Revista Científica Multidisciplinar G-ner@ndo

ISSN: 2806-5905

Estudio de las Vibraciones Mecánicas en Mano-Brazo y Cuerpo Entero en el Personal de Operación de Maquinaria Pesada

Study of Mechanical Vibrations in Hand-Arm and Whole Body in Heavy Machinery Operating Personnel

María Belén Paredes Robalino, Oscar Iván Analuiza Maiza, Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Jorge Enrique López Velástegui

CIENCIA E INNOVACIÓN EN DIVERSAS DISCIPLINAS CIENTÍFICAS.

Enero - Junio, V°6-N°1; 2025

- ✓ **Recibido:** 27/03/2025
- ✓ **Aceptado**: 27/03/2025
- ✓ **Publicado:** 30/06/2025

PAIS

- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato

INSTITUCION

- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Técnica de Ambato

CORREO:

mb.paredes@uta.edu.ec
oi.analuiza@uta.edu.ec
victorrespin@uta.edu.ec
je.lopez@uta.edu.ec

ORCID:

https://orcid.org/0000-0002-8013-2884
https://orcid.org/0000-0002-4383-6073
https://orcid.org/0000-0001-6132-3215
https://orcid.org/0000-0002-0306-7740

FORMATO DE CITA APA.

Paredes, M., Analuiza, O., Espín, V. & López, J. (2025). Estudio de las Vibraciones Mecánicas en Mano-Brazo y Cuerpo Entero en el Personal de Operación de Maquinaria Pesada. Revista G-ner@ndo, V°6 (N°1,). 3255 – 3277.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general estudiar las vibraciones mecánicas en el personal de operación de maquinaria pesada y su impacto en la exposición a factores de riesgo en trabajadores de maquinaria pesada de una empresa ubicada en Ambato, con el objetivo de evaluar los riesgos para la salud derivados de la exposición prolongada a estas vibraciones. La investigación se basa en mediciones de vibración en el sistema mano-brazo y cuerpo entero, realizadas conforme a las normativas ISO 5349.2: 2001 y NTP 839. Los resultados mostraron que las vibraciones en varios puestos de trabajo exceden los límites de exposición recomendados, con valores de hasta 6,81 m/s² en los puestos de chofer de carga frontal y operador de tractor. Estas vibraciones, combinadas con la exposición constante durante jornadas laborales, representan un riesgo crítico para la salud de los trabajadores. Se identificaron vibraciones particularmente intensas en las direcciones espalda-pecho y hombro-hombro en los puestos más expuestos. El estudio resalta la urgencia de implementar medidas correctivas inmediatas para reducir los riesgos asociados con la exposición a vibraciones. Se recomienda mejorar la ergonomía de los puestos de trabajo, incorporar tecnologías de absorción de vibraciones y garantizar el mantenimiento adecuado de la maquinaria. Además, es fundamental que las autoridades y las empresas implementen programas de monitoreo y control más rigurosos, así como proporcionar capacitación continua a los trabajadores sobre el uso adecuado de la maquinaria

Palabras clave: Vibraciones mecánicas, eje ortogonal mano – brazo, cuerpo entero.

Abstract

The general objective of this research is to study mechanical vibrations in heavy machinery operating personnel and their impact on exposure to risk factors among heavy machinery workers at a company located in Ambato. This research aims to assess the health risks arising from prolonged exposure to these vibrations. The research is based on hand-arm and whole-body vibration measurements, carried out in accordance with ISO 5349.2: 2001 and NTP 839 standards. The results showed that vibrations in several workstations exceeded the recommended exposure limits, with values of up to 6.81 m/s² in the front-loader driver and tractor operator positions. These vibrations, combined with constant exposure during workdays, represent a critical risk to workers' health. Particularly intense vibrations were identified in the back-to-chest and shoulder-to-shoulder directions in the most exposed positions. The study highlights the urgency of implementing immediate corrective measures to reduce the risks associated with vibration exposure. It is recommended to improve workplace ergonomics, incorporate vibration-absorbing technologies, and ensure proper maintenance of machinery. Furthermore, it is essential that authorities and companies implement more rigorous monitoring and control programs, as well as provide ongoing training to workers on the proper use of machinery.

Keywords: Mechanical vibrations, orthogonal axis hand - arm, whole body

Las obras que se publican en Revista Gner@ndo están bajo la licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

Introducción

El estudio de la seguridad industrial en el ámbito de la ingeniería mecánica es fundamental para prevenir riesgos asociados al uso de maquinaria pesada y garantizar la protección del personal operativo. A nivel mundial, la manipulación de estos equipos representa un desafío ergonómico significativo, donde las vibraciones mecánicas han sido identificadas como uno de los factores de riesgo más relevantes. La exposición prolongada a estas vibraciones puede aumentar la probabilidad de accidentes y el desarrollo de enfermedades ocupacionales, afectando la salud física de los operadores (Blanco et al., 2020).

En Ecuador, la investigación sobre la exposición a vibraciones mecánicas en el personal que opera maquinaria pesada ha sido limitada, especialmente en sectores como la construcción, minería y transporte. A pesar de que la normativa ecuatoriana exige la identificación, evaluación y control de estos riesgos, la falta de aplicación efectiva ha derivado en un aumento de los incidentes reportados por el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS). Esta problemática se ve agravada por la ausencia de programas de mantenimiento adecuados en la maquinaria utilizada, lo que incrementa el riesgo físico al que están expuestos los operadores (Losilla, 2020).

El presente estudio se llevó a cabo en una empresa dedicada a la operación de maquinaria pesada, ubicada en la ciudad de Ambato, que enfrenta estos desafíos debido a la exposición constante de su personal a vibraciones mecánicas durante la compactación y transporte de residuos sólidos. La deficiente implementación de condiciones de trabajo adecuadas no solo afecta la salud de los operadores, sino que también repercute en la productividad de la empresa, generando costos adicionales en atención médica, ausentismo laboral y disminución de la eficiencia operativa.

El análisis de esta problemática desde el enfoque de la ingeniería mecánica en el área de seguridad industrial permite proponer soluciones basadas en la implementación de estrategias de prevención y control. La identificación y evaluación de las vibraciones mecánicas en el sistema

mano-brazo y cuerpo entero permitirá establecer parámetros de seguridad adecuados y determinar acciones correctivas que reduzcan el impacto de este riesgo en los trabajadores (Cortez & Sánchez, 2021). En este contexto, la investigación se convierte en una herramienta clave para fortalecer la seguridad ocupacional, optimizar los procesos operativos y reducir los impactos negativos en la salud de los trabajadores que operan maquinaria pesada.

