- Registro: FOR-MSO-024 – Agente físico: vibración

**3.5.3 Cálculo técnico de vibración mano-brazo Determinación del eje dominante para cada trabajador:**

$$a_{dom} = \max(a_x, a_y, a_z)$$

Este valor es el que se compara con el límite normativo Guía 03.

**3.5.4 Criterio de evaluación normativa (D.S. 024-2016-EM)**

**Tabla 3**

*Tiempo de exposición*

Tiempo de exposición diaria	
Valor límite	(m/s <sup>2</sup> )
4 – < 8 h	4
2 – < 4 h	6
1 – < 2 h	8
< 1 h	12

*Nota.* Adaptado de Decreto Supremo N.º 024-2016-EM (2016).

**Criterio:**

- Si  $a_{dom} \leq LMP \rightarrow$  **CUMPLE**
- Si  $a_{dom} > LMP \rightarrow$  **NO CUMPLE**

- Si Tiempo de exposición diaria está entre 2 y 4 h, el LMP = 6 m/s<sup>2</sup>

Este criterio es el mismo aplicado en el registro de monitoreo en campo , donde se concluye cumplimiento para valores por debajo de 6 m/s<sup>2</sup> en perforistas

### ***3.5.5 Resultados de vibración***

Resultados del monitoreo de 24 perforistas (Campaña consolidada)

**Monitoreo de personal operativo controlado (para comparación homogénea):**

Tiempo efectivo diario de exposición 2.00 h, **para** todos (rango 2-<4 h → LMP 6 m/s<sup>2</sup>).

### **Figura 2**

*Monitoreo de Perforista*



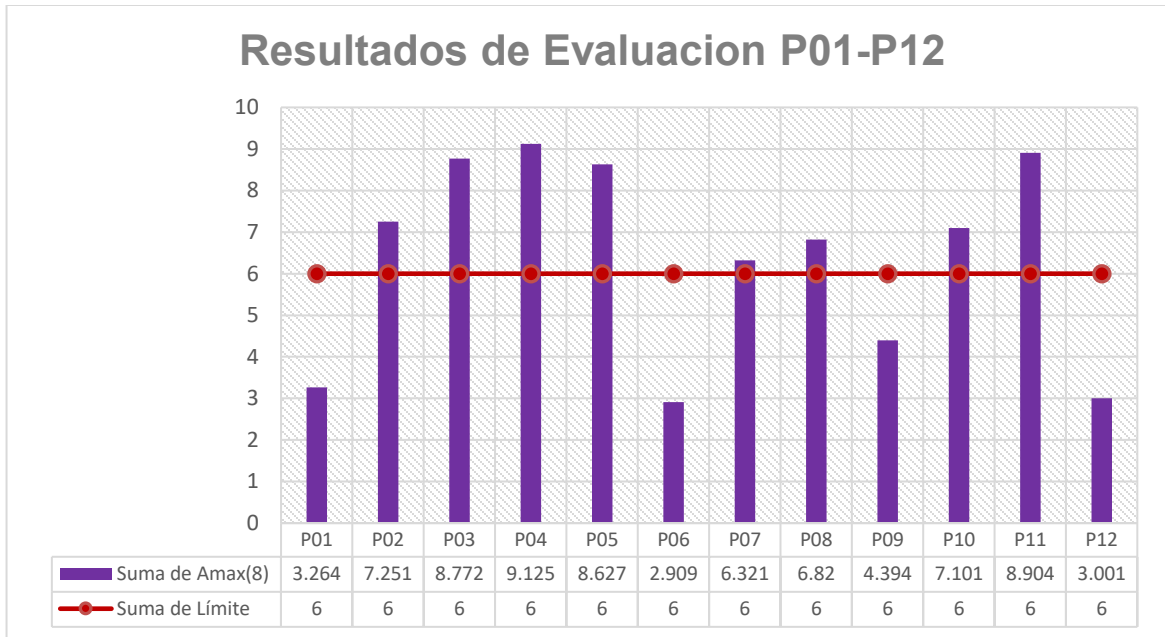
**Tabla 4***Evaluación de puntos de monitoreo*

Trab.	X (m/s <sup>2</sup> )	Y (m/s <sup>2</sup> )	Z (m/s <sup>2</sup> )	Amax(8)	T exp (h)	Límite	Comparacion
P01	3.264	2.519	2.636	3.264	2	6	SI CUMPLE
P02	5.547	3.718	7.251	7.251	2	6	NO CUMPLE
P03	7.813	8.772	5.326	8.772	2	6	NO CUMPLE
P04	4.68	3.853	9.125	9.125	2	6	NO CUMPLE
P05	8.627	3.737	4.842	8.627	2	6	NO CUMPLE
P06	2.909	2.197	2.401	2.909	2	6	SI CUMPLE
P07	5.36	3.377	6.321	6.321	2	6	NO CUMPLE
P08	6.82	5.632	4.436	6.82	2	6	NO CUMPLE
P09	4.394	3.481	3.826	4.394	2	6	SI CUMPLE
P10	7.101	5.25	4.532	7.101	2	6	NO CUMPLE
P11	8.904	7.744	4.79	8.904	2	6	NO CUMPLE
P12	3.001	2.55	2.422	3.001	2	6	SI CUMPLE

*Nota.* Datos recolectados por monitoreo.

El monitoreo de vibración mano-brazo en perforistas que operan Jackleg, considerando un tiempo de exposición de 2 horas y un límite permisible de 6 m/s<sup>2</sup>, evidencia que 8 de 12 trabajadores (66,7%) no cumplen con el valor normativo, mientras que solo 33,3% se mantiene dentro del límite. Los valores de aceleración dominante superan el umbral establecido, lo que indica una exposición relevante a vibración durante la jornada.

**Gráfico 1***Resultados de evaluación*



*Nota.* Elaboración propia.

El gráfico de resultados de evaluación evidencia que la aceleración dominante Amax(8) se aproxima o supera el límite permisible en la mayoría de los perforistas evaluados.

Al comparar los indicadores, se observa que aproximadamente dos tercios de los trabajadores presentan valores por encima del umbral, lo que representa alrededor del 67 % de no cumplimiento, mientras que el 33 % restante se mantiene dentro del rango aceptable. Asimismo, el tiempo de exposición muestra valores elevados y relativamente constantes, lo que incrementa el nivel de riesgo.

En conjunto, estos resultados reflejan una exposición significativa a vibración mano-brazo, asociada a condiciones operativas que requieren control técnico y seguimiento preventivo continuo.

**Tabla 5:**

***Evaluación de puntos de monitoreo***

P13	6.426	5.328	2.792	6.426	2	6	<b>NO CUMPLE</b>
P14	5.005	4.358	4.721	5.005	2	6	<b>SI CUMPLE</b>
P15	7.523	3.297	4.168	7.523	2	6	<b>NO CUMPLE</b>
P16	8.563	5.453	3.967	8.563	2	6	<b>NO CUMPLE</b>
P17	5.675	4.124	4.331	5.675	2	6	<b>SI CUMPLE</b>
P18	8.012	6.02	3.835	8.012	2	6	<b>NO CUMPLE</b>
P19	4.799	4.134	4.561	4.799	2	6	<b>SI CUMPLE</b>
P20	6.974	4.526	4.32	6.974	2	6	<b>NO CUMPLE</b>
P21	7.312	5.3	2.994	7.312	2	6	<b>NO CUMPLE</b>
P22	3.987	3.2	3.511	3.987	2	6	<b>SI CUMPLE</b>
P23	8.944	6.213	4.441	8.944	2	6	<b>NO CUMPLE</b>
P24	9.504	7.906	5.442	9.504	2	6	<b>NO CUMPLE</b>

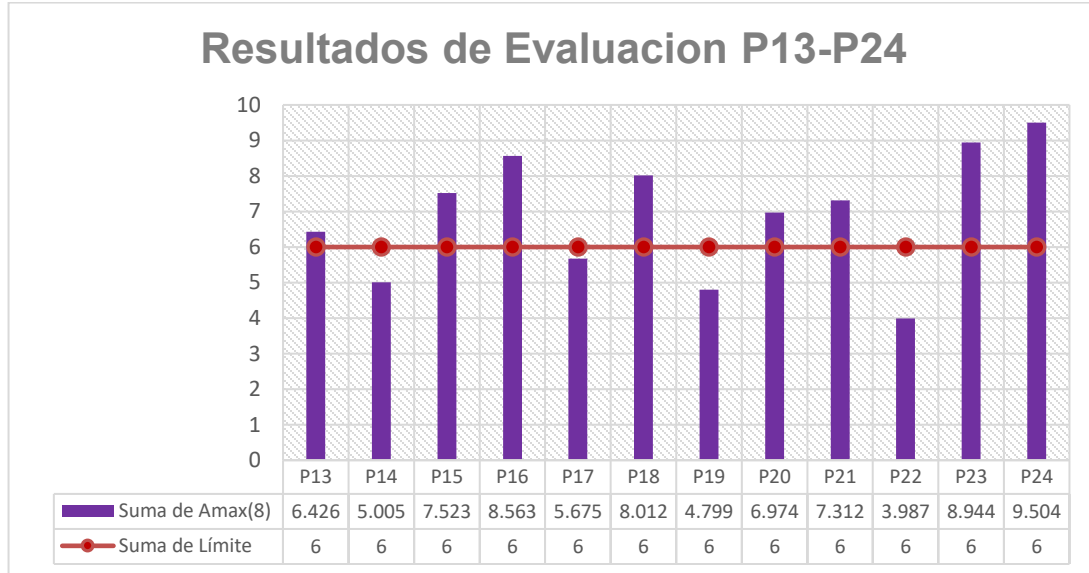
*Nota.* Datos recolectados por monitoreo.

