

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES

UCC – CAMPUS LEON



COORDINACIÓN DE INGENIERIA

**Curso de culminación en Proyecto de Investigación para optar al
título de Ingeniería Industrial.**

TEMA

**PROPUESTA DE MEJORA DE PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN
CAMIONES ARTICULADOS HM400 KOMATSU DE LA EMPRESA CONEQUISA
MINA EL LIMON EN EL PERIODO ENERO A ABRIL 2024.**

Elaborado por

- ✓ Yosseling Avigail Benavidez Casco
- ✓ José Manuel Chan Uriarte
- ✓ Juan Francisco Escoto Dávila

Tutor Técnico y Metodológico

Ing. Maxwell Enrique Altamirano Ramos

León, 26 de enero del 2025

COORDINACIÓN DE INGENIERÍAS

Culminación de Pensum

Proyecto de Graduación para optar al título de grado en Ingeniería Industrial

AVAL DEL TUTOR

El Ing. Maxwell Enrique Altamirano Ramos, tienen a bien:

CERTIFICAR

Que: El Proyecto de Graduación con el título: “PROPUESTA DE MEJORA DE PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN CAMIONES ARTICULADOS HM400 KOMATSU DE LA EMPRESA CONEQUISA MINA EL LIMON EN EL PERIODO ENERO A ABRIL 2024”, elaborado por los estudiantes: Br. Benavidez Casco Yosseling Avigail, Br Chan Uriarte José Manuel y Br. Escoto Dávila Juan Francisco, ha sido dirigida por el suscrito

Al haber cumplido con los requisitos académicos y metodológicos del Proyecto de Graduación, damos de conformidad a la presentación de dicho trabajo de culminación de estudios para proceder a su lectura y defensa, de acuerdo con la normativa vigente del Reglamento de Régimen Académico Estudiantil y Reglamento de Investigación, Innovación y Transferencia.

Para que conste donde proceda, se firma la presente en UCC Campus León a los 26 días del mes de enero del 2025.

Ing. Maxwell Enrique Altamirano Ramos

Tutor Técnico y Metodológico

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por haberme enseñado la importancia del esfuerzo y la perseverancia. Sin su confianza y sacrificio, este logro no hubiera sido posible.

A mis amigos, por su compañía, por ser mi refugio en los momentos de incertidumbre y por siempre creer en mí.

A mis profesores, por su dedicación y por compartir conmigo su conocimiento y pasión. Gracias por motivarme a seguir adelante.

A todos los que, de alguna forma, me han inspirado a lo largo de este camino. Este trabajo es también suyo.

Yosseling Avigail Benavidez Casco

Dedicatoria

A quienes creyeron en mí antes que yo misma, por su apoyo incansable y su capacidad para ver más allá de mis dudas. A mis padres, cuya fe y sacrificio me han enseñado que la perseverancia es la llave que abre todas las puertas.

A mis amigos, por ser mi refugio en los días de tormenta y mi alegría en los días soleados, recordándome que el viaje vale tanto como el destino.

A mis profesores y mentores, por compartir conmigo su conocimiento y por empujarme a explorar nuevos horizontes, siempre con paciencia y sabiduría.

Y, finalmente, a mi yo del futuro, para que nunca olvide el esfuerzo, las luchas y las victorias de este camino, y para que continúe buscando siempre más, sin miedo a los nuevos desafíos.

José Manuel Chan Uriarte

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que, de alguna u otra manera, han sido fundamentales en la culminación de este proyecto.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y enseñanzas que me han permitido llegar hasta aquí. Su confianza en mí siempre ha sido la mayor fuente de motivación.

A mis profesores y asesores, por su guía, paciencia y valiosas aportaciones durante todo el proceso de investigación. Sin su conocimiento y compromiso, este proyecto no hubiera sido posible.

A mis amigos, por su comprensión y compañía, especialmente en los momentos de mayor desafío, cuando el camino parecía incierto.

Finalmente, a todos aquellos que han creído en mí, quienes con su presencia y apoyo han hecho de este esfuerzo una experiencia enriquecedora y transformadora.

Este trabajo es tan mío como de todos ustedes.

Juan Francisco Escoto Dávila

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.1 Antecedentes y Contexto del Problema	8
1.1.1 Contexto del problema	8
1.1.2 Antecedentes del problema	8
1.1.2.1 Internacionales	11
1.1.2.2 Antecedentes nacionales	12
1.1.2.3 Antecedentes locales	14
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo General	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.2 Descripción del problema y preguntas de investigación	18
1.3 Justificación	19
1.4 Alcance y Limitaciones	20
1.4.1 Limitaciones	20
1.4.2 Alcance	20
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL	21
2.1 Marco Teórico	21
2.1.1 Mantenimiento Industrial	21
2.1.2 Prácticas y procedimientos utilizados para mantener las máquinas y equipos en condiciones operativas óptimas	23
2.1.3 Tipos de Mantenimiento: Mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo	26
2.1.4 La importancia del camión minero en la industria	28

2.1.5 Marco Conceptual	31
2.2 Marco Contextual Institucional.....	31
2.3 Marco Legal	33
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLOGICO	35
3.1 Tipo de Investigación	35
3.2 Área de estudio.....	35
3.3 Unidades de análisis: Población y Muestra	36
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
3.5 Confiabilidad y validez de instrumentos.....	38
3.6 Procesamiento de datos y análisis de la información	39
3.7 Operacionalización de variables	40
CAPÍTULO IV: DIAGNOSTICO SITUACIONAL	43
4.1 Diagnostico de fallas y componentes críticos que mayor impacto en el desempeño de los camiones Komatsu HM400.....	43
4.1.1 Datos generales	43
4.1.2 Opinión de los trabajadores	48
CAPITULO 5 ESTUDIOS DE INGENIERIA.....	69
5.1 Análisis de los principales problemas (diagrama de Pareto).....	69
5.2 Diagrama de Ishikawa Propuesto	71
5.3 Auditoría de Mantenimiento de Camiones Komatsu HM400 de la empresa CONEQUISA Mina El Limón octubre 2024.....	74
CAPÍTULO 6 PROPUESTA.....	97
6.1 Propuestas de protocolos claros y detallados para la detección temprana de fallas, minimizando así tiempos de inactividad y costos de reparación.	97
6.2 Protocolo de Inspección Semanal	99

6.3 Diseño de un programa de capacitación integral para el personal de mantenimiento, enfocándose en las nuevas herramientas y procedimientos establecidos.....	100
6.4 Propuesta de mantenimiento.....	103
CAPITULO VII: CONCLUSIONES	105
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES	107
Bibliografía	108
ANEXOS O APENDICES	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Marco Legal	33
Tabla 2 Alfa de Cronbach	38
Tabla 3 Operacionalización de Variables.....	40
Tabla 4 Detención de fallas de los camiones.....	69
Tabla 5 Acciones a Implementar.....	74
Tabla 6 Cronograma de Auditoría.....	76
Tabla 7 Auditoría de Mantenimiento	79
Tabla 8 Protocolo de Inspección General.....	98
Tabla 9 Protocolo de Inspección Semanal	99
Tabla 10 Programa de capacitación integral	100
Tabla 11 Módulo de capacitación	102
Tabla 12 Propuestos.....	103
Tabla 13 Años de experiencia en mantenimiento de camiones	123
Tabla 14 Horas de capacitación en general	123
Tabla 15 Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido ...	124
Tabla 16 Cuantificación de fallas de los camiones	124
Tabla 17 Tiempo promedio de reparación	125
Tabla 18 Procedimientos documentados.....	125
Tabla 19 Detección de fallas.....	126

Tabla 20	Cantidad de horas de capacitación al año	126
Tabla 21	Calificación de las capacitaciones recibida	126
Tabla 22	Instalación de sensores	127
Tabla 23	Frecuencia se generan y gestionan alertas de fallos a tiempo	127
Tabla 24	Tiempo que los camiones Komatsu HM400 están operativos	128
Tabla 25	Costo de mantenimiento mensual	128
Tabla 26	Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido ...	129
Tabla 27	Utilidad de la capacitación recibida en términos de conocimiento práctico	129
Tabla 28	Mantenimiento de los camiones Komatsu HM400	130
Tabla 29	Experiencia y conocimiento en el uso de sensores y sistemas de monitoreo continuo	130
Tabla 30	Mantenimiento predictivo mejorará la eficiencia del mantenimiento de los camiones	131
Tabla 31	Plan de mantenimiento predictivo	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mantenimiento Industrial	22
Figura 2	Mantenimiento preventivo	23
Figura 3	Como funciona el tren de fuerza de un camión Komatsu	27
Figura 4	Macro localización de la Mina El Limón	35
Figura 5	> Micro localización de la Mina El limón	36
Figura 6	Edad de los trabajadores	44
Figura 7	Años de experiencia en mantenimiento de camiones	45
Figura 8	Horas de capacitación en general	46
Figura 9	Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido	48
Figura 10	Cuantificación de fallas de los camiones	49
Figura 11	Tiempo promedio de reparación	51
Figura 12	Procedimientos documentados	52
Figura 13	Detección de fallas	53
Figura 14	Cantidad de horas de capacitación al año	54
Figura 15	Calificación de las capacitaciones recibida	56

Figura 16	Instalación de sensores.....	57
Figura 17	Frecuencia se generan y gestionan alertas de fallos a tiempo.....	58
Figura 18	Tiempo que los camiones Komatsu HM400 están operativos.....	60
Figura 19	Costo de mantenimiento mensual.....	61
Figura 20	Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido ...	62
Figura 21	Utilidad de la capacitación recibida en términos de conocimiento práctico	63
Figura 22	Mantenimiento de los camiones Komatsu HM400	64
Figura 23	Experiencia y conocimiento en el uso de sensores y sistemas de monitoreo continuo.....	65
Figura 24	Mantenimiento predictivo mejorará la eficiencia del mantenimiento de los camiones.....	67
Figura 25	Plan de mantenimiento predictivo	68
Figura 26	Detención de fallas de los camiones	70
Figura 27	Fallo en el sistema hidráulico	71
Figura 28	Fallo en el motor.....	72
Figura 29	Fallo en los sensores	73
Figura 30	Auditoria in situ	86
Figura 31	Evaluación de los KPI's	87
Figura 32	Auditoria in situ (1).....	88
Figura 33	Auditoria in situ (2).....	89
Figura 34	Auditoria in situ (3).....	90
Figura 35	Auditoria in situ (4).....	90
Figura 36	Auditoria in situ (5).....	91
Figura 37	Auditoria in situ (6).....	92
Figura 38	Auditoria in situ (7).....	92
Figura 39	Auditoria in situ (8).....	93
Figura 40	Auditoria in situ (9).....	94
Figura 41	Auditoria in situ (10).....	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 Encuesta para trabajadores	109
Anexos 2 Ficha de cotejo	114
Anexos 3 Checklist de Auditoría de Mantenimiento	119
Anexos 4 Tablas cruzadas.....	123



RESUMEN

La propuesta presentada busca optimizar el plan de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la mina El Limón de CONNEQUISA. El objetivo principal es aumentar la disponibilidad de los equipos, reducir los costos operativos y mejorar la seguridad en las operaciones mineras.

A través de un estudio detallado, se ha identificado la necesidad de implementar un sistema de mantenimiento predictivo. Este sistema permitiría detectar y prevenir fallas de manera temprana, reduciendo así el tiempo de inactividad de los equipos. Sin embargo, la implementación de esta tecnología requiere de una inversión significativa y de una capacitación especializada del personal.

El estudio también reveló que el personal de mantenimiento está dispuesto a adoptar nuevas tecnologías y herramientas. Sin embargo, se identificaron algunas barreras, como la resistencia al cambio y la necesidad de una mayor capacitación. Para superar estos obstáculos, es fundamental contar con un plan de capacitación detallado y personalizado.

En conclusión, la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo representa una oportunidad para mejorar significativamente la eficiencia y la seguridad de las operaciones mineras en Connequisa. Al abordar los desafíos identificados y siguiendo las recomendaciones propuestas, la empresa podrá maximizar el retorno de su inversión y mejorar la competitividad de sus operaciones.

Palabras clave:

Mantenimiento predictivo, Camiones mineros, Komatsu HM400, Minería, Optimización de procesos, Reducción de costos



SUMMARY

The proposal presented seeks to optimize the maintenance plan for the Komatsu HM400 trucks at the El Limón mine in CONNEQUISA. The main objective is to increase equipment availability, reduce operating costs and improve safety in mining operations.

Through a detailed study, the need to implement a predictive maintenance system has been identified. This system would allow failures to be detected and prevented early, thus reducing equipment downtime. However, the implementation of this technology requires a significant investment and specialized training of personnel.

The study also revealed that maintenance personnel are willing to adopt new technologies and tools. However, some barriers were identified, such as resistance to change and the need for further training. To overcome these obstacles, it is essential to have a detailed and personalized training plan.

In conclusion, the implementation of a predictive maintenance system represents an opportunity to significantly improve the efficiency and safety of mining operations in Connequisa. By addressing the identified challenges and following the proposed recommendations, the company will be able to maximize the return on its investment and improve the competitiveness of its operations.

keywords:

Predictive maintenance, Mining trucks, Komatsu HM400, Mining, Process optimization, Cost reduction



INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enfoca en la optimización del plan de mantenimiento industrial de los camiones articulados Komatsu HM400 de la empresa Conequisa, específicamente en la mina El Limón durante el período de enero a abril de 2024. Esta iniciativa surge de la necesidad de maximizar la disponibilidad de estos equipos, reducir los costos operativos asociados a su mantenimiento y mejorar la seguridad en las operaciones mineras.

En el contexto actual de la industria minera, los camiones articulados juegan un papel fundamental en el transporte de material, siendo su eficiencia y disponibilidad factores críticos para la productividad de la mina. Sin embargo, estos equipos están expuestos a condiciones de trabajo extremas que pueden generar averías y paradas no planificadas, afectando la producción y aumentando los costos de mantenimiento.

Históricamente, los planes de mantenimiento industrial han evolucionado desde enfoques reactivos, donde se actuaba sobre los equipos una vez que presentaban fallas, hasta enfoques proactivos, donde se busca anticipar y prevenir las averías mediante técnicas de mantenimiento predictivo y preventivo. En este sentido, el presente trabajo se enmarca en la búsqueda de un plan de mantenimiento optimizado que permita minimizar el tiempo de inactividad de los camiones Komatsu HM400, maximizar su vida útil y garantizar la seguridad de los operarios.



El objetivo principal de este estudio es proponer un plan de mantenimiento optimizado para los camiones Komatsu HM400 de Conequisa, que permita aumentar su disponibilidad, reducir los costos operativos y mejorar la seguridad en la mina El Limón durante el periodo de enero a abril de 2024. Para lograr este objetivo, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las prácticas de mantenimiento actuales, se identificarán las áreas de mejora y se propondrán estrategias de mantenimiento innovadoras que incorporen las últimas tecnologías y tendencias en el campo del mantenimiento industrial.

Este trabajo se ha estructurado en los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I: Planteamiento del Proyecto

En este capítulo se aborda la problemática de la gestión del mantenimiento industrial en camiones articulados Komatsu HM400 de la empresa Conequisa, específicamente en la mina El Limón, durante el periodo de enero a abril de 2024. Se justifica la necesidad de optimizar el plan de mantenimiento actual, destacando la relevancia de estos equipos para la operación minera y los desafíos asociados a su mantenimiento. Se presenta el problema de investigación, los objetivos generales y específicos que se buscan alcanzar, el alcance y la delimitación del estudio, y se contextualiza el proyecto dentro del marco teórico existente sobre el mantenimiento industrial.

CAPÍTULO II: Marco Teórico

Este capítulo se dedica a la revisión de la literatura científica y técnica relacionada con el mantenimiento industrial de equipos pesados, con énfasis en camiones articulados y modelos Komatsu HM400. Se analizan los conceptos clave, los modelos de gestión del mantenimiento, las técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, así como las mejores prácticas aplicables a la industria minera. Se exploran las últimas tendencias y tecnologías en el campo del mantenimiento, tales como el mantenimiento basado en la condición, el análisis de



fallas y el uso de herramientas de software para la gestión del mantenimiento. Se presenta un marco teórico sólido que fundamenta las decisiones y propuestas del proyecto.

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

En este capítulo se describe la metodología empleada para llevar a cabo el proyecto. Se detalla el tipo de investigación, el diseño de investigación, las técnicas de recolección de datos (entrevistas, encuestas, revisión de registros de mantenimiento, etc.) y los instrumentos de medición utilizados. Se justifica la elección de cada uno de estos elementos metodológicos, explicando cómo se adaptan a las características del problema de investigación y a los objetivos del proyecto.

CAPÍTULO IV: Diagnóstico Situacional

Este capítulo ofrece un análisis detallado de la situación actual del mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la mina El Limón. Se identifican las principales deficiencias y limitaciones del plan de mantenimiento actual, tales como la falta de un enfoque preventivo, la inadecuada gestión de repuestos, la falta de capacitación del personal de mantenimiento, entre otros. Se evalúa el impacto de las averías en la producción, los costos asociados al mantenimiento y la disponibilidad de los equipos. Se identifican las áreas de oportunidad para mejorar el plan de mantenimiento.

CAPÍTULO V: Propuesta de Mejora del Plan de Mantenimiento

En este capítulo se presenta el plan de mantenimiento optimizado para los camiones Komatsu HM400, resultado del análisis diagnóstico y la revisión teórica. Se detallan las estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, incluyendo la definición de tareas de mantenimiento, la frecuencia de ejecución, los recursos



necesarios y los procedimientos a seguir. Se propone un sistema de gestión de repuestos y herramientas, así como un programa de capacitación para el personal de mantenimiento. Se establecen indicadores de gestión para medir la efectividad del plan de mantenimiento.



CAPÍTULO VI: Análisis de Resultados

Este capítulo presenta los resultados de la evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental del plan de mantenimiento optimizado. Se analizan los beneficios esperados en términos de aumento de la disponibilidad de los equipos, reducción de los costos operativos, mejora de la seguridad y disminución del impacto ambiental. Se realiza un análisis de costo-beneficio para determinar la rentabilidad de la implementación del plan de mantenimiento optimizado.

CAPÍTULO VII: Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se exponen las conclusiones más relevantes del estudio, destacando los principales hallazgos y contribuciones del proyecto. Se evalúa en qué medida se cumplieron los objetivos planteados y se discuten las limitaciones del estudio. Se formulan recomendaciones para futuras investigaciones y para la implementación efectiva del plan de mantenimiento optimizado, incluyendo sugerencias para la gestión del cambio y la mejora continua del plan.



CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes y Contexto del Problema

1.1.1 Contexto del problema

Los camiones Komatsu HM400 son esenciales en las operaciones mineras de CONNEQUISA, ya que juegan un papel clave en el transporte de material. Estas unidades son vitales para mantener la productividad y la eficiencia en la extracción y traslado de recursos dentro de la mina. Sin embargo, la eficiencia y disponibilidad de **estos equipos se ven comprometidas por un plan de mantenimiento que presenta varias deficiencias**. Entre estas se encuentran la falta de un cronograma de mantenimiento preventivo adecuado, una capacitación insuficiente del personal encargado del mantenimiento y la escasez de repuestos críticos. Además, la ausencia de un sistema de monitoreo en tiempo real para detectar y prevenir fallos contribuye a tiempos de inactividad no programados. Todos estos factores combinados resultan en una disminución de la capacidad operativa de los camiones, lo que afecta directamente la productividad y los costos operativos de la empresa.

Por lo tanto, es evidente que es necesario revisar y optimizar el plan de mantenimiento para garantizar la continuidad y eficiencia de las operaciones mineras. La implementación de mejores prácticas de mantenimiento y la adopción de tecnologías avanzadas pueden mejorar significativamente la disponibilidad y el rendimiento de estos equipos, asegurando el éxito sostenido de las actividades mineras de CONNEQUISA.

1.1.2 Antecedentes del problema

Las raíces de Komatsu se remontan hace más de 100 años, en un frondoso bosque de Japón que albergaba una mina de cobre, vital para una comunidad cercana. El fundador, Meitaro Takeuchi, era un empresario con una extraordinaria visión humanitaria, comprometido con mejorar la calidad de vida de la comunidad, desarrollar las generaciones futuras y crecer con las necesidades de la sociedad.



Dedicado a los ideales de la educación para el pueblo y decidido a traer a Japón la última tecnología industrial del extranjero para ayudar a construir una nación competitiva e industrial, Takeuchi construyó una empresa nutriendo a su comunidad (Komatsu, 2024)

Cuando Takeuchi se hizo cargo de la mina de cobre de Yusenji, cerca de la ciudad de Komatsu (Japón), en 1902, financió proyectos para mecanizar los procesos mineros y enseñar nuevas aptitudes a la gente de la comunidad. Creó escuelas, envió a su personal al extranjero para que aprendiera las últimas técnicas y compró máquinas para ayudar a mejorar la eficiencia de la mina. Al mismo tiempo, financió y apoyó un departamento de ciencia e ingeniería en la Universidad de Waseda, en Tokio, así como una escuela industrial local para mejorar significativamente las oportunidades y opciones educativas en las zonas rurales cercanas a la ciudad de Komatsu..

La visión y los sólidos principios rectores que guiaron a Takeuchi han resistido el paso del tiempo. A lo largo de los años, la inversión continua de Komatsu en capacidades básicas y las adquisiciones estratégicas han conectado a personas inteligentes y diversas con tecnologías de vanguardia, gracias a la convicción común de que las asociaciones son la mejor manera de enfrentar los desafíos y satisfacer las necesidades de la sociedad.

La filosofía de Komatsu se transmite de generación en generación a través de nuestros principios, estrategias, The Komatsu Way y la creencia de que la responsabilidad social empresarial es parte de nuestro negocio principal y del valor que creamos. En las comunidades de todo el mundo, Komatsu sigue retribuyendo a través de asociaciones, voluntariado y apoyo directo. Queremos desempeñar un papel activo para apoyar el éxito a largo plazo de la sociedad mediante esfuerzos sostenibles que van más allá de Komatsu. En conformidad con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, nos centramos en reducir las



emisiones de CO₂, aumentar el uso de energías renovables, conservar el agua y reducir los residuos (Komatsu, 2024).

La minería ha sido una actividad económica fundamental en la región, experimentando un crecimiento notable en las últimas décadas. La introducción de equipos avanzados, como los camiones Komatsu HM400, ha sido esencial para mejorar la eficiencia operativa.

Los camiones Komatsu HM400 son una de las innovaciones más recientes en el sector minero, diseñados para aumentar la capacidad de carga y reducir los tiempos de ciclo. Su uso en CONNEQUISA ha permitido optimizar el transporte de materiales, aunque también ha traído nuevos retos en cuanto al mantenimiento.

Históricamente, la industria minera ha dependido de programas de mantenimiento preventivo y correctivo. Sin embargo, la adopción de prácticas más modernas y tecnológicas, como el mantenimiento predictivo, ha sido lenta debido a la falta de capacitación y recursos adecuados.

La formación continua del personal de mantenimiento es vital para garantizar la eficiencia operativa de los equipos. A lo largo del tiempo, la inversión en capacitación específica para el manejo y mantenimiento de equipos avanzados ha sido insuficiente en muchas operaciones mineras.

El uso de sistemas de monitoreo en tiempo real para el diagnóstico y prevención de fallos ha demostrado ser efectivo en otras industrias. Sin embargo, su implementación en la minería, especialmente en el caso de CONNEQUISA, ha sido limitada, lo que afecta la capacidad de detectar y prevenir problemas antes de que se presenten.

Los tiempos de inactividad no programados pueden impactar significativamente la productividad y los costos operativos. Experiencias previas en la industria han mostrado que la falta de un plan de mantenimiento efectivo puede resultar en pérdidas económicas considerables.



Estos antecedentes resaltan la necesidad de mejorar el plan de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en CONNEQUISA, adoptando nuevas prácticas y tecnologías para asegurar la disponibilidad y eficiencia de estos equipos esenciales para las operaciones mineras.

1.1.2.1 Internacionales

Teniendo en cuenta a Donaire (2016) titulada “Mejora de los procedimientos del mantenimiento preventivo para la reducción del costo de intervención en grúas y descortezadoras, con el objetivo de reducir los costos de intervención una planta de electrolisis en la ciudad de Lima.” Encontrando que el estudio realizado a los procedimientos de mantenimiento preventivo en grúas y descortezadoras, pudo determinar un impacto significativo en los costos de intervención, como también en las funciones de programación y planeamiento, función operacional de las grúas y descortezadoras relacionadas a la producción, la confiabilidad operativa de las mismas y para finalizar la productividad de las máquinas. Concluyendo que la mejora en los procedimientos de mantenimiento preventivo, si tiene un impacto positivo en la mejora de los indicadores a ser evaluados en el presente proyecto de investigación (Donayre, 2016).