Evaluación y Control de Vibraciones Mecánicas en el Sistema Cuerpo Entero

La evaluación de las vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero se basa en el cálculo del valor de exposición diaria, A(8), que se expresa como la aceleración continua equivalente en un periodo de 8 horas. Este valor se determina mediante las aceleraciones ponderadas en frecuencia de los tres ejes ortogonales (1,4 awx, 1,4 awy, awz) y se calcula de acuerdo con la norma ISO 2631-1:1997, que proporciona directrices para la medición y evaluación de las vibraciones en el cuerpo humano (Araya & Medina, 2020).

Las vibraciones generadas por la maquinaria pesada pueden alcanzar niveles superiores al valor límite de exposición establecido por normativas internacionales, lo que representa un riesgo significativo para la salud de los operadores. La exposición prolongada a estas vibraciones puede provocar trastornos musculoesqueléticos, fatiga crónica y problemas circulatorios, especialmente en operadores de maquinaria pesada como retroexcavadoras, motoniveladoras y montacargas (Domínguez et al., 2021).

Además de los efectos musculoesqueléticos y circulatorios, la exposición prolongada a vibraciones mecánicas en el cuerpo entero puede generar alteraciones en la postura y afectar la estabilidad de la columna vertebral, incrementando el riesgo de desarrollar patologías como la lumbalgia crónica y la degeneración discal. Estos efectos adversos pueden verse agravados cuando los operadores trabajan en superficies irregulares o en condiciones operativas que implican movimientos repetitivos y de larga duración. Para mitigar estos riesgos, es fundamental

implementar estrategias de control que reduzcan la transmisión de vibraciones al cuerpo. Entre las principales medidas se encuentra la selección de maquinaria con sistemas de suspensión mejorados, asientos ergonómicos con absorción de impactos y plataformas antivibración. La correcta calibración y el mantenimiento preventivo de los vehículos también juegan un papel clave en la reducción de la intensidad vibratoria, evitando la amplificación de las oscilaciones debido al desgaste de los componentes mecánicos (Santos et al., 2024).

Evaluación y Control de Vibraciones Mecánicas en el Sistema Mano-Brazo

La exposición prolongada a vibraciones mecánicas en el sistema mano-brazo representa un riesgo significativo para los operadores de maquinaria pesada, ya que puede provocar trastornos musculoesqueléticos, alteraciones vasculares y neuropatías, como el síndrome de vibración mano-brazo (HAVS). Estas vibraciones se generan a partir del uso continuo de herramientas y equipos de gran tamaño, afectando directamente la salud y el desempeño de los trabajadores. Para evaluar la magnitud de la exposición, se emplea el cálculo del valor de exposición diaria A(8), basado en la aceleración ponderada en frecuencia de los tres ejes ortogonales, conforme a la norma ISO 5349-1:2001. Esta normativa establece límites de exposición y directrices para la medición de vibraciones en el sistema mano-brazo, permitiendo determinar si los niveles alcanzados representan un riesgo para la salud del operador (Arias & Martínez, 2021).

El control de las vibraciones mecánicas en el sistema mano-brazo debe abordarse a través de estrategias de ingeniería y medidas organizativas que minimicen los efectos adversos. Entre las principales acciones se recomienda la selección de maquinaria y herramientas con menores niveles de vibración, priorizando aquellas que incorporen tecnologías de amortiguación y empuñaduras ergonómicas. Asimismo, el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos resulta fundamental para evitar el desgaste de componentes y prevenir un aumento innecesario en la intensidad de las vibraciones transmitidas al operador (Cortez & Defranc, 2022).

Seguridad Industrial y Seguridad en Equipos

La seguridad industrial, dentro del ámbito de la ingeniería mecánica, implica la implementación de medidas para garantizar la protección de los trabajadores y del entorno frente a posibles daños causados por la maquinaria. Las vibraciones generadas por equipos como camiones de carga, excavadoras y palas pueden superar los 0,8 m/s², lo que representa un riesgo significativo cuando se sobrepasan los valores de referencia establecidos en la normativa ISO 2631 (Aguilera et al., 2021).

Para mitigar estos riesgos, es fundamental que las empresas adopten estrategias de control, como la utilización de equipos con sistemas antivibración y el diseño ergonómico de los asientos en cabinas de vehículos industriales. Además, los fabricantes incluyen en sus manuales especificaciones sobre los límites aceptables de vibración, por lo que es crucial que los operadores y responsables de seguridad industrial verifiquen su cumplimiento. La capacitación de los trabajadores es otro factor clave en la prevención de riesgos. Un operador capacitado puede adoptar posturas adecuadas, ajustar correctamente los sistemas de suspensión de los asientos y realizar pausas activas para reducir el impacto de la exposición a vibraciones (Paredes et al., 2022).

Métodos y Materiales.

La metodología del estudio combina enfoques cuantitativos y cualitativos para garantizar un análisis integral de las vibraciones mecánicas en los operadores de maquinaria pesada de una empresa. El enfoque cuantitativo se emplea en la medición y análisis de datos numéricos, como la frecuencia y magnitud de las vibraciones, mientras que el cualitativo permite interpretar la percepción y experiencias de los trabajadores a partir de su juicio crítico.

En cuanto a las modalidades de investigación, se adopta una metodología bibliográfica para fundamentar teóricamente el estudio mediante fuentes documentales, y una investigación

de campo para recolectar datos directamente en el entorno de trabajo, observando las condiciones en las que operan los trabajadores expuestos a vibraciones mecánicas.

El estudio se desarrolla en tres niveles de investigación. El nivel perceptual permite identificar los puestos de trabajo en los que se registra exposición a vibraciones. El nivel integrativo evalúa la intensidad y frecuencia de las vibraciones en los sistemas mano-brazo y cuerpo entero para analizar su impacto en los operadores. Finalmente, el nivel comprensivo reúne la información necesaria para interpretar los resultados obtenidos.

Además, el estudio abarca tres tipos de investigación. La exploratoria identifica los puestos de trabajo afectados, mientras que la evaluativa mide la exposición a vibraciones con el objetivo de analizar sus efectos. La población del estudio está conformada por 12 operadores de maquinaria pesada, incluyendo choferes de carga frontal, operadores de tractores, ayudantes y mecánicos. Debido al tamaño reducido de la población, se toma como muestra la totalidad de los trabajadores. Para la recolección de información, se utilizan diversas fuentes documentales y un equipo especializado para medir la magnitud, frecuencia, dirección y tiempo de exposición a vibraciones. Adicionalmente, se aplican encuestas a los trabajadores para obtener información sobre su percepción de las vibraciones y contrastar los datos obtenidos con la hipótesis planteada.