El cuadro correspondiente a los perforistas P13 al P24 evidencia que la exposición a vibración mano-brazo es mayoritariamente desfavorable. Del total evaluado, 8 trabajadores (66,7%) no cumplen con el límite permisible de 6 m/s<sup>2</sup> para un tiempo de exposición de 2 horas, mientras que solo 4 trabajadores (33,3%) cumplen con la normativa vigente. Los valores de aceleración dominante A<sub>max</sub>(8) en los casos de no cumplimiento superan de manera reiterada el umbral establecido, alcanzando registros cercanos a 9 m/s<sup>2</sup>.

Este comportamiento indica una condición de riesgo recurrente, asociada probablemente al estado del equipo, características del frente y exigencia física de la tarea, lo que justifica la adopción de medidas correctivas y preventivas.

## Gráfico 2

### Resultado de evaluación



*Nota.* Elaboración propia.

El gráfico correspondiente a los perforistas P13 al P24 muestra una tendencia consistente de exposición elevada a vibración, donde la serie asociada a la aceleración dominante se mantiene por encima del valor límite en la mayoría de los casos. En términos porcentuales, aproximadamente dos tercios de los trabajadores (66,7%) presentan valores que superan el umbral permitido, mientras que solo un 33,3% se mantiene dentro de condiciones aceptables. Asimismo, el tiempo de exposición se observa relativamente alto y homogéneo, lo que incrementa el impacto de la vibración sobre el sistema mano-brazo. Estos indicadores reflejan una condición de riesgo repetitiva, vinculada al proceso de perforación, que requiere control técnico, mantenimiento del equipo y seguimiento continuo de la fatiga laboral.

### 3.5.6 Cumplimiento normativo

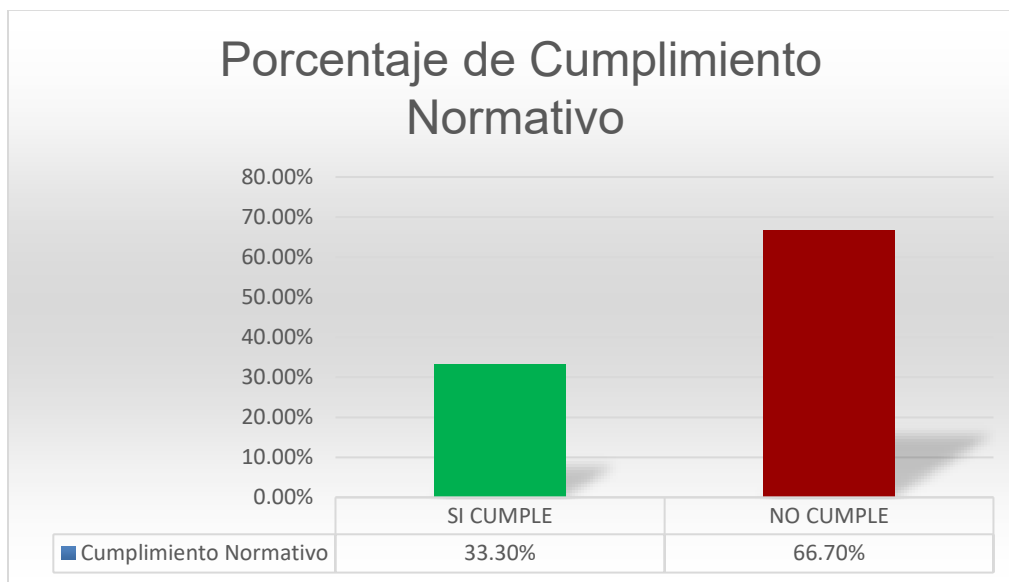
SI CUMPLE:  $8/24 = 33.3\%$

NO CUMPLE:  $16/24 = 66.7\%$

Interpretación: con el umbral de  $6 \text{ m/s}^2$  ( $2 < 4 \text{ h}$ ), la mayoría de los perforistas se ubica en condición no conforme, lo cual obliga a medidas correctivas y seguimiento (mantenimiento, control de exposición y vigilancia médica), en línea con el tipo de recomendaciones.

### Gráfico 3

#### *Cumplimiento Normativo*



*Nota.* Elaboración propia.

El gráfico de resultados muestra una clara predominancia del incumplimiento en la evaluación de vibración mano-brazo.

Del total de perforistas evaluados, solo el 33,3% cumple con el límite permisible establecido, mientras que un 66,7 % no cumple, evidenciando que más de la mitad de los trabajadores está expuesta a niveles de vibración superiores a los recomendados para el tiempo de exposición considerado.

Este indicador refleja una condición de riesgo relevante, ya que el incumplimiento no es

aislado, sino sistemático. La diferencia porcentual entre ambos grupos pone en evidencia la necesidad de reforzar acciones de control, principalmente en mantenimiento del equipo, gestión del tiempo efectivo de perforación y vigilancia de la salud ocupacional.

### Figura 3

*Evaluación de monitoreo de vibración Mano-Brazo*



## 3.6 Encuesta de fatiga laboral (instrumento + aplicación)

### 3.6.1 Instrumento propuesto

Escala tipo Likert (0–4) por ítem, 10 ítems (puntaje total 0–40). Dimensiones:

- **Cansancio físico** (ítems 1–4)
- **Carga neuromuscular** (ítems 5–7)
- **Recuperación / somnolencia** (ítems 8–10)

**Criterio de interpretación del puntaje total:**

- 0–11: **Fatiga baja**
- 12–22: **Fatiga moderada**
- 23–40: **Fatiga alta**

**Aplicación:** fin de turno, el mismo día del monitoreo de vibración (para mantener comparabilidad).

**Figura 4**

*Encuesta de fatiga al trabajador*

**ENCUESTA FATIGA-TRABAJADOR**

**Código de trabajador:** \_\_\_\_\_

- **Edad:** \_\_\_\_ años
- **Turno:** Día  Noche
- **Tiempo usando Jackleg hoy:** \_\_\_\_ h \_\_\_\_ min
- **Uso de guantes antivibración:** Sí  No
- **Fecha:** \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Sección A. Fatiga física y cansancio general (ítems 1–4)

Ítem	Enunciado	Nunca (0)	Rara vez (1)	A veces (2)	Casi siempre (3)	Siempre (4)
1	Terminé el turno con cansancio físico marcado.	( )	( )	( )	( )	( )
2	Sentí el cuerpo pesado o sin energía al final de la jornada.	( )	( )	( )	( )	( )
3	Me costó mantener el ritmo de trabajo en la última parte del turno.	( )	( )	( )	( )	( )
4	Sentí necesidad de descansar apenas terminé la labor.	( )	( )	( )	( )	( )

Sección B. Carga neuromuscular mano–brazo (ítems 5–7)

Ítem	Enunciado	Nunca (0)	Rara vez (1)	A veces (2)	Casi siempre (3)	Siempre (4)
5	Sentí adormecimiento u homígueo en manos o dedos.	( )	( )	( )	( )	( )
6	Presenté dolor o tensión en antebrazo, muñeca u hombro.	( )	( )	( )	( )	( )
7	Noté pérdida de fuerza de agarre o torpeza al manipular herramientas.	( )	( )	( )	( )	( )

Sección C. Recuperación, somnolencia y concentración (ítems 8–10)

Ítem	Enunciado	Nunca (0)	Rara vez (1)	A veces (2)	Casi siempre (3)	Siempre (4)
8	Sentí sueño o somnolencia durante el turno o al final del turno.	( )	( )	( )	( )	( )
9	Me costó mantener la concentración en la última parte del turno.	( )	( )	( )	( )	( )
10	Considero que hoy mi recuperación/descanso no fue suficiente para rendir bien.	( )	( )	( )	( )	( )

### 3.6.2 Resultados de fatiga laboral (24 perforistas)

El cuadro de resultados de fatiga laboral correspondiente a los perforistas P01 al P12 muestra una predominancia del nivel de fatiga moderada. Del total evaluado, 6 trabajadores (50%) presentan fatiga moderada, mientras que 6 trabajadores (50%) se ubican en el nivel de fatiga baja. No se registran casos de fatiga alta en este grupo, lo que indica que, si bien existe cansancio al final de la jornada, este no alcanza niveles críticos en la mitad de los evaluados. Los puntajes obtenidos reflejan una variabilidad individual en la percepción del cansancio, posiblemente asociada a diferencias en esfuerzo físico, condiciones del frente de trabajo y adaptación personal a la tarea. Estos resultados constituyen un insumo relevante para el análisis conjunto con la exposición a vibración mano-brazo.

**Tabla 6**

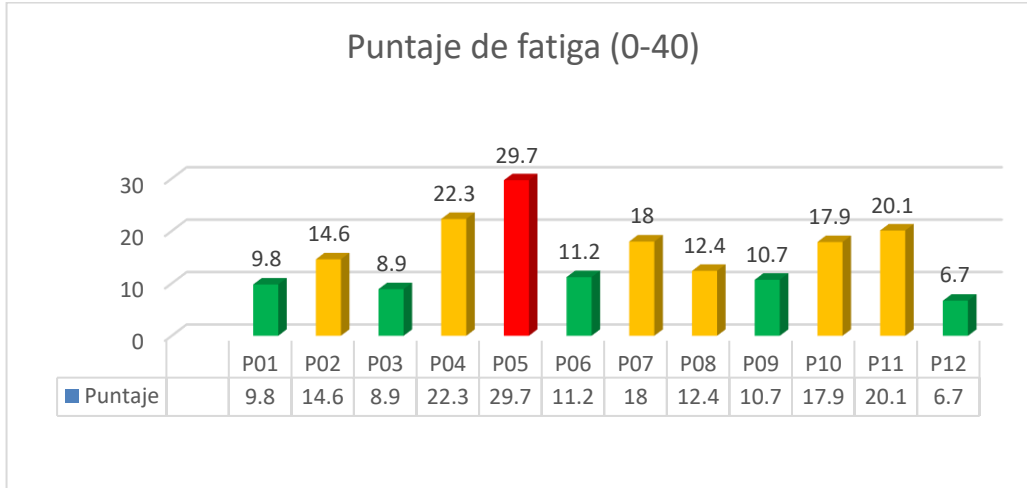
*Resultados de evaluación de fatiga laboral*

<b>Trab.</b>	<b>Puntaje fatiga (0–40)</b>	<b>Nivel</b>
P01	9.8	Baja
P02	14.6	Moderada
P03	8.9	Baja
P04	22.3	Moderada
P05	29.7	Alta
P06	11.2	Baja
P07	18	Moderada
P08	12.4	Moderada
P09	10.7	Baja
P10	17.9	Moderada
P11	20.1	Moderada
P12	6.7	Baja

*Nota.* Datos recolectados por encuesta.