Cuzma en el año 2016 titulada “Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa LATERCERS.A.C.” Que tenía por objetivo general proponer un mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa LATERCER S.A.C. Teniendo como principales conclusiones De un promedio de quince paradas mensuales en línea de producción. Se observó un promedio de 3 a 8 averías mensuales en la máquina molino de tierra y 4 a 6 en la máquina amasadora, lo cual tiene un número de 106,5 y 81 horas perdidas, por paradas en dicho proceso. A través de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo de las diferentes máquinas, el número de paradas se debe reducir a un promedio de dos y como máximo a cuatro paradas mensual,



reduciendo en un 80% el número de paradas en toda la línea de producción. (Gúzman, 2016).

Antiquera, (2014) en su tema de investigación “Propuesta de reducción de costos asociados a la flota de transporte en minas Open Pit: Proceso de mantención de camiones en la gran minería”, La presente investigación busca diseñar una propuesta para reducir costos en las empresas mineras, específicamente en el proceso de mantenimiento de camiones mineros, mediante la utilización de un modelo de gestión empresarial llamado Mantenimiento Productivo Total (TPM). Todo ello, con el fin de entregar una herramienta a las empresas del sector minero, para que se puedan anticipar a la variabilidad del precio del Cobre. El objetivo de ésta investigación es desarrollar estrategias que produzcan una ventaja competitiva, sostenible en materia de costos, durante periodos de incertidumbre para las empresas mineras (Antiquera, 2014).

1.1.2.2 Antecedentes nacionales

El primer antecedente nacional

Fue realizado por el bachiller Manyel Rafael García Díaz en el II semestre del año 2018 con el tema “PLAN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN EL BENEFICIO LOS TORREZ, EN EL DEPARTAMENTO DE MATAGALPA” el objetivo de esta tesis es realizar un plan de mantenimiento preventivo en el área de producción del beneficio los Torrez, en el departamento de Matagalpa.

(García Díaz, 2019). Esta tesis aporta en la elaboración ya que brinda pautas e instrumentos de medición para llevar a cabo un plan de mantenimientos en empresas que tienen máquinas en operación o líneas de producción.

El segundo antecedente nacional Fue realizado por los bachilleres Gordiano José Arauz Valdivia, Judier Antonio Rodríguez Chavarría en el I semestre del año 2021 con el tema “PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA FLOTA VEHICULAR DE LA EMPRESA CUBAS ELÉCTRICAS S.A



PLANTEL SUR UBICADA EN LA CIUDAD DE ESTELÍ” el objetivo de esta tesis es realizar una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para una flota vehicular, el enfoque fue de carácter mixta, ya que es la forma en la que se aproximó al objeto de estudio, debido a que se realizó un diagnóstico, el método es observacional, también es descriptivo por que se aplicaron instrumentos para describir la rentabilidad económica. Los resultados obtenidos fueron que el 70% del mantenimiento es correctivo, las áreas de trabajos no son específicas, los mantenimientos de la flota vehicular son cambio de aceite, filtro, engrase, aceite de hidráulico y llantas, se determinó la factibilidad económica en la propuesta (Arauz Valdivia & Rodríguez Chavarría, 2021). Esta tesis aporta en el conocimiento de los tipos de mantenimiento y elaboración de presupuesto para determinar la factibilidad en relación de beneficio costo en una flota vehicular.

El tercer antecedente fue realizado por los bachilleres María José Gutiérrez Martínez, Marvin Francisco Gómez Hernández en 17 de junio del año 2021 con el tema “PLAN DE MEJORA PARA PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS EN AL ÁREA DE MANTENIMIENTO VEHICULAR DE UNA EMPRESA DE REPUESTOS AUTOMOTRICES UBICADA EN EL DISTRITO L DE LA ZONA URBANA DE MANAGUA, NICARAGUA” con el objetivo de elaborar un plan de mejora de los procesos y procedimientos del área de mantenimiento vehicular en una empresa de repuestos, con el fin de dar respuesta a los objetivos descriptiva, transversal, aplicada explicativa, se detalla cada uno de los cargos presentes en la empresa así mismo la deficiencia por cada una de las áreas y proponen un plan de mejora para el plan de gestión de mantenimiento (Gutiérrez Martínez & Gómez Hernández, 2021). Aportará para estructurar el plan de mantenimiento de tal manera que las partes involucradas desempeñen el trabajo de forma satisfactoria.



1.1.2.3 Antecedentes locales

El primer antecedente local Fue realizado Br. Suárez Picado, Brenda María, Br. Sáenz Hernández, Esther del Carmen y Br. Lucas Reyes, Julio César (2023), lleva como titulo, PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA GENERAL DE LOS EQUIPOS SOPLADORA Y ETIQUETADORA DE LA LÍNEA KHS DE “COMPAÑÍA CERVECERA DE NICARAGUA”, MANAGUA JULIONOVIEMBRE 2023, el proyecto se basa en Optimizar la productividad de la línea de envasado de bebidas carbonadas de la Compañía Cervecera de Nicaragua, dedicada al soplado, etiquetado y embalado de botellas plásticas.

El trabajo es de tipo descriptivo, ya que se enfoca en hacer un informe detallado sobre el problema para tener una visión clara El problema en dicha empresa es la puesta en marcha de dos máquinas nuevas que se adquirieron y llegaron incompletas de fábricas, con manuales operativos en otro idioma y que no tienen ningún soporte técnico por parte del fabricante, provocando así un número elevado de paros y una baja en el indicador principal de la empresa (EGE).

De acuerdo con el plan de mantenimiento autónomo que se ha puesto en marcha varios meses, se avanzó el 50% de las actividades propuestas, y se logró obtener que el EGE en la línea se ha elevado significativamente un 21.98%, paralelo a esto, cabe mencionar que la producción en esta línea inicio embotellando un promedio 771,785 LT / mes y hasta la fecha lleva produciendo 1,076,525 LT / mes. En base a los datos anteriores, se puede afirmar que la producción se ha elevado en un %. Después de lo mencionado, se puede concluir que si hubo un avance positivo en dicha línea de envasado.

El segundo antecedente local Fue realizado por los bachilleres Br. Luis Eduardo Reyes Álvarez Ingeniería Industrial, Br. Fernanda Johana Sánchez Rivas Ingeniería



Industrial, Br. Alondra Xiloneem Tórrez Chavarria (2023), lleva por título PROPUESTA DE PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA PESADA PARA LA EMPRESA SEMANIC EN EL MUNICIPIO DE LARREYNAGA DEPARTAMENTO DE LEÓN EN EL PERIODO DE JULIO A NOVIEMBRE DEL AÑO 2023.

El presente proyecto de graduación se desarrolló con el fin de proponer un plan de gestión de mantenimiento de maquinaria pesada para la empresa SemaNic, ya que es una herramienta indispensable para el éxito de cualquier empresa proporciona una descripción detallada de los procesos necesarios para garantizar que los equipos se encuentren en función operativa,

La metodología utilizada es de enfoque cuantitativo ya que se analiza los datos cuantitativos de los métodos AMEF y NPR con respecto a la maquinaria pesada en la empresa SemaNic, con alcance de estudio descriptivo porque se recolectará información sobre el mantenimiento y con un diseño no experimental y de corte transversal, porque el tiempo para realizar el proyecto está delimitado entre los meses de julio a noviembre del año 2023. Los resultados obtenidos de los trabajadores del área de mantenimiento en función de la gestión del mantenimiento actual, se puede centra en las siguientes debilidades: falta de refacciones (STONKS) y de herramientas específicas en almacén, los mantenimientos no se planifican en tiempo y forma, algunas facciones trabajadores es insuficiente (Electricistas, electromecánicos y soldadores), además de falta de capacitación al personal y no se cuenta con una base de datos completa sobre todos los aspectos del mantenimiento de cada tipo de maquinaria. La conclusión de este proyecto es que la propuesta del plan de gestión de mantenimiento reducirá el porcentaje de fallas funcionales de cada maquinaria, mejorar el proceso de mantenimiento a través de bases de datos y documentos de trazabilidad, además de aumentar el índice de productividad de horas hombres.



El tercer antecedente local fue realizado por los bachilleres Goherin Wilfredo Valladares Medina, Silvio Vicente Narvárez Narvárez y Edwin Alejandro Armas Najares (2023) lleva por título PROPUESTA DE MEJORAS A LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE TRANSPORTE DE CARGA PESADA DE LA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE MANÍ S A UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE CHINANDEGA PERIODO COMPRENDIDO DE JULIO A NOVIEMBRE DEL AÑO 2023

El proyecto de investigación es una propuesta de mejora a la documentación para la gestión de mantenimiento de equipo de transporte pesado de la empresa COMASA ubicada en el departamento de Chinandega periodo de Julio a noviembre del año 2023 se centró en analizar la situación actual del área del servicio de taller para equipos de transporte pesado basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para determinar los puntos que no se están cumpliendo y los que se deben de mejorar por parte de la empresa para reducir la problemática de paros inesperados en los equipos de transporte. La metodología usada en el proyecto es de tipo descriptivo, cuantitativo. Se tomó como muestra el personal de taller a través de una entrevista y guía de observación se consideraron los indicadores de medición como mantenimientos preventivos, correctivos. Las mejoras realizadas servirán para dar un monitoreo y dejar evidencia de la realización de las actividades esenciales, además serán de mucha ayuda en la eficacia y eficiencia de la realización de las actividades, el control de la documentación que hoy en día se ha vuelto una actividad primordial en la gestión de los departamentos o procesos productivos



1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Proponer un plan de mantenimiento optimizado para los camiones Komatsu HM400 de Connequisa, con el objetivo de aumentar su disponibilidad, reducir los costos operativos y mejorar la seguridad en la mina El Limón durante el periodo de enero a abril de 2024.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar las principales fallas y puntos críticos en el mantenimiento actual a través del diagrama de Pareto y el de causa - efecto.
- ✓ Definir procedimientos específicos para la detección temprana de fallos.
- ✓ Desarrollar un programa de capacitación para el personal encargado del mantenimiento de los camiones.
- ✓ Implementar un sistema que mida y evalúe continuamente los indicadores claves en los camiones Komatsu HM400.



1.2 Descripción del problema y preguntas de investigación

Los camiones Komatsu HM400 son esenciales para las operaciones de CONNEQUISA en la mina El Limón. Sin embargo, a pesar de su relevancia, el plan de mantenimiento actual presenta fallas que afectan negativamente la disponibilidad, eficiencia y seguridad de estos equipos. Hay una brecha considerable entre el rendimiento actual de los camiones y el potencial de mejora que ofrecen las tecnologías y prácticas de mantenimiento más avanzadas. Este estudio tiene como objetivo diagnosticar las causas fundamentales de estas deficiencias y desarrollar un plan de mantenimiento integral que permita cerrar esta brecha y maximizar el retorno de la inversión en estos activos críticos.

Los tiempos de inactividad no programados de los camiones Komatsu HM400 generan pérdidas económicas significativas para CONNEQUISA debido a la reducción de la producción, los altos costos de reparación y la alteración de la programación de las operaciones mineras. Además, la seguridad de los trabajadores y la protección del medio ambiente son prioridades fundamentales para CONNEQUISA. Un plan de mantenimiento inadecuado puede incrementar el riesgo de accidentes y fallas mecánicas que pongan en peligro la seguridad operacional. Este estudio busca implementar un plan de mantenimiento que no solo optimice la disponibilidad y eficiencia de los camiones, sino que también contribuya a crear un entorno de trabajo más seguro y sostenible.

Formulación del problema

¿Cómo puede la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo, combinado con una capacitación especializada del personal de mantenimiento, optimizar el plan de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la mina El Limón de Connequisa?



1.3 Justificación

La implementación de un sistema de mantenimiento predictivo en la mina El Limón representa un salto cualitativo en la gestión de los activos. Al anticipar fallas y optimizar las intervenciones, no solo se reducirá significativamente los costos operativos, sino que también aumentaremos la disponibilidad de nuestros equipos y mejoraremos la seguridad de nuestros trabajadores. Esto se traduce en una mayor eficiencia y competitividad para nuestra operación.

Esta estrategia, además de detectar de forma proactiva los problemas en los componentes críticos de los camiones Komatsu HM400, también instruirá al personal para que puedan analizar los datos y tomar decisiones informadas sobre las medidas de mantenimiento requeridas.

Con el trabajo investigativo se beneficiará el Departamento de Producción ya que habrá mayor disponibilidad de equipos y menor tiempo de parada en las operaciones mineras, lo que aumentará la producción. A su vez, se reducirá el costo operativo. Para la Gerencia General habrá mayor eficiencia operativa y reducción de costos.

Como resultado, se anticipa una reducción significativa en los tiempos de inactividad no programados. Además, se prevé una mejora en la seguridad operacional, una extensión en la vida útil de los equipos y un ahorro sustancial en los costos operativos. Todo esto contribuirá a la sustentabilidad a largo plazo de la mina.

Los beneficios de esta investigación se extienden a lo largo de toda la cadena de valor, desde la mejora de la eficiencia operativa y la reducción de costos hasta el aumento de la seguridad y el cumplimiento de las normas. Al enfocarse en un equipo específico como el camión articulado HM400 Komatsu, la investigación proporciona soluciones prácticas y medibles que pueden ser aplicadas en otras operaciones mineras similares.



1.4 Alcance y Limitaciones

1.4.1 Limitaciones

- ✓ La disponibilidad de datos históricos precisos y completos es crucial para el análisis y modelado de datos.
- ✓ La definición de métricas claras y relevantes para evaluar el desempeño del nuevo sistema de mantenimiento puede resultar compleja.
- ✓ Obtener información técnica detallada sobre los componentes y sistemas de los camiones Komatsu HM400 puede requerir contactar al fabricante o a proveedores especializados, lo cual puede ser un proceso lento y burocrático.
- ✓ Las condiciones operativas en una mina pueden ser variables y difíciles de controlar, lo que puede afectar el rendimiento de los equipos y dificultar la identificación de las causas raíz de las fallas.

1.4.2 Alcance

El alcance de investigación te permitirá profundizar en la problemática específica del mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la mina El Limón, y proponer soluciones prácticas y efectivas para mejorar su desempeño.



CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Mantenimiento Industrial

¿Qué es el mantenimiento industrial?

El mantenimiento industrial es una herramienta fundamental para el buen funcionamiento de cualquier empresa de ámbito industrial ya que repercute directamente en su proceso productivo. Se trata de un aspecto muy importante a tener en cuenta en el desarrollo de cualquier proceso de producción sea cual sea el sector de actividad al que se dedique la empresa (Seguas, 2024).

El mantenimiento industrial se puede definir como el conjunto de actividades necesarias para lograr un óptimo funcionamiento tanto de instalaciones, maquinaria y equipos como de los distintos espacios de trabajo que componen esas instalaciones industriales. También incluiría los trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento correcto y el buen estado de conservación del sistema productivo (Seguas, 2024).

El objetivo final de un buen mantenimiento industrial es garantizar la producción en cualquier proceso industrial, su calidad y mantener un correcto funcionamiento de los equipos alargando su vida útil.

Figura 1

Mantenimiento Industrial



Fuente: <https://www.komatsulatioamerica.com/colombia/psa-programa-de-mantenimiento-preventivo-de-maquinaria-pesada/>

¿Qué beneficios aportan las empresas de mantenimiento industrial?

Aún quedan empresas que consideran que el mantenimiento es algo secundario y prescindible pero los problemas y el mal funcionamiento de los equipos pueden hacer que el ciclo de producción se detenga y repercuta en la productividad y rentabilidad de la empresa (Seguas, 2024).

El mantenimiento industrial es una inversión, que genera grandes beneficios entre los que podemos enumerar los siguientes:

- ✓ Previene y evita accidentes laborales aumentando así la seguridad para las personas que intervienen en el proceso productivo.
- ✓ Evita y disminuye pérdidas por paradas de la producción.
- ✓ Te permite contar con una documentación y seguimientos de los mantenimientos necesarios para cada equipo.
- ✓ Impide que surjan daños irreparables en tus instalaciones industriales.
- ✓ Aumenta la vida útil de tus equipos
- ✓ Reduce costes
- ✓ Conserva los bienes de equipo en buenas condiciones

2.1.2 Prácticas y procedimientos utilizados para mantener las máquinas y equipos en condiciones operativas óptimas.

En el entorno industrial actual, donde la eficiencia y la productividad son cruciales, el mantenimiento preventivo de maquinaria juega un papel fundamental. Implementar un programa de mantenimiento preventivo bien planificado no solo garantiza el funcionamiento óptimo de los equipos, sino que también reduce los tiempos de inactividad y prolonga la vida útil de la maquinaria. A continuación, se detallan las mejores prácticas para llevar a cabo un mantenimiento preventivo efectivo (Comintech, 2024).

Importancia del Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se centra en la inspección regular y el cuidado sistemático de la maquinaria para prevenir fallos inesperados y costosos. A diferencia del mantenimiento reactivo, que se realiza después de que ocurre un problema, el mantenimiento preventivo se anticipa a los problemas potenciales y los aborda antes de que afecten la operación (Comintech, 2024).

Figura 2

Mantenimiento preventivo



Mantenimiento preventivo, nivelación de fluidos lubricantes

Fuente: <https://es.slideshare.net/slideshow/980-fluidos/107182827>



Beneficios del Mantenimiento Preventivo:

- ✓ Reducción de Tiempos de Inactividad: Al identificar y solucionar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallos mayores, se minimizan los tiempos de inactividad no planificados.
- ✓ Mayor Vida Útil de la Maquinaria: El cuidado regular y las reparaciones oportunas ayudan a prolongar la vida útil de los equipos, maximizando el retorno de la inversión.
- ✓ Mejora de la Seguridad: Las inspecciones regulares garantizan que la maquinaria esté en condiciones seguras de operación, reduciendo el riesgo de accidentes laborales.
- ✓ Optimización de la Eficiencia Operativa: Las máquinas bien mantenidas funcionan de manera más eficiente, lo que se traduce en una mayor productividad y menores costos operativos.

Estrategias y Herramientas para un Mantenimiento Efectivo

Desarrollar un Plan de Mantenimiento Preventivo: Un plan de mantenimiento detallado es esencial para asegurar que todas las tareas de mantenimiento se realicen de manera oportuna y eficiente (Comintech, 2024).

Este plan debe incluir:

- ✓ Calendario de Mantenimiento: Establecer un cronograma regular para inspecciones y tareas de mantenimiento basadas en las recomendaciones del fabricante y las condiciones operativas de la maquinaria.
- ✓ Lista de Verificación: Crear listas de verificación detalladas para cada tipo de máquina, especificando las tareas de mantenimiento y los puntos de inspección.



- ✓ Registro de Mantenimiento: Mantener un registro completo de todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluidos los resultados de las inspecciones y las reparaciones realizadas.
- ✓ Capacitar al Personal de Mantenimiento: El éxito del mantenimiento preventivo depende en gran medida de la competencia del personal encargado de realizar las tareas. Es crucial:
- ✓ Formación Continua: Proporcionar formación continua y actualizaciones sobre las mejores prácticas y nuevas tecnologías de mantenimiento.
- ✓ Certificaciones: Fomentar la obtención de certificaciones y acreditaciones relevantes para garantizar un alto nivel de habilidad y conocimiento.
- ✓ Utilizar Tecnologías Avanzadas: La adopción de tecnologías avanzadas puede mejorar significativamente la eficacia del mantenimiento preventivo.
- ✓ Monitoreo en Tiempo Real: Utilizar sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real para supervisar el estado de la maquinaria y detectar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallos graves.
- ✓ Análisis Predictivo: Implementar software de análisis predictivo que utilice datos históricos y actuales para predecir cuándo es probable que ocurran fallos y planificar el mantenimiento en consecuencia.

Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS):

- ✓ Utilizar un sistema CMMS para gestionar todas las actividades de mantenimiento, automatizar las programaciones y mantener registros precisos.
- ✓ Realizar Inspecciones Regulares: Las inspecciones regulares son fundamentales para identificar problemas potenciales y mantener la maquinaria en óptimas condiciones.
- ✓ Inspecciones Visuales: Realizar inspecciones visuales diarias o semanales para detectar signos evidentes de desgaste, fugas o daños.



- ✓ Pruebas Funcionales: Realizar pruebas funcionales periódicas para asegurarse de que todas las partes de la máquina estén operando correctamente.
- ✓ Análisis de Fluidos: Realizar análisis de lubricantes y otros fluidos para detectar contaminantes y evaluar el estado de los componentes internos.
- ✓ Implementar Protocolos de Lubricación: La lubricación adecuada es crucial para el funcionamiento suave y eficiente de la maquinaria.
- ✓ Programas de Lubricación: Establecer programas de lubricación específicos para cada máquina, asegurando que se utilicen los lubricantes correctos y se apliquen en los intervalos adecuados.
- ✓ Sistemas Automáticos de Lubricación: Considerar la implementación de sistemas automáticos de lubricación que garantizan una aplicación precisa y consistente de lubricantes.
- ✓ Evaluar y Mejorar Continuamente el Programa de Mantenimiento: Un programa de mantenimiento preventivo debe ser dinámico y adaptarse a las necesidades cambiantes de la operación.
- ✓ Revisión Periódica: Realizar revisiones periódicas del programa de mantenimiento para identificar áreas de mejora y ajustar el plan según sea necesario.
- ✓ Retroalimentación del Personal: Involucrar al personal de mantenimiento en el proceso de revisión y recoger su retroalimentación para mejorar continuamente las prácticas y procedimientos.

2.1.3 Tipos de Mantenimiento: Mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.

Podemos clasificar el mantenimiento industrial en 3 tipos principalmente:

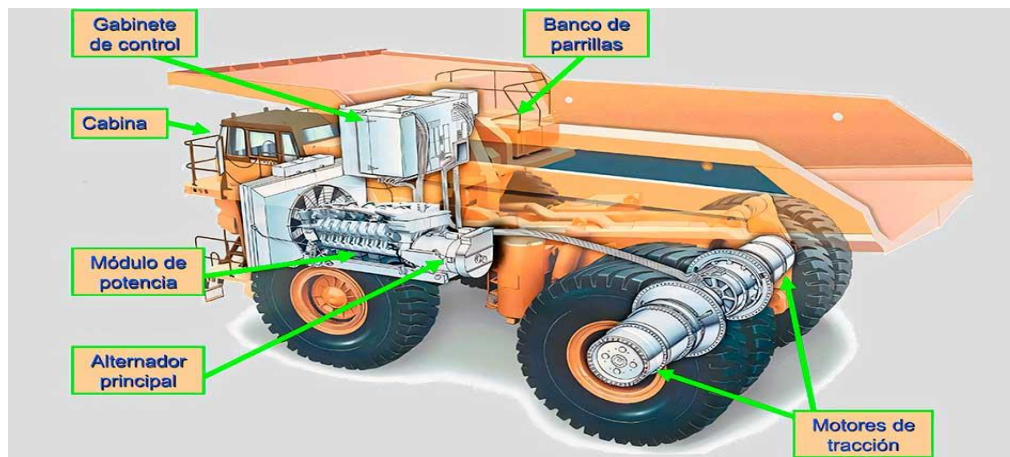
- ✓ Mantenimiento preventivo. En lo que respecta al mantenimiento preventivo de instalaciones industriales podemos decir que es aquel enfocado a la prevención de fallos en equipos e instalaciones con el objetivo de reducir

riesgos. Intenta reducir errores o averías con una revisión constante y planificada según las necesidades de cada industria (Seguas, 2024).

- ✓ Mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo en instalaciones industriales es aquel cuyo fin es corregir cualquier defecto que se presente en el equipo o instalación. Corrige acciones sólo cuando se ha detectado la avería (Seguas, 2024).
- ✓ Mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento es un mantenimiento más técnico y avanzado. Requiere de formación específica, conocimientos analíticos y necesita de equipos especializados. Al igual que el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo busca anteponerse a la avería. La diferencia es que se basa en la aplicación de herramientas o técnicas de detección de distintas variables que son indicio del estado de un equipo y que anticipan un futuro fallo como pueden ser la vibración, la presión o la temperatura (Seguas, 2024)

Figura 3

Como funciona el tren de fuerza de un camión Komatsu



Fuente: <https://cursodeequipopesado.online/camion-minero/komatsu/>



2.1.4 La importancia del camión minero en la industria

El camión minero forma parte vital de un equipo de trabajo dentro de la minería, estos camiones son robustos y están diseñados para transportar grandes cantidades de material para llevar a cabo una operación. También se utilizan para mover tierra, rocas o minerales, ya sea en la superficie o de manera subterránea (Mansil, 2024).

Parte de la productividad dentro de la industria minera depende del mantenimiento adecuado al camión minero. Imagina que estás realizando un trabajo de extracción en una mina a cielo abierto, necesitas transportar cantidades grandes de materiales para continuar con la producción. Si tu camión minero se avería, detendría un largo proceso de extracción y transporte que resultaría en tiempo de inactividad y pérdida de ingresos (Mansil, 2024).

Un camión en mal estado puede provocar accidentes, retrasos en la producción y periodos largos de inactividad. Cuando pienses en dar mantenimiento a tu camión minero, no solamente consideres llevarlo a revisión, también debes tener en cuenta el tipo de piezas o repuestos que se utilizarán.