Análisis de Resultados

El análisis de los resultados obtenidos en esta investigación sobre las vibraciones mecánicas a las que están expuestos los trabajadores de una empresa aborda diversos aspectos clave que permiten comprender tanto la magnitud del riesgo como la exposición continua de los operadores. A continuación, se presenta la interpretación detallada de los hallazgos obtenidos en los diferentes apartados del estudio.

En la Tabla 1 se muestran los puestos de trabajo identificados dentro de la empresa con exposición a vibraciones mecánicas, principalmente en áreas como el relleno sanitario y el taller mecánico. Aunque la matriz de riesgos de la empresa ha reconocido la presencia de este factor, no se habían realizado mediciones previas para cuantificar adecuadamente la exposición. Esta ausencia de datos representa una limitación importante, ya que sin mediciones precisas resulta difícil evaluar el nivel de exposición y su impacto en los trabajadores. El reconocimiento del riesgo es un primer paso, pero la cuantificación de la dosis de vibración sigue pendiente, lo que resalta la necesidad de llevar a cabo estas mediciones con el fin de obtener información precisa sobre la exposición a vibraciones mecánicas.

Tabla 1. *Puestos de trabajo expuestos a vibraciones mecánicas*

Cargo	Puesto de trabajo	Proceso	Factor de riesgo
Choferes	Vía pública y Relleno Sanitario	Conducir los equipos y camiones de recolección de desperdicios (carga frontal).	Vibraciones mecánicas
Tractoristas	Relleno Sanitario	Manejo del tractor dentro del relleno sanitario para compactar desperdicios y tierra.	Vibraciones mecánicas
Ayudante tractorista	Relleno Sanitario	Limpieza del tren de rodaje de tractor, dirigir al tractorista.	Vibraciones mecánicas
Mecánico	Taller mecánico	Realizar reparación de equipos y camiones, realizar trabajos de taller (soldadura -corte).	Vibraciones mecánicas

En cuanto al tiempo de exposición a las vibraciones mecánicas, los trabajadores que operan maquinaria pesada están expuestos durante un promedio de 6 horas diarias, distribuidas a lo largo de su jornada laboral de 8:00 a.m. a 5:00 p.m., con poca o ninguna interrupción en sus

tareas. Las actividades en el relleno sanitario, como la compactación de desechos, y las tareas en el taller mecánico, que incluyen la reparación de maquinaria, son las principales responsables de esta exposición prolongada. La falta de pausas durante la jornada laboral aumenta los efectos negativos de la exposición, especialmente en términos de trastornos musculoesqueléticos y problemas circulatorios, lo cual debe ser evaluado para comprender mejor los riesgos asociados con la exposición continua a vibraciones.

El impacto de la falta de pausas y la exposición continua durante 6 horas sin interrupción puede ser más perjudicial de lo que parece. Las investigaciones muestran que la exposición continua a vibraciones sin descansos adecuados contribuye significativamente a la aparición de trastornos musculoesqueléticos, como dolor en la espalda baja y en las articulaciones. La implementación de pausas activas o descansos frecuentes es esencial para mitigar los efectos negativos de estas exposiciones prolongadas, reduciendo la probabilidad de desarrollar afecciones a largo plazo. La exposición prolongada a niveles elevados de vibraciones mecánicas está relacionada con diversas afecciones crónicas de salud, como el síndrome de vibración mano-brazo, que puede causar pérdida de sensibilidad y dolor en las manos y brazos. También se ha asociado con trastornos musculoesqueléticos, problemas circulatorios y nerviosos. Estos efectos son más pronunciados en casos de exposición continua y sin medidas de protección adecuadas. Además, los trastornos nerviosos derivados de la exposición a vibraciones pueden generar daños a largo plazo en el sistema nervioso periférico de los trabajadores.

En la tabla 2 se muestra los resultados de las mediciones de las vibraciones en el sistema mano-brazo de los trabajadores que operan maquinaria pesada. A partir de estos se calcularon las aceleraciones mostradas en la tabla 3, cuyos resultados indicaron que oscilan entre 5,85 m/s^2 y 6,69 m/s^2 en los ejes ortogonales, lo que supera los límites de seguridad establecidos, sugiriendo un riesgo significativo para la salud de los operadores. Según la ISO 5349, el límite de exposición diaria para el sistema mano-brazo es de 5 m/s^2, mientras que la ISO 2631

establece un máximo de 0.5 m/s² para vibraciones transmitidas al cuerpo entero. En varios casos, estos valores fueron excedidos, representando un riesgo significativo para la salud de los trabajadores. Aunque la frecuencia de vibración es baja (4.63E-05 Hz), lo que podría reducir el impacto en el sistema musculoesquelético, la alta magnitud y la exposición prolongada aumentan el peligro, lo que exige medidas correctivas urgentes.