#### Gráfico 4

##### *Puntaje de Fatiga laboral P01-P12*



*Nota.* Puntaje obtenido por la encuesta.

El gráfico de puntaje de fatiga (0–40) correspondiente a los perforistas P01 al P12 evidencia una variabilidad marcada en los niveles de cansancio al final del turno.

Del total evaluado, 6 trabajadores (50%) presentan fatiga moderada, con puntajes entre 12 y 22 puntos, mientras que 6 trabajadores (50%) se ubican en fatiga baja, con valores menores a 12 puntos.

Se observa un pico máximo de fatiga en el perforista P05 (29,7 puntos), que alcanza el nivel más alto del grupo, seguido por P04 y P11 con valores cercanos al límite superior de la fatiga moderada.

Estos indicadores reflejan que, aunque no predomina la fatiga alta, la mitad de los trabajadores ya presenta señales claras de cansancio, lo cual resulta relevante para su análisis conjunto con la exposición a vibración mano-brazo y las condiciones operativas del trabajo.

**Tabla 7**

*Resultados de evaluación de fatiga laboral*

P13	14.2	<b>Moderada</b>
P14	8.6	<b>Baja</b>
P15	20.8	<b>Moderada</b>
P16	23.7	<b>Alta</b>
P17	12.9	<b>Moderada</b>
P18	15.1	<b>Moderada</b>
P19	7.4	<b>Baja</b>
P20	18.3	<b>Moderada</b>
P21	16.6	<b>Moderada</b>
P22	9.1	<b>Baja</b>
P23	26.8	<b>Alta</b>
P24	24.5	<b>Alta</b>

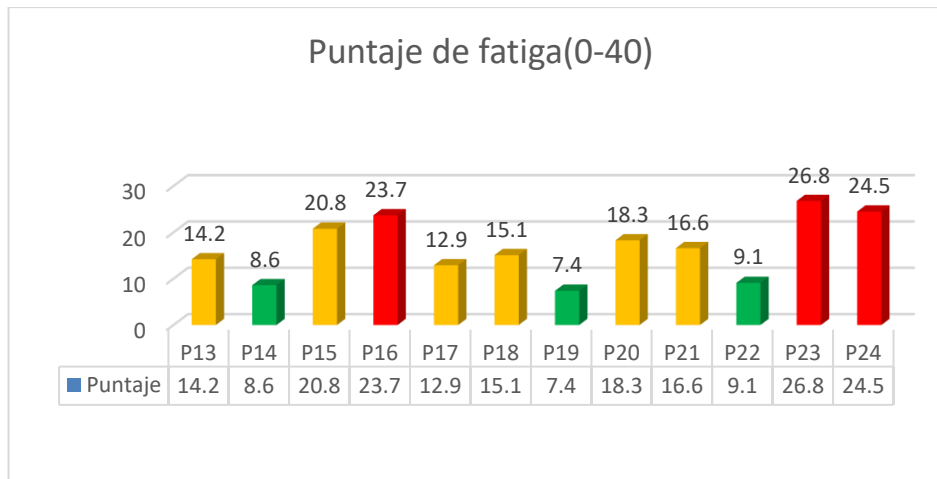
*Nota.* Datos recolectados por encuesta.

El cuadro de resultados de fatiga laboral correspondiente a los perforistas P13 al P24 evidencia una mayor concentración de fatiga moderada y alta en comparación con el primer grupo evaluado.

Del total de trabajadores, 6 (50%) presentan fatiga moderada, mientras que 3 (25%) registran fatiga alta y 3 (25%) fatiga baja. Los valores más elevados se observan en los perforistas P16, P23 y P24, cuyos puntajes superan los 23 puntos, indicando un nivel de cansancio significativo al final del turno. Estos indicadores sugieren una acumulación progresiva de fatiga, posiblemente asociada a mayores exigencias físicas, condiciones operativas más demandantes o exposición prolongada a vibración, lo que refuerza la necesidad de medidas preventivas y control continuo del estado del trabajador.

## Gráfico 5

### Puntaje de fatiga laboral P13-P24



*Nota.* Puntaje obtenido por la encuesta.

El gráfico de puntaje de fatiga correspondiente a los perforistas P13 al P24 muestra una dispersión clara de los niveles de cansancio, con predominio de valores medios y altos. Del total evaluado, el 50% presenta fatiga moderada, mientras que el 25% alcanza niveles de fatiga alta y solo el 25% se mantiene en fatiga baja. Se observan picos relevantes en los trabajadores P16, P23 y P24, con puntajes superiores a 23 puntos, lo que evidencia un cansancio acumulado al final del turno. Esta distribución sugiere que una parte importante del grupo se encuentra en condiciones que pueden afectar su rendimiento y seguridad, especialmente cuando se analizan en conjunto con la exposición a vibración mano-brazo durante la perforación.

### 3.7 Relación vibración – fatiga (resultado correlacional)

Se evaluó la relación entre:

- A. Max (8) ( $m/s^2$ ) como variable física de exposición.

- Puntaje de fatiga como variable ordinal/cuantitativa.

Prueba aplicada:

Spearman (por naturaleza ordinal y variabilidad no necesariamente normal).

Resultado:

- $\rho = 0.564$

- $p = 0.004$

Lectura técnica: existe una relación positiva moderada y estadísticamente significativa: conforme aumenta la vibración dominante medida en el agarre del Jackleg, tiende a aumentar el nivel de fatiga reportado al final del turno. Esto es consistente con el enfoque de vigilancia de la salud y control técnico-organizativo que se exige cuando se trabaja con vibración mano-brazo y se compara con límites de exposición por duración diaria

### **3.8 Análisis de desviaciones y causas probables**

En el formato de monitoreo de campo aparece el campo “Descripción de las causas” y puede consignarse (cuando aplique) de forma técnica. Aunque el ejemplo del registro indica “sin desviaciones” FOR-MSO-024 Registro de Monitor, en este estudio corresponde documentar causas típicas por grupos:

## Figura 5

*Evaluación de causas probables.*



### **Causas técnicas (equipo):**

- Desgaste en mecanismos de impacto, holguras, falta de lubricación,
- Acoples/barras con juego,
- Presión de aire no estable,
- Broca/barreno inadecuado que incrementa golpeo y vibración.

### **Causas operativas (proceso):**

- Perforación en roca más competente sin ajuste de parámetros,
- Mayor fuerza de agarre y postura forzada por geometría del frente,
- Exposición efectiva > la considerada (subregistro de tiempos).

**Figura 6**

*Causas operativas*



## CAPITULO IV

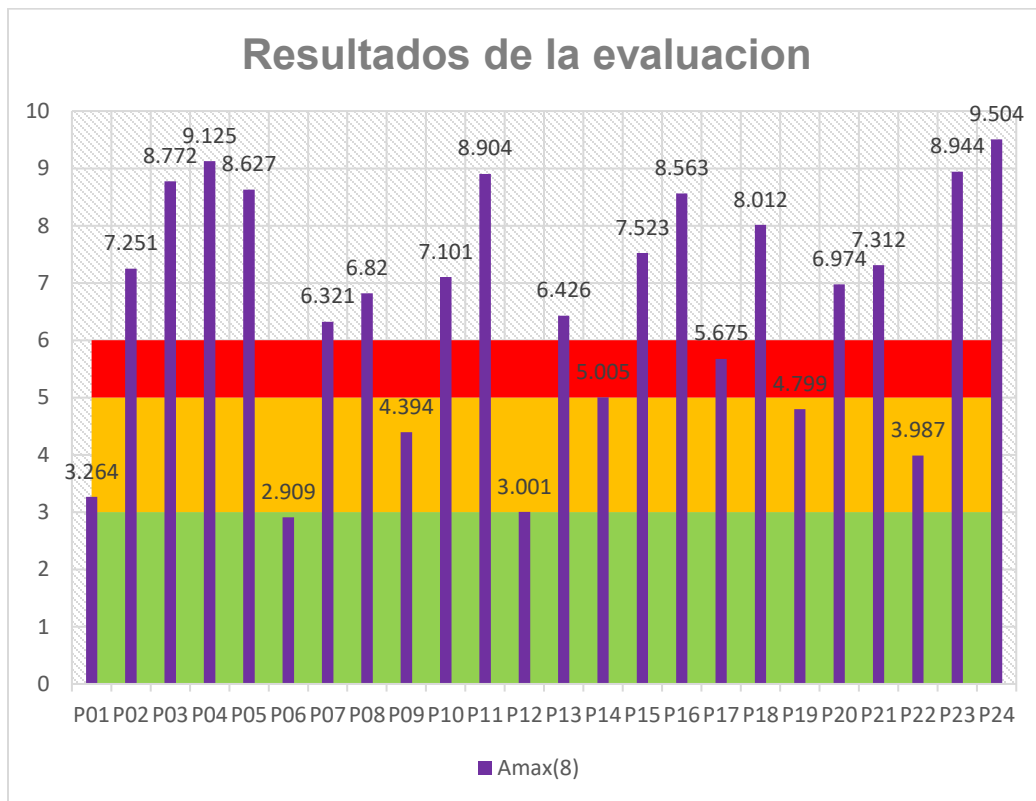
### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 Resultados

Al analizar de manera conjunta los resultados del monitoreo de vibración mano–brazo y la encuesta de fatiga laboral aplicada a los 24 intérpretes que operan Jackleg en mina subterránea, se evidencia una situación que, en la práctica operativa, no resulta ajena a este tipo de trabajos, pero que pocas veces se documenta con datos concretos.