Camión minero: funciones y tipos

Los camiones mineros funcionan por medio de un sistema de tracción integral que les permite moverse en terrenos difíciles, ya sean: carreteras sin pavimento, huecos o tierra. Los motores potentes con que son equipados estos camiones mineros, soportan las condiciones más extremas (Mansil, 2024).

Aquí hay una lista de las funciones más comunes que realiza un camión minero:

- ✓ Transportar grandes cantidades de material.
- ✓ Moverse en terrenos difíciles de minas de cielo abierto o subterráneas.
- ✓ Dar un flujo constante de materiales para las operaciones.
- ✓ Facilitar la carga y descarga de materiales o equipo necesario.



- ✓ Transportar a los trabajadores hacia puntos diferentes de la mina.
- ✓ Conociendo el trabajo pesado que realiza, ¿te das cuenta del mantenimiento que necesitan estos camiones?

Tipos de camiones mineros

Hay muchos tipos de camiones, los más comunes son los de carga rígida y los articulados (Mansil, 2024).

Camiones de carga rígida: estos poseen una estructura monolítica, ¿qué significa esto? quiere decir que cuentan una estructura sólida y robusta para resistir las condiciones de la mina. Se utilizan para transportar mucha carga en distancias cortas.

Camiones articulados: estos camiones tienen dos partes que son unidas por un mecanismo articulado. Con estos camiones se puede maniobrar en espacios reducidos y trasladar cargas pesadas a distancias más largas.

¿Cómo saber por cuál tipo de camión optar

Para elegir un tipo de camión para tu mina, debes considerar algunos puntos como el tipo de terreno, la capacidad de carga que necesitas transportar, distancia, etc. Veamos los puntos a profundidad:

Un camión minero de carga rígida te conviene si:

- ✓ Necesitas transportar material en distancias cortas a medias.
- ✓ Trabajas en terrenos estables y previamente preparados.
- ✓ Buscas más capacidad de carga en comparación a los camiones articulados.
- ✓ Un camión minero articulado te conviene si:
- ✓ Necesitas transportar material en distancias largas y terrenos irregulares.
- ✓ Trabajas en terrenos reducidos y buscas flexibilidad.



Necesitas movilidad y respuesta rápida en tus operaciones.

- ✓ Piezas que pueden fallar en un camión minero
- ✓ Como has podido darte cuenta, los trabajos que realizan estos camiones son pesados y extremos. Esa fuerza inmensa debe estar en revisión constante. Aquí te compartimos algunas de las piezas que suelen fallar:
- ✓ Neumáticos, por las condiciones extremas de los terrenos donde se transportan.
- ✓ Sistema de frenos, debido a la presión y el desgaste que podría provocar fallos si no se está en constante revisión.
- ✓ Suspensión, por la carga pesada a la que es sometido.
- ✓ Motor, por el uso excesivo y la fuerza que realiza.
- ✓ Sistemas eléctricos, ya que están expuestos a un ambiente de polvo y humedad, pueden presentar fallos.

Consecuencias de no prestar atención a las fallas

- ✓ Tiempo de inactividad: Las averías en estas partes pueden llevar a períodos de inactividad imprevistos, lo que impacta la eficiencia de la mina.
- ✓ Gastos de reparación: Las reparaciones urgentes pueden ser costosas y afectar el presupuesto operativo de la mina.
- ✓ Seguridad: Los fallos en estas partes pueden comprometer la seguridad de los operadores y del personal de la mina, lo que puede dar lugar a accidentes graves.

El correcto mantenimiento y reparación de los camiones mineros son vitales para asegurar su operación segura y eficiente en las minas. Un programa regular de mantenimiento ayuda a prevenir fallas inesperadas, reduciendo así los tiempos de inactividad y prolongando la vida útil de los equipos. Asimismo, la reparación oportuna de piezas dañadas evita costosos reemplazos completos y mantiene la productividad de la mina en niveles óptimos (Mansil, 2024).



2.1.5 Marco Conceptual

Falla: Son problemas técnicos o defectos que existen dentro de un sistema que impide el correcto funcionamiento de un equipo o maquinaria en algunos de sus sistemas.

Maquinaria: Dispositivo mecánico, eléctrico o electrónico diseñado y utilizado para realizar alguna función, que interactúen entre sí y mediante la interacción transformarse en energía.

Mantenimiento: Actividades conducentes a la corrección de fallas y anomalías en los equipos a medida que se van presentando y tiene como propósito conservar y reactivar un equipo para que cumpla sus funciones.

2.2 Marco Contextual Institucional

B2Gold Corp. es uno de los productores de oro intermedios de más rápido crecimiento en el mundo. Fundada como una compañía de exploración en 2007, nos hemos transformado en una empresa minera aurífera internacional que en la actualidad proyecta producir casi un millón de onzas de oro en 2018. Con sede en Vancouver, Canadá, contamos hoy con cinco minas de oro en operación y numerosos proyectos de exploración y desarrollo en varios países de cinco continentes.

Como empresa minera canadiense responsable, reconocemos que la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) es un componente integral de nuestras actividades comerciales. Las comunidades donde trabajamos son cruciales para nuestro éxito, por tanto, nuestras decisiones de negocios tienen especial cuidado en incorporar la salud y seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y el bienestar de la comunidad.

Nuestros principios fundamentales – equidad, respeto, transparencia y rendición de cuentas – nos guían para identificar, seleccionar y ejecutar proyectos de RSE en todos nuestros sitios mineros en el mundo. Nos comunicamos con regularidad y



abiertamente con las partes interesadas para entender sus necesidades y prioridades y procuramos fortalecer a las comunidades a través de colaboraciones y asociaciones.

En B2Gold creemos que una compañía minera responsable dirigida con éxito puede agregar valor a las comunidades locales y al entorno, al generar beneficios socioeconómicos y ambientales.

Nuestra visión es ser una compañía minera que demuestra su liderazgo al ir más allá de los estándares de la industria y continuar apuntando más alto en nuestro propio desempeño.

B2Gold llegó a Nicaragua en 2009 con la adquisición de la primera mina de oro de la Compañía, El Limón, y el primer proyecto de desarrollo aurífero, La Libertad (que comenzó producción el siguiente año).

Las minas se localizan a unos 110 km rumbo este y 100 km al noroeste, respectivamente, de la capital de Nicaragua, Managua, en distritos con largas historias de minería. Durante muchos años estas regiones sufrieron por malas prácticas mineras que condujeron a malas relaciones con las comunidades y problemas sociales. Nosotros, a fin de cambiar las percepciones locales de la industria minera y mejorar sus estándares y desempeño en Nicaragua, hemos aplicado las mejores prácticas de la industria en nuestras operaciones.

Filosofía Institucional

Misión

Eliminar los costes innecesarios generados por un mantenimiento inadecuado, reducir el número de avería, aumentar la disponibilidad de la maquinaria y mejorar la estabilidad del proceso productivo.



Visión

Ser un referente en el sector industrial por la capacidad de optimizar y racionalizar sistemas, mejorando así la rentabilidad de las empresas. Ser reconocidos por potenciar la innovación y mejora continua de las empresas.

Valores corporativos

- ✓ Capacidad de análisis
- ✓ Creatividad e innovación
- ✓ Coherencia
- ✓ Pasión por lo que hacemos

2.3 Marco Legal

Tabla 1
Marco Legal

Norma	Objetivo Principal	Ámbito de Aplicación	Beneficios Clave
ISO 55000	Optimizar el rendimiento de los activos, reducir costos y riesgos.	Gestión integral de activos a nivel organizacional.	Mejora la toma de decisiones, reduce costos, aumenta la eficiencia.
ISO 14224	Recolectar y analizar datos de fiabilidad y mantenimiento.	Gestión de la información relacionada con la fiabilidad y el	Mejora la comprensión del comportamiento de los activos, permite una mejor



Norma	Objetivo Principal	Ámbito de Aplicación	Beneficios Clave
		mantenimiento de activos.	planificación del mantenimiento.
ISO 13374	Implementar sistemas de diagnóstico de condición.	Monitoreo continuo del estado de los equipos.	Detección temprana de fallas, optimización del mantenimiento.
Ley General de Higiene y Seguridad N°618	Proteger la salud y seguridad de los trabajadores.	Seguridad laboral en el entorno industrial.	Prevención de accidentes, cumplimiento legal, mejora de la calidad de vida de los trabajadores.
ANSI/TAPPI TIP 030	Evaluar y seleccionar sistemas de transporte neumático.	Selección y operación de sistemas de transporte neumático.	Garantía de la eficiencia y seguridad de los sistemas de transporte neumático.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLOGICO

3.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptiva, cuantitativa no experimental, porque se limita a observar y medir y no puede ser controlado por el investigador, el periodo de ejecución es corte transversal de septiembre a noviembre del 2024. Con este tipo de investigación se permite conocer la situación actual del mantenimiento de los camiones Komatsu que se está dando con la extracción de oro en la mina el Limón.

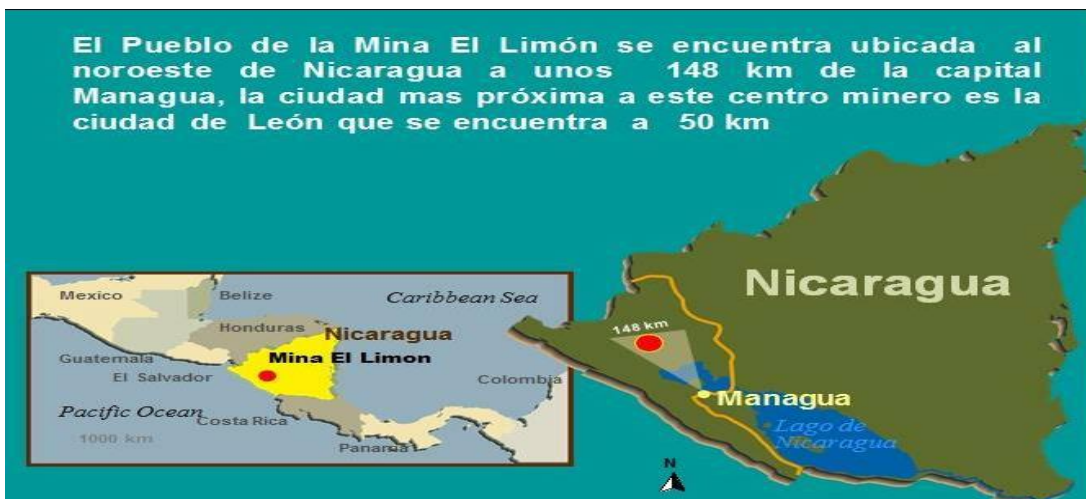
Con el estudio descriptivo se destaca lo siguiente:

- ✓ •Análisis del mantenimiento de los camiones.
- ✓ •Evaluación de las Acciones propuestas las cuales pueden causar del grado de productividad de los camiones.

3.2 Área de estudio

Figura 4

Macro localización de la Mina El Limón



Fuente:

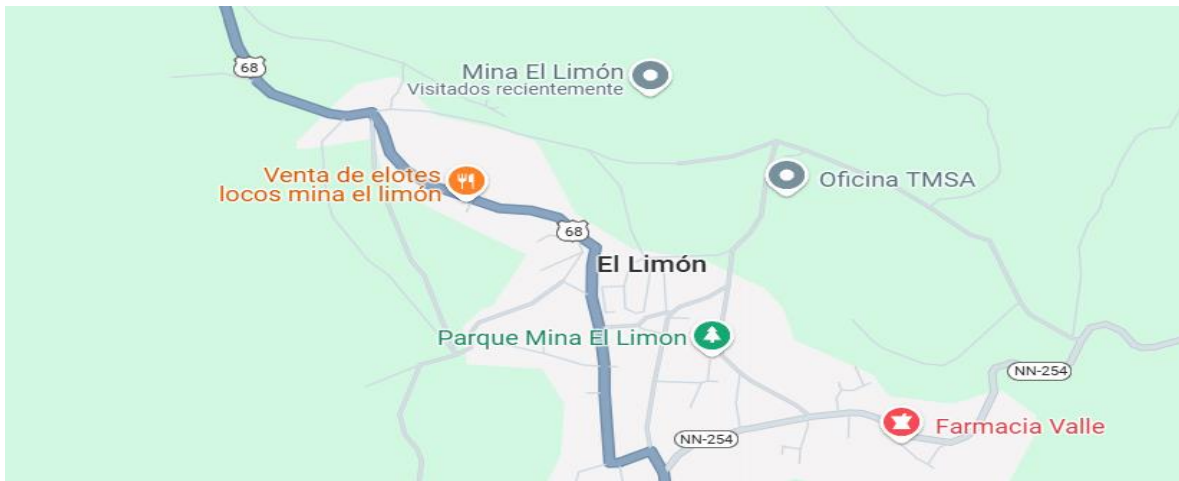
<https://www.facebook.com/photo/?fbid=1405395873028862&set=ms.c.eJwzNDEw>

NbY0NTOxNLM0NTU11DOECFiYGxsYWWiYGQEActEGww~--

.bps.a.1405395643028885

Figura 5 >

Micro localización de la Mina El limón



Fuente: https://www.google.com/maps/@12.7551669,-86.7387115,15.2z?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTExMy4xIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D

3.3 Unidades de análisis: Población y Muestra

La unidad de análisis es el área de producción artesanal de oro de la Mina el Limón, es un proyecto de exploración minera de la compañía británica B2GOLD

B2GOLD es una compañía de exploración y producción de oro que cotiza en las bolsas de valores de Londres y Canadá, y tiene como socio principal a la Corporación Financiera Internacional IFC, empresa miembro del Banco Mundial.

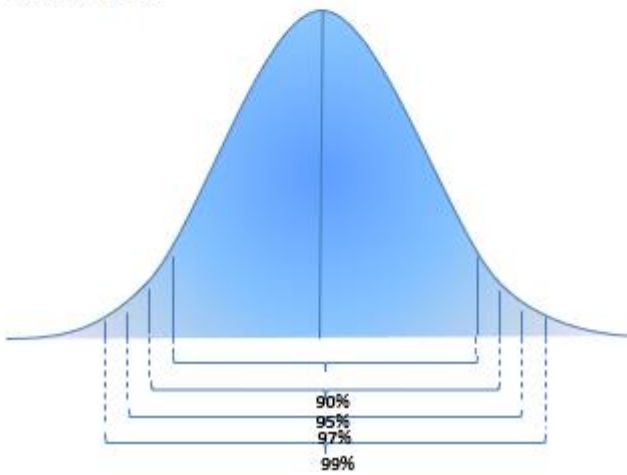
La población son 140 trabajadores de la empresa B2Gold, de la cual se extraerá una muestra de 70 trabajadores que trabajan directamente en el mantenimiento de las maquinas.

Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{e^2(N - 1) + p * q * z^2}$$

Error maximo recomendado 7%

SI NO CONOCE p Y q SE DEJA 0,5 Y 0,5
SIEMPRE p+q=1



INTRODUZCA EL MARGEN DE ERROR DESEADO e
INTRODUZCA EL TAMAÑO DE LA POBLACION (N)
INTRODUZCA EL VALOR DE p
INTRODUZCA EL VALOR DE q

7.0%
140
0.5
0.5

TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ACUERDO AL ERROR Y AL NIVEL DE CONFIANZA DESEADO	
TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA UN N. DE CONF. DEL 90%=-	70

En este caso el muestreo es no probabilístico intencional ya que se tomarán únicamente los trabajadores del área de mantenimiento

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron los siguientes instrumentos de investigación:



- ✓ Guía de encuesta dirigida a los trabajadores de la Mina el Limón.
- ✓ Entrevistas en profundidad con los técnicos y supervisores de mantenimiento para conocer sus experiencias, percepciones sobre el plan actual y sugerencias de mejora.
- ✓ Fichas, apuntes y notas de libreta.
- ✓ Registros Fotográficos.
- ✓ Diagramas de Pareto y Espina de Pescado: Identificar las fallas más frecuentes y sus causas raíz.

3.5 Confiabilidad y validez de instrumentos

Para la fiabilidad de la encuesta se aplicó el alfa de Cronbach para 16 variables que incluye el siguiente escenario:

- ✓ Coeficiente alfa de Cronbach mayor a 0,7 y menor a 0,8 Aceptable

Tabla 2
Alfa de Cronbach

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	70	97.2
	Excluido ^a	2	2.8
	Total	72	100.0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.733	16

Fuente: Elaboración propia



3.6 Procesamiento de datos y análisis de la información

Los procesamientos de la información se realizaron en:

SPSS: Se digitalizaron las encuestas de opinión, aquí se procedió hacer el resumen de cada variable en tablas y gráficas, además de calcular el coeficiente de fiabilidad (alfa de Cronbach) que termine la aplicación de la encuesta.

Excel: se realizó la evaluación del impacto e importancia del mantenimiento preventivo y correctivo de las maquinas.

En una investigación enfocada en mejorar el plan de mantenimiento de camiones articulados Komatsu HM400, como la que estás proponiendo, los checklists desempeñan un papel fundamental. Estos instrumentos sencillos pero poderosos te permitirán

- ✓ Establecer un Procedimiento Estandarizado
- ✓ Identificar Áreas de Mejora
- ✓ Documentar el Trabajo Realizado
- ✓ Facilitar la Capacitación⁶¹



3.7 Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicador	Escala de Medición	Instrumento de Medición
Eficiencia del Mantenimiento Actual	Identificación de Fallas y Puntos Críticos	Número de fallas reportadas por mes	Frecuencia (número de incidentes)	Registros de mantenimiento
		Tiempo promedio de reparación de fallas críticas	Tiempo (horas/días)	Registros de mantenimiento
Procedimientos de Detección Temprana de Fallos	Implementación de Procedimientos de Detección	Número de procedimientos documentados	Numérica (conteo)	Documentación técnica
		Porcentaje de fallos detectados tempranamente	Porcentaje (%)	Registros de mantenimiento
Capacitación del Personal de Mantenimiento	Calidad y Cantidad de Capacitación	Horas de capacitación impartidas	Tiempo (horas)	Registros de capacitación
		Nivel de satisfacción del personal	Likert (1-5)	Encuesta a personal



Variable	Dimensión	Indicador	Escala de Medición	Instrumento de Medición
Sistema de Monitoreo Continuo	Implementación y Funcionamiento del Sistema de Monitoreo	Número de sensores instalados	Numérica (conteo)	Registros de instalación
		Número de alertas generadas y gestionadas	Frecuencia (número de alertas)	Sistema de monitoreo
		Reducción en el tiempo de inactividad no programado	Tiempo (horas/días)	Registros operativos
Disponibilidad de los Camiones	Disponibilidad Operacional	Porcentaje de tiempo operativo	Porcentaje (%)	Registros operativos
		Número de horas de operación sin fallos	Tiempo (horas)	Registros de mantenimiento
Costos Operativos	Control de Costos	Costo mensual de mantenimiento	Moneda (USD, C\$)	Registros financieros
		Reducción en los costos de reparación	Moneda (USD, C\$)	Registros financieros
Seguridad en la Mina	Condiciones de Seguridad	Número de incidentes de seguridad reportados	Frecuencia (número de incidentes)	Registros de seguridad



Variable	Dimensión	Indicador	Escala de Medición	Instrumento de Medición
		Grado de cumplimiento de las normas de seguridad	Likert (1-5)	Encuesta a personal

Fuente: Esta tabla estructura claramente las variables, dimensiones, indicadores, escalas de medición y los instrumentos que se utilizarán para evaluar el plan de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la mina El Limón de Connequisa. Elaboración propia



CAPÍTULO IV: DIAGNOSTICO SITUACIONAL

4.1 Diagnostico de fallas y componentes críticos que mayor impacto en el desempeño de los camiones Komatsu HM400.

4.1.1 Datos generales

A continuación, se presentan los resultados de cada variable de interés, con respecto a la edad de los trabajadores, las tablas están en anexos, por que cada variable se comparó con las experiencia de cada colaborador

De la figura 2 y 3 presenta una distribución de la edad y la experiencia de un grupo de mineros. Se observa una clara concentración de trabajadores en el rango de edad entre 25 y 34 años, con una experiencia laboral predominante entre 6 y 10 años.

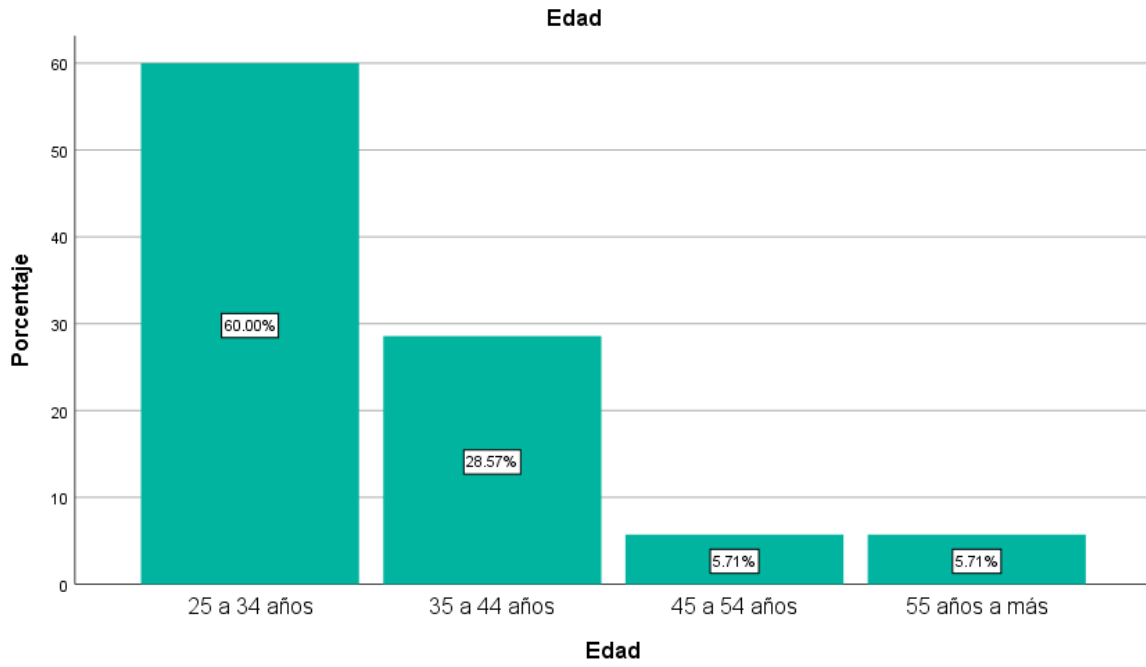
La mayor proporción de mineros se encuentra en el grupo de 25 a 34 años, con una experiencia laboral concentrada en el rango de 6 a 10 años. Esto sugiere una entrada relativamente reciente de nuevos trabajadores al sector minero y un proceso de capacitación y adaptación exitoso.

Existe una disminución notable en la proporción de mineros a medida que aumenta la edad. Hay una representación muy baja de mineros con más de 55 años. Esto puede indicar una alta rotación de personal en los rangos de edad más avanzada o una preferencia por contratar trabajadores más jóvenes.

La mayor parte de la experiencia laboral se concentra en el rango de 6 a 10 años. Esto podría indicar un ciclo de contratación y rotación de personal relativamente estable en los últimos años.

Figura 6

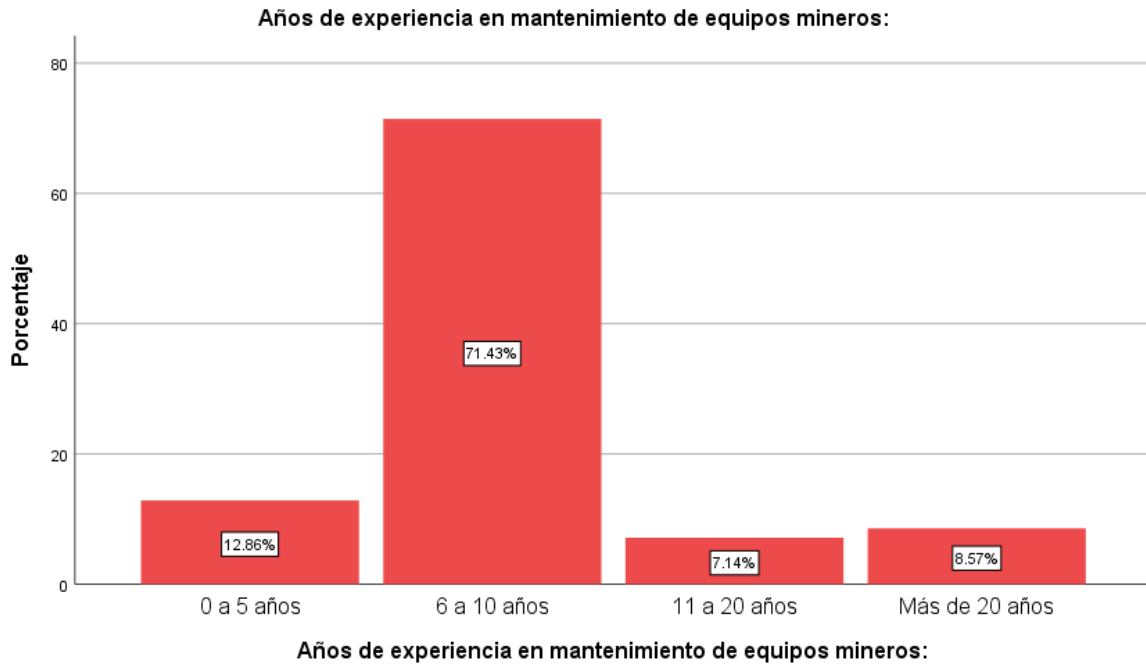
Edad de los trabajadores



Fuente. Elaboración propia

Figura 7

Años de experiencia en mantenimiento de camiones



Fuente. Elaboración propia

La concentración de experiencia en un rango de edad específico podría aumentar la vulnerabilidad de la fuerza laboral a cambios demográficos o a riesgos laborales asociados a la edad.