Tabla 2. *Mediciones de vibraciones mecánicas sistema mano - brazo*

Mediciones de vibraciones mecánicas sistema mano - brazo													
Puesto de trabajo	Cargo	Población	# de mediciones	Ejes ortogonales									
				Mano derecha						Mano izquierda			
				Eje x		Eje y		Eje z		Eje x		Eje y		Eje z	
				G's	m/s^2	G's	m/s^2	G's	m/s^2	G's	m/s^2	G's	m/s^2	G's	m/s^2
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1	0,4	3,92	0,5	4,9	0,4	3,92	0,5	4,9	0,4	3,92	0,3	2,94
			2	0,3	2,94	0,4	3,92	0,5	4,9	0,4	3,92	0,3	2,94	0,4	3,92
			3	0,2	1,96	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94
			Promedio	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	3,267	0,3	3,267
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1	0,5	4,9	0,4	3,92	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92	0,5	4,9
			2	0,4	3,92	0,3	2,94	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,4	3,92
			3	0,3	2,94	0,2	1,96	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92
			Promedio	0,4	3,92	0,3	2,94	0,3	3,267	0,37	3,59	0,3	3,267	0,4	4,247
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,4	3,92
			2	0,2	1,96	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,2	1,96	0,4	3,92
			3	0,5	4,9	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94
			Promedio	0,3	3,267	0,3	3,267	0,4	3,593	0,43	4,25	0,3	2,94	0,4	3,593
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94	0,5	4,9
			2	0,4	3,92	0,5	4,9	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,2	1,96
			3	0,3	2,94	0,4	3,92	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94
			Promedio	0,3	3,267	0,4	4,247	0,4	3,593	0,43	4,25	0,3	3,267	0,3	3,267
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1	0,5	4,9	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94	0,5	4,9
			2	0,3	2,94	0,5	4,9	0,5	4,9	0,3	2,94	0,5	4,9	0,4	3,92
			3	0,3	2,94	0,4	3,92	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94
			Promedio	0,4	3,593	0,4	3,92	0,4	3,92	0,37	3,59	0,4	3,92	0,4	3,92
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94	0,5	4,9
			2	0,3	2,94	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,5	4,9	0,3	2,94
			3	0,4	3,92	0,5	4,9	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,5	4,9
			Promedio	0,3	3,267	0,4	3,92	0,4	4,247	0,4	3,92	0,4	3,593	0,4	4,247
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94	0,5	4,9
			2	0,3	2,94	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,4	3,92	0,3	2,94
			3	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92
			Promedio	0,3	2,94	0,3	3,267	0,4	3,92	0,33	3,27	0,3	3,267	0,4	3,92
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,3	2,94	0,5	4,9	0,4	3,92
			2	0,3	2,94	0,3	2,94	0,5	4,9	0,3	2,94	0,4	3,92	0,3	2,94
			3	0,3	2,94	0,4	3,92	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92
			Promedio	0,3	3,267	0,4	3,92	0,4	3,593	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,593
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	1	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,3	2,94	0,5	4,9	0,4	3,92
			2	0,5	4,9	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94	0,5	4,9
			3	0,4	3,92	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,3	2,94	0,4	3,92
			Promedio	0,4	4,247	0,4	3,593	0,3	3,267	0,33	3,27	0,4	3,593	0,4	4,247
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	1	0,4	3,92	0,5	4,9	0,3	2,94	0,3	2,94	0,5	4,9	0,4	3,92
			2	0,4	3,92	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94	0,5	4,9
			3	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94
			Promedio	0,4	3,593	0,4	3,92	0,4	3,593	0,37	3,59	0,4	3,92	0,4	3,92
Taller mecánico	Mecánico	1	1	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,5	4,9	0,4	3,92	0,3	2,94
			2	0,4	3,92	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94	0,5	4,9
			3	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94
			Promedio	0,3	3,267	0,4	3,593	0,4	3,92	0,43	4,25	0,4	3,593	0,4	3,593
Taller mecánico	Mecánico	1	1	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,5	4,9	0,4	3,92	0,3	2,94
			2	0,3	2,94	0,5	4,9	0,5	4,9	0,5	4,9	0,4	3,92	0,4	3,92
			3	0,3	2,94	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,4	3,92	0,3	2,94
			Promedio	0,3	2,94	0,4	4,247	0,4	4,247	0,47	4,57	0,4	3,92	0,3	3,267

Tabla 3. *Magnitud y frecuencia de vibraciones mecánicas sistema mano – brazo*

Magnitud y frecuencia de vibraciones mecánicas sistema mano – brazo*				
Cargo	**Magnitud**		**Frecuencia**	
	Ejes ortogonales		**Ejes ortogonales**	
	Mano derecha	Mano izquierda	Mano derecha	Mano izquierda
	m/s^2	m/s^2	Hertz	Hertz
Chofer de carga frontal	6,28	6,06	4,63E-05	4,63E-05
Chofer de carga frontal	5,89	6,45	4,63E-05	4,63E-05
Chofer de carga frontal	5,85	6,29	4,63E-05	4,63E-05
Chofer de carga frontal	6,45	6,28	4,63E-05	4,63E-05
Operador de tractor	6,6	6,6	4,63E-05	4,63E-05
Operador de tractor	6,64	6,81	4,63E-05	4,63E-05
Operador de tractor	5,89	6,06	4,63E-05	4,63E-05
Operador de tractor	6,24	6,07	4,63E-05	4,63E-05
Ayudante de tractor	6,45	6,45	4,63E-05	4,63E-05
Ayudante de tractor	6,41	6,6	4,63E-05	4,63E-05
Mecánico	6,24	6,62	4,63E-05	4,63E-05
Mecánico	6,69	6,85	4,63E-05	4,63E-05

En la tabla 4 se expone el análisis de la dirección de las vibraciones mecánicas en el sistema mano-brazo, realizado en los tres ejes ortogonales, mostró que las dosis de vibración superan los límites recomendados en varios casos, lo que refuerza la preocupación sobre los riesgos para la salud a largo plazo de los operadores.

Tabla 4. *Dirección de vibraciones mecánicas y cálculo de exposición transmitidas al sistema mano - brazo*