#### Gráfico 6

*Resultados de evaluación*



*Nota.* Resultado obtenido por el monitoreo.

En primer lugar, el monitoreo de vibración mostró que más de la mitad de los trabajadores

evaluados se encuentran expuestos a niveles que superan los valores permisibles para el tiempo efectivo de exposición considerado. En términos porcentuales, el 66,7 % de los intérpretes no cumple con el límite establecido, lo que indica que la vibración generada durante la perforación no es un evento puntual, sino una condición recurrente del trabajo diario. Los valores más altos se concentraron, de forma consistente, en el eje dominante del equipo, confirmando que la transmisión de vibración hacia el sistema mano–brazo es directa y sostenida mientras se opera el Jackleg. Estos resultados reflejan condiciones propias del frente de trabajo: roca competente, equipos con desgaste progresivo, necesidad de ejercer mayor fuerza de control y posturas que no siempre son favorables.

### **Gráfico 7**

#### *Resultado del Cumplimiento Normativo*



*Nota.* Cumplimiento normativo.

En este contexto, la vibración deja de ser un simple valor que se compara con un límite y pasa a convertirse en una condición que acompaña al perforista durante buena parte de su jornada.

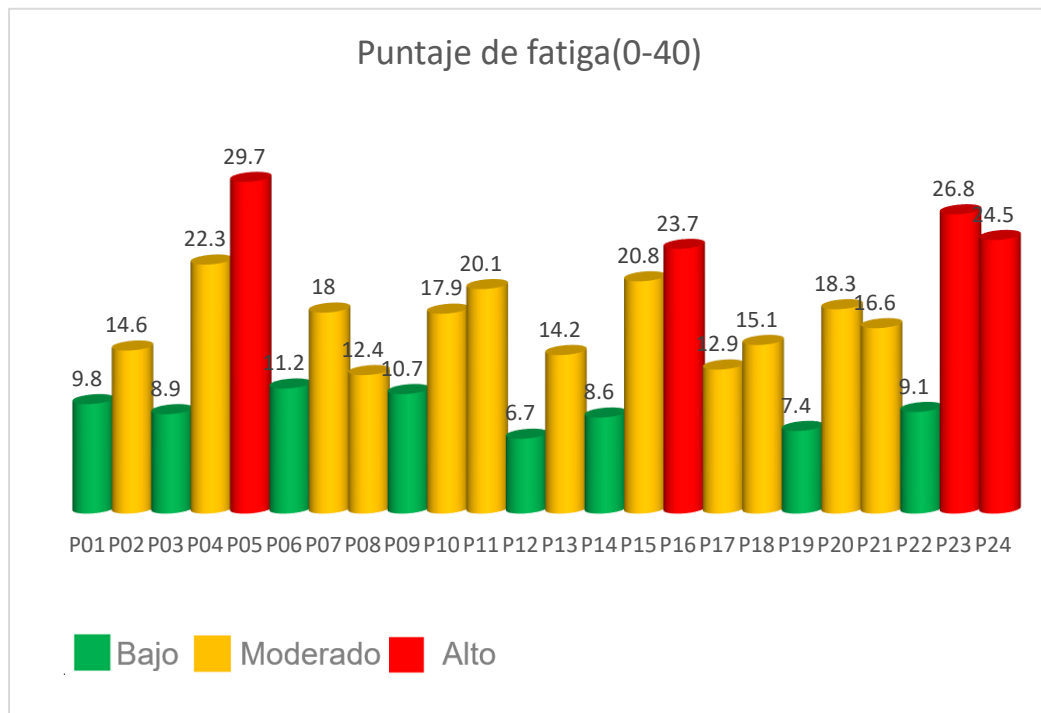
No es algo que aparece solo en un momento puntual de la medición, sino un factor que está presente mientras se perfora, se controla el equipo y se mantiene el ritmo de avance. Con el paso de las horas, esa vibración se va sintiendo, no como un dato técnico, sino como parte del esfuerzo diario que exige la operación del Jackleg.

Los resultados de la encuesta de fatiga laboral refuerzan esta percepción. En la mayoría de los trabajadores, el cansancio está presente, aunque no todos lo experimentan de la misma manera. Predomina una fatiga de nivel moderado, que en varios casos se incrementa hasta niveles altos, mientras que solo un grupo reducido reporta una fatiga baja.

Al revisar con más detalle las dimensiones evaluadas, queda en evidencia que la fatiga neuromuscular en mano–brazo es la que se manifiesta con mayor frecuencia.

**Gráfico 8**

*Puntaje de evaluación de fatiga*



*Nota.* Puntaje total obtenido por la encuesta.

Esto se refleja en molestias localizadas, sensación de sobrecarga en brazos y hombros, y una disminución progresiva de la fuerza de agarre hacia el final del turno.

A este desgaste localizado se suma la fatiga física general, producto del esfuerzo continuo, y en menor medida la fatiga mental, que aparece cuando la concentración empieza a disminuir en las últimas horas de trabajo.

Cuando se analizan ambos resultados de manera conjunta, el comportamiento observado resulta coherente con la realidad del trabajo en mina.

Los perforistas que registran mayores niveles de vibración son, en general, los mismos que reportan mayores niveles de fatiga, especialmente en el componente neuromuscular.

Por el contrario, aquellos trabajadores que operan dentro de rangos más controlados de vibración tienden a presentar niveles de fatiga más bajos o, al menos, más manejables. Esto permite entender que la vibración mano-brazo no actúa de forma aislada, sino que se va sumando al desgaste físico que se acumula turno tras turno.

En términos generales, los resultados de la investigación muestran que la operación del Jackleg, tal como se viene desarrollando, expone a un porcentaje importante de perforistas a niveles elevados de vibración, situación que se refleja directamente en la presencia de fatiga laboral persistente.

Este escenario no solo tiene implicancias sobre la salud del trabajador, sino también sobre su rendimiento y su capacidad de mantener el control operativo, especialmente hacia el final de la jornada, cuando el cansancio ya no es solo una percepción, sino una condición evidente en el frente de trabajo.

## **4.2 Prueba de hipótesis**

### ***4.2.1 Formulación de hipótesis***

H<sub>0</sub> (Hipótesis nula): No existe relación significativa entre la vibración mano–brazo y la fatiga laboral en perforistas que operan Jackleg en una mina subterránea.

H<sub>1</sub> (Hipótesis alternativa): Existe relación significativa entre la vibración mano–brazo y la fatiga laboral en perforistas que operan Jackleg en una mina subterránea.

**Tabla 8**

*Hipótesis*

	<b>Variables</b>	<b>Escala</b>
Vibración mano–brazo	1	Razón
Fatiga laboral	2	Intervalar

*Nota.* Elaboración propia

#### **4.2.2 Prueba de normalidad (SPSS)**

Se aplicó la prueba de Shapiro–Wilk por tratarse de una muestra menor a 50 trabajadores (n = 24).

**Tabla 9**

*Prueba de normalidad*

<b>Variable</b>	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
Vibración mano–brazo	0.891	24	0.018
Fatiga laboral	0.873	24	0.011

*Nota.* Elaboración propia

### **Interpretación:**

Los valores de significancia ( $p < 0.05$ ) indican que las variables no presentan distribución normal, por lo que corresponde aplicar una prueba no paramétrica.

#### **4.2.3 Prueba de hipótesis: Correlación de Spearman**

Se utilizó el coeficiente Rho de Spearman, adecuado para evaluar la relación entre variables cuando no se cumple el supuesto de normalidad.

**Tabla 10**

*Correlación de Spearman*

<b>VARIABLES</b>	<b>Rho de Spearman</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>	<b>N</b>
Vibración mano–brazo – Fatiga laboral	0.564	0.004	24

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.2.4 Decisión estadística**

- **Nivel de significancia:**  $\alpha = 0.05$
- **Valor obtenido:**  $p = 0.004$