Desarrollo profesional: La distribución de la experiencia sugiere la necesidad de programas de desarrollo profesional continuo para los trabajadores, especialmente para aquellos con menos experiencia, a fin de mejorar sus habilidades y conocimientos.

De la figura 4 presenta una distribución de las horas de capacitación anual recibidas por un grupo de personas, segmentada por rangos de edad. Se observa una tendencia interesante: a medida que aumenta la edad, disminuye el número de horas de capacitación recibidas.

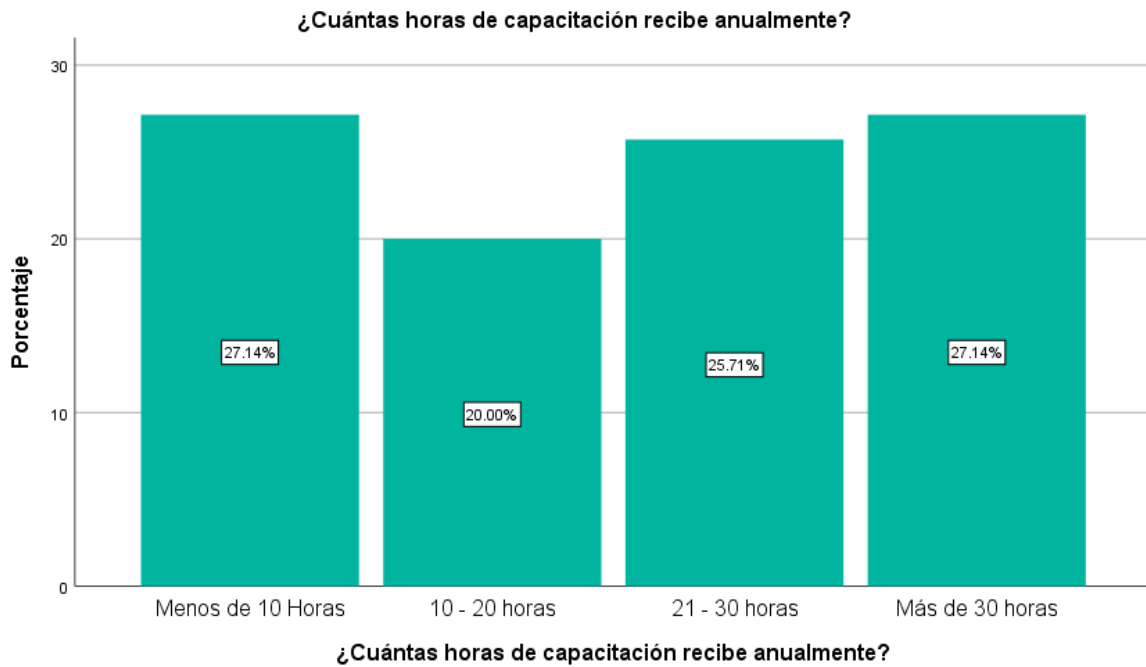
Los trabajadores entre 25 y 34 años son los que reciben un mayor número de horas de capacitación, especialmente en los rangos de 21-30 horas y más de 30 horas. Esto sugiere que las empresas invierten más en la formación de los empleados más jóvenes.

A medida que aumenta la edad, disminuye la proporción de trabajadores que reciben capacitación. Los trabajadores de 55 años en adelante son los que menos horas de capacitación reciben.

Existe una concentración significativa de trabajadores en los rangos de 10-20 y 21-30 horas de capacitación. Esto podría indicar que muchas empresas ofrecen programas de capacitación de duración estándar que se ajustan a estos rangos.

Figura 8

Horas de capacitación en general



Fuente. Elaboración propia



De la figura 5 proporciona una distribución de las horas de capacitación en mantenimiento de equipos mineros, segmentada por rangos de edad. Podemos observar que existe una relación entre la edad y la cantidad de capacitación recibida.

Los trabajadores entre 25 y 34 años son los que reciben una mayor cantidad de horas de capacitación, especialmente en los rangos de 21-30 horas y más de 30 horas. Esto indica una mayor inversión en la formación de los empleados más jóvenes.

A medida que aumenta la edad, disminuye la proporción de trabajadores que reciben capacitación. Los trabajadores de 55 años en adelante son los que menos horas de capacitación reciben.

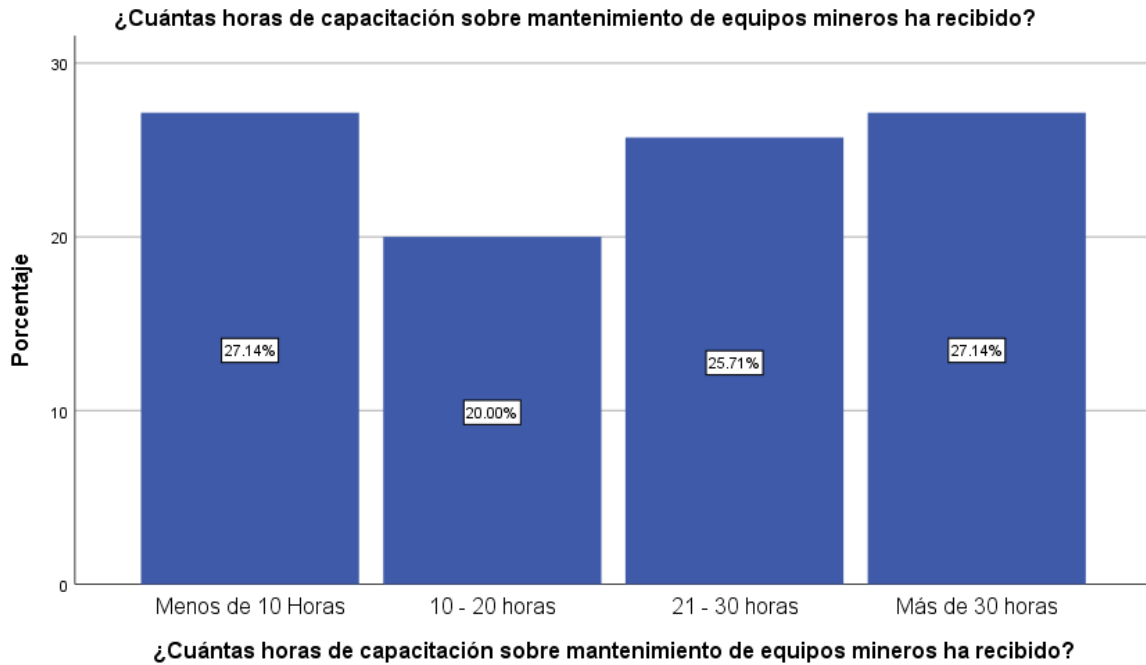
Existe una concentración significativa de trabajadores en los rangos de 10-20 y 21-30 horas de capacitación. Esto podría indicar que muchas empresas ofrecen programas de capacitación de duración estándar que se ajustan a estos rangos.

La disminución de la capacitación en los trabajadores mayores podría indicar una necesidad de programas de actualización para mantener sus conocimientos y habilidades al día, especialmente en un sector que evoluciona rápidamente como la minería.

La alta proporción de capacitación en los trabajadores más jóvenes sugiere una visión a largo plazo por parte de las empresas, que buscan desarrollar las habilidades de sus empleados para el futuro.

Figura 9

Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido



Fuente. Elaboración propia

En resumen, la tabla muestra una clara tendencia hacia una mayor inversión en capacitación para los trabajadores más jóvenes. Sin embargo, es importante considerar las necesidades de los trabajadores de todas las edades y desarrollar programas de capacitación que abarquen a toda la fuerza laboral.

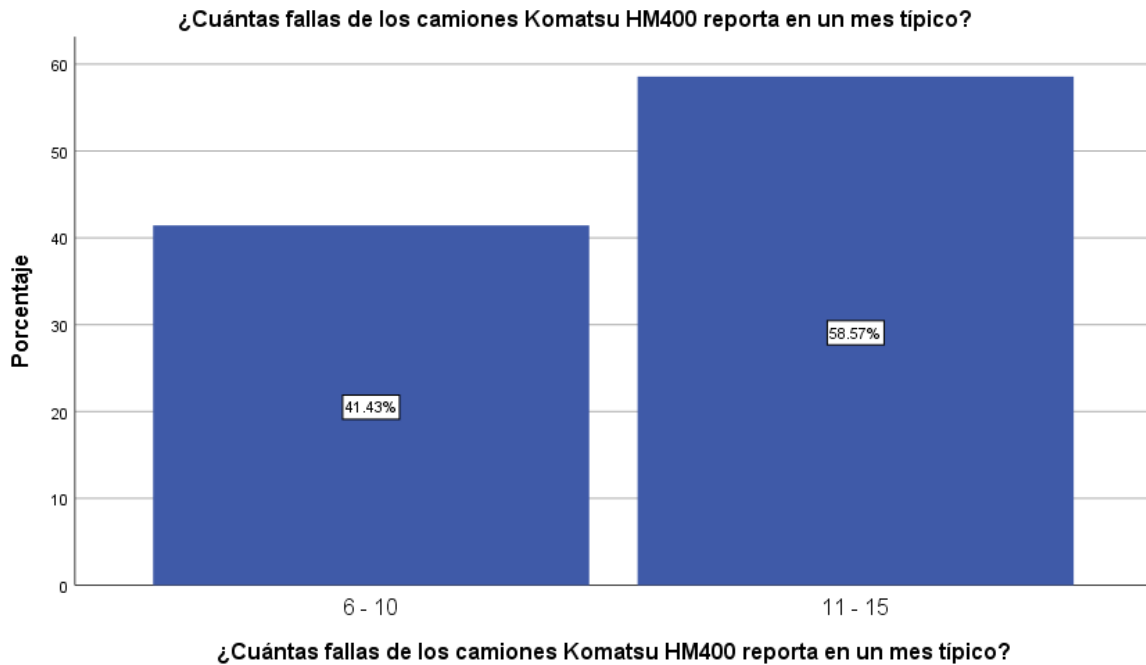
4.1.2 Opinión de los trabajadores

De la figura 6 nos muestra la distribución de la experiencia en el mantenimiento de camiones Komatsu HM400, categorizada por rangos de años de experiencia. Mayor experiencia en el rango de 6 a 10 años: La mayoría de los técnicos (71.4%) tienen entre 6 y 10 años de experiencia en el mantenimiento de estos camiones. Esto sugiere que existe una base sólida de técnicos con una experiencia moderada.

Escasa experiencia en los extremos: Hay un porcentaje relativamente bajo de técnicos con menos de 5 años de experiencia (12.9%) y con más de 20 años (8.6%). Esto podría indicar una rotación de personal en los últimos años o una dificultad para retener a los técnicos más experimentados. Distribución desigual entre categorías de camiones: La distribución de la experiencia no es uniforme entre las diferentes categorías de camiones. Por ejemplo, la categoría "6-10" concentra un mayor porcentaje de técnicos con más de 6 años de experiencia en comparación con otras categorías. Esto podría indicar que ciertos modelos o lotes de camiones requieren conocimientos o habilidades específicas que atraen a técnicos con mayor experiencia.

Figura 10

Cuantificación de fallas de los camiones



Fuente. Elaboración propia



De la figura 7 presenta una interesante correlación entre el tiempo promedio de reparación de fallas críticas y la experiencia de los técnicos en mantenimiento de equipos mineros.

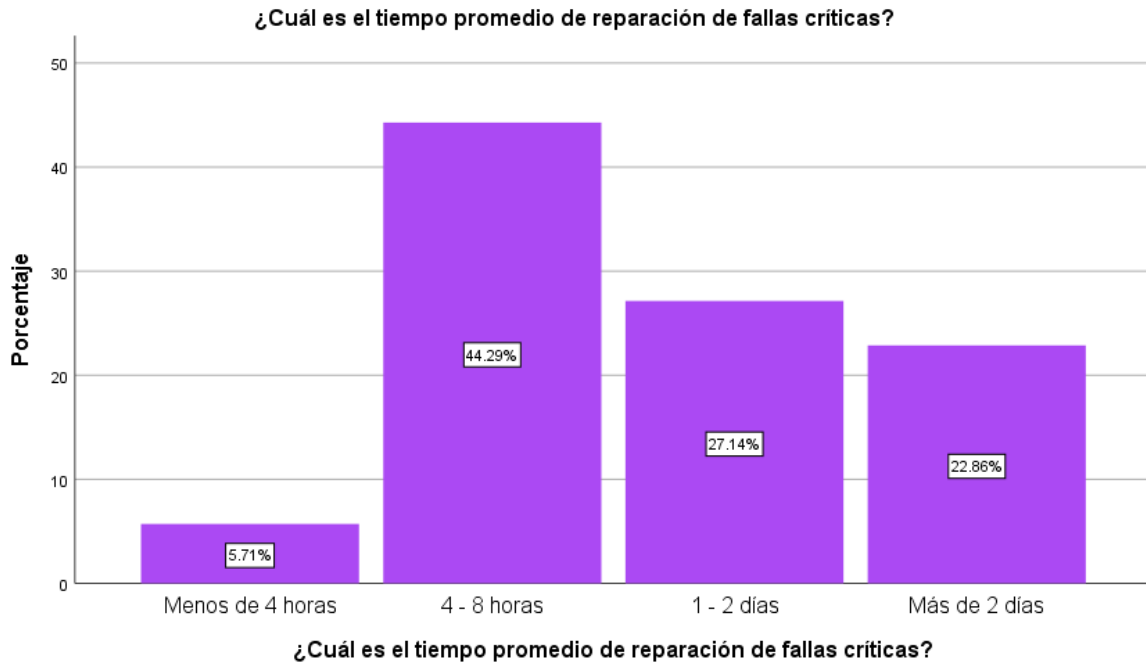
Los técnicos con más experiencia (6 a 10 años y más) demoran menos tiempo en reparar las fallas críticas, esto sugiere que la experiencia acumulada permite a los técnicos identificar y solucionar problemas de manera más rápida y efectiva.

Los técnicos con menos de 5 años de experiencia tienden a tomar más tiempo para realizar las reparaciones, esto puede deberse a una menor familiaridad con los equipos, los procedimientos de mantenimiento y la resolución de problemas.

Existe una concentración significativa de reparaciones que se completan en un rango de 4-8 horas esto indica que este es un tiempo de reparación típico para muchas fallas. Pocas reparaciones que toman más de 2 días, un porcentaje relativamente bajo de reparaciones toma más de 2 días para completarse. Esto sugiere que, en general, las fallas críticas se resuelven de manera relativamente rápida.

Figura 11

Tiempo promedio de reparación



Fuente. Elaboración propia

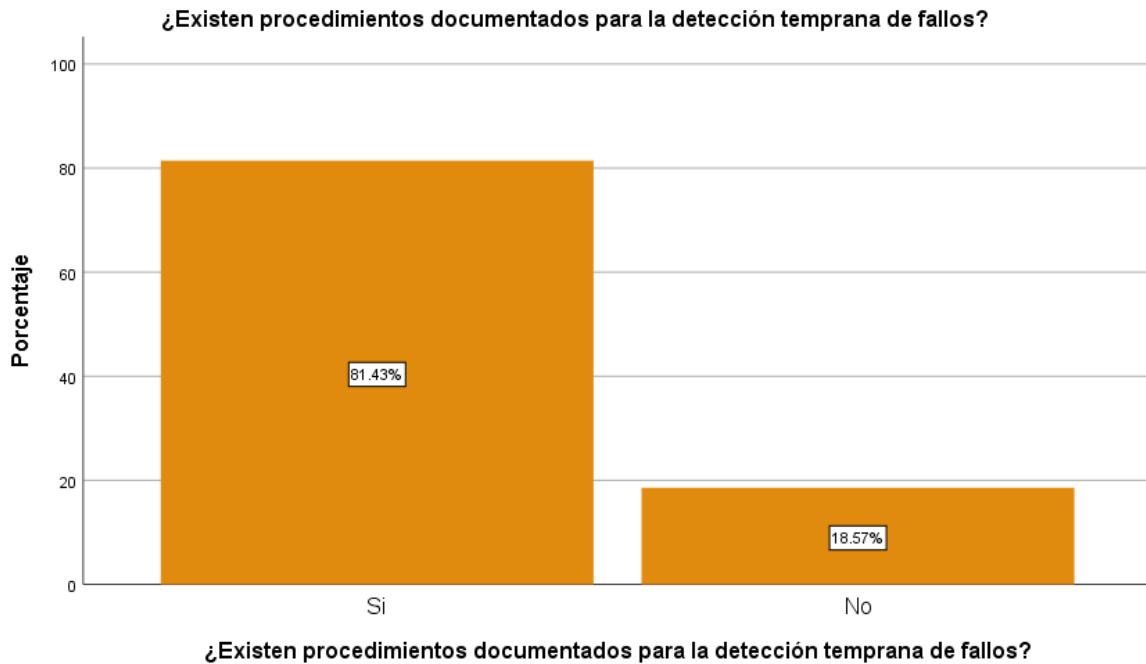
De la figura 8 muestra una clara correlación entre la experiencia de los técnicos en mantenimiento de equipos mineros y la existencia de procedimientos documentados para la detección temprana de fallas. Los técnicos con más experiencia (6 a 10 años y más) son más propensos a reportar la existencia de procedimientos documentados. Esto sugiere que a medida que aumenta la experiencia, se implementan prácticas más formales y sistemáticas para la detección de fallas.

Los técnicos con menos experiencia (0 a 5 años) son menos propensos a reportar la existencia de procedimientos documentados. Esto puede deberse a una menor familiaridad con las prácticas de mantenimiento establecidas o a una falta de formalización de los procesos en ciertas áreas.

En general, existe una alta proporción de técnicos que reportan la existencia de procedimientos documentados (81.4%). Esto indica que muchas empresas mineras han implementado sistemas para la detección temprana de fallas.

Figura 12

Procedimientos documentados



Fuente. Elaboración propia

De la figura 9 presenta un análisis sobre la frecuencia con la que los técnicos de mantenimiento en la industria minera detectan fallas en los equipos antes de que estas causen interrupciones significativas en las operaciones. La variable principal es la experiencia en mantenimiento, dividida en rangos de años.

Los técnicos con más de 6 años de experiencia muestran una tendencia clara a detectar fallas de manera más temprana y frecuente. Esto sugiere que la experiencia acumulada en el mantenimiento de equipos mineros permite a los

técnicos identificar signos de desgaste o mal funcionamiento de manera más efectiva.

El grupo de 6 a 10 años destaca por tener los porcentajes más altos en las categorías de "A menudo" y "Siempre", lo que indica un nivel de proactividad y conocimiento profundo del equipo.

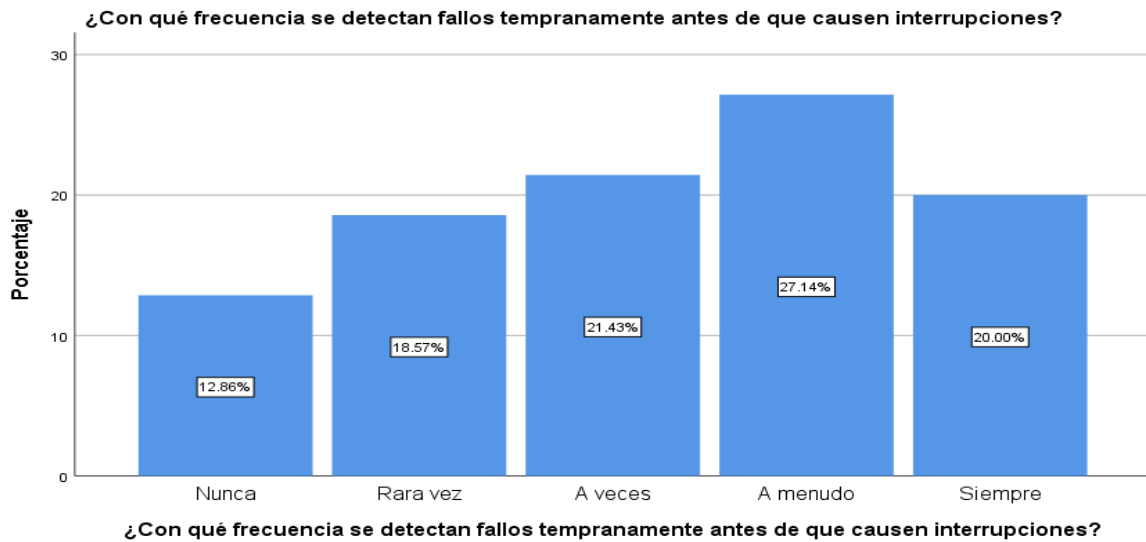
Desempeño de los técnicos con menos experiencia:

Los técnicos con menos de 5 años de experiencia muestran los porcentajes más bajos en la detección temprana de fallas, lo que es esperable debido a su menor conocimiento del equipo y de las señales indicadoras de problemas.

Sin embargo, es notable que incluso en este grupo, más del 12% de los técnicos afirma detectar fallas "Siempre" o "A menudo", lo que sugiere que programas de capacitación y entrenamiento adecuados pueden acelerar el desarrollo de habilidades en los técnicos menos experimentados.

Figura 13

Detección de fallas



Fuente. Elaboración propia

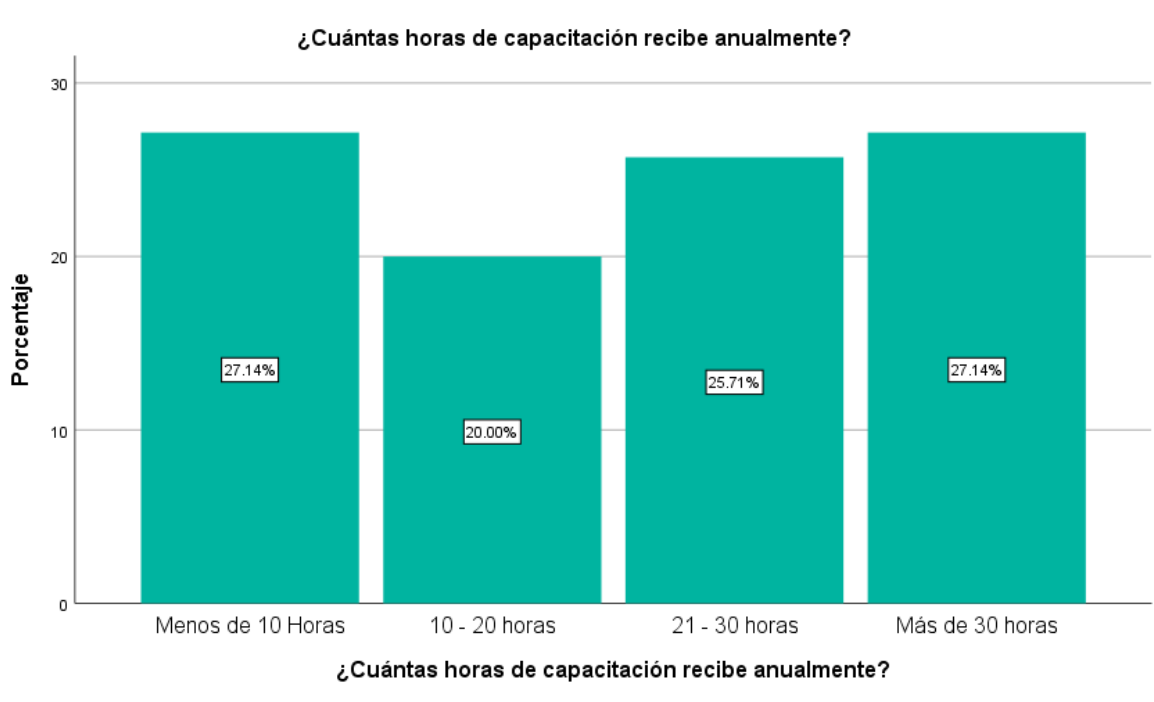
De la figura 10 cruza dos variables clave: la experiencia de los técnicos en mantenimiento de equipos mineros y la cantidad de horas de capacitación que reciben anualmente.