Cálculo de exposición a vibraciones mecánicas sistema mano - brazo												
Puesto de trabajo	Cargo	Población	Ejes ortogonales*									
			Mano derecha					Mano izquierda				
			Eje x (ahwx)	Eje y (ahwy)	Eje z (ahwz)	ahv	A(8)	Eje x (ahwx)	Eje y (ahwy)	Eje z (ahwz)	ahv	A(8)
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	2,94 (ahwx)^2 8,64	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,92 (ahwz)^2 15,37	6,28	5,43	3,92 (ahwx)^2 15,37	3,27 (ahwy)^2 10,69	3,27 (ahwz)^2 10,69	6,06	5,25
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	3,92 (ahwx)^2 15,37	2,94 (ahwy)^2 8,64	3,27 (ahwz)^2 10,69	5,89	5,10	3,59 (ahwx)^2 12,89	3,27 (ahwy)^2 10,69	4,25 (ahwz)^2 18,06	6,45	5,59
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	3,27 (ahwx)^2 10,69	3,27 (ahwy)^2 10,69	3,59 (ahwz)^2 12,89	5,85	5,07	4,25 (ahwx)^2 18,06	2,94 (ahwy)^2 8,64	3,59 (ahwz)^2 12,89	6,29	5,45
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	3,27 (ahwx)^2 10,69	4,25 (ahwy)^2 18,06	3,59 (ahwz)^2 12,89	6,45	5,59	4,25 (ahwx)^2 18,06	3,27 (ahwy)^2 10,69	3,27 (ahwz)^2 10,69	6,28	5,44
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	3,59 (ahwx)^2 12,89	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,92 (ahwz)^2 15,37	6,6	5,72	3,59 (ahwx)^2 12,89	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,92 (ahwz)^2 15,37	6,6	5,72
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	3,27 (ahwx)^2 10,69	3,92 (ahwy)^2 15,37	4,25 (ahwz)^2 18,06	6,64	5,75	3,92 (ahwx)^2 15,37	3,59 (ahwy)^2 12,89	4,25 (ahwz)^2 18,06	6,81	5,89
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	2,94 (ahwx)^2 8,64	3,27 (ahwy)^2 10,69	3,92 (ahwz)^2 15,37	5,89	5,10	3,27 (ahwx)^2 10,69	3,27 (ahwy)^2 10,69	3,92 (ahwz)^2 15,37	6,06	5,25
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	3,27 (ahwx)^2 10,69	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,59 (ahwz)^2 12,89	6,24	5,40	2,94 (ahwx)^2 8,64	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,59 (ahwz)^2 12,89	6,07	5,26
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	4,25 (ahwx)^2 18,06	3,59 (ahwy)^2 12,89	3,27 (ahwz)^2 10,69	6,45	5,59	3,27 (ahwx)^2 10,69	3,59 (ahwy)^2 12,89	4,25 (ahwz)^2 18,06	6,45	5,59
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	3,59 (ahwx)^2 12,89	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,59 (ahwz)^2 12,89	6,41	5,55	3,59 (ahwx)^2 12,89	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,92 (ahwz)^2 15,37	6,6	5,72
Taller mecánico	Mecánico	1	3,27 (ahwx)^2 10,69	3,59 (ahwy)^2 12,89	3,92 (ahwz)^2 15,37	6,24	5,40	4,25 (ahwx)^2 18,06	3,59 (ahwy)^2 12,89	3,59 (ahwz)^2 12,89	6,62	5,73
Taller mecánico	Mecánico	1	2,94 (ahwx)^2 8,64	4,25 (ahwy)^2 18,06	4,25 (ahwz)^2 18,06	6,69	5,79	4,57 (ahwx)^2 20,88	3,92 (ahwy)^2 15,37	3,27 (ahwz)^2 10,69	6,85	5,93

El cálculo de la dosis total de vibraciones mecánicas transmitidas al sistema mano-brazo, representado por la variable A(8), reveló que las dosis superaron el límite de exposición recomendado de 5 m/s² en varios casos, con dosis que oscilaron entre 1,01 y 1,14, que se puede visualizar en la tabla 5. Esto aumenta el riesgo de trastornos como el síndrome de vibración mano-brazo, lo que resalta la necesidad de un análisis más detallado de la exposición a vibraciones para establecer medidas adecuadas de control.

Tabla 5. *Dosis de vibraciones mecánicas transmitidas al sistema mano - brazo*

Valor límite de exposición de vibraciones mecánicas sistema mano- brazo							
Puesto de trabajo	Cargo	Mano derecha			Mano izquierda		
		Valor límite	Valor obtenido (A8)	Dosis*	Valor límite	Valor obtenido (A8)	Dosis*
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	5	5,43	1,09	5	5,25	1,05
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	5	5,1	1,02	5	5,59	1,12
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	5	5,07	1,01	5	5,45	1,09
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	5	5,59	1,12	5	5,44	1,09
Relleno sanitario	Operador de tractor	5	5,72	1,14	5	5,72	1,14
Relleno sanitario	Operador de tractor	5	5,75	1,15	5	5,89	1,18
Relleno sanitario	Operador de tractor	5	5,1	1,02	5	5,25	1,05
Relleno sanitario	Operador de tractor	5	5,4	1,08	5	5,26	1,05
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	5	5,59	1,12	5	5,59	1,12
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	5	5,55	1,11	5	5,72	1,14
Taller mecánico	Mecánico	5	5,4	1,08	5	5,73	1,15
Taller mecánico	Mecánico	5	5,79	1,16	5	5,93	1,19

Por otro lado, en la tabla 6 se muestra los resultados de las mediciones de las vibraciones transmitidas al cuerpo entero de los trabajadores del relleno sanitario y el taller mecánico, estos datos indican que las aceleraciones en este sistema son más bajas que en el sistema mano-brazo, lo que podría estar relacionado con la naturaleza de la maquinaria utilizada y cómo las vibraciones afectan de manera diferente a los trabajadores. Aunque las vibraciones transmitidas al cuerpo entero son menores, la exposición prolongada durante las seis horas de jornada laboral podría tener efectos adversos a largo plazo sobre la salud de los trabajadores.

En base a los resultados obtenidos, es necesario implementar medidas de control inmediatas para reducir la exposición a vibraciones mecánicas. Entre las medidas recomendadas se incluyen la provisión de equipo de protección personal, como guantes antivibración, y la mejora de las condiciones laborales mediante el diseño ergonómico de las estaciones de trabajo.

Asimismo, se debe fomentar la implementación de tecnologías que reduzcan las vibraciones de las máquinas y los vehículos utilizados, así como el establecimiento de pausas laborales programadas que permitan una recuperación de los efectos de la exposición.

Tabla 6. *Mediciones de vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero*