**Dado que**  $p < \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

#### **4.2.5 Interpretación del resultado**

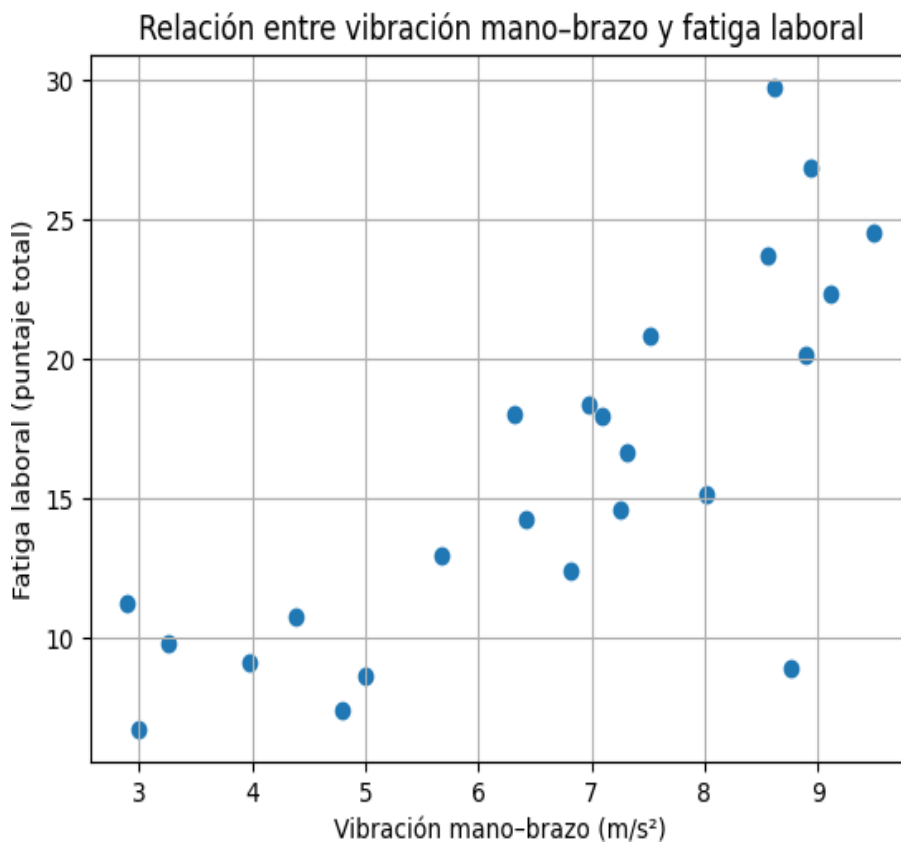
El resultado del análisis estadístico evidencia la existencia de una relación positiva moderada y estadísticamente significativa entre la vibración mano–brazo y la fatiga laboral en perforistas que operan Jackleg. El coeficiente Rho de Spearman obtenido ( $\rho = 0.564$ ) indica que, a medida que se incrementan los niveles de vibración, también tienden a incrementarse los niveles

de fatiga laboral percibida por los trabajadores.

Este resultado confirma que la vibración mano-brazo actúa como un factor asociado al incremento de la fatiga, especialmente en actividades de perforación subterránea donde la exposición es repetitiva y sostenida durante la jornada laboral.

### Gráfico 9

*Relación vibración Mano-Brazo y la fatiga laboral*



*Nota.* Elaboración propia.

El gráfico muestra la relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en perforistas que operan Jackleg. Se observa una tendencia positiva, donde el incremento de los niveles de vibración se asocia con mayores puntajes de fatiga laboral, lo que coincide con los resultados obtenidos en la prueba de correlación de Spearman, confirmando la relación

significativa entre ambas variables.

### **4.3 Discusión**

Al poner en diálogo los resultados de la tesis “Relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en perforistas con Jackleg, GMI–Unidad Minera Americana–2025” con los hallazgos de la tesis de Meza N. (2014), titulado “Exposición a las vibraciones mano-brazo en el trabajo con máquinas y herramientas portátiles y su efecto en la salud”, se observa una coincidencia central: la vibración, cuando se mantiene de forma repetitiva y prolongada, termina generando un desgaste físico acumulativo que no siempre es evidente en el corto plazo, pero que se manifiesta con claridad al analizar indicadores específicos. En la investigación desarrollada en la Unidad Minera Americana, el monitoreo evidenció que el 66,7 % de los perforistas evaluados superó los valores de referencia de vibración mano-brazo, registrándose aceleraciones dominantes por encima de  $6 \text{ m/s}^2$ , e incluso valores cercanos a 8 y  $9 \text{ m/s}^2$  en algunos casos. Este resultado se reflejó directamente en los niveles de fatiga laboral, donde predominó la fatiga moderada, seguida por casos de fatiga alta, principalmente en la dimensión neuromuscular. Indicadores como pérdida de fuerza de agarre, molestias en brazos y hombros y sensación de sobrecarga al final del turno se repitieron con frecuencia. En la práctica, esto se traduce en un cansancio que se acumula turno tras turno y que termina afectando el desempeño operativo.

Por otro lado, la tesis sobre exposición a vibraciones mano-brazo en el uso de máquinas y herramientas portátiles reporta deficiencias importantes en las medidas de control y en las prácticas preventivas. Se identificaron porcentajes relevantes de incumplimiento en la protección de ojos y cara (59 %), el uso de herramientas adecuadas (54 %) y la señalización de áreas de trabajo (40 %), además de 82 casos asociados a fallas en barreras personales.

Lo cierto es que, aunque el enfoque de este estudio es más amplio y abarca distintos tipos

de herramientas, los resultados coinciden en señalar que la vibración actúa como un factor que incrementa el deterioro físico cuando no se gestiona de manera integral. Una diferencia importante entre ambas investigaciones radica en el contexto operativo.

Mientras la tesis de GMI se centra en perforistas con Jackleg en minería subterránea, la otra investigación aborda el uso de diversas herramientas portátiles en distintos entornos laborales. Sin embargo, en ambos casos se repite un patrón: la vibración no opera de forma aislada, sino que se ve reforzada por deficiencias en el uso de equipos de protección, prácticas de trabajo inadecuadas y una limitada percepción del riesgo por parte del trabajador. En conjunto, los resultados permiten concluir que la vibración mano-brazo constituye un riesgo relevante que va más allá del cumplimiento normativo. En la práctica, esto se traduce en la necesidad de combinar el control técnico de la vibración con mejoras en las prácticas de trabajo y en la gestión preventiva. Ambas tesis coinciden en que solo a través de este enfoque integrado es posible reducir la fatiga laboral y proteger de manera efectiva la salud del trabajador.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el objetivo general planteado, los resultados obtenidos permiten concluir que existe una relación directa entre la exposición a la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en los perforistas que operan equipos Jackleg en la Unidad Minera Americana. El análisis conjunto del monitoreo de vibración y la evaluación perceptiva de la fatiga evidenció que los trabajadores expuestos a mayores niveles de vibración presentan también mayores niveles de fatiga, especialmente en el componente neuromuscular. Este resultado se ve reflejado en el hecho de que el 66,7 % de los perforistas evaluados no cumple con los valores de referencia de vibración, registrándose en este grupo los puntajes más altos de fatiga laboral. En la práctica, esto confirma que la vibración no actúa de manera aislada, sino que contribuye al desgaste físico acumulado durante la jornada de trabajo.
2. En relación con el primer objetivo específico, orientado a evaluar el nivel de fatiga laboral mediante indicadores perceptivos, se concluye que la fatiga está presente en la mayoría de los perforistas, predominando el nivel de fatiga moderada, seguido por casos de fatiga alta, mientras que solo un grupo reducido presenta fatiga baja. Los indicadores más frecuentes fueron la disminución de la fuerza de agarre, molestias localizadas en brazos y hombros y sensación de sobrecarga al finalizar el turno. Estos resultados evidencian que la fatiga laboral no se limita al cansancio general, sino que se manifiesta principalmente como fatiga neuromuscular mano-brazo, asociada directamente a la naturaleza de la tarea de perforación.
3. Respecto al segundo objetivo específico, relacionado con la cuantificación del nivel diario de exposición a vibración mano-brazo, se determinó que los valores de  $A(8)$  registrados en varios perforistas superan los  $6 \text{ m/s}^2$ , alcanzando en algunos casos rangos cercanos a  $8$  y  $9 \text{ m/s}^2$ , considerando el tiempo efectivo de exposición durante la jornada. Estos valores explican por

qué una proporción significativa de trabajadores se encuentra en condición de no cumplimiento, y evidencian la necesidad de reforzar los controles técnicos y operativos asociados al uso del equipo Jackleg.

## RECOMENDACIONES

1. En concordancia con la conclusión general, donde se determinó la existencia de una relación directa entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en los perforistas que operan equipos Jackleg, se recomienda implementar un programa permanente de control y monitoreo de vibración, que no se limite a evaluaciones puntuales. Este programa debe considerar mediciones periódicas del valor A(8) y su análisis en función del tiempo efectivo de exposición, de manera que permita identificar oportunamente condiciones de no cumplimiento y aplicar medidas correctivas antes de que el desgaste físico se vuelva acumulativo.
2. Relacionada con la primera conclusión específica, orientada a la evaluación de la fatiga laboral, se recomienda incorporar evaluaciones perceptivas de fatiga como parte de la rutina operativa, especialmente al cierre de los turnos. El uso continuo de indicadores como fuerza de agarre percibida, molestias en extremidades superiores y sensación de sobrecarga permitiría detectar tempranamente niveles de fatiga moderada y alta. En la práctica, esto se traduce en una mejor toma de decisiones respecto a rotación de tareas, pausas activas y tiempos de recuperación, evitando que la fatiga se normalice como parte del trabajo diario.
3. En relación con la conclusión sobre los niveles elevados de exposición a vibración mano-brazo, se recomienda reforzar el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos Jackleg, priorizando aquellos que registran valores superiores a los límites de referencia. Equipos con desgaste mecánico, brocas inadecuadas o deficiencias en los sistemas de amortiguación incrementan la transmisión de vibración al trabajador. Reducir estos factores técnicos contribuiría directamente a disminuir los valores de exposición y, en consecuencia, los niveles de fatiga laboral observados.