Existe una distribución relativamente uniforme entre las categorías de horas de capacitación, con un ligero predominio en las categorías de "Más de 30 horas" y "21-30 horas". Esto indica que, en general, las empresas están invirtiendo un tiempo considerable en la capacitación de sus técnicos.

Sin embargo, es notable que un porcentaje significativo de técnicos (27.1%) reciba menos de 10 horas de capacitación al año.

Figura 14

Cantidad de horas de capacitación al año



Fuente. Elaboración propia

De la figura 11 muestra una relación positiva entre la experiencia y la cantidad de horas de capacitación. Sin embargo, aún existe un margen de mejora en términos



de la capacitación de los técnicos con menos experiencia. Al invertir en programas de capacitación adecuados y adaptados a las necesidades de cada técnico, las empresas pueden mejorar la eficiencia y la seguridad de sus operaciones.

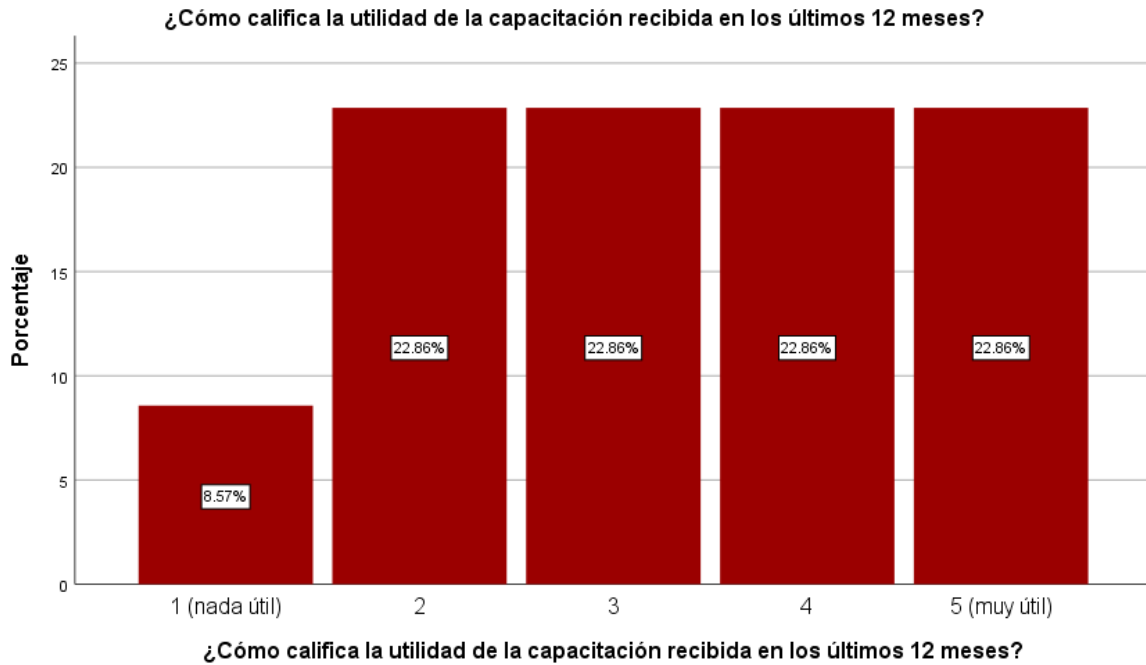
Esta figura¹¹ evalúa la percepción de los técnicos de mantenimiento sobre la utilidad de la capacitación que han recibido en el último año. La evaluación se realiza en una escala del 1 al 5, siendo 1 "nada útil" y 5 "muy útil". La tabla también cruza esta información con los años de experiencia de los técnicos.

La mayoría de los técnicos califican la capacitación como "útil" o "muy útil" (77.1% entre las categorías 4 y 5). Esto indica que, en general, los programas de capacitación están siendo percibidos como valiosos.

La distribución de las calificaciones es relativamente uniforme a lo largo de la escala, excepto por la categoría 1 ("nada útil"), que tiene un porcentaje menor. Esto sugiere que la capacitación está satisfaciendo las necesidades de una amplia gama de técnicos.

Figura 15

Calificación de las capacitaciones recibida



Fuente. Elaboración propia

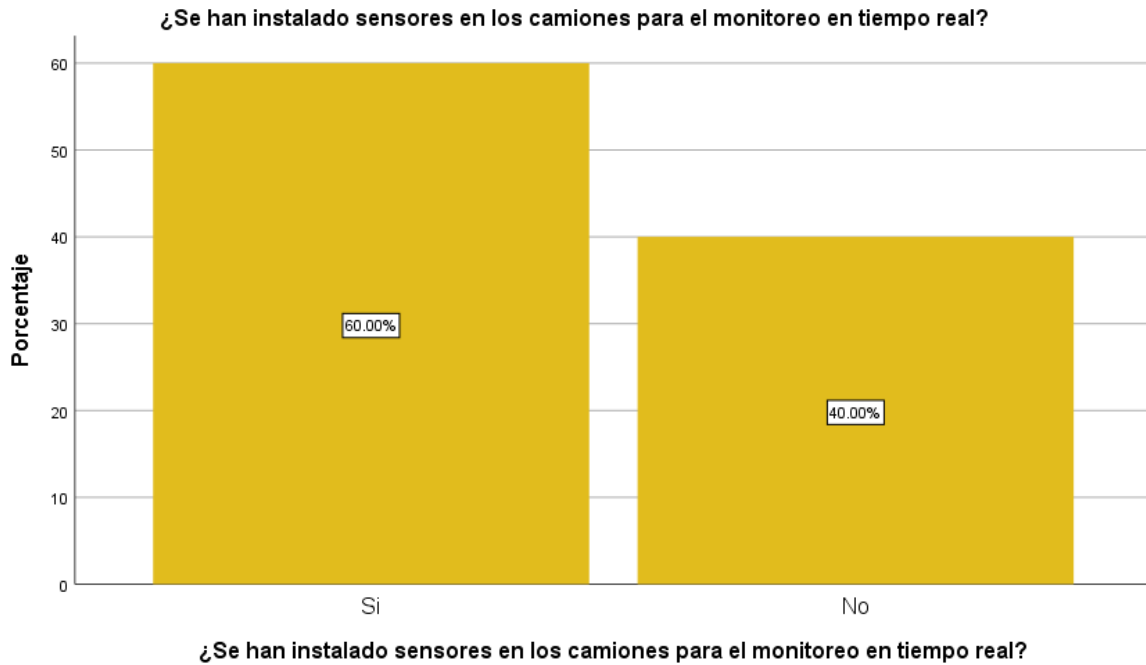
De la figura 12 presenta un análisis sobre la instalación de sensores en camiones mineros para el monitoreo en tiempo real, cruzando esta información con los años de experiencia de los técnicos de mantenimiento.

Un 60% de los camiones mineros encuestados cuenta con sensores para monitoreo en tiempo real, lo que indica una adopción significativa de esta tecnología en la industria.

Los técnicos con 6 a 10 años de experiencia muestran la tasa más alta de instalación de sensores, lo que sugiere que a medida que los técnicos ganan experiencia, se vuelven más conscientes de los beneficios de esta tecnología y promueven su implementación.

Figura 16

Instalación de sensores



Fuente. Elaboración propia

La figura 12 muestra una clara tendencia hacia la adopción de sensores para el monitoreo en tiempo real en los camiones mineros. Esta tecnología ofrece numerosos beneficios para las operaciones mineras, pero su implementación exitosa requiere capacitación adecuada, integración de datos y una infraestructura adecuada.

De la figura 13 presenta un análisis sobre la frecuencia con la que se generan y gestionan a tiempo las alertas de fallos en equipos mineros, cruzando esta información con los años de experiencia de los técnicos de mantenimiento.

Un porcentaje considerable de técnicos, especialmente aquellos con 6 a 10 años de experiencia, indican que las alertas de fallos se generan "rara vez". Esto sugiere

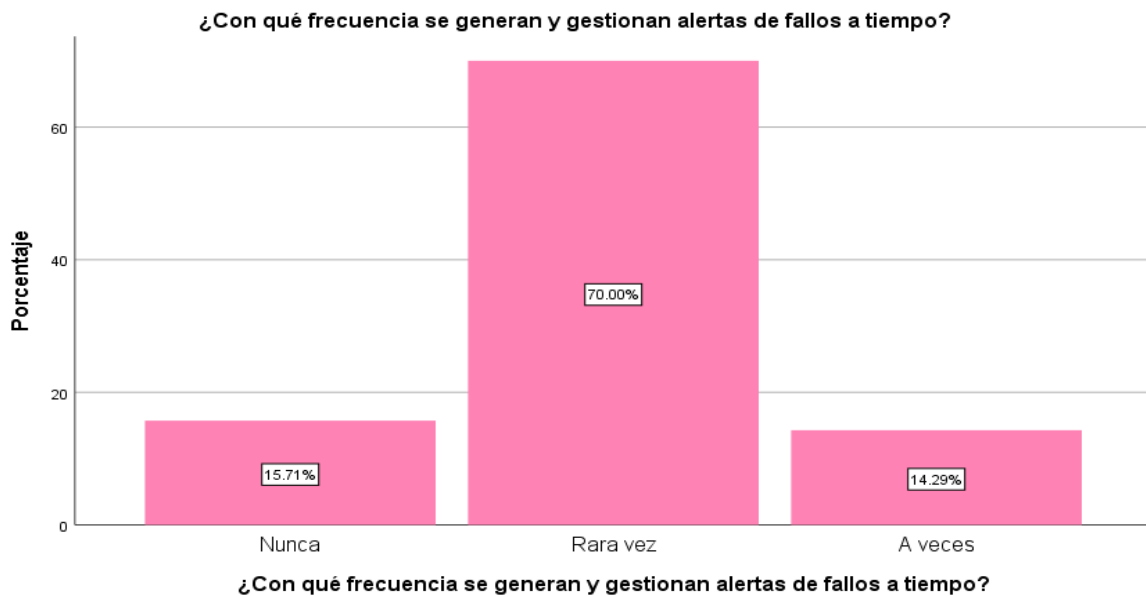
que los sistemas de alerta no están funcionando de manera óptima en muchos casos.

Las respuestas se encuentran dispersas entre las categorías, lo que indica una variabilidad significativa en la frecuencia con la que se generan y gestionan las alertas.

Posible relación con la experiencia: Si bien no es una tendencia clara, parece haber una ligera correlación entre la experiencia y la frecuencia de generación de alertas. Los técnicos con más experiencia (6-10 años) tienden a reportar una mayor frecuencia de generación de alertas, aunque la categoría "rara vez" sigue siendo dominante en este grupo.

Figura 17

Frecuencia se generan y gestionan alertas de fallos a tiempo



Fuente. Elaboración propia



Esta figura 13 nos muestra la distribución del tiempo operativo de los camiones Komatsu HM400, categorizado en rangos porcentuales. Además, cruza esta información con la experiencia de los técnicos de mantenimiento.

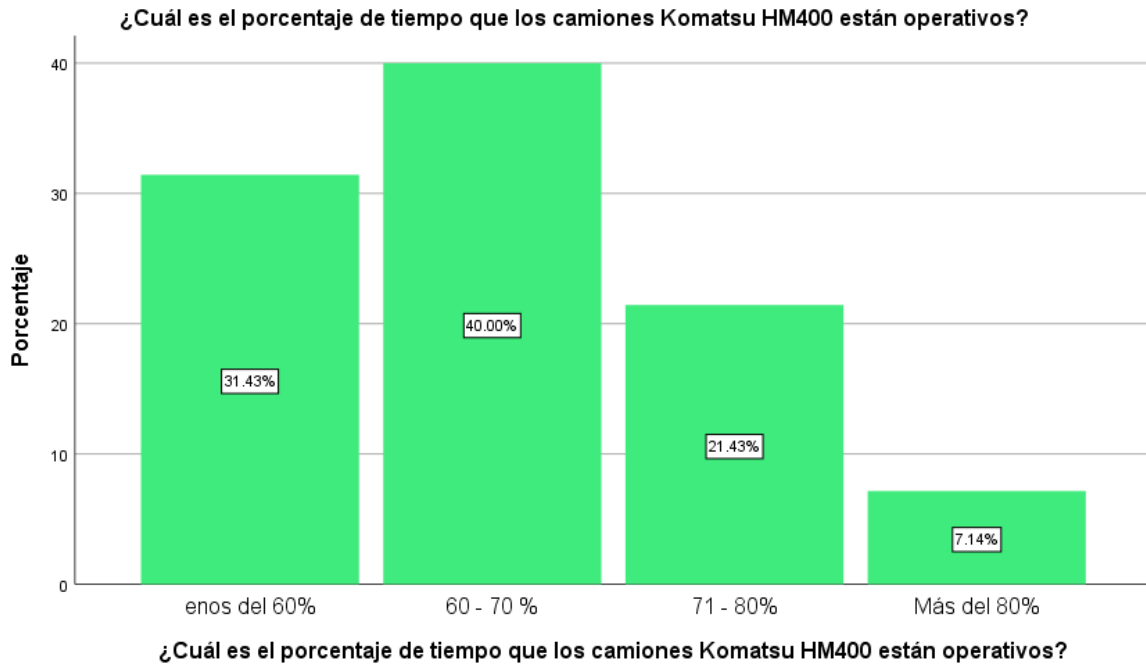
La mayor proporción de camiones (40%) opera entre un 60% y un 70% del tiempo. Esto sugiere un nivel aceptable de disponibilidad, aunque puede haber margen para mejorar.

Solo el 7.1% de los camiones opera más del 80% del tiempo. Esto podría indicar que aún hay margen para mejorar la disponibilidad de los equipos.

De la figura 14 muestra una distribución relativamente equilibrada del tiempo operativo de los camiones Komatsu HM400, pero también revela oportunidades para mejorar la disponibilidad de los equipos. Al implementar estrategias de mantenimiento más eficientes, capacitar al personal y analizar los datos de manera exhaustiva, es posible aumentar el tiempo operativo de los camiones y mejorar la productividad de la mina.

Figura 18

Tiempo que los camiones Komatsu HM400 están operativos



Fuente. Elaboración propia

De la figura 15 nos muestra cómo ha evolucionado el costo mensual de mantenimiento en el último año, categorizándolo en cuatro opciones: aumento significativo, aumento ligero, disminución ligera y sin cambio. Además, cruza esta información con la experiencia de los técnicos de mantenimiento.

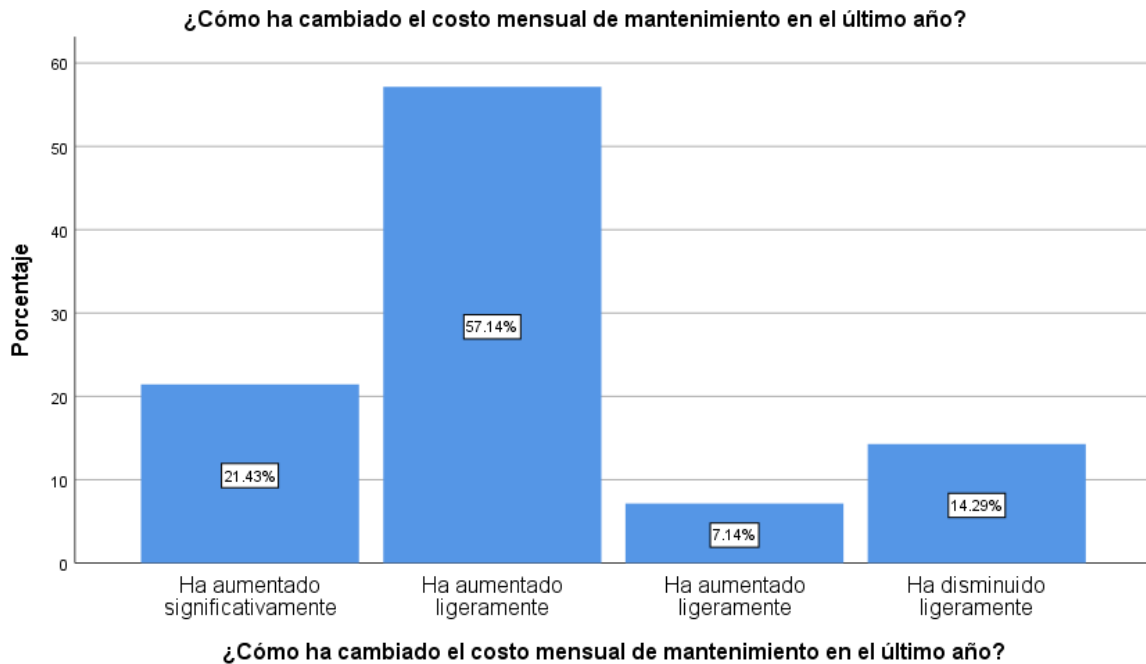
La mayoría de los encuestados (57.1%) reportaron un "aumento ligero" en los costos de mantenimiento durante el último año. Esto sugiere una tendencia general al alza en los gastos asociados al mantenimiento de los equipos mineros.

Un porcentaje relativamente bajo de encuestados (14.3%) reportó una "disminución ligera" en los costos. Esto indica que las reducciones en los costos de mantenimiento son menos comunes que los aumentos.

Los técnicos con 6 a 10 años de experiencia son los que con mayor frecuencia reportan un "aumento ligero" en los costos. Esto podría indicar que estos técnicos están involucrados en equipos más antiguos que requieren una mayor inversión en mantenimiento.

Figura 19

Costo de mantenimiento mensual



Fuente. Elaboración propia

De la figura 16 nos muestra la distribución de las horas de capacitación en mantenimiento de equipos mineros, según los años de experiencia de los técnicos.

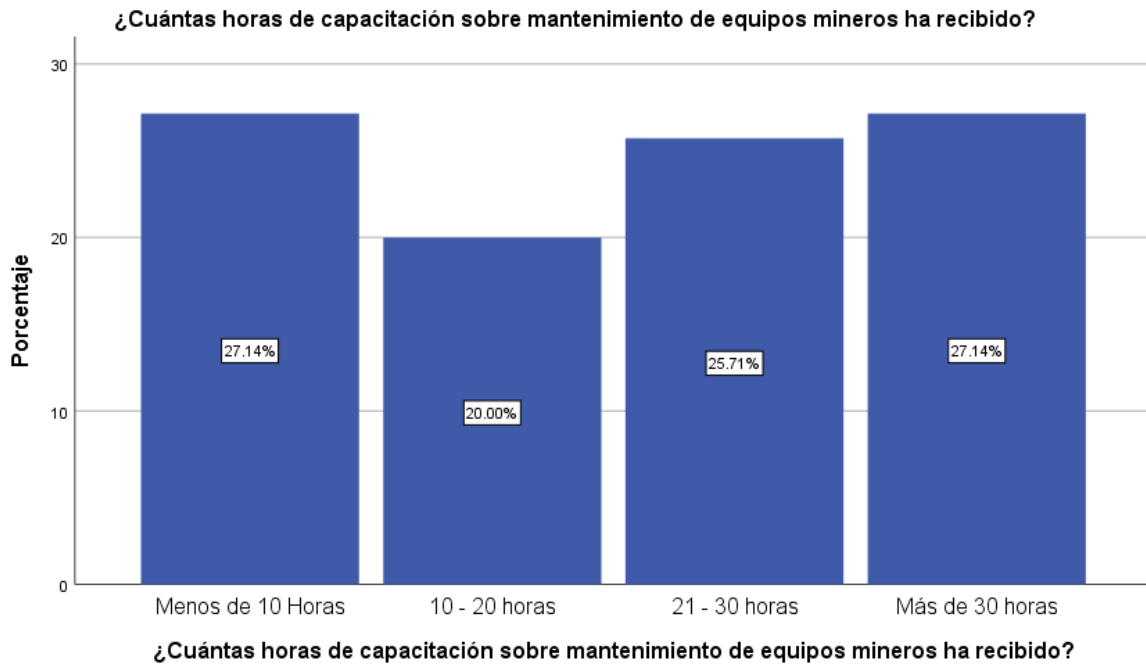
La categoría con mayor porcentaje es "Más de 30 horas", lo que indica que una proporción significativa de los técnicos recibe una capacitación considerable.

Las demás categorías (menos de 10 horas, 10-20 horas y 21-30 horas) presentan porcentajes similares, lo que sugiere una distribución bastante uniforme de las horas de capacitación.

A medida que aumenta la experiencia, también tiende a aumentar la cantidad de horas de capacitación. Esto es especialmente evidente en el grupo de 6 a 10 años de experiencia.

Figura 20

Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido



Fuente. Elaboración propia

De la figura 17 presenta una evaluación sobre la utilidad práctica de la capacitación recibida por los técnicos de mantenimiento, es decir, qué tan aplicable son los conocimientos adquiridos en la capacitación a las tareas diarias.

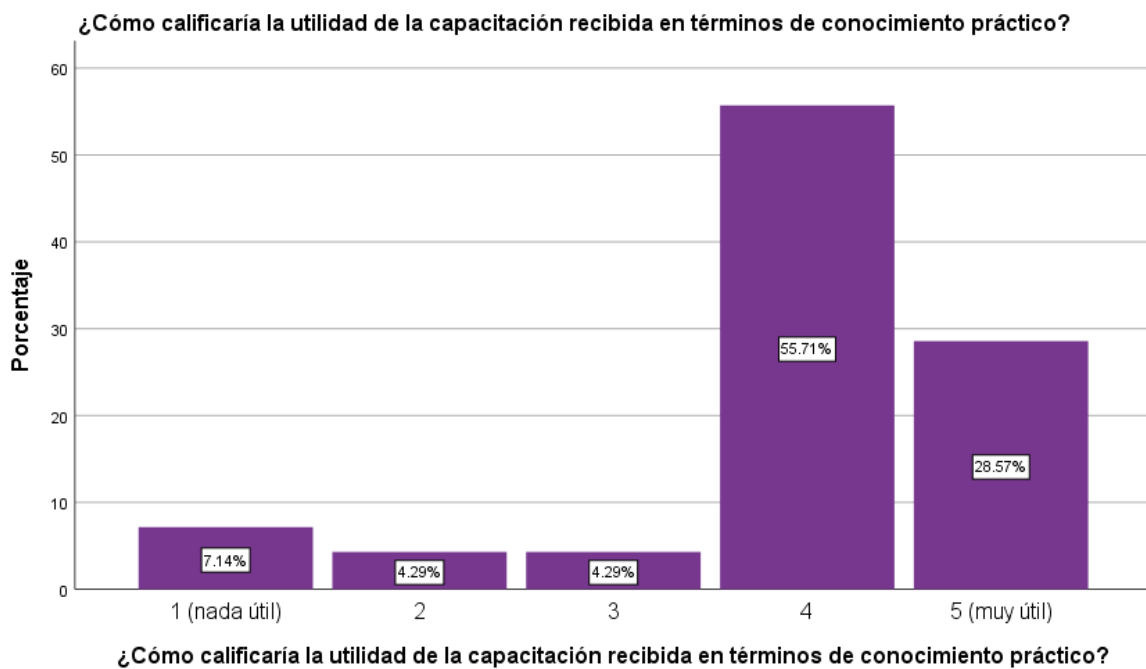
La mayoría de los técnicos (55.7%) califican la capacitación como "muy útil" (calificación 5), lo que indica que, en general, consideran que los conocimientos adquiridos son directamente aplicables a su trabajo.

La distribución de las respuestas se concentra principalmente en las calificaciones 4 y 5, lo que refuerza la idea de que la capacitación es percibida como altamente útil.

Los técnicos con 6 a 10 años de experiencia son los que con mayor frecuencia califican la capacitación como "muy útil", lo que podría indicar que la capacitación está diseñada de manera adecuada para este grupo y que los conocimientos adquiridos se aplican directamente en sus tareas.