Mediciones de vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero*											
Puesto de trabajo	**Cargo**	**Población**	**# de mediciones**	Ejes ortogonales							
				Cuerpo entero							
				Eje x		Eje y		Eje z			
				G`S	m/s^2	G`S	m/s^2	G`S	m/s^2		
Relleno Sanitario	Chofer carga frontal	1	1	0,12	1,18	0,12	1,18	0,11	1,08		
			2	0,12	1,18	0,1	0,98	0,13	1,27		
			3	0,11	1,08	0,12	1,18	0,12	1,18		
			Promedio	0,12	1,14	0,11	1,11	0,12	1,18		
Relleno Sanitario	Chofer carga frontal	1	1	0,1	0,98	0,11	1,08	0,1	0,98		
			2	0,11	1,08	0,12	1,18	0,12	1,18		
			3	0,11	1,08	0,11	1,08	0,13	1,27		
			Promedio	0,11	1,05	0,11	1,11	0,12	1,14		
Relleno Sanitario	Chofer carga frontal	1	1	0,1	0,98	0,1	0,98	0,1	0,98		
			2	0,12	1,18	0,11	1,08	0,12	1,18		
			3	0,11	1,08	0,12	1,18	0,11	1,08		
			Promedio	0,11	1,08	0,11	1,08	0,11	1,08		
Relleno Sanitario	Chofer carga frontal	1	1	0,13	1,27	0,12	1,18	0,11	1,08		
			2	0,1	0,98	0,12	1,18	0,11	1,08		
			3	0,12	1,18	0,11	1,08	0,11	1,08		
			Promedio	0,12	1,14	0,12	1,14	0,11	1,08		
Relleno Sanitario	Operador de tractor	1	1	0,11	1,08	0,12	1,18	0,1	0,98		
			2	0,11	1,08	0,12	1,18	0,11	1,08		
			3	0,12	1,18	0,11	1,08	0,11	1,08		
			Promedio	0,11	1,11	0,12	1,14	0,11	1,05		
Relleno Sanitario	Operador de tractor	1	1	0,11	1,08	0,12	1,18	0,1	0,98		
			2	0,11	1,08	0,12	1,18	0,11	1,08		
			3	0,11	1,08	0,12	1,18	0,12	1,18		
			Promedio	0,11	1,08	0,12	1,18	0,11	1,08		
Relleno Sanitario	Operador de tractor	1	1	0,11	1,08	0,12	1,18	0,1	0,98		
			2	0,11	1,08	0,11	1,08	0,11	1,08		
			3	0,12	1,18	0,11	1,08	0,11	1,08		
			Promedio	0,11	1,11	0,11	1,11	0,11	1,05		
Relleno Sanitario	Operador de tractor	1	1	0,12	1,18	0,1	0,98	0,12	1,18		
			2	0,11	1,08	0,11	1,08	0,11	1,08		
			3	0,12	1,18	0,11	1,08	0,11	1,08		
			Promedio	0,12	1,14	0,11	1,05	0,11	1,11		
Relleno Sanitario	Ayudante de tractor	1	1	0,1	0,98	0,11	1,08	0,12	1,18		
			2	0,11	1,08	0,12	1,18	0,12	1,18		
			3	0,11	1,08	0,11	1,08	0,11	1,08		
			Promedio	0,11	1,05	0,11	1,11	0,12	1,14		
Relleno Sanitario	Ayudante de tractor	1	1	0,1	0,98	0,11	1,08	0,12	1,18		
			2	0,11	1,08	0,12	1,18	0,12	1,18		

			3	0,12	1,18	0,1	0,98	0,11	1,08
			Promedio	0,11	1,08	0,11	1,08	0,12	1,14
			1	0,11	1,08	0,1	0,98	0,11	1,08
Taller mecánico	Mecánico	1	2	0,11	1,08	0,12	1,18	0,12	1,18
			3	0,12	1,18	0,1	0,98	0,11	1,08
			Promedio	0,11	1,11	0,11	1,05	0,11	1,11
			1	0,11	1,08	0,1	0,98	0,11	1,08
Taller mecánico	Mecánico	1	2	0,1	0,98	0,11	1,08	0,11	1,08
			3	0,12	1,18	0,1	0,98	0,11	1,08
			Promedio	0,11	1,08	0,1	1,01	0,11	1,08

En la tabla 7 se indica la magnitud y frecuencia de las vibraciones transmitidas al cuerpo entero, esta última se mantuvo constante en todos los casos, con un valor de 4.63E-05 Hz, que coincide con los datos obtenidos para el sistema mano-brazo, lo cual sugiere que los tiempos de exposición similares en ambos sistemas de vibración (6 horas) generan una frecuencia predecible.

Tabla 7. *Magnitud y frecuencia de vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero*

Magnitud y frecuencia de vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero		
Cargo	**Magnitud**	**Frecuencia**
	Ejes ortogonales	Ejes ortogonales
	Cuerpo entero m/s^2	Cuerpo entero Hertz
Chofer de carga frontal	1,38	4,63E-05
Chofer de carga frontal	1,35	4,63E-05
Chofer de carga frontal	1,31	4,63E-05
Chofer de carga frontal	1,38	4,63E-05
Operador de tractor	1,38	4,63E-05
Operador de tractor	1,43	4,63E-05
Operador de tractor	1,35	4,63E-05
Operador de tractor	1,31	4,63E-05
Ayudante de tractor	1,38	4,63E-05
Ayudante de tractor	1,31	4,63E-05
Mecánico	1,35	4,63E-05
Mecánico	1,31	4,63E-05

Las vibraciones transmitidas al cuerpo entero se midieron en tres direcciones ortogonales: el eje x (espalda a pecho), el eje y (hombro a hombro) y el eje z (pies a cabeza). Las aceleraciones ponderadas por frecuencia mostraron que las vibraciones en los ejes x y y eran más intensas que en el eje z, lo que sugiere que las vibraciones se transmiten con mayor intensidad a través de la columna vertebral y los músculos del torso debido a la postura de los

trabajadores y el contacto directo con la maquinaria. Las vibraciones en la dirección pies-cabeza, aunque presentes, tuvieron un impacto menor.

La exposición a vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero mostrada en la tabla 8, se calculó ponderando las aceleraciones en los tres ejes ortogonales, y los datos indicaron que la intensidad de las vibraciones varía según el puesto de trabajo y las características de la maquinaria utilizada. Aunque las magnitudes de las vibraciones transmitidas al cuerpo entero son menores que las transmitidas al sistema mano-brazo, la exposición constante y las direcciones de las vibraciones podrían tener un impacto considerable en la salud de los trabajadores. De acuerdo a los resultados expuestos en la tabla 8, se observó que los choferes de carga frontal y los operadores de tractor, expuestos a vibraciones en los ejes x y y, podrían estar en mayor riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos y otros problemas relacionados con la vibración. Por lo tanto, el análisis sugiere que se debe continuar monitoreando estos niveles para comprender mejor los riesgos asociados con estas exposiciones.

Tabla 8. *Dirección de vibraciones mecánicas y cálculo de exposición transmitidas al cuerpo entero*

Cálculo de exposición a vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero*								
Puesto de trabajo	**Cargo**	**Población**	**Ejes ortogonales**					
			Cuerpo entero					
			Eje x (awx)	Eje y (awy)	Eje z (awz)	Ax(8)	Ay(8)	Az(8)
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,14	1,11	1,18	1,38	1,35	1,02
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,05	1,11	1,14	1,27	1,35	0,99
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,08	1,08	1,08	1,31	1,31	0,94
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,14	1,14	1,08	1,38	1,38	0,94
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,11	1,14	1,05	1,35	1,38	0,91
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,08	1,18	1,08	1,31	1,43	0,94
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,11	1,11	1,05	1,35	1,35	0,91
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,14	1,05	1,11	1,38	1,27	0,96
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	1,05	1,11	1,14	1,27	1,35	0,99
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	1,08	1,08	1,14	1,31	1,31	0,99
Taller mecánico	Mecánico	1	1,11	1,05	1,11	1,35	1,27	0,96
Taller mecánico	Mecánico	1	1,08	1,01	1,08	1,31	1,22	0,94

El análisis de los valores de exposición a vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero mostró que los valores de dosis mostrados en la atabla 9, superan en un 46,50% el límite recomendado, lo que podría generar riesgos para la salud física y mental de los trabajadores, destacando la urgencia de una evaluación más exhaustiva de la exposición a vibraciones. Además, el análisis por puesto de trabajo indicó que las exposiciones más altas se encuentran en el relleno sanitario y el taller mecánico, especialmente en los cargos de operador de tractor y mecánico, con exposiciones que superan los límites establecidos en un 17,8% y 18,6%, respectivamente.