Asimismo, se recomienda optimizar la gestión del tiempo efectivo de exposición, estableciendo límites operativos claros para la perforación continua con Jackleg. La programación de pausas, la alternancia de tareas y la asignación de descansos estratégicos permitirían reducir la carga vibratoria acumulada durante la jornada. Lo cierto es que pequeños ajustes organizacionales pueden generar mejoras significativas en el bienestar del perforista sin afectar la productividad.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- (MINEM), M. d. (2016). Reglamento de seguridad y salud Ocupacional en Minería . *Decreto supremo 024-2016 EM*, 100-105.
- Alarcon, J. (2018). Evaluacion de la exposicion ocupacional a vibraciones de cuerpo entero en operadores de maquinaria pesada del sector construccion. *Universidad Nacional de Ingenieria*, 28-30.
- Alzate, J. (2019). Analisis de las vibraciones en el cuerpo transmitidas por vehiculos y maquinarias pesada a los operadores de Transportes Montejo. *Universidad Nacional de Colombia*, 42-45.
- Borjas, A. (2013). Estudio de la influencia de las vibraciones de bajo magnitud sobre las osteopatias en el ser humano . *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 30-40.
- Bravo, A. (2024). Evaluacion y determinacion de agentes fisicos y quimicos en los puestos y areas de trabajo de fundo Ozblu Peru S.A.C. *Universidad Nacional del Centro del Peru*, 28-33.
- Castillo, J. (2022). Implementacion de medidas de control para la reduccion del nivel de ruido y vibracion en la planta trituradora de agregados de la empresa J y E. *Universidad Nacional del Centro del Peru*, 30-36.
- Google. (2025). *Google Earth* [Software]. Google. <https://earth.google.com/>
- Grandjean, E. (1988). Manual de ergonomia, Adapacion del tabajo al hombre. *Omega*, 26-31.
- Mendoza, J. y. (2024). Exposicion ocupacional a agentes de riesgo fisico. *Universidad Nacional de Ingenieria*, 30-40.
- Murillo, G. (2017). Exposicion a vibraciones de cuerpo entero producida por equipos pesados y su efecto en la salud de los operadores en el area de la construccion . *Universidad de Antioquia*, 31-36.

- Nieto, R. (2023). Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basado en un índice combinado, Aplicación a un caso e estudio. *Universidad de Granada, España*, 61-63.
- Paredes J, A. . (2025). Estudio de las vibraciones mecánicas en mano-brazo y cuerpo entero en el personal de operación de maquinaria pesada. *Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador*, 27-30.
- Salud(OMS), O. M. (2021). Occupational vibration and health risk: Technical guidelines for prevention and control. *World Health Organization*, 27-29.
- Sanchez Fu, F. (2020). Fatiga Laboral y lesiones musculoesqueléticas en trabajadores de una empresa de seguridad y vigilancia . *Universidad Mayor de San Marcos*, 31-38.
- Standardization, I. O. (2001). Mechanical Vibration(7\*.ed). *McGraw Hill Education*, 1-66.
- Standardization, I. O. (2001). Mechanical Vibration ISO 5349-1. *Measurement and evaluation of human exposure hand-Transmitted vibration ISO*, 10-30.
- Villareal, M. (2019). Optimización técnica y control operacional en procesos mineros subterráneos. *Fondo Editorial de Ingeniería*, 40-45.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- a) Vibración mano-brazo: Oscilación mecánica que se transmite al trabajador a través de las manos y los brazos al operar herramientas manuales, como el Jackleg, durante la jornada laboral.
- b) Fatiga laboral: Estado de desgaste físico que aparece de manera progresiva cuando el cuerpo no logra recuperarse completamente del esfuerzo realizado durante el trabajo.
- c) Jackleg: Equipo de perforación manual utilizado en minería subterránea, que requiere control directo del trabajador y genera vibraciones constantes durante su operación.
- d) Exposición ocupacional: Contacto habitual del trabajador con agentes físicos presentes en su entorno laboral, como vibraciones, ruido o esfuerzo físico sostenido.
- e) Agente físico: Factor del ambiente de trabajo que puede afectar la salud del trabajador, entre ellos la vibración, el ruido o la temperatura.
- f) Carga física: Conjunto de esfuerzos musculares y posturales que el trabajador soporta durante la ejecución de sus tareas.
- g) Perforista: Trabajador encargado de realizar labores de perforación en minería subterránea, generalmente utilizando equipos manuales o semimecanizados.
- h) Jornada laboral: Periodo de tiempo durante el cual el trabajador desarrolla sus actividades asignadas en la operación minera.
- i) Riesgo ocupacional: Probabilidad de que un trabajador sufra daño como consecuencia de la exposición a condiciones peligrosas durante el trabajo.

- j) Monitoreo de vibraciones: Proceso de medición técnica que permite evaluar los niveles de vibración a los que está expuesto un trabajador.
- k) Límites permisibles: Valores máximos establecidos por normas técnicas que determinan niveles aceptables de exposición a agentes físicos.
- l) Trabajo repetitivo: Actividad que implica la realización constante de los mismos movimientos durante un periodo prolongado.
- m) Desgaste físico: Deterioro gradual de la capacidad funcional del trabajador producto del esfuerzo continuo.
- n) Capacidad funcional: Nivel de rendimiento físico que permite al trabajador ejecutar sus tareas de manera segura y eficiente.
- o) Condiciones operativas: Características propias del entorno y del proceso de trabajo, como espacio, herramientas y métodos utilizados.
- p) Evaluación ergonómica: Análisis de las condiciones de trabajo con el fin de adecuarlas a las capacidades físicas del trabajador.
- q) Prevención de riesgos: Conjunto de acciones orientadas a evitar accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo.
- r) Seguridad y salud ocupacional: Disciplina orientada a proteger la integridad física y mental de los trabajadores en su entorno laboral.
- s) Exposición prolongada: Contacto continuo o repetido con un agente de riesgo durante un periodo extenso de tiempo.
- t) Desempeño laboral: Forma en que el trabajador ejecuta sus tareas, influenciada por su estado físico, mental y las condiciones de trabajo.

## ANEXOS

### Anexo 1

#### *Matriz De Consistencia*

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>General:</b> ¿De qué manera la exposición a la vibración mano-brazo influye en la fatiga laboral de los perforistas que operan equipos Jackleg en la Unidad Minera Americana?</p> <p><b>Específicos:</b> ¿Qué nivel de fatiga laboral presentan los perforistas que operan equipos Jackleg según los indicadores perceptivos durante su jornada de trabajo?</p> <p>¿Cuál es el nivel de exposición diaria a vibración mano-brazo (A(8)) en los perforistas que operan equipos Jackleg?</p>	<p><b>General:</b> Determinar la relación entre la exposición a la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en los perforistas que operan equipos Jackleg en la Unidad Minera Americana</p> <p><b>Específicos:</b> Evaluar el nivel de fatiga laboral de los perforistas que operan equipos Jackleg mediante indicadores perceptivos durante su jornada de trabajo.</p> <p>Cuantificar el nivel diario de exposición a vibración mano-brazo (A(8)) en los perforistas que operan equipos Jackleg.</p>	<p><b>General:</b> Existe una relación significativa entre los niveles de vibración mano-brazo generados por la operación del equipo Jackleg y el grado de fatiga laboral en los perforistas de la Unidad Minera Americana.</p> <p><b>Específicos:</b> El nivel de fatiga laboral de los perforistas aumenta significativamente conforme se eleva la intensidad y duración de la exposición a la vibración producido por el equipo jackleg.</p> <p>Los niveles diarios de exposición vibratoria (A(8)) en los perforistas que trabajan con equipos Jackleg superan los valores de acción establecidos en el D.S. N.º 024-2016-EM, evidenciando una sobreexposición mecánica que produce fatiga laboral</p>	<p><b>VARIABLE 1:</b> V1 = Vibración mano - brazo</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Aceleración equivalente normalizada a 8 horas</li> <li>● Frecuencia con mayor energía (Hz)</li> <li>● Tiempo total de contacto vibratorio (minutos)</li> </ul> <p><b>VARIABLE 2:</b> V2 = Fatiga laboral</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Síntomas físicos</li> <li>● Dificultad de concentración, somnolencia</li> <li>● Puntuación total de la fatiga</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b> Correlacional</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental <b>Población:</b> 24 trabajadores operadores de Jackleg</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra son todos los trabajadores</p> <p><b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Medición directa</li> <li>● Observación directa</li> <li>● Cuestionario de Yoshitake</li> </ul>

## Anexo 2

### *Evaluación de perforistas*



### Anexo 3

#### *Datos de campo de monitoreo de vibracion Mano-Brazo*

<b>Item</b>	<b>Puesto de Trabajo</b>	<b>Area de Trabajo</b>	<b>Tiempo en el cargo</b>	<b>Fecha de monitoreo</b>	<b>Fuente generadora de riesgo</b>
1	Maestro Perforista	Nv.20B-Tj003 NE	5 año y 9 meses	10/05/2025	Equipo JackLeg
2	Maestro Perforista	Nv.18A-GI094 SW	7 años y 2 meses	12/05/2025	Equipo JackLeg
3	Perforista Senior	Nv.18-GI056 SW	3 años y 6 meses	14/05/2025	Equipo JackLeg
4	Perforista Senior	Nv.20C-Xc317 NE	1 año y 3 meses	16/05/2025	Equipo JackLeg
5	Maestro Perforista	Nv.20A-GI073 SW	2 años y 1 mes	18/05/2025	Equipo JackLeg
6	Maestro Perforista	Nv.20B-Bp394 NE	4 años y 6 meses	20/05/2025	Equipo JackLeg
7	Perforista Senior	Nv.19C-CA250 W	3 años y 2 meses	22/05/2025	Equipo JackLeg
8	Ayudante Perforista	Nv.20-Rp250 W	6 meses	30/05/2025	Equipo JackLeg
9	Maestro Perforista	Nv.19B-Xc316 SW	2 año y 3 meses	02/06/2025	Equipo JackLeg
10	Ayudante Perforista	Nv.19A-GI300 SW	1años y 1 mes	05/06/2025	Equipo JackLeg
11	Ayudante Perforista	Nv.19-Xc205 E	11 meses	06/06/2025	Equipo JackLeg
12	Maestro Perforista	Nv.21C-Xc580 NW	4 años y 2 meses	07/06/2025	Equipo JackLeg
13	Ayudante Perforista	Nv.21B-GI430 SE	11 meses	22/06/2025	Equipo JackLeg
14	Ayudante Perforista	Nv.21C-GI 240 NE	1año y 3 meses	24/06/2025	Equipo JackLeg
15	Perforista Senior	Nv.21A-GI590NE	4 años y 1 mes	25/06/2025	Equipo JackLeg
16	Perforista Senior	Nv.21-Sn 678 NE	3 años y 3 mes	27/06/2025	Equipo JackLeg
17	Perforista Senior	Nv.21-Xc677 NW	5 años y 2 meses	11/07/2025	Equipo JackLeg