Figura 21

Utilidad de la capacitación recibida en términos de conocimiento práctico



Fuente. Elaboración propia

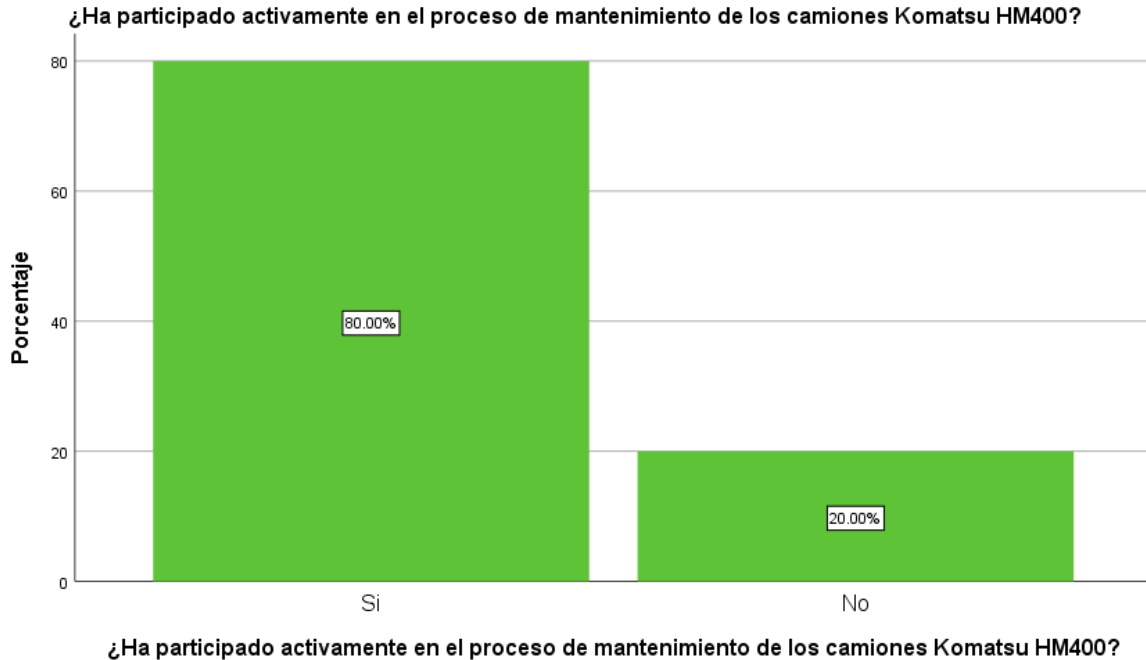
De la figura 18 nos muestra el porcentaje de técnicos que han participado activamente en el mantenimiento de los camiones Komatsu HM400, cruzado con los años de experiencia de los técnicos.

Un significativo 80% de los técnicos ha participado activamente en el mantenimiento de estos camiones, lo que indica una alta involucración en las tareas diarias de mantenimiento.

Los técnicos con 6 a 10 años de experiencia muestran la tasa más alta de participación activa, lo que sugiere que a medida que los técnicos ganan experiencia, se involucran más en las tareas de mantenimiento.

Figura 22

Mantenimiento de los camiones Komatsu HM400



Fuente. Elaboración propia

De la figura 19 evalúa el nivel de experiencia y conocimiento de los técnicos en el uso de sensores y sistemas de monitoreo continuo, herramientas cada vez más comunes en el mantenimiento de equipos mineros.

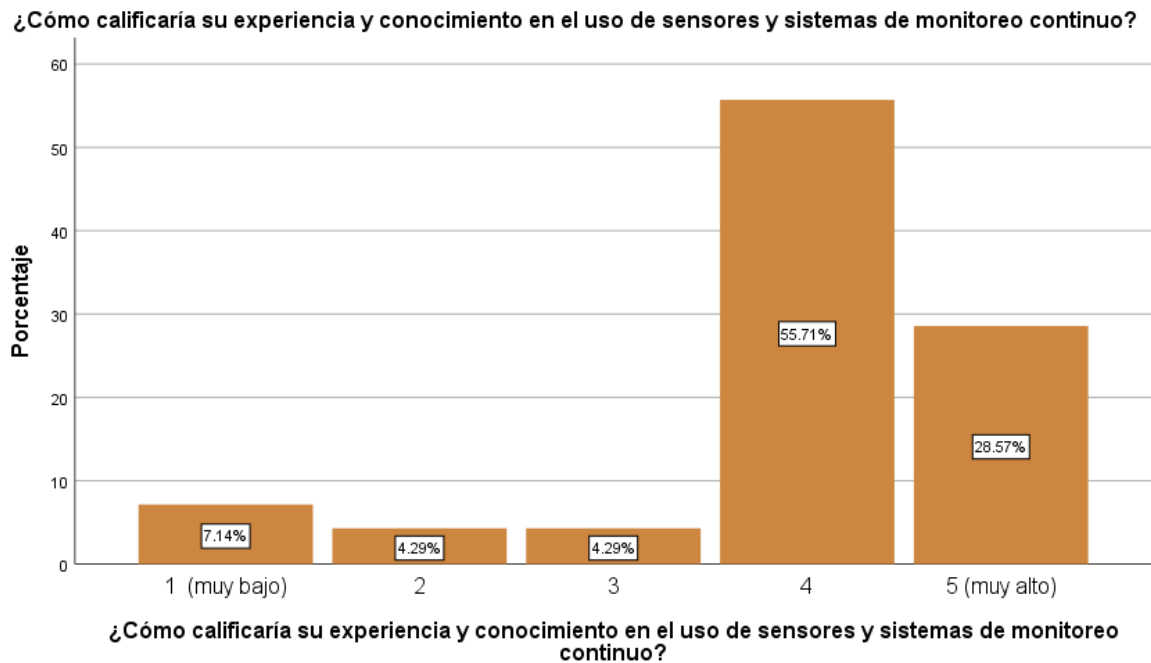
La mayoría de los técnicos (55.7%) se autoevalúan con un nivel 4 o 5, indicando una alta confianza en su capacidad para utilizar estos sistemas.

La distribución de las respuestas se concentra principalmente en las calificaciones 4 y 5, lo que refuerza la idea de que los técnicos, en general, se sienten cómodos y capacitados para trabajar con sensores y sistemas de monitoreo.

Similar a las tablas anteriores, los técnicos con 6 a 10 años de experiencia son los que con mayor frecuencia se autoevalúan con un nivel alto (4 o 5), lo que sugiere que la experiencia práctica juega un papel importante en el desarrollo de estas habilidades.

Figura 23

Experiencia y conocimiento en el uso de sensores y sistemas de monitoreo continuo



Fuente. Elaboración propia



La pregunta busca evaluar la percepción de los técnicos sobre el impacto de implementar un sistema de mantenimiento predictivo en la eficiencia del mantenimiento de los camiones Komatsu HM400.

De la figura 20 muestra una abrumadora mayoría (80%) de los técnicos que creen que la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo mejorará, al menos en cierta medida, la eficiencia del mantenimiento. Esto sugiere una fuerte aceptación de esta tecnología entre los técnicos.

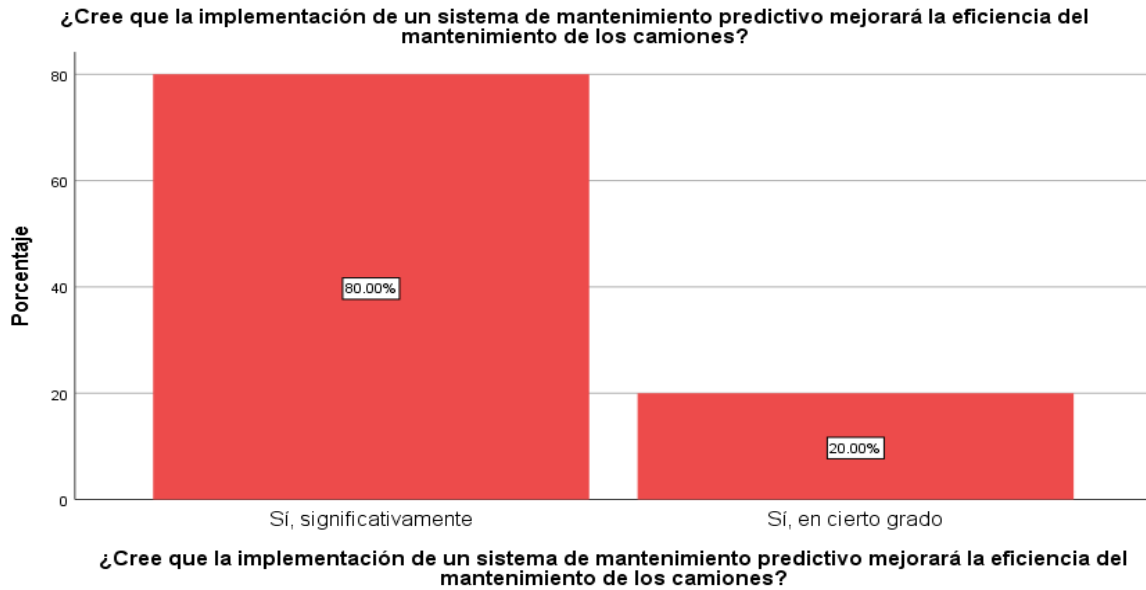
Basándonos en los datos de la tabla, podemos concluir que la gran mayoría de los técnicos creen que la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo traerá consigo mejoras significativas en la eficiencia del mantenimiento de los camiones Komatsu HM400.

El alto porcentaje de técnicos que ven beneficios en la implementación de un sistema predictivo indica una amplia aceptación de esta tecnología y una expectativa positiva hacia sus resultados.

La mayoría de los técnicos con mayor experiencia (6-10 años) creen en los beneficios del mantenimiento predictivo, lo que sugiere que la experiencia práctica les ha mostrado las limitaciones de los métodos tradicionales y la potencial de las nuevas tecnologías.

Figura 24

Mantenimiento predictivo mejorará la eficiencia del mantenimiento de los camiones



Fuente. Elaboración propia

De la figura 21 presenta los principales desafíos que los técnicos anticipan al implementar un nuevo plan de mantenimiento predictivo. Los resultados muestran una clara tendencia:

La principal preocupación es la resistencia al cambio por parte del personal, lo que sugiere que los técnicos pueden ser reticentes a adoptar nuevas formas de trabajo.

Un porcentaje significativo de los técnicos también menciona los altos costos iniciales como un desafío.

Aunque en menor medida, la falta de formación adecuada también se identifica como un obstáculo.

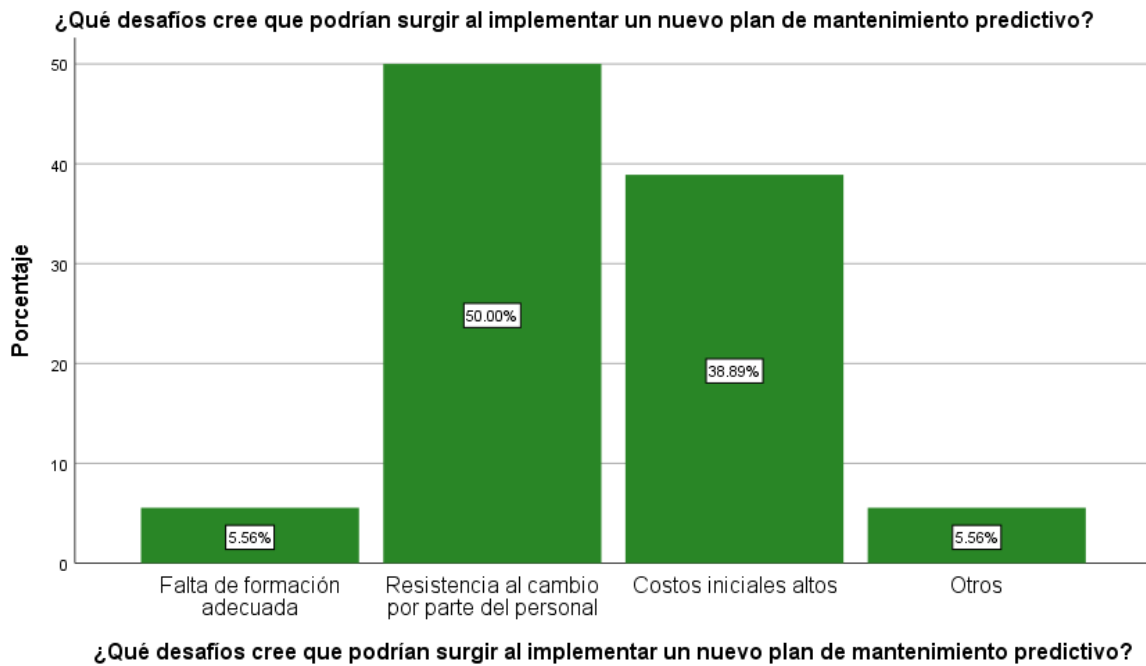
Este desafío es común en cualquier implementación de nuevas tecnologías o procesos. Los técnicos pueden sentirse cómodos con los métodos tradicionales y ser reacios a aprender nuevas habilidades.

La implementación de un sistema de mantenimiento predictivo requiere una inversión inicial significativa en hardware, software y capacitación. Esta inversión puede ser un obstáculo para algunas organizaciones.

Si los técnicos no reciben la capacitación adecuada, pueden tener dificultades para utilizar las herramientas y tecnologías asociadas con el mantenimiento predictivo.

Figura 25

Plan de mantenimiento predictivo



Fuente. Elaboración propia



CAPITULO 5 ESTUDIOS DE INGENIERIA

5.1 Análisis de los principales problemas (diagrama de Pareto)

Diagrama de Pareto para Fallas en Equipos Mineros

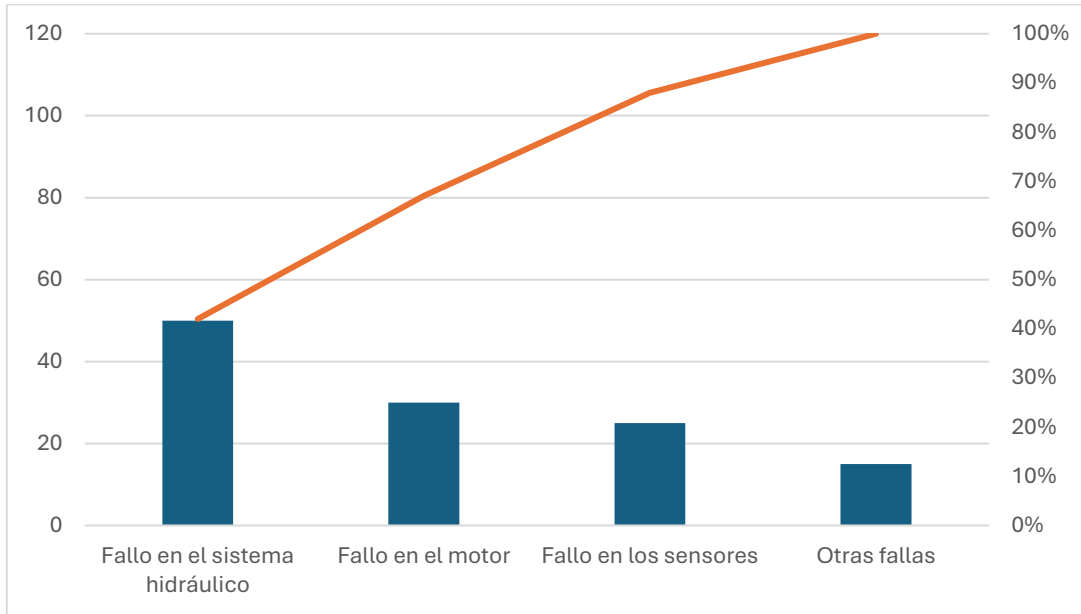
Tabla 4

Detención de fallas de los camiones

Categoría de Falla	Número de Fallas	de Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Fallo en el sistema hidráulico	50	42%	42%
Fallo en el motor	30	25%	67%
Fallo en los sensores	25	21%	88%
Otras fallas	15	13%	100%
Total	120	100%	

Fuente. Elaboración propia

Figura 26 Detención de fallas de los camiones



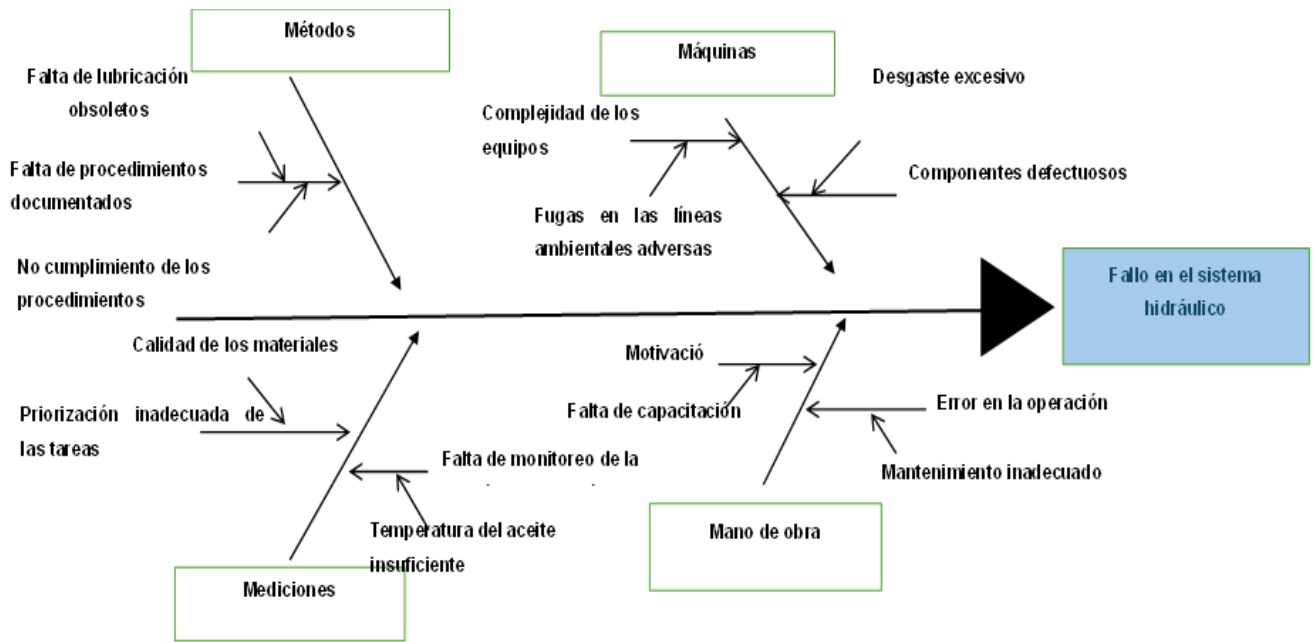
Fuente. Elaboración propia

Interpretando el Diagrama

Del 100% de las fallas se concentran en las tres primeras categorías (sistema hidráulico, motor y sensores). Esto indica que, al enfocar los esfuerzos de mantenimiento en estos componentes, se podría reducir significativamente el número total de fallas.

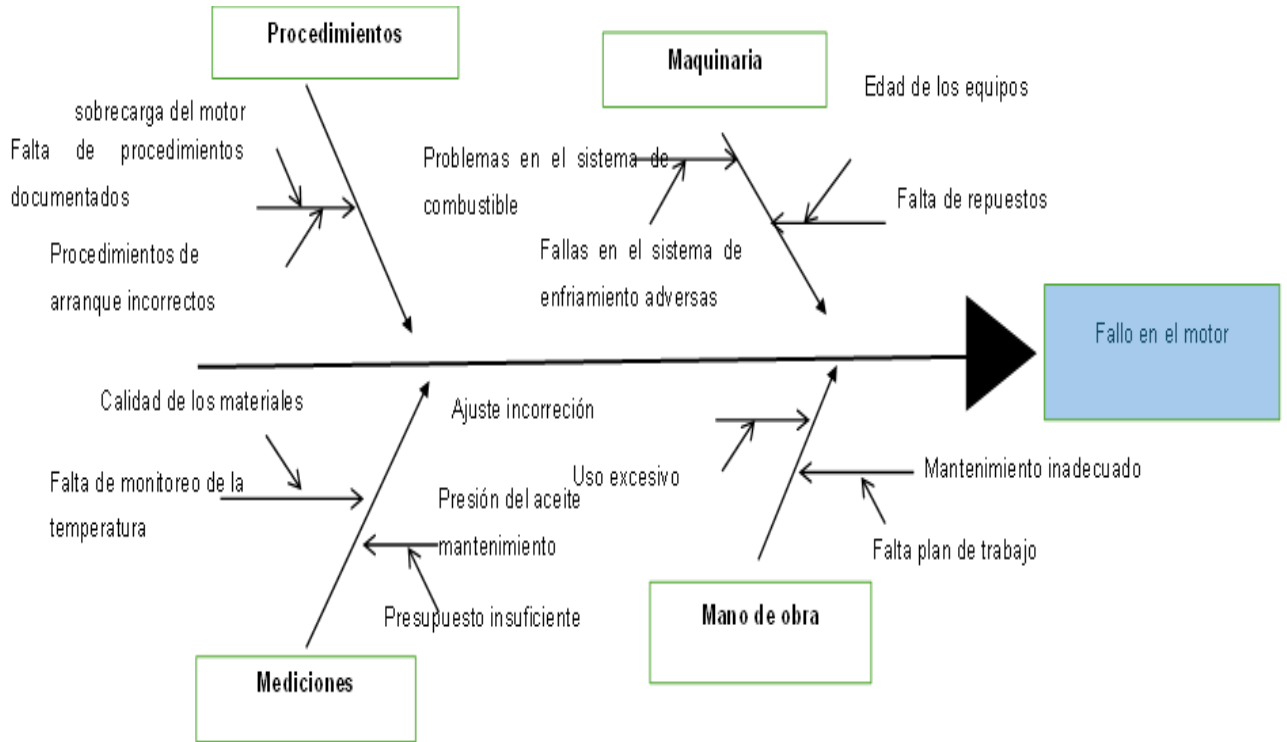
5.2 Diagrama de Ishikawa Propuesto

Figura 27
Fallo en el sistema hidráulico



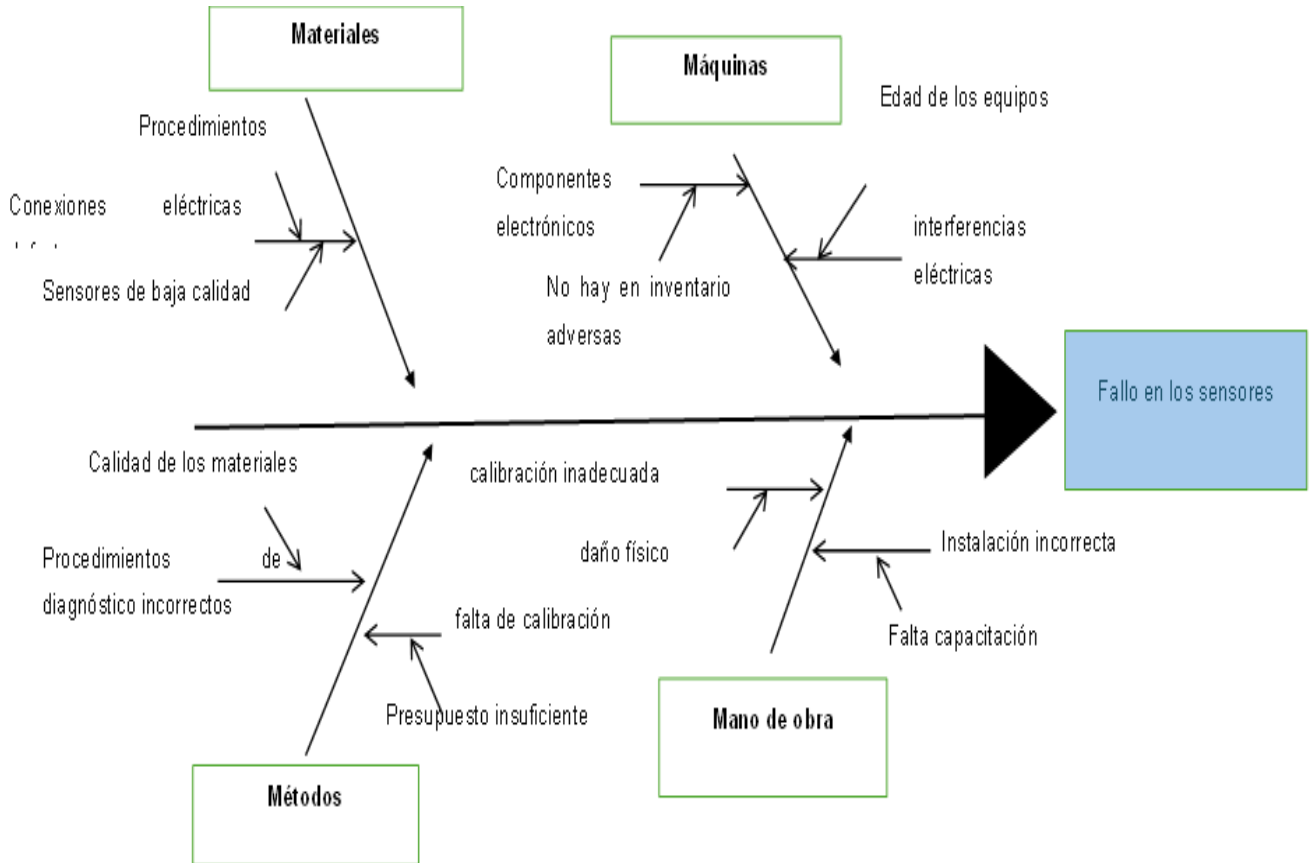
Fuente. Elaboración propia

Figura 28
Fallo en el motor



Fuente. Elaboración propia

Figura 29
Fallo en los sensores



Fuente. Elaboración propia



Acciones para implementar:

Tabla 5

Acciones a Implementar

Problema	Causa raíz	Solución	Seguimiento
Fallo en el sistema hidráulico	Fugas en las líneas	Reemplazar mangueras y juntas	Inspecciones periódicas, monitoreo de fugas
Fallo en el motor	Desgaste excesivo de anillos de pistón	Mejorar la calidad del aceite, ajustar los intervalos de cambio de aceite	Análisis de aceite, medición de compresión
Fallo en los sensores	Interferencias eléctricas	Instalar protectores contra interferencias	Monitoreo de la señal del sensor, análisis de la estabilidad del sistema eléctrico

Fuente: Elaboración propia

5.3 Auditoría de Mantenimiento de Camiones Komatsu HM400 de la empresa CONEQUISA Mina El Limón octubre 2024.

1. Resumen Ejecutivo

La auditoría reveló que el programa de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 presenta tanto fortalezas como áreas de mejora. Se identificó un alto cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo para las tareas básicas, sin embargo, se detectaron deficiencias en la documentación de las reparaciones y en la gestión de inventario de piezas de repuesto. Se recomienda implementar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para mejorar la eficiencia y la trazabilidad de las actividades de mantenimiento.



2. Introducción

Esta auditoría tiene como objetivo evaluar la eficacia del programa de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la operación de **CONEQUISA Mina El Limón** la evaluación se llevó a cabo durante el mes de octubre, y se centró en los siguientes aspectos:

- ✓ Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo,
- ✓ Eficiencia de las reparaciones,
- ✓ Gestión de inventarios y
- ✓ Cumplimiento de las normas de seguridad.

3. Acta de Apertura de Auditoría

Auditoría de Mantenimiento de Camiones Komatsu HM400

Fecha: 12 de noviembre del 2024

Lugar: Empresa CONEQUISA Mina El Limon

Hora de inicio: 8:00 am

Presentes:

Equipo Auditor:

- ✓ Yosseling Avigail Benavidez Casco, Jefe Auditor
- ✓ José Manuel Chan Uriarte, Auditor
- ✓ Juan Francisco Escoto Dávila, Especialista en maquinas pesada

Representante de la empresa: Norving Sotelo, Director de Mantenimiento

Otros participantes: Ing. Silvia Hernandez, Supervisora

Objetivo de la Auditoría:

Evaluar la efectividad del programa de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la operación de CONEQUISA Mina El Limón, con el fin de identificar



oportunidades de mejora, asegurar la confiabilidad de los equipos y cumplir con los estándares de seguridad.

4. Alcance:

La auditoría se centrará en los siguientes aspectos:

5. Metodología:

La auditoría se llevará a cabo mediante la revisión de documentos, entrevistas al personal, inspección de equipos y análisis de datos.

6. Cronograma de Auditoría - Camiones Komatsu HM400

Tabla 6
Cronograma de Auditoría

Día	Hora	Actividad	Sección del Checklist a Evaluar	Observaciones
12 de noviembre	8:00 - 9:00	Reunión inicial con el equipo de mantenimiento	General	Presentar el alcance y objetivos de la auditoría.
	9:00 - 11:00	Revisión de documentos: planes de mantenimiento, registros de mantenimiento, órdenes de trabajo	Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo	Identificar posibles inconsistencias o áreas a profundizar.



Día	Hora	Actividad	Sección del Checklist a Evaluar	Observaciones
	11:00 - 12:00	Entrevista con el supervisor de mantenimiento	General	Obtener una visión general del programa de mantenimiento y sus desafíos.
	12:00 - 13:00	Almuerzo		
	13:00 - 15:00	Inspección de equipos en el taller	Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo	Verificar el estado de los equipos, herramientas y equipos de medición.
	15:00 - 17:00	Revisión del sistema de gestión de inventario	Gestión de Inventario	Verificar la precisión del inventario físico y el sistema de gestión utilizado.
13 de noviembre	8:00 - 9:30	Entrevista con los mecánicos	Mantenimiento Correctivo, Seguridad	Evaluar el conocimiento del personal sobre procedimientos de



Día	Hora	Actividad	Sección del Checklist a Evaluar	Observaciones
				mantenimiento y seguridad.
	9:30 - 11:00	Revisión de registros de capacitación	Seguridad	Verificar la capacitación del personal en temas de seguridad y mantenimiento.
	11:00 - 12:00	Análisis de datos de fallas y tiempo de inactividad	Mantenimiento Correctivo	Identificar patrones de fallas y áreas de mejora.
	12:00 - 13:00	Almuerzo		
	13:00 - 15:00	Evaluación del cumplimiento de normas de seguridad	Seguridad	Verificar el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios.
	15:00 - 17:00	Reunión de cierre: presentación de hallazgos preliminares y discusión de próximos pasos	General	Presentar los hallazgos iniciales y acordar los siguientes pasos.



Fuente: Elaboración propia

7. Descripción del Programa de Mantenimiento Actual

Actualmente, la empresa cuenta con un plan de mantenimiento preventivo basado en las recomendaciones del fabricante. Las tareas de mantenimiento se asignan a un equipo de mecánicos y se registran en hojas de trabajo manuales. El inventario de repuestos se gestiona de manera centralizada, pero se han identificado problemas de disponibilidad de ciertas piezas.

8. Auditoría de Mantenimiento - Camiones Komatsu HM400

Tabla 7
Auditoría de Mantenimiento

Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido (%)	Observaciones y Acciones Correctivas
Mantenimiento Preventivo	Adherencia a intervalos de mantenimiento	Comparación con el plan de mantenimiento preventivo	Órdenes de trabajo, registros de lubricación	80%	Revisar y actualizar el plan de mantenimiento, especialmente para tareas con desviaciones.
	Calidad de lubricantes y fluidos	Verificación de especificaciones y	Hojas de seguridad, facturas	95%	Implementar un sistema de control de calidad para



Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido (%)	Observaciones y Acciones Correctivas
		registros de compra			los lubricantes.
	Registro de lecturas de medidores	Revisar registros de mantenimiento	Libros de registro, software de gestión	30%	Implementar un sistema electrónico de registro de lecturas y establecer un programa de seguimiento mensual.
Mantenimiento Correctivo	Documentación de fallas y reparaciones	Compleitud y claridad de las órdenes de trabajo	Órdenes de trabajo, reportes de fallas	90%	Establecer un formato estándar para las órdenes de trabajo y asegurar su cumplimiento.
	Análisis de causa raíz	Existencia de análisis y	Reportes de análisis de fallas,	50%	Implementar un proceso formal de



Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido (%)	Observaciones y Acciones Correctivas
		acciones correctivas	procedimientos		análisis de causa raíz (5 porqués) para todas las fallas mayores.
	Disponibilidad de repuestos críticos	Comparación con el inventario teórico	Listas de inventario, registros de consumo	85%	Optimizar los niveles de inventario y establecer un sistema de alerta para los repuestos de baja criticidad.
	Sistema de gestión de inventario	Existencia y uso de un sistema (software o manual)	Software, hojas de cálculo	100%	Implementar un sistema de gestión de inventario electrónico para mejorar la



Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido (%)	Observaciones y Acciones Correctivas
Gestión de Inventario					trazabilidad y control.
	Frecuencia de inventarios físicos	Realización de inventarios periódicos	Reportes de inventario físico	60%	Aumentar la frecuencia de los inventarios físicos a cada trimestre y realizar ajustes necesarios.
	Cálculo de niveles de reposición	Cálculo basado en el consumo histórico y demanda proyectada	Registros de consumo, políticas de inventario	40%	Implementar un sistema de cálculo de niveles de reposición óptimos basado en el método ABC.
	Cumplimiento de normas y	Revisión de documentación y	Licencias, permisos, procedimientos de	100%	Realizar auditorías de seguridad periódicas



Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido (%)	Observaciones y Acciones Correctivas
Seguridad	regulaciones	procedimientos	trabajo seguros		para asegurar el cumplimiento continuo.
	Inspecciones de seguridad	Frecuencia e exhaustividad de las inspecciones	Listas de verificación, reportes de inspección	80%	Aumentar la frecuencia de las inspecciones de seguridad y enfocarse en áreas de alto riesgo.
	Capacitación del personal	Disponibilidad de registros de capacitación	Certificados de capacitación	95%	Implementar un plan de capacitación anual para actualizar los conocimientos del personal en seguridad y mantenimiento.



Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido (%)	Observaciones y Acciones Correctivas
General	Actualización del plan de mantenimiento preventivo	Comparación con las prácticas actuales	Plan de mantenimiento, procedimientos de trabajo	70%	Revisar y actualizar el plan de mantenimiento o anualmente, considerando las recomendaciones de esta auditoría.
	Calibración de herramientas y equipos	Disponibilidad de certificados de calibración	Certificados de calibración, registros de mantenimiento	80%	Establecer un programa de calibración anual para todas las herramientas y equipos de medición.
	Sistema de gestión de la información	Disponibilidad y accesibilidad	Software de gestión de mantenimiento	75%	Consolidar la información de mantenimiento



Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido (%)	Observaciones y Acciones Correctivas
		d de la información	nto, bases de datos		o en un único sistema y mejorar la interfaz de usuario.

Fuente: Elaboración propia

Observaciones generales:

- ✓ Fortalezas: El sistema de gestión de inventario está bien implementado y se cumple con la mayoría de los requisitos legales y reglamentarios en materia de seguridad.
- ✓ Áreas de mejora: Se deben mejorar los registros de mantenimiento, especialmente en cuanto a lecturas de medidores y análisis de causa raíz. Además, es necesario optimizar los niveles de inventario y actualizar el plan de mantenimiento preventivo.
- ✓ Recomendaciones: Implementar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS), fortalecer el análisis de causa raíz, mejorar la capacitación del personal y realizar auditorías internas periódicas para asegurar la mejora continua.

Figura 30
Auditoria in situ



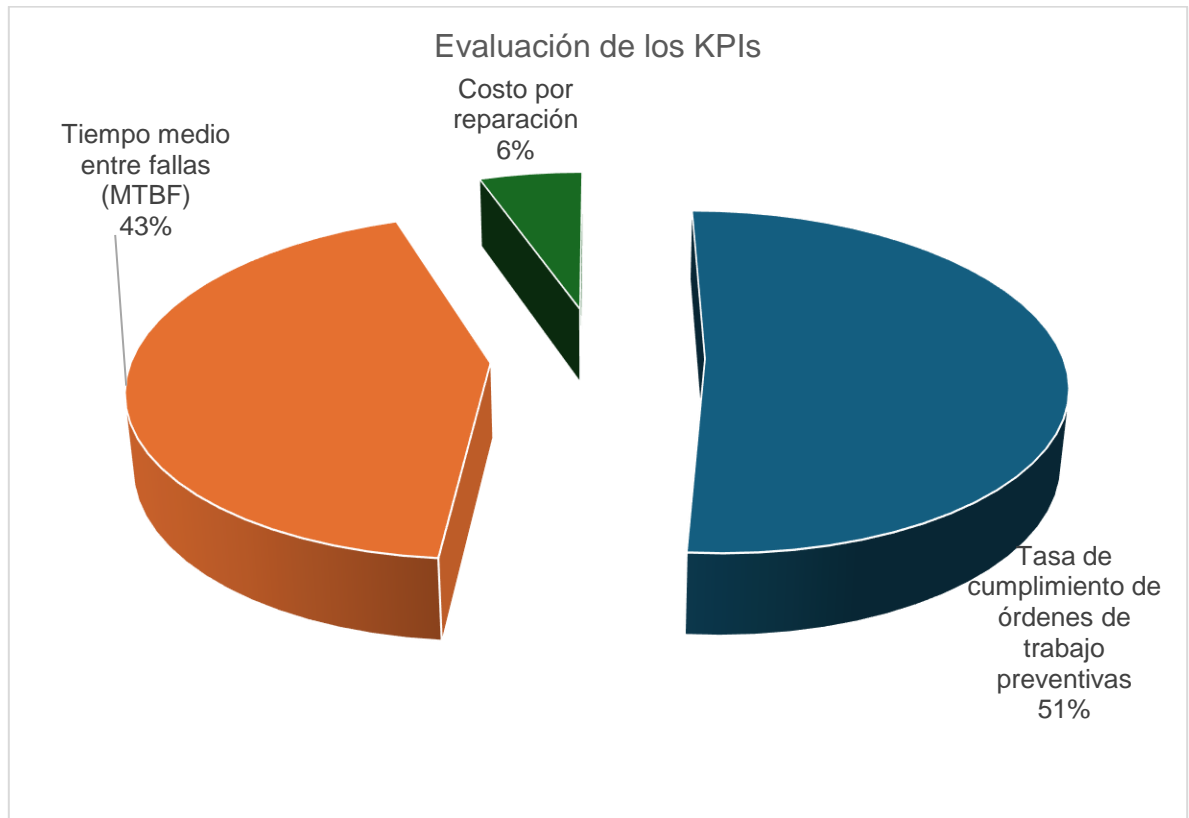
Fuente: Elaboración propia

9. Evaluación de los KPIs

- **Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo preventivas:** El 51% de las órdenes de trabajo preventivas se completaron dentro del plazo establecido.
- **Tiempo medio entre fallas (MTBF):** El MTBF actual es de 1,200 horas, inferior al objetivo establecido de 1,500 horas. (43%)
- **Costo por reparación:** El costo promedio por reparación ha aumentado un 6% en comparación con el año anterior.

Figura 31

Evaluación de los KPI's



Fuente: Elaboración propia

10. Análisis de las Prácticas de Mantenimiento

Se observó un alto nivel de cumplimiento de las normas de seguridad durante las visitas a los talleres. Sin embargo, se detectaron oportunidades de mejora en la capacitación del personal en el uso de nuevas herramientas y tecnologías. Además, se identificó una falta de estandarización en los procedimientos de diagnóstico y reparación.

11. Hallazgos y Conclusiones

✓ **Fortalezas:**

- Alto cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.
- Buena disponibilidad de herramientas y equipos.
- Personal técnico con experiencia.

✓ **Áreas de mejora:**

- Deficiencias en la documentación de las reparaciones.
- Falta de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado.
- Problemas de disponibilidad de ciertas piezas de repuesto.
- Falta de estandarización en los procedimientos.

En la figura 29, se observó las fallas del turbo y trasegadora de combustibles (entre otras fallas) Figura 29 Auditoría in situ (1)

Figura 32

Auditoria in situ (1)



Fuente: Elaboración propia

Además de las fallas observadas en el turbo y la trasegadora de combustibles (Figura 29), la auditoría in situ reveló un crítico deterioro del sistema hidráulico, evidenciado en las Figuras 30 y 31. Este último hallazgo representa un riesgo significativo para la operación segura y eficiente del equipo.

Figura 33

Auditoria in situ (2)



Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Auditoria in situ (3)



Fuente: Elaboración propia

La auditoría in situ ha revelado un problema recurrente en los filtros, como se muestra en las Figuras 32 y 33. La obstrucción y contaminación de estos elementos filtrantes puede ocasionar una reducción en el flujo, un aumento en la presión y, a largo plazo, daños en componentes más críticos del sistema.

Figura 35

Auditoria in situ (4)



Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Auditoria in situ (5)



Fuente: Elaboración propia

El análisis visual de los sistemas de combustible y aceite (Figuras 34, 35 y 36) ha detectado una contaminación que puede desencadenar una serie de problemas, como la formación de depósitos, la obstrucción de inyectores y la pérdida de propiedades lubricantes del aceite. Estas condiciones pueden resultar en una

disminución del rendimiento del motor, un aumento en el consumo de combustible y, en casos extremos, una falla catastrófica.

Figura 37
Auditoria in situ (6)



Fuente: Elaboración propia

Figura 38
Auditoria in situ (7)



Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Auditoria in situ (8)



Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Auditoria in situ (9)



Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Auditoria in situ (10)



Fuente: Elaboración propia

7. Recomendaciones

- **Implementar un CMMS:** Adoptar un software de gestión de mantenimiento para mejorar la planificación, ejecución y seguimiento de las tareas de mantenimiento.
- **Establecer un programa de capacitación:** Impartir capacitación al personal en el uso del CMMS, nuevas tecnologías y procedimientos estandarizados.
- **Optimizar la gestión de inventario:** Realizar un análisis del inventario de repuestos y ajustar los niveles de stock para reducir los costos y evitar faltantes.
- **Establecer indicadores clave de desempeño (KPIs):** Definir KPIs adicionales para monitorear la eficiencia y la efectividad del programa de mantenimiento.



La auditoría del mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 ha revelado tanto fortalezas como áreas de oportunidad. Por un lado, se ha constatado un alto cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo, lo que indica un compromiso de la empresa por mantener los equipos en óptimas condiciones. Además, el personal técnico cuenta con la experiencia necesaria para llevar a cabo las reparaciones.

Sin embargo, la auditoría ha identificado varias áreas que requieren atención. Entre las principales deficiencias se encuentran la falta de documentación detallada de las reparaciones, la ausencia de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) y la falta de estandarización de los procedimientos. Estas deficiencias pueden generar ineficiencias, dificultar la toma de decisiones basadas en datos y aumentar los costos de mantenimiento.

Para abordar estas deficiencias, se recomienda la implementación de un CMMS. Esta herramienta permitirá optimizar la planificación, seguimiento y análisis de las actividades de mantenimiento, facilitando la gestión de los equipos y la identificación de oportunidades de mejora. Además, es fundamental desarrollar procedimientos de trabajo estandarizados para garantizar la calidad y la consistencia de las reparaciones.

En resumen, la implementación de un CMMS, la estandarización de procedimientos y la capacitación del personal son las principales recomendaciones para mejorar el programa de mantenimiento. Estas acciones permitirán aumentar la eficiencia, reducir los costos y prolongar la vida útil de los camiones Komatsu HM400.



CAPÍTULO 6 PROPUESTA

6.1 Propuestas de protocolos claros y detallados para la detección temprana de fallas, minimizando así tiempos de inactividad y costos de reparación.

El presente protocolo detalla de manera sistemática las actividades a realizar durante las inspecciones generales de [especificar el equipo o sistema]. A través de un conjunto de indicadores clave de desempeño (KPI), listas de verificación y umbrales de alerta, se busca garantizar el óptimo funcionamiento del equipo y prevenir fallas. Este documento, además, establece las frecuencias de inspección, las herramientas necesarias y los requerimientos de capacitación del personal involucrado en estas tareas, con el objetivo de asegurar la confiabilidad y durabilidad del equipo.

Protocolo de Inspección General

El presente protocolo de inspección general establece una metodología sistemática para garantizar el óptimo funcionamiento y la máxima vida útil de los equipos. A través de la identificación de componentes críticos, el establecimiento de indicadores clave de desempeño (KPI) y la definición de frecuencias de inspección, se busca prevenir fallas y averías, minimizando así los tiempos de parada y los costos de mantenimiento.



Tabla 8

Protocolo de Inspección General

Elemento	Descripción	Indicador	Acción
Análisis del equipo	Identificar componentes críticos y su funcionamiento.	Historial de fallas en el sistema hidráulico	Revisar regularmente los niveles de aceite hidráulico y buscar fugas.
KPI	Indicadores clave de desempeño.	Consumo excesivo de combustible	Ajustar la presión de los neumáticos, revisar los filtros de aire.
Frecuencias de inspección	Establecer intervalos de tiempo para cada tipo de inspección.	Inspección diaria de niveles de fluidos	Inspección mensual de la alineación de las ruedas.
Listas de verificación	Detallar los puntos a verificar en cada inspección.	Lista de verificación para la inspección del sistema de frenos	Verificar el funcionamiento del freno de motor, el desgaste de las pastillas y el estado de los discos.
Umbrales de alerta	Definir valores límite para los KPI.	Temperatura máxima del motor de 105°C	Generar una alerta si la temperatura supera los 105°C.



Elemento	Descripción	Indicador	Acción
Sistema de registro	Documentar todas las inspecciones y mantenimientos.	Software de gestión mantenimiento	de Registrar todas las lecturas de los medidores y las acciones correctivas tomadas.
Capacitación del personal	Asegurar que el personal tenga los conocimientos necesarios.	Capacitación en el uso de herramientas de diagnóstico	Capacitar a los técnicos en el uso de un analizador de gases de escape.
Herramientas	Equipar a los técnicos con las herramientas adecuadas.	Termómetro infrarrojo	Utilizar un termómetro infrarrojo para detectar puntos calientes en el motor.

Fuente: Elaboración propia

6.2 Protocolo de Inspección Semanal

Este protocolo de inspección semanal tiene como objetivo principal prevenir fallas y averías en los equipos, garantizando así su óptimo funcionamiento y prolongando su vida útil. Mediante la revisión sistemática de componentes críticos como el sistema de enfriamiento, lubricación, filtros y sistema eléctrico, se detectarán a tiempo posibles problemas, permitiendo tomar acciones correctivas oportunas y evitando costosas reparaciones mayores.

Tabla 9

Protocolo de Inspección Semanal

Componente	Inspección	Observación	Acción Correctiva
------------	------------	-------------	-------------------



Sistema de enfriamiento	Revisar nivel de refrigerante, estado de mangueras	Nivel bajo fugas, de	Agregar refrigerante y verificar si hay fugas.
Sistema de lubricación	Revisar niveles de aceite en motor, transmisión, diferenciales	Nivel bajo	Completar el nivel de aceite con el tipo correcto.
Filtros	Revisar estado de filtros de aire, aceite, combustible	Sucios o obstruidos	Reemplazar los filtros según el programa de mantenimiento.
Sistema eléctrico	Verificar indicadores, baterías	Luces fundidas	Reemplazar las bombillas.

Fuente: Elaboración propia

6.3 Diseño de un programa de capacitación integral para el personal de mantenimiento, enfocándose en las nuevas herramientas y procedimientos establecidos.

Programa de capacitación integral para el personal de mantenimiento, enfocado en las nuevas herramientas y procedimientos establecidos:

Tabla 10

Programa de capacitación integral

Etapas del Programa	Actividades clave	Objetivos
Análisis de necesidades	Evaluación de conocimientos actuales, identificación de	Determinar las áreas específicas donde se requiere capacitación.



Etapas del Programa	Actividades clave	Objetivos
	brechas, definición de objetivos de aprendizaje.	
Diseño del contenido	Desarrollo de módulos teóricos y prácticos, selección de materiales didácticos, creación de simulaciones.	Asegurar que el contenido sea relevante y efectivo.
Selección de métodos de enseñanza	Clases teóricas, demostraciones prácticas, estudios de caso, simuladores, trabajo en equipo.	Facilitar el aprendizaje y la retención de conocimientos.
Desarrollo de materiales	Elaboración de manuales, presentaciones, guías prácticas, videos.	Proporcionar recursos de apoyo para el aprendizaje.
Implementación	Organización de sesiones de capacitación, asignación de instructores, uso de instalaciones adecuadas.	Ejecutar el programa de capacitación de manera eficiente.
Evaluación	Pruebas teóricas y prácticas, cuestionarios, observación del desempeño.	Medir el logro de los objetivos de aprendizaje.
Seguimiento y mejora	Recopilación de feedback, análisis de resultados, ajuste del programa.	Garantizar la eficacia continua del programa.

Fuente: Elaboración propia



Estructura de un módulo de capacitación:

A continuación, se presenta la estructura del módulo de capacitación diseñado para familiarizar a los técnicos con la nueva herramienta de diagnóstico y los procedimientos para diagnosticar fallas en el motor. Esta tabla detalla los contenidos, las actividades a realizar y los métodos de evaluación para cada sección del módulo.

Tabla 11

Módulo de capacitación

Módulo	Contenido	Actividades	Evaluación
Introducción a la nueva herramienta de diagnóstico	Características técnicas, funcionamiento básico	Presentación teórica, demostración práctica	Cuestionario teórico, ejercicio práctico en un simulador
Procedimientos de diagnóstico de fallas en el motor	Uso de la herramienta de diagnóstico, interpretación de datos	Ejercicio práctico en un simulador, resolución de casos prácticos	Evaluación práctica en un equipo real

Fuente: Elaboración propia

Beneficios adicionales de un programa de capacitación integral:

- ✓ **Mayor eficiencia:** Reducción de tiempos de inactividad y costos de reparación.
- ✓ **Mejora de la calidad del mantenimiento:** Mayor precisión en las reparaciones.
- ✓ **Aumento de la seguridad:** Reducción de accidentes laborales.



- ✓ **Mayor satisfacción del personal:** Mayor compromiso y motivación.

6.4 Propuesta de mantenimiento.

La propuesta para el mantenimiento de camiones Komatsu HM400, agrupados por categoría y con una breve explicación de cada uno:

Tabla 12

Propuestos

Categoría	KPI	Descripción (Adaptada)
Mantenimiento Preventivo	Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo preventivas relacionadas con lubricación y revisión de componentes críticos (damper, cruces cardánicas, sistema de refrigeración)	Mide la efectividad del plan de mantenimiento en prevenir las fallas identificadas.
Mantenimiento Preventivo	Tiempo promedio para completar una orden de trabajo preventiva de lubricación	Evalúa la eficiencia en la ejecución de tareas preventivas críticas.
Mantenimiento Correctivo	MTBF ¹ de dampers	Mide la confiabilidad de los dampers, un componente crítico afectado por las condiciones de trabajo.
Mantenimiento Correctivo	MTBF de cruces cardánicas	Mide la confiabilidad de las cruces cardánicas, afectadas por la falta de lubricación.
Mantenimiento Correctivo	Tiempo medio para reparar sobrecalentamientos del motor	Evalúa la rapidez de respuesta ante fallas

¹ Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallos)



Categoría	KPI	Descripción (Adaptada)
		relacionadas con el sistema de refrigeración.
Mantenimiento Correctivo	Número de reparaciones por fatiga en diferenciales	Identifica la frecuencia de fallas relacionadas con la falta de mantenimiento y sobrecarga.
Disponibilidad	Disponibilidad del equipo en condiciones de trabajo seguras (considerando las fallas identificadas)	Mide la disponibilidad real del equipo, considerando las paradas no programadas por las fallas mencionadas.
Calidad	Tasa de defectos relacionados con la calidad del mantenimiento (: trabajos mal realizados, piezas incorrectas)	Mide la calidad del trabajo realizado por los técnicos de mantenimiento.
Costo	Costo total de mantenimiento asociado a las fallas identificadas	Indica el costo directo de las fallas en dampers, cruces cardánicas, sistema de refrigeración y diferenciales.
Seguridad	Número de incidentes relacionados con fallas en equipos (accidentes por sobrecalentamiento, ruptura de componentes)	Mide el impacto de las fallas en la seguridad de los operadores.

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO VII: CONCLUSIONES

El análisis de las fallas en los camiones Komatsu HM400 ha revelado que los sistemas hidráulicos, el motor y los sensores son los principales causantes de las averías. Estos componentes críticos representan una proporción significativa del tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento. Es fundamental enfocar los esfuerzos de mantenimiento preventivo en estos sistemas para mejorar la disponibilidad de los equipos.

Si bien existe un cierto nivel de conciencia sobre la importancia de la detección temprana de fallas, se identificó una falta de procedimientos estandarizados. Para mejorar la fiabilidad de los equipos, se recomienda implementar un programa de monitoreo de condición que incluya análisis de aceite, vibraciones y termografía. Además, es necesario capacitar al personal en el uso de estas herramientas y en la interpretación de los datos obtenidos.

El programa de capacitación actual requiere mejoras para abordar las necesidades específicas del personal de mantenimiento. Es necesario desarrollar un plan de capacitación que incluya temas como diagnóstico avanzado de fallas, uso de herramientas de diagnóstico, y mantenimiento predictivo. La capacitación debe ser personalizada para adaptarse a los diferentes niveles de experiencia de los técnicos.

La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) es fundamental para monitorear y evaluar de forma continua el desempeño de los equipos. Este sistema permitirá recopilar y analizar datos de mantenimiento, identificar tendencias y tomar decisiones basadas en datos reales. Además, la instalación de sensores en los equipos permitirá implementar un sistema de mantenimiento predictivo, lo que reducirá las fallas no programadas y optimizará los costos de mantenimiento.



La experiencia del personal es un factor clave: Los técnicos con mayor experiencia tienden a identificar y solucionar problemas de manera más eficiente. Sin embargo, es necesario invertir en la capacitación del personal menos experimentado para asegurar una fuerza laboral altamente capacitada.



CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

- ✓ Implementar programas de capacitación continua que se adapten a las necesidades de todos los trabajadores, independientemente de su edad.
- ✓ Ofrecer programas de capacitación personalizados que tomen en cuenta las experiencias y necesidades individuales de cada trabajador.
- ✓ Crear un ambiente de trabajo que fomente el aprendizaje continuo y la adquisición de nuevas habilidades.
- ✓ Realizar evaluaciones periódicas de los programas de capacitación para medir su impacto en el desempeño y la satisfacción de los trabajadores.
- ✓ Considerar la implementación de programas de capacitación personalizados o modulares, que permitan a los técnicos seleccionar los temas que más les interesan o que son más relevantes para su trabajo.
- ✓ Involucrar a los técnicos desde las primeras etapas del proyecto, comunicando claramente los beneficios y respondiendo a sus inquietudes.
- ✓ Diseñar programas de capacitación adaptados a las necesidades y niveles de experiencia de cada técnico.
- ✓ Iniciar con un piloto en una pequeña área para minimizar el impacto y facilitar la adaptación.
- ✓ Proporcionar soporte técnico y asistencia a los técnicos durante y después de la implementación.
- ✓ Demostrar el retorno de la inversión a través de métricas claras y estudios de caso.
- ✓ Fomentar una cultura de mejora continua y aprendizaje, con un liderazgo que apoye la implementación de nuevas tecnologías.



Bibliografía

Comintech. (20 de septiembre de 2024). *Mejores Prácticas en Mantenimiento Preventivo de Maquinaria*. Obtenido de [omintech.es: https://comintech.es/mejores-practicas-en-mantenimiento-preventivo-de-maquinaria/](https://comintech.es/mejores-practicas-en-mantenimiento-preventivo-de-maquinaria/)

Komatsu. (12 de octubre de 2024). *Historia Komatsu*. Obtenido de [komatsulatioamerica.com: https://www.komatsulatioamerica.com/nicaragua/nuestra-empresa/historia-komatsu/](https://www.komatsulatioamerica.com/nicaragua/nuestra-empresa/historia-komatsu/)

Mansil. (15 de octubre de 2024). *La importancia del camión minero en la industria*. Obtenido de [mansil.cl: https://mansil.cl/camion-minero-importancia/](https://mansil.cl/camion-minero-importancia/)

Seguas. (septiembre de 2024). *La importancia del mantenimiento en instalaciones industriales*. Obtenido de [seguas.com: https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales/](https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales/)



ANEXOS O APENDICES

Anexos

1

Encuesta para trabajadores

Encuesta para para los trabajadore

Información General:

1. Edad:
 - a. 25-34
 - b. 35-44
 - c. 45-54
 - d. 55+

2. **Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:**
 - a. 0-5 años
 - b. 6-10 años
 - c. 11-20 años
 - d. Más de 20 años

Condición Actual del Mantenimiento:

3. **¿Cuántas fallas de los camiones Komatsu HM400 reporta en un mes típico?**
 - a. 0-5
 - b. 6-10
 - c. 11-15
 - d. Más de 15



4. ¿Cuál es el tiempo promedio de reparación de fallas críticas?
- a. Menos de 4 horas
 - b. 4-8 horas
 - c. 1-2 días
 - d. Más de 2 días

Procedimientos de Detección Temprana de Fallos:

5. ¿Existen procedimientos documentados para la detección temprana de fallos?
- a. - Sí
 - b. - No
6. ¿Con qué frecuencia se detectan fallos tempranamente antes de que causen interrupciones?
- a. Nunca
 - b. Rara vez
 - c. A veces
 - d. A menudo
 - e. Siempre

Capacitación del Personal:

7. ¿Cuántas horas de capacitación recibe anualmente?
- a. Menos de 10 horas
 - b. -0-20 horas
 - c. 21-30 horas



- d. Más de 30 horas
8. ¿Cómo califica la utilidad de la capacitación recibida en los últimos 12 meses?
- a. 1 (Nada útil)
 - b. 2
 - c. 3
 - d. 4
 - e. 5 (Muy útil)

Sistema de Monitoreo Continuo:

9. ¿Se han instalado sensores en los camiones para el monitoreo en tiempo real?
- Sí
 - No
10. ¿Con qué frecuencia se generan y gestionan alertas de fallos a tiempo?
- a. Nunca
 - b. Rara vez
 - c. A veces
 - d. A menudo
 - e. Siempre

Disponibilidad y Costos:



11. ¿Cuál es el porcentaje de tiempo que los camiones Komatsu HM400 están operativos?
- a. Menos del 60%
 - b. 60-70%
 - c. 71-80%
 - d. Más del 80%
12. ¿Cómo ha cambiado el costo mensual de mantenimiento en el último año?
- a. Ha aumentado significativamente
 - b. Ha aumentado ligeramente
 - c. Se ha mantenido igual
 - d. Ha disminuido ligeramente
 - e. Ha disminuido significativamente

Si aplica a la capacitación y participación en el proceso:

Capacitación y Conocimiento:

2. ¿Cuántas horas de capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido?
- a. Menos de 10 horas
 - b. 10-20 horas
 - c. 21-30 horas
 - d. Más de 30 horas
3. ¿Cómo calificaría la utilidad de la capacitación recibida en términos de conocimiento práctico?



- a. 1 (Nada útil)
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5 (Muy útil)

Participación en el Mantenimiento:

- 4. ¿Ha participado activamente en el proceso de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400?
 - a. Sí
 - b. No
- 5. ¿Cómo calificaría su experiencia y conocimiento en el uso de sensores y sistemas de monitoreo continuo?
 - a. 1 (Muy bajo)
 - b. 2
 - c. 3
 - d. 4
 - e. 5 (Muy alto)

Opinión sobre la Implementación:

- 6. ¿Cree que la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo mejorará la eficiencia del mantenimiento de los camiones?
 - a. Sí, significativamente
 - b. Sí, en cierto grado



- c. - No, no mejorará
 - d. - No estoy seguro
7. ¿Qué desafíos cree que podrían surgir al implementar un nuevo plan de mantenimiento predictivo?
- a. Falta de formación adecuada
 - b. Resistencia al cambio por parte del personal
 - c. Costos iniciales altos
 - d. Otros: _____

Esta encuesta proporcionará datos valiosos para evaluar y optimizar el plan de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400 en la mina El Limón.

Anexos

2

Ficha de cotejo

Ficha de cotejo para la auditoría de mantenimiento de camiones Komatsu HM400, con algunas modificaciones para una mejor visualización y comprensión:

Sección	Criterio	Cumple	No Cumple	Observaciones
Documentación	¿Existe un plan de mantenimiento preventivo actualizado?			



Sección	Criterio	Cumple	No Cumple	Observaciones
	¿Se registran todas las órdenes de trabajo?			
	¿Se conservan los registros de mantenimiento por un periodo determinado?			
	¿Se cuenta con manuales de operación y mantenimiento?			
	¿Se cumplen los requisitos legales y normativos aplicables?			
Procedimientos	¿Existen procedimientos estándar de operación (SOP) para las tareas de mantenimiento?			
	¿Se siguen los SOP en todas las tareas?			



Sección	Criterio	Cumple	No Cumple	Observaciones
	¿Se realizan inspecciones visuales diarias de los equipos?			
	¿Se llevan a cabo las inspecciones periódicas según el plan de mantenimiento?			
	¿Se notifican y registran todas las fallas y reparaciones?			
Personal	¿El personal de mantenimiento cuenta con la capacitación necesaria?			
	¿Existe un programa de capacitación continua?			
	¿Se utilizan las herramientas y equipos de seguridad adecuados?			



Sección	Criterio	Cumple	No Cumple	Observaciones
	¿Se siguen los procedimientos de seguridad establecidos?			
Equipos y Herramientas	¿Los equipos y herramientas están en buen estado de funcionamiento?			
	¿Se calibran regularmente los instrumentos de medición?			
	¿Se dispone de un inventario actualizado de herramientas y equipos?			
Repuestos y Lubricantes	¿Existe un sistema de gestión de inventario de repuestos?			
	¿Se utilizan repuestos originales o aprobados?			



Sección	Criterio	Cumple	No Cumple	Observaciones
	¿Se realiza un control de calidad de los lubricantes utilizados?			
Instalaciones	¿El taller de mantenimiento cuenta con las instalaciones adecuadas?			
	¿Se mantienen limpias y ordenadas las instalaciones?			
KPIs	¿Se cumplen los indicadores clave de desempeño (KPIs) establecidos?			
	¿Se analizan regularmente los datos de los KPIs?			

Instrucciones:

1. **Marcar la casilla correspondiente** (Cumple o No Cumple) según la evidencia encontrada durante la auditoría.
2. **Registrar las observaciones** en la columna correspondiente para detallar cualquier desviación o sugerencia de mejora.



3. **Utilizar esta ficha como guía** para realizar una evaluación exhaustiva del programa de mantenimiento.

Anexos

3

Checklist de Auditoría de Mantenimiento

4. **Checklist de Auditoría de Mantenimiento - Camiones Komatsu HM400**

Sección	Ítem a Evaluar	Criterio de Evaluación	Evidencia Requerida	Cumplido	Observaciones
Mantenimiento Preventivo	¿Se adhieren a los intervalos de mantenimiento recomendados por el fabricante?	Comparar registros de mantenimiento con el manual del fabricante.	Órdenes de trabajo, registros de lubricación, hojas de inspección.		
	¿Se utilizan lubricantes y fluidos de la calidad especificada?	Verificar etiquetas de los productos y registros de compra.	Hojas de seguridad de los productos, facturas.		
	¿Se registran las	Revisar registros de	Libros de registro,		

	lecturas de los medidores?	mantenimiento.	software de gestión de mantenimiento.		
Mantenimiento Correctivo	¿Se documentan las fallas y reparaciones?	Revisar órdenes de trabajo y registros de mantenimiento.	Órdenes de trabajo, reportes de fallas.		
	¿Se analizan las causas raíz de las fallas?	Revisar análisis de fallas y acciones correctivas implementadas.	Reportes de análisis de fallas, procedimientos de trabajo.		
	¿Se dispone de un inventario adecuado de repuestos críticos?	Comparar inventario físico con el inventario teórico.	Listas de inventario, registros de consumo.		
Gestión de Inventario	¿Se utiliza un sistema de gestión?	Observar la existencia de un sistema	Software, hojas de cálculo,		



	de inventario?	(software o manual) para gestionar el inventario.	registros manuales.		
	¿Se realiza un inventario físico periódicamente?	Revisar registros de inventarios físicos.	Reportes de inventario físico.		
	¿Se calculan los niveles de reposición óptimos?	Analizar los registros de consumo y los niveles de stock actuales.	Registros de consumo, políticas de inventario.		
Seguridad	¿Se cumplen los requisitos legales y reglamentarios en materia de seguridad?	Revisar la documentación legal y los procedimientos de seguridad.	Licencias, permisos, procedimientos de trabajo seguros.		
	¿Se llevan a cabo inspecciones	Revisar registros de inspecciones	Listas de verificación de		



	de seguridad periódicas?	s de seguridad.	seguridad, reportes de inspección.		
	¿El personal está debidamente capacitado en seguridad?	Revisar registros de capacitación.	Certificados de capacitación, matrices de capacitación.		
General	¿Existe un plan de mantenimiento preventivo actualizado?	Revisar el plan de mantenimiento y compararlo con las prácticas actuales.	Plan de mantenimiento, procedimientos de trabajo.		
	¿Se utilizan herramientas y equipos de medición calibrados?	Revisar los certificados de calibración.	Certificados de calibración, registros de mantenimiento de herramientas.		



	¿Existe un sistema de gestión de la información?	Evaluar la disponibilidad y accesibilidad de la información de mantenimiento.	Software de gestión de mantenimiento, bases de datos.		
--	--	---	---	--	--

Anexos 4

Tablas cruzadas

Tabla 13

Años de experiencia en mantenimiento de camiones

		Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:				Total
		0 a 5 años	6 a 10 años	11 a 20 años	Más de 20 años	
Edad	25 a 34 años	11.4%	48.6%			60.0%
	35 a 44 años	1.4%	21.4%	5.7%		28.6%
	45 a 54 años		1.4%		4.3%	5.7%
	55 años a más			1.4%	4.3%	5.7%
Total		12.9%	71.4%	7.1%	8.6%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14

Horas de capacitación en general

¿Cuántas horas de capacitación recibe anualmente?	Total
---	-------



		Menos de 10 Horas	10 - 20 horas	21 - 30 horas	Más de 30 horas	
Edad	25 a 34 años	14.3%	10.0%	17.1%	18.6%	60.0%
	35 a 44 años	10.0%	7.1%	5.7%	5.7%	28.6%
	45 a 54 años		2.9%	2.9%		5.7%
	55 años a más	2.9%			2.9%	5.7%
Total		27.1%	20.0%	25.7%	27.1%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

15

Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido

		¿Cuántas horas de capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido?				
		Menos de 10 Horas	10 - 20 horas	21 - 30 horas	Más de 30 horas	Total
Edad	25 a 34 años	14.3%	10.0%	17.1%	18.6%	60.0%
	35 a 44 años	10.0%	7.1%	5.7%	5.7%	28.6%
	45 a 54 años		2.9%	2.9%		5.7%
	55 años a más	2.9%			2.9%	5.7%
Total		27.1%	20.0%	25.7%	27.1%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

16

Cuantificación de fallas de los camiones

		¿Cuántas fallas de los camiones Komatsu HM400 reporta en un mes típico?		
		6 - 10	11 - 15	Total
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	5.7%	7.1%	12.9%
	6 a 10 años	30.0%	41.4%	71.4%
	11 a 20 años	1.4%	5.7%	7.1%
	Más de 20 años	4.3%	4.3%	8.6%

Total	41.4%	58.6%	100.0%
-------	-------	-------	--------

Fuente. Elaboración propia

Tabla

17

Tiempo promedio de reparación

		¿Cuál es el tiempo promedio de reparación de fallas críticas?				Total
		Menos de 4 horas	4 - 8 horas	1 - 2 días	Más de 2 días	
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	2.9%	4.3%	4.3%	1.4%	12.9%
	6 a 10 años	2.9%	31.4%	18.6%	18.6%	71.4%
	11 a 20 años		4.3%	1.4%	1.4%	7.1%
	Más de 20 años		4.3%	2.9%	1.4%	8.6%
Total		5.7%	44.3%	27.1%	22.9%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

18

Procedimientos documentados

		¿Existen procedimientos documentados para la detección temprana de fallos?		Total
		Si	No	
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	8.6%	4.3%	12.9%
	6 a 10 años	60.0%	11.4%	71.4%
	11 a 20 años	5.7%	1.4%	7.1%
	Más de 20 años	7.1%	1.4%	8.6%
Total		81.4%	18.6%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

19

Detección de fallas

		¿Con qué frecuencia se detectan fallos tempranamente antes de que causen interrupciones?					Total
		Nunca	Rara vez	A veces	A menudo	Siempre	
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años		2.9%	4.3%	2.9%	2.9%	12.9%
	6 a 10 años	11.4%	11.4%	11.4%	22.9%	14.3%	71.4%
	11 a 20 años	1.4%	1.4%	2.9%	1.4%		7.1%
	Más de 20 años		2.9%	2.9%		2.9%	8.6%
Total		12.9%	18.6%	21.4%	27.1%	20.0%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

20

Cantidad de horas de capacitación al año

		¿Cuántas horas de capacitación recibe anualmente?				Total
		Menos de 10 Horas	10 - 20 horas	21 - 30 horas	Más de 30 horas	
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	4.3%	1.4%	4.3%	2.9%	12.9%
	6 a 10 años	20.0%	15.7%	17.1%	18.6%	71.4%
	11 a 20 años	1.4%	1.4%	1.4%	2.9%	7.1%
	Más de 20 años	1.4%	1.4%	2.9%	2.9%	8.6%
Total		27.1%	20.0%	25.7%	27.1%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

21

Calificación de las capacitaciones recibida

		¿Cómo califica la utilidad de la capacitación recibida en los últimos 12 meses?					Total
		1 (nada útil)	2	3	4	5 (muy útil)	
	0 a 5 años		1.4%	2.9%	8.6%		12.9%



Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	6 a 10 años	8.6%	18.6%	14.3%	12.9%	17.1%	71.4%
	11 a 20 años		1.4%	2.9%	1.4%	1.4%	7.1%
	Más de 20 años		1.4%	2.9%		4.3%	8.6%
Total		8.6%	22.9%	22.9%	22.9%	22.9%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

22

Instalación de sensores

		¿Se han instalado sensores en los camiones para el monitoreo en tiempo real?		Total
		Si	No	
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	7.1%	5.7%	12.9%
	6 a 10 años	44.3%	27.1%	71.4%
	11 a 20 años	7.1%		7.1%
	Más de 20 años	1.4%	7.1%	8.6%
Total		60.0%	40.0%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

23

Frecuencia se generan y gestionan alertas de fallos a tiempo

		¿Con qué frecuencia se generan y gestionan alertas de fallos a tiempo?			Total
		Nunca	Rara vez	A veces	
Años de experiencia en	0 a 5 años	4.3%	5.7%	2.9%	12.9%
	6 a 10 años	11.4%	52.9%	7.1%	71.4%



mantenimiento de equipos mineros:	11 a 20 años		4.3%	2.9%	7.1%
	Más de 20 años		7.1%	1.4%	8.6%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

24

Tiempo que los camiones Komatsu HM400 están operativos

		¿Cuál es el porcentaje de tiempo que los camiones Komatsu HM400 están operativos?				Total
		menos del 60%	60 - 70 %	71 - 80%	Más del 80%	
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	1.4%	5.7%	4.3%	1.4%	12.9%
	6 a 10 años	25.7%	30.0%	10.0%	5.7%	71.4%
	11 a 20 años	2.9%	1.4%	2.9%		7.1%
	Más de 20 años	1.4%	2.9%	4.3%		8.6%
Total		31.4%	40.0%	21.4%	7.1%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

25

Costo de mantenimiento mensual

		¿Cómo ha cambiado el costo mensual de mantenimiento en el último año?				Total
		Ha aumentado significativamente	Ha aumentado ligeramente	Ha aumentado ligeramente	Ha disminuido ligeramente	
Años de experiencia en	0 a 5 años	4.3%	8.6%			12.9%

mantenimiento de equipos mineros:	6 a 10 años	15.7%	41.4%	7.1%	7.1%	71.4%
	11 a 20 años		2.9%		4.3%	7.1%
	Más de 20 años	1.4%	4.3%		2.9%	8.6%
Total		21.4%	57.1%	7.1%	14.3%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

26

Capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido

		¿Cuántas horas de capacitación sobre mantenimiento de equipos mineros ha recibido?				
		Menos de 10 Horas	10 - 20 horas	21 - 30 horas	Más de 30 horas	Total
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	4.3%	1.4%	4.3%	2.9%	12.9%
	6 a 10 años	20.0%	15.7%	17.1%	18.6%	71.4%
	11 a 20 años	1.4%	1.4%	1.4%	2.9%	7.1%
	Más de 20 años	1.4%	1.4%	2.9%	2.9%	8.6%
Total		27.1%	20.0%	25.7%	27.1%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

27

Utilidad de la capacitación recibida en términos de conocimiento práctico

		¿Cómo calificaría la utilidad de la capacitación recibida en términos de conocimiento práctico?					
		1 (nada útil)	2	3	4	5 (muy útil)	Total
Años de experiencia en	0 a 5 años		1.4%	1.4%	5.7%	4.3%	12.9%
	6 a 10 años	7.1%	2.9%	2.9%	40.0%	18.6%	71.4%

mantenimiento de equipos mineros:	11 a 20 años				4.3%	2.9%	7.1%
	Más de 20 años				5.7%	2.9%	8.6%
Total		7.1%	4.3%	4.3%	55.7%	28.6%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

28

Mantenimiento de los camiones Komatsu HM400

		¿Ha participado activamente en el proceso de mantenimiento de los camiones Komatsu HM400?		Total
		Si	No	
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	5.7%	7.1%	12.9%
	6 a 10 años	61.4%	10.0%	71.4%
	11 a 20 años	5.7%	1.4%	7.1%
	Más de 20 años	7.1%	1.4%	8.6%
Total		80.0%	20.0%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

29

Experiencia y conocimiento en el uso de sensores y sistemas de monitoreo continuo

		¿Cómo calificaría su experiencia y conocimiento en el uso de sensores y sistemas de monitoreo continuo?					Total
		1 (muy bajo)	2	3	4	5 (muy alto)	
Años de experiencia en mantenimiento	0 a 5 años		1.4%	1.4%	5.7%	4.3%	12.9%
	6 a 10 años	7.1%	2.9%	2.9%	40.0%	18.6%	71.4%
	11 a 20 años				4.3%	2.9%	7.1%



de equipos mineros:	Más de 20 años				5.7%	2.9%	8.6%
Total		7.1%	4.3%	4.3%	55.7%	28.6%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

30

Mantenimiento predictivo mejorará la eficiencia del mantenimiento de los camiones

		¿Cree que la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo mejorará la eficiencia del mantenimiento de los camiones?		
		Sí, significativamente	Sí, en cierto grado	Total
Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años	5.7%	7.1%	12.9%
	6 a 10 años	61.4%	10.0%	71.4%
	11 a 20 años	5.7%	1.4%	7.1%
	Más de 20 años	7.1%	1.4%	8.6%
Total		80.0%	20.0%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

Tabla

31

Plan de mantenimiento predictivo

		¿Qué desafíos cree que podrían surgir al implementar un nuevo plan de mantenimiento predictivo?		
Falta de formación adecuada	Resistencia al cambio por parte del personal	Costos iniciales altos	Otros	Total



Años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros:	0 a 5 años		11.4%	1.4%		12.9%
	6 a 10 años	5.7%	30.0%	31.4%	4.3%	71.4%
	11 a 20 años		5.7%	1.4%		7.1%
	Más de 20 años		2.9%	4.3%	1.4%	8.6%
Total		5.7%	50.0%	38.6%	5.7%	100.0%

Fuente. Elaboración propia