Tabla 9. *Dosis de vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero*

Valor límite de exposición de vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero					
Puesto de trabajo	Cargo	Población	Ejes Ortogonales		
			Cuerpo entero		
			Valor límite	Valor obtenido A(8)	Dosis*
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,15	1,38	1,20
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,15	1,35	1,17
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,15	1,31	1,14
Relleno sanitario	Chofer de carga frontal	1	1,15	1,38	1,20
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,15	1,38	1,20
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,15	1,43	1,24
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,15	1,35	1,17
Relleno sanitario	Operador de tractor	1	1,15	1,31	1,20
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	1,15	1,38	1,20
Relleno sanitario	Ayudante de tractor	1	1,15	1,31	1,14
Taller mecánico	Mecánico	1	1,15	1,35	1,17
Taller mecánico	Mecánico	1	1,15	1,31	1,14

La Figura 1 muestra los valores máximos de exposición A(8) en m/s² a vibraciones mecánicas transmitidas al sistema mano-brazo por puesto de trabajo. Asimismo, los choferes de carga frontal, operadores de tractor, ayudantes de tractor y mecánicos presentan exposiciones superiores al límite permitido, con márgenes que varían entre un 17,39% y un 24,34%. En la Figura 2 se observan los valores máximos de exposición A(8) en m/s² a vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero por puesto de trabajo.

Figura 1. *Cargo con mayor presencia de vibraciones mecánicas en el sistema mano - brazo*

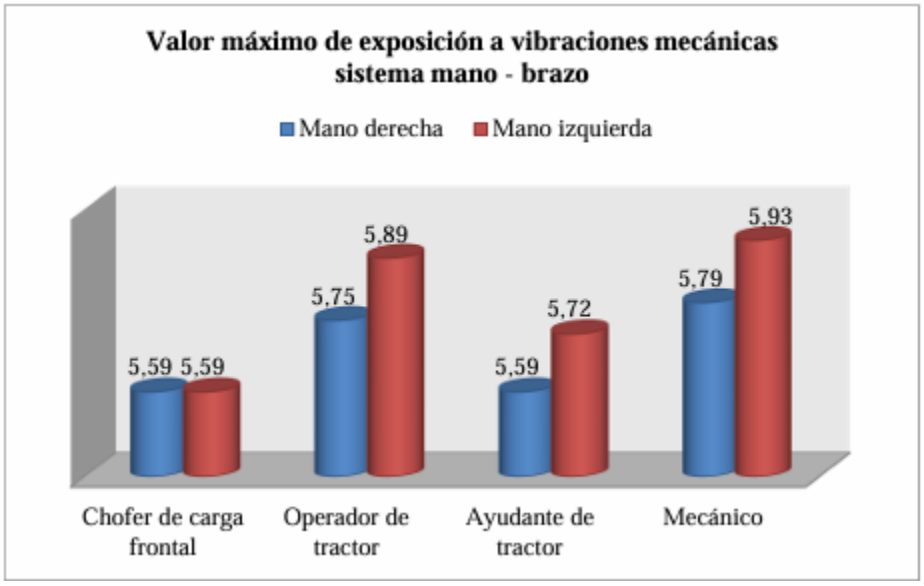
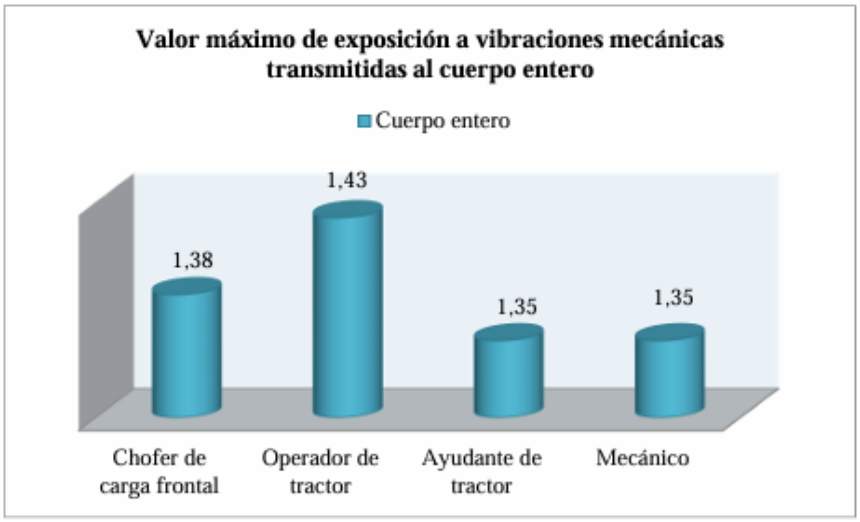


Figura 2. *Cargo con mayor presencia de vibraciones mecánicas transmitidas al cuerpo entero*



Estos resultados subrayan la necesidad de adoptar medidas preventivas urgentes para proteger la salud de los trabajadores, ya que la exposición prolongada a niveles elevados de vibraciones podría tener consecuencias graves para su bienestar. Es fundamental que se realice

un monitoreo continuo de los niveles de vibración en todos los puestos de trabajo expuestos, con el fin de realizar ajustes oportunos a las estrategias de prevención y protección. La revisión periódica de las mediciones permitirá ajustar las normativas internas y garantizar que las condiciones laborales se mantengan dentro de los límites seguros establecidos por las normativas internacionales.

Conclusiones

El análisis de la exposición a vibraciones mecánicas en el personal que opera maquinaria pesada en la ciudad de Ambato ha revelado que estos trabajadores enfrentan riesgos significativos de salud debido a la exposición prolongada a vibraciones tanto en el sistema mano-brazo como en el cuerpo entero. Los resultados del estudio confirmaron que los niveles de vibración exceden los límites establecidos por las normativas internacionales, lo que incrementa la probabilidad de que los operadores desarrollen trastornos musculoesqueléticos, fatiga crónica y problemas circulatorios. Este hallazgo resalta la urgencia de adoptar medidas efectivas para mitigar los riesgos asociados.

El análisis detallado de las vibraciones mecánicas transmitidas al sistema mano-brazo y al cuerpo entero, realizado conforme a las normas ISO 5349.2: 2001 y NTP 839, ha evidenciado que la magnitud de las vibraciones experimentadas por los trabajadores de maquinaria pesada supera significativamente los límites de exposición recomendados. En todos los puestos analizados, las aceleraciones de las vibraciones fueron considerablemente altas, destacándose los puestos de chofer de carga frontal y operador de tractor, con valores que alcanzaron hasta 6,81 m/s². Además, se constató que la frecuencia de las vibraciones fue constante en todos los casos, siendo 4,63 x 10^-5, debido a la exposición continua durante jornadas laborales similares en duración.

El estudio ha identificado que las dosis de vibración transmitidas al sistema mano-brazo superan el límite de exposición de 5 m/s², lo que representa un riesgo significativo para la salud de los trabajadores. Esto es especialmente crítico para los operadores de maquinaria pesada, ya que la exposición prolongada puede dar lugar a trastornos musculoesqueléticos y neuropatías, en particular el síndrome de vibración mano-brazo. Además, las dosis críticas e intolerables de vibración transmitidas al cuerpo entero fueron evidentes en los puestos más expuestos, con valores que sobrepasaron el límite de 1,15 m/s², lo cual demuestra la necesidad urgente de aplicar medidas correctivas tanto en la maquinaria como en los puestos de trabajo. En términos de riesgos específicos, los puestos más afectados son los ocupados por el operador de tractor, ayudante de tractor y mecánico, donde las dosis de exposición a vibraciones fueron particularmente altas. En estos puestos, las vibraciones en las direcciones espalda-pecho y hombro-hombro fueron las más intensas, especialmente en el chofer de carga frontal y el operador de tractor, lo que resalta la urgencia de tomar medidas preventivas y correctivas para mitigar los efectos de estas vibraciones en la salud de los trabajadores.

La magnitud de estos riesgos resalta la importancia de implementar medidas de control de riesgos inmediatas, como la mejora de la ergonomía en los puestos de trabajo, la incorporación de tecnologías para la absorción de vibraciones, y el mantenimiento adecuado de la maquinaria. Es esencial que las empresas inviertan en equipos que minimicen la exposición a vibraciones mecánicas, como sistemas de suspensión avanzados y asientos ergonómicos, para proteger la salud de los trabajadores y prevenir enfermedades ocupacionales derivadas de la exposición continua. Este estudio subraya la necesidad de que las autoridades competentes y las empresas del sector industrial implementen programas de monitoreo y control de vibraciones más rigurosos. Además, se debe garantizar la formación continua de los trabajadores sobre el uso adecuado de la maquinaria y la adopción de prácticas laborales que minimicen el impacto de las vibraciones. La implementación de estas medidas no solo mejorará las condiciones

laborales y la seguridad en el trabajo, sino que también reducirá los costos asociados con el tratamiento de trastornos musculoesqueléticos y otras afecciones de salud relacionadas con la exposición a vibraciones mecánicas.

Los resultados obtenidos reflejan la urgencia de implementar medidas de control de riesgo para proteger la salud de los trabajadores de maquinaria pesada, mejorando la ergonomía y aplicando tecnologías que permitan mitigar las vibraciones mecánicas. Esto es esencial para asegurar el bienestar y la seguridad de los trabajadores en el área de seguridad industrial, evitando así posibles trastornos musculoesqueléticos y otros problemas de salud derivados de la exposición continua a vibraciones.

Referencias bibliográficas

Aguilera, H. N., Gallegos, F. L., Rea, A. M., & Nilo, M. (2021). Casco inteligente de seguridad industrial para la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales. *Revista InGenio*, *4*(1), Article 1. https://doi.org/10.18779/ingenio.v4i1.363

Araya, T., & Medina, L. (2020). Determinación de la exposición ocupacional a vibraciones en cuerpo entero en conductores de autobús en una parte del Gran Área Metropolitana, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, *33*(1), 88-98. https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5024

Arias, G., & Martínez, C. (2021). *Guía metodológica para la evaluación de vibraciones en mano-brazo*. Programa Editorial Universidad Autónoma de Occidente.

Blanco, E., Carrillo, C., Racini, A., Ramírez, R., Vargas, L., & Roldán, J. (2020). *Ejercicio de actualización de plan de estudios de un programa de Ingeniería Mecánica*. *41*(30), 13.

Cortez, R., & Defranc, P. (2022). PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LAS ORGANIZACIONES: ESTUDIO DE CASOS: UNIDAD ACADÉMICA SEGURIDAD. *ACVENISPROH Académico*. https://doi.org/10.47606/ACVEN/ACLIB0013

Cortez, R., & Sánchez, R. (2021). Educación Híbrida en Ingeniería Mecánica e Industria 4.0. *Revista Electrónica: Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional*, *24*, 8.

Domínguez, A., Carlos, J., Pastor, R., Rojo, J., Barrios, S., & Domínguez, F. J. (2021). Efectos de 12 semanas de entrenamiento vibratorio de cuerpo completo sobre el miedo a caerse en mujeres sedentarias con fibromialgia. *e-Motion: Revista de Educación, Motricidad e Investigación*, *17*, Article 17. https://doi.org/10.33776/remo.vi17.5408

Losilla, J. C. (2020). Efectos de la exposición a vibraciones globales: Medidas técnicas de prevención y vigilancia de la salud. Caso práctico. *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*, *16*, 54-59.

Paredes, L. N., Sainea, Y. M., Gonzalez, Y. P., & Marquez, Y. (2022). Seguridad y salud en el trabajo para operarios de maquinaria pesada en la industria de la construcción. *Revista Investigación en Salud Universidad de Boyacá*, *9*(1), Article 1. https://doi.org/10.24267/23897325.747

Santos, E., Allen, C., Ramos, S., Varela, M., Concepción, L., & Moreno, R. (2024). Las vibraciones y sus efectos en la salud de los operadores de equipo pesado. *Revista Semilla Científica*, *6*, Article 6. https://doi.org/10.37594/sc.v1i6.1623