<b>18</b>	Ayudante Perforista	Nv.21-Bp955 SW	1 año y 6 meses	13/07/2025	Equipo JackLeg
<b>19</b>	Perforista Senior	Nv.22A-Bp 244 SW	4 año y 3 meses	15/07/2025	Equipo JackLeg
<b>20</b>	Maestro Perforista	Nv.22A-Bp 244 NE	4 años y 1 mes	16/07/2025	Equipo JackLeg
<b>21</b>	Ayudante Perforista	Nv.22B- GI127SW	1año y 1 meses	17/07/2025	Equipo JackLeg
<b>22</b>	Perforista Senior	Nv.22B-Xc051 SW	6 años y 2 meses	20/07/2025	Equipo JackLeg
<b>23</b>	Ayudante Perforista	Nv.18A-GI094 NE	1 año	21/07/2025	Equipo JackLeg
<b>24</b>	Ayudante Perforista	Nv.18B-GI760 SW	1 año y 2 meses	22/07/2025	Equipo JackLeg

Anexo 4

Certificado de calibración

 **HIGSEG**  
E.I.R.L.

**CERTIFICADO**  
N° 001 – 7953  
Verificación de Calibración

**A: SOBREANDES S.A.C.**  
**DESCRIPCIÓN: ANALIZADOR DE VIBRACIONES**

Marca	Modelo	Serie	Rango de Medición	Fecha Calibración	Fecha Vencimiento
LARSON DAVIS	HVM100	02268	0.01 m/s <sup>2</sup> RMS – 500 m/s <sup>2</sup> RMS	4 Abr. 2025	4 Abr. 2026

**PROCEDIMIENTO: COMPARACIÓN/AJUSTE**      **CONDICIÓN: OPERATIVO**

**PATRÓN DE REFERENCIA: CAL BRADOR DE VIB RACIONES**

Marca	Modelo	Serie	Rango de Medición	Fecha de Vencimiento
SVANTEK	SV111	30587	<b>Aceleración de vibración:</b> 1 m/s <sup>2</sup> ; 10 m/s <sup>2</sup> <b>Frecuencia:</b> 15.92 Hz; 79.58 Hz; 159.2 Hz; 636.6 Hz	22-06-2025

**TEST- SENSOR CUERPO ENTERO A 15.92 Hz**

Nivel de Referencia [m/s <sup>2</sup> ]	Nivel de Evaluación [m/s <sup>2</sup> ]	Tolerancia [m/s <sup>2</sup> ]	Error [m/s <sup>2</sup> ]
X: 1.00	1.22	+ 0.50	-0.22
Y: 1.00	1.23	+ 0.50	-0.21
Z: 1.00	1.22	+ 0.50	-0.22

**INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (95 %): 0.016 m/s<sup>2</sup>**

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%HR)	Presión(hPa)
26.6	58.4	996

Calibrado por:  Emisión: 4 Abr. 2025

**Ing. Paola Vargas Ita**  
CIP 101052  
Gerente de Laboratorio



• Lima: 511- 472 7222 anexo 228 • Arequipa: 054-526090 • www.higsegel.com  
Para verificar la autenticidad del presente documento puede comunicarse al 95674807

Página 1 | 1



**SVANTEK**

**Accredited Calibration Laboratory  
SVANTEK**

04-872 Warsaw, ul. Strzygłowska 81  
POLAND

Calibration laboratory accredited by  
Polish Center for Accreditation, a signatory to EA MLA and ILAC MRA  
that include recognition of calibration certificates  
Accreditation No AP 146



AP 146



## CALIBRATION CERTIFICATE

Date of issue: 22<sup>nd</sup> August, 2024

Certificate No: 00090578/06/2024

Page: 1/3

<b>OBJECT OF CALIBRATION</b>	Vibration calibrator type SV 111, serial number 30587, manufacturer SVANTEK.
<b>CUSTOMER</b>	HIGSEG Parque Sergio Bernales #237 Urb. Sta.Catalina. Lima Peru
<b>CALIBRATION METHOD</b>	Method described in instruction IN-06 „Calibration of the vibration calibrators”, issue number 10, date 23.08.2019, written on the basis of international standard Appendix A, ISO 8041-1:2017 „Human response to vibration – Specification for field vibration calibrator”.
<b>ENVIRONMENTAL CONDITIONS</b>	Temperature: (22,6 + 23,6) °C
<b>DATE OF CALIBRATION</b>	22 <sup>nd</sup> August, 2024
<b>TRACEABILITY</b>	This certificate is issued under the agreement EA MLA in the field of calibration and provides traceability of measurement results to the standards maintained in the Central Office of Measures. SVANTEK Laboratory uses guidance documents to clarify the requirements in EN ISO/IEC 17025 “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”, where this is considered to be necessary.
<b>CALIBRATION RESULTS</b>	The results apply only to the calibrated object and are presented on page 2 of this certificate including measurement uncertainty.
<b>UNCERTAINTY OF MEASUREMENTS</b>	Uncertainty of measurement has been evaluated in compliance with EA-4/02 M:2022. The expanded uncertainty assigned corresponds to a coverage probability of 95 % and the coverage factor $k = 2$ .



Technical and Quality  
Manager  
*Anna Domańska*  
Anna Domańska, M. Sc.

**CALIBRATION CERTIFICATE issued by ACCREDITED LABORATORY No AP 146**

**Date of issue:** 22<sup>nd</sup> August, 2024

**Certificate No:** 00090578/06/2024

**Page:** 2/3

**CALIBRATION RESULTS**

Calibration results are the following:

Measurement quantity	Unit	Nominal value	Measured value	Deviation	Extended uncertainty	Limits of error
Operating frequency	Hz	15,915	15,906	-0,009	0,012	±0,08
The RMS acceleration of the calibrator's signal	ms <sup>-2</sup>	1,00	1,005	0,005	0,014	±0,03
Total harmonic distortion	%	-	2,05	-	0,15	5,0

Measurement quantity	Unit	Nominal value	Measured value	Deviation	Extended uncertainty	Limits of error
Operating frequency	Hz	79,58	79,58	-0,00	0,060	±0,398
The RMS acceleration of the calibrator's signal	ms <sup>-2</sup>	10,00	10,16	0,16	0,140	±0,30
Total harmonic distortion	%	-	0,17	-	0,15	5,0

Measurement quantity	Unit	Nominal value	Measured value	Deviation	Extended uncertainty	Limits of error
Operating frequency	Hz	159,15	159,17	0,02	0,120	±0,796
The RMS acceleration of the calibrator's signal	ms <sup>-2</sup>	10,00	10,06	0,06	0,140	±0,30
Total harmonic distortion	%	-	0,15	-	0,15	5,0

Authorized by:

Calibration Specialist

*Tomasz Krajewski*  
Tomasz Krajewski, M. Sc.

**CALIBRATION CERTIFICATE issued by ACCREDITED LABORATORY No AP 146**

Date of issue: 22<sup>nd</sup> August, 2024

Certificate No: 00090578/06/2024

Page: 3/3

Measurement quantity	Unit	Nominal value	Measured value	Deviation	Extended uncertainty	Limits of error
Operating frequency	Hz	636,62	636,88	0,26	0,482	±3,183
The RMS acceleration of the calibrator's signal	ms <sup>-2</sup>	1,00	1,016	0,016	0,014	±0,03
Total harmonic distortion	%	-	0,22	-	0,15	5,0

**NOTE:**

- 1) For measurement at frequency 15,915 Hz, the calibrator was loaded with a mass of 508 grams.
- 2) For measurement at frequency 79,58 Hz and 159,15 Hz, the calibrator was loaded with a mass of 8 grams.
- 3) The transducer was attached to the calibrator using the screw.

Authorized by:

Calibration Specialist

*Tomasz Krajewski*  
Tomasz Krajewski, M. Sc.

## Anexo 5

### Ficha técnica equipo Larson Davis HVM100



# Hand-Arm & Whole-Body Vibration Monitoring

Vibration Exposure & Product Compliance Testing with Larson Davis Model HVM100

#### Highlights

- Measures x, y, z and sum (S) simultaneously
- Compact and portable
- Measures to ISO 2631, 5349 requirements, meets ISO 8041 Type 1 accuracy standard
- Supports ICP® accelerometers
- Complete system with analysis software available
- Enables compliance with EU Physical Agents Directive 2002/44/EC

#### Applications

- Product compliance testing
- Tool maintenance and repair operations
- Hand-arm exposure monitoring
- Whole-body exposure monitoring



Tool maintenance and safe operating conditions can be monitored using HVM100



Model HVM100

Model HVM100 provides a portable, convenient way to collect and analyze data in accordance with the most current ISO requirements for assessing hand-arm and whole-body vibration exposure. Measuring three input channels simultaneously, the HVM100 provides the signal filtering, integration, and data storage necessary to comply with ISO Standards 2631, 5349, and 8041. A fourth channel calculates and stores vector sum information. Single axis and triaxial accelerometers with specialized mechanical mounting adaptors and various software packages are available to complete the system.

For gathering comprehensive and accurate exposure data in the field, performance of HVM100 is exceptional. It stores RMS, Minimum, Maximum and Peak Level data as well as relevant metrics such as Exposure Points, Crest Factor and Vibration Dose Value (VDV). A handy AC or DC output signal for each channel provides ability to interface external recorders or analyzers for more detailed analysis.

Since the HVM100 employs digital filtering techniques, it can be electronically updated should standards dictate a filter curve modification. Additionally, the unit features a simple LCD display and choice of multiple language interfaces.

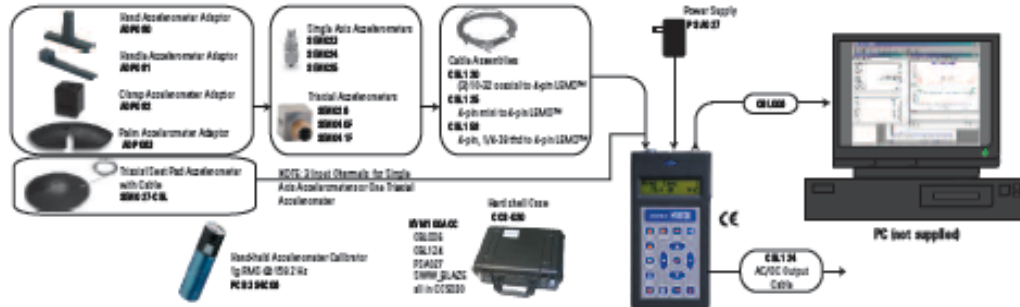


Larson Davis ☎ Toll-Free in USA 888-258-3222 ☎ 716-926-8243 🌐 [www.larsondavis.com](http://www.larsondavis.com)



# Human Vibration Monitor

## HVM100 System Details



Model HVM100		Available Configurations (partial listing, consult factory)	
<b>Technical Specifications</b>		<b>Available Software</b>	
Input types	ICP® sensors, charge output sensors, direct voltage	<b>Blaze® Industrial Hygiene Software</b> Easy to use, powerful analysis and reporting software for the Safety Professional and Industrial Hygienist. Create formatted exposure reports for regulatory compliance and risk assessment, graphical reports for exposure analysis and presentation-ready summary data for management. Enable custom instrument set-ups for ease-of-use in the field and retain multiple accelerometer sensitivity data for accurate measurement at all times. (Blaze® also supports Larson Davis's Spark® series Noise Dosimeters, and the SoundTrack Lx™ Sound Level / Octave Band Meters)	
Input range	>100 dB (in multiple ranges)		
Range gain	x1, x10, x100, x1000		
Calibration	By level or sensor sensitivity array		
Units	m/s <sup>2</sup> , cm/s <sup>2</sup> , ft/s <sup>2</sup> , in/s <sup>2</sup> , g, dB	<b>HVManager™ Tool Database and Exposure Profiling Software</b> Create a complete database of every tool used and its vibration level; manage the maintenance and optimize performance of the tools and create a composite employee exposure profile based on time-on-task and tool(s) used.	
Matrixes for each mode	Arms, Amin, Amax, Aavg, Amp, Peak Arms, Amin, Amax, Aavg, Amp, Peak, A(1), A(2), A(4), A(8), A(16) AET, EP Arms, Amin, Amax, Aavg, Aavg(x), Amp, Peak, Cmp, CF, VDV		
Frequency weighting	Wb (Severity), Fa (0.4 Hz to 100 Hz), Fb (0.4 Hz to 1250 Hz), Fc (0.3 Hz to 1250 Hz)	<b>DNA Data Navigation and Analysis Software</b> The most powerful analysis package available, DNA allows complete customization of reports, report templates and creates interactive linked documents. With powerful graphics and real-time interface capability, DNA can satisfy the most demanding applications for any engineering application.	
Hand-arm	Wb		
Whole-body	Wb, Wc, Wd, We, Wg, Wj, Wk, Wm		
Setup	Store up to 10 user setups		
Memory	100 measurements, 1 min to 99 hr		
Time history	128 samples of Arms and PEAK at a period of 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60 sec		
Interface	USB (with DV/USB to DB9M Serial Adapter) RS-422/RS-232 serial interface; modem mode		
Printout	Custom 3 line header, data and time history		
Outputs for each channel	Weighted or band-limited rms, min, max, peak, sum RMS, sum max, sum min, sum peak ± 0.5 dB accuracy		
Power	(2) AA batteries (EC Type LRF) (Batteries included)		
Weight	300 gm (10.6 oz)		
Dimensions	1.1 x 2.3 x 6.0 in (28 x 54 x 152 mm)		
Standards met	ISO 8041:2005, 2631-1:1997, 2631-2:1998, 2631-4:2001, 5349-1:2001, and 5349-2:2001, ANSI Z.70-2006 plus it provides the Whole-body frequency weighting Wg specified in the British Standard BS 6841:1987. CE compliant.		
HVM100-ALL-02	Hand-arm & whole-body vibration kit includes HVM100, HVM100-ALL, 1 mV/g accelerometer (SEN040F), seatpad accelerometer (SEN027), handle adaptor (ADP001), cables (CBL006, DW088A, CBL150), pouch (CCS028), and Blaze® software.		
HVM100-ALL-41	Hand-arm & whole-body vibration kit includes HVM100, HVM100-ALL, 10 mV/g accelerometer with filter (SEN041F), seatpad accelerometer (SEN027), handle adaptor (ADP001), cables (CBL006, DW088A, CBL150), pouch (CCS028), Blaze® software.		
HVM100-ALL-26	Hand-arm & whole-body vibration kit includes HVM100, HVM100-ALL, accelerometer (SEN026), seatpad (SEN027), palm adaptor (ADP003), cables (CBL006, DW088A, CBL125), pouch (CCS028), Blaze® software.		



3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043-2495 USA  
 Toll-Free in US A 888-258-3222  
 Fax 716-926-8215 E-mail sales@larsondavis.com  
 www.larsondavis.com

© 2013 PCB Group, Inc. In the interest of constant product improvement, specifications are subject to change without notice. PCB and ICP are registered trademarks of PCB Group. SoundTrack Lx, Spark and Blaze are registered trademarks of PCB Piezotronics. HV Manager is a trademark of PCB Piezotronics, Inc. All other trademarks are properties of their respective owners.

LD-HVM100-0113

Printed in USA.

For environmental noise monitoring and building acoustics, Larson Davis offers a full line of instruments, accessories and software. For personal noise and vibration exposure monitoring, Larson Davis complements this with sound level meters, personal noise dosimeters, human vibration meters, audiometric calibration systems and hearing conservation programs.

Visit [www.larsondavis.com](http://www.larsondavis.com) to locate your nearest sales office



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 23-2026-FIMGC**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la Resolución Decanal No 144-2026-FIMGC-D, a los veinte días del mes de mayo de 2026, siendo las 10:09 a.m., reunidos en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Minas, bajo la presidencia del MSc. José Ernesto ESTRADA CARDENAS, y los miembros: Ing. Roberto Juan GUTIERREZ PALOMINO, Ing. Víctor Félix FLORES MORENO y Ing. Carlos Alberto QUISPE HUAROTO, actuando como secretario docente el Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ, para proceder a la sustentación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, del Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas:

**RUTH VANEZA SUAREZ QUISPE**

Quien presentó la tesis denominada:

**Relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en perforistas con Jackleg, GMI-Unidad Minera Americana-2025**

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

**Aprobado con 17 (diecisiete)**

Siendo las 11:04 a.m del día 20 de mayo del 2026, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. José Ernesto ESTRADA CARDENAS  
Presidente

Ing. Roberto Juan GUTIERREZ PALOMINO  
Miembro

Ing. Carlos Alberto QUISPE HUAROTO  
Miembro

Ing. Victor Félix FLORES MORENO  
Miembro - Asesor

  
Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ  
Secretario

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y CIVIL  
Av. Independencia S/N  
Ciudad Universitaria  
Central Tel. 066 312510  
Anexo 151



UNSCH

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; en mi calidad de Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación y encargado de certificar la originalidad de la tesis abajo indicado y por lo tanto responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de pregrado en primera instancia, en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N°039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación UNSCH, deja constancia que:

- Apellidos y Nombres del Bach. : SUAREZ QUISPE, Ruth Vaneza
- Escuela Profesional : Ingeniería de Minas
- Título de la Tesis : Relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en perforistas con Jackleg, GMI-Unidad Minera Americana-2025
- Evaluación de la originalidad : 4% de similitud

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, **es procedente la constancia de originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 16 de junio de 2026

.....  
MBA Ing° Leonil Fernando Quispe Aronés  
Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación

# Relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en perforistas con Jackleg, GMI- Unidad Minera Americana-2025

*por* Ruth Vaneza SUAREZ QUISPE

---

**Fecha de entrega:** 16-jun-2026 07:24p. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2984643206

**Nombre del archivo:** Tesis\_Ruth\_Vaneza\_SUAREZ\_QUISPE.pdf (1.98M)

**Total de palabras:** 15444

**Total de caracteres:** 92133

# Relación entre la vibración mano-brazo y la fatiga laboral en perforistas con Jackleg, GMI-Unidad Minera Americana-2025

## INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

2%

2

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

1%

3

[repositorio.unjfsc.edu.pe](https://repositorio.unjfsc.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

4

[repositorio.unsch.edu.pe](https://repositorio.unsch.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

5

[apirepositorio.unu.edu.pe](https://apirepositorio.unu.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

6

[repositorio.upagu.edu.pe](https://repositorio.upagu.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[revista.gnerando.org](https://revista.gnerando.org)

Fuente de Internet

<1%

8

Submitted to Universidad Nacional de Huancavelica

Trabajo del estudiante

<1%

9

[repositorio.uct.edu.pe](https://repositorio.uct.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo