

UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA

Facultad de Ingeniería y Gestión



PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE UNA EMPRESA MINERA, ICA, 2023

Tesis para optar por el título profesional de Licenciado en Ingeniería Industrial

Presenta el Bachiller

EDISON JESUS SALAS ZEGARRA

Presidente: Carlos Enrique Vargas Trujillo

Asesor: José Javier Zavala Fernandez

Lector: Mirko Eddy Vasquez Bermejo

Lima – Perú

Marzo de 2025



UARM

Universidad
Antonio Ruiz
de Montoya

Anexo N.º 3 - Reglamento General de Grados y Títulos de Pregrado y Posgrado
Aprobado por Resolución Rectoral N° 150-2023-UARM-R

INFORME DE ORIGINALIDAD

Sres.
CONSEJEROS
Pte.

De nuestra consideración:

Por la presente nos dirigimos a Ustedes para saludarlos e informar al Consejo Universitario sobre el producto académico elaborado por Edison Jesus Salas Zegarra quien solicita la obtención de su título profesional a través de la sustentación de una tesis.

El producto académico elaborado tiene como título "PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE UNA EMPRESA MINERA, ICA, 2023".

Por tanto, en nuestra condición de Asesor de producto académico y de integrante de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Gestión respectivamente, declaramos que el producto académico de Edison Jesus Salas Zegarra, ha sido examinado con el programa antiplagio *Turnitin* para identificar su nivel de coincidencias.

El resultado que arroja el programa es de 12% de similitud, el cual proviene de fuentes de información que han sido debidamente citadas o reconocidas utilizando las normas del sistema APA.

Sin otro particular, quedo de ustedes.

Firmado en Lima, el 16 del mes de mayo del 2026

Atentamente,

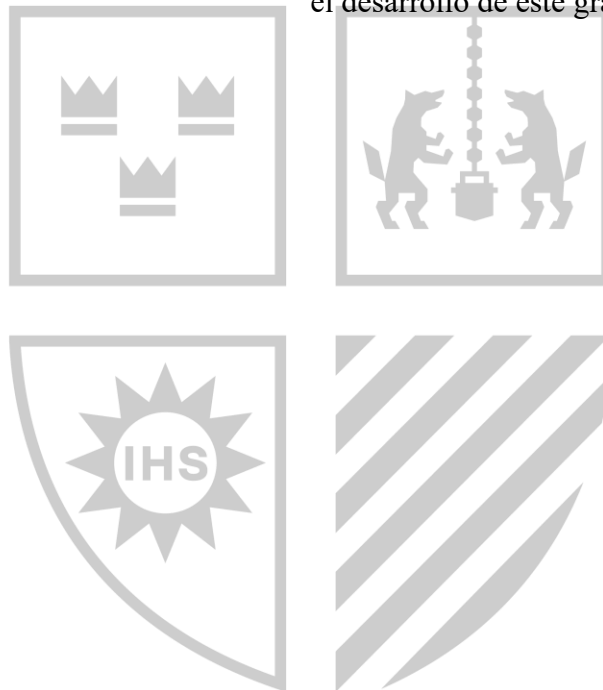
Asesor
José Javier Zavala Fernandez

Bernardo Leonardo Meza Guzmán
Presidente
Comisión de Grados y Títulos
Facultad de Ingeniería y Gestión

*Conforme a lo establecido en el documento de identidad

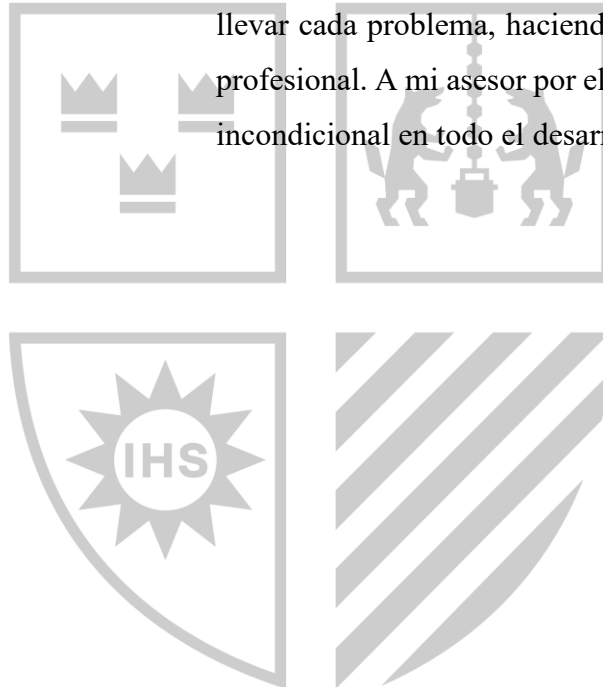
DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón este trabajo a mi madre por su apoyo moral permanente por su persistencia en el tiempo para culminar con el desarrollo de este grandioso proyecto.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y el conocimiento que a lo largo del tiempo puso en mi para poder sobre llevar cada problema, haciendo de mi un excelente profesional. A mi asesor por el la guía y comprensión incondicional en todo el desarrollo del documento.



RESUMEN

Esta investigación aborda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad de los equipos de perforación en una empresa minera de Ica durante 2023. A través del diagnóstico inicial se identificaron deficiencias en la gestión de inventarios, capacitación del personal y dependencia entre áreas operativas. El análisis determinó una disponibilidad promedio de 71.84% para los equipos EP 137 y EP 138, revelando una alta variabilidad mensual. El plan de mantenimiento se desarrolló priorizando los sistemas hidráulico, neumático y eléctrico, y aplicando matrices AMFE y análisis de criticidad. Si bien la implementación del plan redujo las paradas no programadas en un 20%, no se logró alcanzar el objetivo de una disponibilidad superior al 85%. La evaluación evidenció la necesidad de incorporar tecnologías como IoT y CMMS para optimizar la predicción de fallas. Además, se propuso mejorar la gestión logística mediante almacenes temporales para repuestos y fortalecer la capacitación continua del personal. El análisis económico reveló una reducción del 15% en los costos operativos, destacando que la inversión inicial generará beneficios a mediano plazo. Se concluye que el método es replicable en otras operaciones mineras, siempre que se adapten los recursos tecnológicos y humanos a las necesidades específicas del contexto.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, RCM, equipos de perforación, minería, análisis de criticidad, AMFE, disponibilidad, IoT, confiabilidad, mantenibilidad, CMMS.

ABSTRACT

This research focuses on the implementation of a preventive maintenance plan based on reliability (RCM) to improve the availability of drilling equipment in a mining company in Ica during 2023. The initial diagnosis identified deficiencies in inventory management, staff training, and operational dependencies. The analysis determined an average availability of 71.84% for the EP 137 and EP 138 equipment, revealing high monthly variability. The maintenance plan prioritized hydraulic, pneumatic, and electrical systems, applying AMFE matrices and criticality analysis. While the plan reduced unplanned downtime by 20%, the target availability of over 85% was not achieved. The evaluation highlighted the need to incorporate technologies such as IoT and CMMS to enhance fault prediction. Additionally, improvements in logistics through temporary spare parts warehouses and continuous staff training were proposed. The economic analysis showed a 15% reduction in operational costs, with the initial investment expected to yield medium-term benefits. The study concludes that the method is replicable in other mining operations, provided that technological and human resources are tailored to the specific context.

Keywords: Preventive maintenance, RCM, drilling equipment, mining, criticality analysis, AMFE, availability, IoT, reliability, maintainability and CMMS.

TABLA DE CONTENIDOS

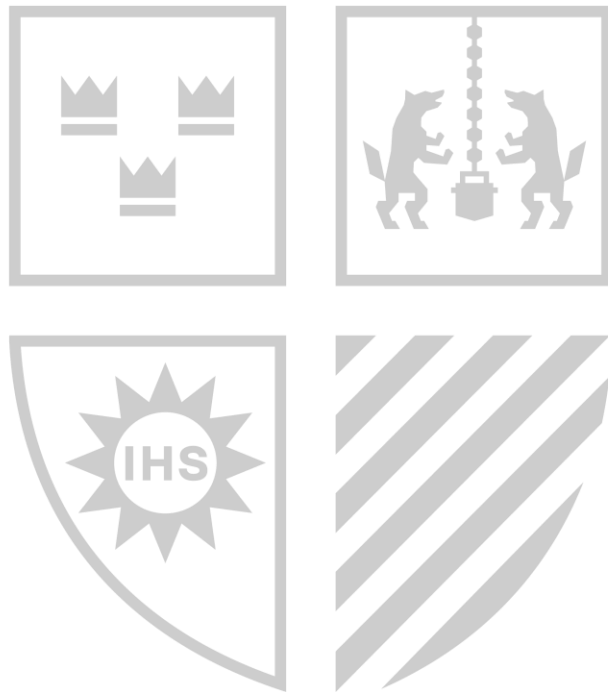
INTRODUCCION.....	12
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	16
1.1. Problema de la Investigación	16
1.2. Justificación	16
1.2.1. Justificación Teórica.....	16
1.2.2. Justificación Práctica.....	16
1.2.3. Justificación Social.....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. Delimitaciones	18
1.4.1. Temática	18
1.4.2. Espacial.....	18
1.4.3. Temporal.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....	19
2.1. Antecedentes	19
2.2. Bases teóricas.....	22
2.2.1. Mantenimiento Preventivo	22
2.2.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	26
2.2.3. Análisis de Criticidad	27
2.2.4. Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y Prioridad de Riesgo (NPR).....	28

2.2.5.	Disponibilidad de Equipos	29
2.2.6.	Optimización del Mantenimiento	31
2.2.7.	Integración de Seguridad en el Mantenimiento	33
CAPITULO III: METODOLOGÍA		35
3.1.	Tipo de investigación	35
3.2.	Diseño de la investigación	35
3.3.	Población y muestra	36
3.4.	Recolección de datos	36
3.5.	Definición operacional de las variables	37
3.6.	Diseño de instrumentos	39
CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL Y SITUACIÓN DE MANTENIMIENTO		40
4.1.	Descripción genérica de la empresa de investigación	40
4.2.	Descripción del proceso de la empresa de estudio	42
4.3.	Análisis de la situación actual de la gestión de mantenimiento de los equipos intervinientes en las operaciones mineras	47
4.3.1.	Áreas que conforman las operaciones de mantenimiento	47
4.3.2.	Gestión de mantenimiento actual	50
4.3.3.	Evaluación del grado de conocimiento	51
CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO		58
5.1.	Formulación estratégica del plan de mantenimiento	58
5.1.1.	Misión y visión de la organización	58
5.1.2.	Valores de la organización	58
5.2.	Análisis estratégico	59
5.2.1.	Análisis interno	59
5.2.2.	Análisis externo	60
5.2.3.	Análisis FODA	60

5.2.4.	Objetivos estratégicos del área de mantenimiento	62
5.2.5.	Metas estratégicas.....	63
5.2.6.	Mapa estratégico y su relación causa – efecto.....	67
5.2.7.	Formulación de indicadores	67
5.3.	Aplicación de herramienta de RCM	67
5.4.	Análisis de criticidad y jerarquización de equipos	68
5.5.	Análisis de modo, efecto y fallas (AMFE)	83
5.5.1.	Sistemas de la máquina perforadora.....	83
5.5.2.	Análisis AMFE de los subsistemas de la máquina perforadora	87
5.6.	Plan de gestión de mantenimiento	98
	Plan de Inspecciones y Reemplazos.....	990
	Documentación y Registro.....	99
	Capacitación y Desarrollo.....	99
	Revisión y Mejora Continua	101
CAPÍTULO VI: PROPUESTAS PARA LA APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO		103
6.1.	Programa de seguimiento y mejora continua.....	103
6.2.	Implementación de equipos	104
6.3.	Implementación de RCM.....	107
6.4.	Reducción de tiempos.....	108
6.5.	Reducción de costos.....	109
	Discusión de resultados	111
	Conclusiones.....	115
	Recomendaciones	117
	Referencias bibliograficas	119
	Anexos.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

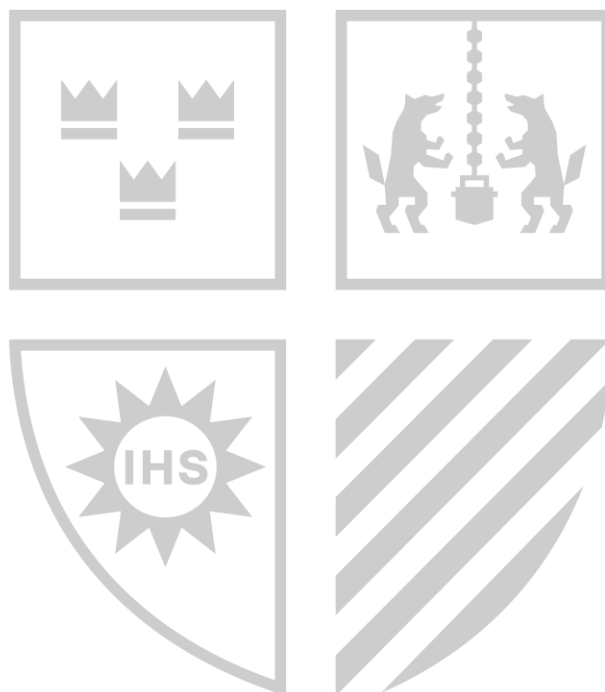
Tabla 1 Frecuencia de Fallas y Horas Paradas por Sistema	25
Tabla 2 Criterios de Evaluación en el Análisis de Criticidad.....	27
Tabla 3 Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR).....	29
Tabla 4 Indicadores Clave de Desempeño (KPI)	31
Tabla 5 Resultados de Simulaciones de Optimización de Mantenimiento	33
Tabla 6: Medidas Preventivas en el Mantenimiento Basado en la Seguridad.....	33
Tabla 7 Matriz de operacionalización de las variables.....	37
Tabla 8 Resultados generales	57
Tabla 9 Matriz FODA del área de mantenimiento	61
Tabla 10 Objetivos estratégicos del área de mantenimiento	62
Tabla 11 Análisis FODA cruzado	65
Tabla 12 Mapa estratégico de mantenimiento.....	67
Tabla 13 Tabla de indicadores.....	67
Tabla 14 Análisis de fiabilidad del instrumento.....	70
Tabla 15 Tabla de datos Pareto.....	70
Tabla 16 Indicadores equipo EP 137 - 2023	80
Tabla 17 Indicadores de equipo EP 138 - 2023.....	80
Tabla 18 Datos de paradas en equipos de perforación MD 6420 (137 y 138) – 2023 ..	81
Tabla 19 Indicadores de mantenimiento máquina perforadora MD 6420 (Equipos 137 y 138) - 2023	82
Tabla 20 Número de Prioridad de Riesgo (NPR) Perforadora MD 6420.....	88
Tabla 21 Matriz AMFE de máquina perforadora MD 6420.....	91
Tabla 22 Acciones propuestas para cada tipo de falla identificada.....	95
Tabla 23 Plan de mantenimiento	98
Tabla 24 Temas de capacitación continua.....	100
Tabla 25 Temas de capacitación para repaso y actualización	100
Tabla 26 Herramientas propuestas	106



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Operaciones de la empresa minera.....	41
Figura 2 Proceso de producción	42
Figura 3 Perforadora.....	43
Figura 4 Operaciones de carguío	45
Figura 5 Operaciones de acarreo	45
Figura 6 Operaciones de chancado.....	46
Figura 7 Operaciones de envío de crudos.....	46
Figura 8 Operaciones de concentración.....	46
Figura 9 Organigrama del área de mantenimiento	50
Figura 10 Personal de mantenimiento	50
Figura 11 Resultados - Conceptos de mantenimiento predictivo	51
Figura 12 Resultados - Mantenimiento preventivo	52
Figura 13 Resultados – Mantenimiento correctivo.....	53
Figura 14 Resultados Uso de herramientas - Práctico.....	55
Figura 15 Resultados herramientas de gestión - Práctico.....	56
Figura 16 Capacitación - Práctica.....	57
Figura 17 Jerarquización de equipos	68
Figura 18 Diagrama de Ishikawa.....	69
Figura 19 Diagrama de Pareto	71
Figura 20 Diagrama Jack-knife equipos de perforación.....	73
Figura 21 Matriz de complejidad vs criticidad de causas de paradas de máquinas perforadoras.....	75
Figura 22 Indicadores sistemas top five - Perforadora MD 6420 - 2023	75
Figura 23 Top fallas del sistema hidráulico - 2023	76
Figura 24 Principales fallas - sistema motor - 2023	76
Figura 25 Principales fallas - sistema neumático - 2023	77

Figura 26 Principales fallas - sistema eléctrico - 2023	78
Figura 27 Principales fallas - sistema de supresión de polvo - 2023.....	78
Figura 28 Horas operativas – Perforadoras que perforadoras MD 6420 - 2023	79
Figura 29 Evolución de disponibilidad general - 2023	82
Figura 30 Utilización real vs Utilización esperada de la empresa (85%) - 2023	83
Figura 31 Vista frontal y trasera - Máquina perforadora MD 6420	84
Figura 32 Vista lateral - Máquina perforadora MD 6420.....	86
Figura 33 Gant de implementación	103



INTRODUCCION

El mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) se ha convertido en una estrategia esencial para garantizar la operatividad y la eficiencia de los equipos en diversos sectores industriales, especialmente en el sector minero. La industria minera depende en gran medida de la disponibilidad y fiabilidad de sus equipos de perforación para mantener una producción continua y rentable. La interrupción de las operaciones debido a fallos en los equipos puede resultar en costos significativos y retrasos en la producción, afectando negativamente la rentabilidad y competitividad de la empresa.

Este estudio se centra en la implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo Centrado en la Confiabilidad (RCM) con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los equipos de perforación de una empresa minera ubicada en Ica, Perú, durante el año 2023. El RCM es una metodología estructurada que busca identificar y aplicar las mejores estrategias de mantenimiento para cada equipo, basándose en el análisis de la fiabilidad, el impacto de las fallas y las condiciones operativas específicas.

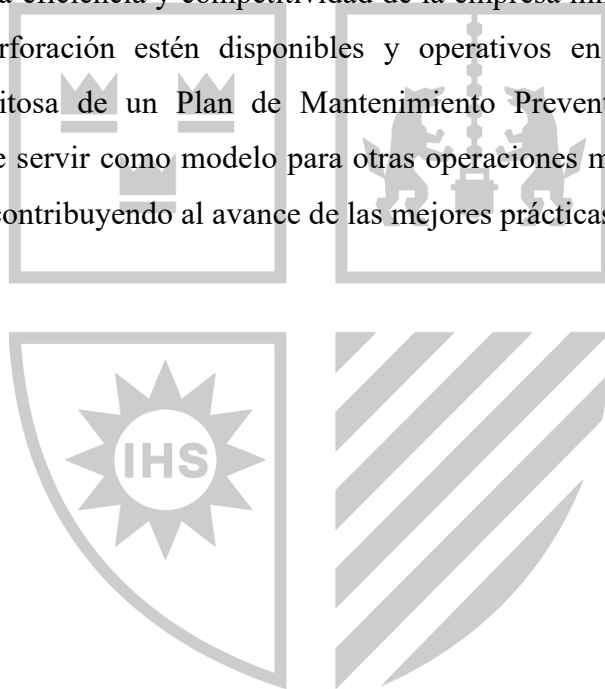
En la industria minera, los equipos de perforación son fundamentales para la extracción de minerales y su correcta operación es crítica para el éxito de las operaciones. Sin embargo, estos equipos están expuestos a condiciones extremas y a un desgaste constante, lo que incrementa la probabilidad de fallos. A través de la aplicación del RCM, se pretende no solo reducir la frecuencia y gravedad de las fallas, sino también optimizar los costos de mantenimiento y mejorar la seguridad de las operaciones.

La empresa minera en estudio ha identificado la necesidad de adoptar un enfoque más proactivo y sistemático en su estrategia de mantenimiento. Hasta ahora, el enfoque predominante ha sido reactivo, respondiendo a las fallas después de que ocurren, lo cual ha resultado en tiempos de inactividad no planificados y elevados costos de reparación. Con la implementación del RCM, se espera transformar esta dinámica, estableciendo

prácticas de mantenimiento preventivo que anticipen y mitiguen los posibles fallos antes de que afecten la operatividad de los equipos.

El presente trabajo aborda los siguientes aspectos clave: la identificación de los equipos críticos de perforación, el análisis de las fallas más comunes y sus consecuencias, la selección de las tareas de mantenimiento preventivo más adecuadas y la implementación de un programa de mantenimiento basado en el RCM. Además, se evaluará el impacto de este plan en la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, así como en los costos operativos de la empresa.

La importancia de este estudio radica en su potencial para mejorar significativamente la eficiencia y competitividad de la empresa minera, asegurando que los equipos de perforación estén disponibles y operativos en todo momento. La implementación exitosa de un Plan de Mantenimiento Preventivo Centrado en la Confiabilidad puede servir como modelo para otras operaciones mineras que enfrentan desafíos similares, contribuyendo al avance de las mejores prácticas en la industria.



1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Problema de la Investigación

¿De qué manera la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) mejora la disponibilidad de los equipos de perforación en una empresa minera, Ica, 2023?

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación Teórica

La presente investigación se fundamenta teóricamente en la necesidad de mejorar la gestión del mantenimiento en la industria minera mediante la implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Estudios previos han demostrado que la aplicación del RCM en equipos pesados puede reducir significativamente las fallas y mejorar la confiabilidad operativa. Odeyar et al. (2022) realizaron una revisión exhaustiva de los métodos de análisis de fallas y confiabilidad para equipos pesados en minería, concluyendo que el RCM es una metodología efectiva para anticipar y prevenir fallos, optimizando así la disponibilidad de los equipos. Este trabajo se alinea con dichos hallazgos y contribuye al cuerpo de conocimiento existente, proporcionando un modelo aplicable a las condiciones específicas de la minería en Ica, Perú.

1.2.2. Justificación Práctica

Desde una perspectiva práctica, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad ofrece una solución directa al problema de baja

disponibilidad de los equipos de perforación en la empresa minera en estudio. Rahimdel, Ataei y Ghodrati (2020) destacan que los enfoques de modelado y simulación para el análisis de confiabilidad de máquinas perforadoras pueden identificar puntos críticos de falla y diseñar estrategias de mantenimiento preventivo efectivas. Al aplicar estas técnicas, la presente investigación propone un plan que no solo reducirá las horas de inactividad debido a fallas, sino que también optimizará los costos operativos al minimizar las intervenciones correctivas no planificadas. Esto resultará en una mejora tangible en la productividad y eficiencia operativa de la empresa minera.

1.2.3. Justificación Social

Socialmente, la mejora de la disponibilidad de los equipos de perforación tiene un impacto positivo significativo en la seguridad y bienestar de los trabajadores. Un plan de mantenimiento efectivo asegura que los equipos operen en condiciones óptimas, reduciendo así el riesgo de accidentes laborales y mejorando el ambiente de trabajo. Perdomo et al. (2023) subrayan que un plan estratégico de gestión del mantenimiento en empresas mineras no solo contribuye a la innovación tecnológica, sino que también mejora las condiciones laborales y la seguridad de los empleados. Además, la reducción de costos operativos y el incremento de la eficiencia productiva permiten a la empresa destinar más recursos a iniciativas que benefician a la comunidad local y al desarrollo económico regional.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos de perforación de una empresa minera en Ica, durante el año 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual en relación al mantenimiento de los equipos de perforación en la empresa minera.
- Determinar la disponibilidad actual de los equipos críticos de perforación.

- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para los equipos de perforación.
- Implementar y evaluar la efectividad del plan de mantenimiento preventivo en mejorar la disponibilidad de los equipos críticos.
- Realizar un análisis de resultados la implementación del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Temática

Esta investigación se enfoca en la implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para los equipos de perforación en la industria minera. Se analizarán las causas de fallas y se propondrán estrategias de mantenimiento preventivo específicas para mejorar la disponibilidad y reducir los costos operativos.

1.4.2. Espacial

El estudio se llevará a cabo en una empresa minera ubicada en Ica, Perú, que se dedica a la explotación, procesamiento y comercialización de hierro. La investigación se centrará en los equipos de perforación utilizados en las operaciones mineras de esta empresa.

1.4.3. Temporal

La investigación abarcará el año 2023, analizando datos y registros de mantenimiento de los equipos de perforación desde enero hasta noviembre.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

Saputra, Sari y Khadijah (2022) abordaron el mantenimiento preventivo de equipos pesados en una empresa contratista de minería de carbón en Indonesia. El objetivo de su estudio fue desarrollar una metodología efectiva para reducir las fallas y mejorar la disponibilidad de los equipos. Para ello, emplearon un análisis estadístico de los registros de fallas y un modelado predictivo para anticipar posibles problemas. La metodología incluyó la implementación de inspecciones regulares y la sustitución programada de componentes críticos. Los resultados mostraron una reducción significativa de las fallas en un 25%, y una mejora en la eficiencia operativa, con un aumento del 15% en la disponibilidad de los equipos. La investigación concluyó que un enfoque sistemático en el mantenimiento preventivo es crucial para optimizar el rendimiento de los equipos mineros, sugiriendo que otras empresas en el sector podrían beneficiarse de adoptar prácticas similares.

Cao et al. (2021) desarrollaron un método de decisión de mantenimiento que incorpora la inspección de equipos de minería con el objetivo de mejorar la precisión y efectividad de las decisiones de mantenimiento. Utilizando la teoría de juegos y el análisis multicriterio, evaluaron diversas estrategias de mantenimiento para determinar la más adecuada en función de los costos, la seguridad y la confiabilidad. Los resultados revelaron que la implementación de su método de decisión podía aumentar la disponibilidad de los equipos en un 18%, reduciendo también los costos operativos en un 12%. Esta investigación demostró que una metodología bien estructurada y basada en datos puede proporcionar resultados significativos en la gestión del mantenimiento de equipos mineros, destacando la importancia de las inspecciones regulares y la toma de decisiones informadas.

Javadnejad et al. (2022) presentaron un modelo de optimización para la planificación del mantenimiento de equipos de carga en minas a cielo abierto. El estudio tuvo como objetivo maximizar la disponibilidad y minimizar los costos de mantenimiento mediante el uso de técnicas de optimización matemática. El modelo desarrollado utilizó algoritmos genéticos y simulaciones para identificar la programación óptima de las actividades de mantenimiento. Los resultados mostraron una mejora del 20% en la disponibilidad de los equipos y una reducción del 15% en los costos de mantenimiento. La investigación concluyó que la optimización del mantenimiento es esencial para la eficiencia operativa en la minería a cielo abierto, sugiriendo que la implementación de técnicas avanzadas de modelado puede ofrecer mejoras significativas en la gestión del mantenimiento.

Andreeva (2021) investigó la elección de estrategias para el servicio de reparación de equipos de minería con el objetivo de identificar las más efectivas para minimizar los tiempos de inactividad y mejorar la confiabilidad de los equipos. El estudio comparó diferentes enfoques de mantenimiento, incluyendo el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. Utilizando un análisis comparativo y técnicas de modelado, Andreeva encontró que una estrategia híbrida que combina mantenimiento predictivo y preventivo podía reducir los tiempos de inactividad en un 30% y los costos operativos en un 20%. La investigación concluyó que la flexibilidad y adaptabilidad de las estrategias de mantenimiento son fundamentales para el éxito en el sector minero, sugiriendo que las empresas deben adoptar un enfoque dinámico y basado en datos para la gestión del mantenimiento.

Tubis et al. (2022) propusieron una estrategia de mantenimiento basada en riesgos difusos con consideraciones de seguridad para la industria minera. El objetivo de su investigación fue integrar la gestión de riesgos y la seguridad en las estrategias de mantenimiento. Utilizando técnicas de análisis difuso y simulaciones, los investigadores demostraron que su enfoque podía mejorar la seguridad operativa en un 25% y reducir los riesgos de fallas críticas en un 20%. Los resultados subrayaron la importancia de considerar tanto la seguridad como la eficiencia en la planificación del mantenimiento, concluyendo que la integración de la gestión de riesgos en las estrategias de mantenimiento es esencial para mejorar la confiabilidad y seguridad en las operaciones mineras.

Balaraju, Raj y Murthy (2020) evaluaron el desempeño de maquinaria minera subterránea mediante un estudio de caso, con el objetivo de identificar las principales causas de fallas y proponer soluciones para mejorar la confiabilidad de la maquinaria. El estudio utilizó un análisis detallado de datos históricos de mantenimiento y la aplicación de modelos predictivos para anticipar fallas. Los resultados mostraron que las mejoras en el mantenimiento preventivo podían aumentar la disponibilidad de la maquinaria en un 15% y reducir los costos de mantenimiento en un 10%. La investigación concluyó que un enfoque proactivo en el mantenimiento es esencial para mantener la operatividad en entornos subterráneos, sugiriendo que la implementación de prácticas de mantenimiento preventivo puede ofrecer beneficios sustanciales en términos de disponibilidad y eficiencia operativa.

Galatia (2022) exploró el método de sustitución de piezas principales de equipos de minería y movimiento de tierras con el objetivo de evaluar la efectividad de diferentes estrategias de sustitución para prolongar la vida útil de los equipos. Utilizando un enfoque basado en la teoría de la fiabilidad y el análisis de costos, Galatia concluyó que la sustitución programada de componentes clave podía reducir las fallas en un 20% y los costos de mantenimiento en un 10%. Los resultados demostraron que una gestión eficiente de los repuestos es crucial para la sostenibilidad operativa, sugiriendo que las empresas deben adoptar estrategias de sustitución basadas en datos y en la fiabilidad de los componentes para optimizar el rendimiento de los equipos.

Ugurlu y Kumral (2020) realizaron un análisis del desempeño basado en confiabilidad de operaciones de perforación minera a través de simulaciones de procesos de reversión a la media y de Monte Carlo de cadena de Markov. El objetivo de su estudio fue mejorar la precisión de las predicciones de fallas y optimizar las estrategias de mantenimiento. Utilizando técnicas avanzadas de simulación, demostraron que su enfoque podía mejorar la confiabilidad operativa en un 22% y reducir los tiempos de inactividad en un 18%. La investigación concluyó que el uso de técnicas avanzadas de simulación puede proporcionar beneficios sustanciales en la gestión del mantenimiento, sugiriendo que la integración de simulaciones en el proceso de toma de decisiones puede mejorar significativamente la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de perforación.

Mohammed et al. (2020) desarrollaron una estrategia de mantenimiento preventivo basada en la confiabilidad de los sistemas de descarga de camiones. El objetivo de su estudio fue mejorar la disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento mediante la implementación de prácticas basadas en la confiabilidad. Utilizando análisis de modos y efectos de falla, identificaron áreas críticas y propusieron intervenciones específicas que resultaron en una reducción del 17% en las fallas y un aumento del 15% en la disponibilidad. La investigación concluyó que la aplicación de metodologías de confiabilidad es vital para el mantenimiento efectivo de los sistemas de descarga en la minería, sugiriendo que las empresas deben adoptar enfoques basados en la confiabilidad para optimizar el rendimiento de sus equipos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Mantenimiento Preventivo*

Definición y Principios

El mantenimiento preventivo se define como un conjunto de actividades programadas y sistemáticas diseñadas para prevenir fallas en los equipos y prolongar su vida útil. Este tipo de mantenimiento se diferencia del correctivo, que se realiza después de que ocurre una falla, y del predictivo, que utiliza datos en tiempo real para anticipar problemas. El mantenimiento preventivo se basa en la realización de inspecciones regulares, la lubricación, ajustes y la sustitución programada de componentes antes de que se produzcan fallas. Estas acciones están orientadas a mantener el equipo en condiciones óptimas y evitar paradas no planificadas (Saputra, Sari, & Khadijah, 2022).

Disponibilidad

La disponibilidad se entiende como la capacidad de un sistema para estar en condiciones operativas en un momento o periodo dado, considerando tanto los tiempos de operación como los de indisponibilidad (Blanchard, 1995). Principios en RCM:

- Reducir paradas no planificadas.
- Programar mantenimientos en función de la criticidad.
- Equilibrar entre confiabilidad y mantenibilidad para optimizar el tiempo útil.

Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

Se utiliza para cuantificar la confiabilidad de un equipo o sistema en su operación normal, ayudando a determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada. Es el tiempo promedio esperado entre fallas que afectan la función del equipo. Principios en RCM:

- Este indicador nos permite cuantificar si tenemos un número alta representa una menor probabilidad de falla y menos necesidad de intervenciones preventivas.
- Permite definir intervalos de mantenimiento preventivo o para decidir si optamos por un mantenimiento predictivo en función del impacto en la disponibilidad y fiabilidad.

Tiempo Medio de Reparación (MTTR)

Es el tiempo promedio que toma reparar una falla y devolver el equipo a su función operacional. Es clave para evaluar la efectividad del plan de mantenimiento y la disponibilidad del sistema. Principios en RCM:

- Este indicador contribuye a maximizar la disponibilidad y minimizar el tiempo de inactividad.
- Las acciones que ayudan a disminuir el MTTR como parte del mantenimiento, son tales como diagnósticos tempranos, piezas de repuesto listas y procedimientos eficientes.

Jack-Knife

Es una técnica estadística que, en el contexto de RCM, puede aplicarse para evaluar la fiabilidad y la robustez de las estimaciones de parámetros de fallas. Principios en RCM:

- Se usa para mejorar la precisión en las mediciones de confiabilidad, como MTBF o tasas de fallas, ayudando a que la toma de decisiones de mantenimiento sea más confiable y basada en datos sólidos, especialmente en programas de mantenimiento predictivo.

Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que un activo cumpla su función requerida sin fallar bajo condiciones específicas durante un tiempo determinado (Moubray, 1997; Ebeling, 1997). Principios en RCM:

- Identificar modos y efectos de falla (FMEA/FMECA).
- Ejecutar tareas preventivas para evitar la pérdida de función.
- Orientar las estrategias de mantenimiento hacia la seguridad y continuidad operacional.

Fiabilidad

El término fiabilidad se emplea en muchos contextos como sinónimo de confiabilidad, aunque algunos autores lo definen como el grado de confianza que puede otorgarse a un equipo o sistema respecto al cumplimiento sostenido de su función en el tiempo (Dhillon, 2006). Mientras la confiabilidad se expresa en términos de probabilidad, la fiabilidad se asocia también a la consistencia del desempeño observado en campo. Principios en RCM:

- Evaluar el comportamiento histórico del activo.
- Establecer métricas (MTBF, tasas de falla) que demuestren desempeño repetible.
- Utilizar información de campo para validar la efectividad de las tareas preventivas.

Mantenibilidad

La mantenibilidad corresponde a la facilidad y rapidez con la que un sistema puede ser restaurado a su estado operativo después de una falla o intervención (Dhillon, 2006).

Principios en RCM:

- Diseñar procedimientos claros y seguros.
- Asegurar disponibilidad de recursos (repuestos, herramientas, personal).
- Estandarizar prácticas para reducir la variabilidad en los tiempos de reparación.

Relación en un plan RCM

- La confiabilidad busca minimizar la frecuencia de fallas.

- La fiabilidad refleja la confianza sostenida en el desempeño del activo y valida en campo lo esperado.
- La mantenibilidad asegura restauración rápida y eficiente.
- La disponibilidad es el resultado global del balance entre estos factores.

Importancia del Mantenimiento Preventivo en la Industria Minera

En la industria minera, la disponibilidad y confiabilidad de los equipos son fundamentales para mantener la producción y minimizar los costos operativos. Las fallas inesperadas en los equipos pueden causar paradas operativas costosas y peligrosas, afectando la productividad y seguridad de la operación minera (Cao et al., 2021). La implementación de un programa de mantenimiento preventivo permite detectar problemas potenciales y corregirlos antes de que se conviertan en fallas graves, asegurando así un funcionamiento continuo y eficiente de los equipos (Javadnejad et al., 2022). Un estudio de Andreeva (2021) reveló que la implementación de un mantenimiento preventivo adecuado en equipos mineros puede reducir significativamente las fallas y mejorar la eficiencia operativa en un 18%.

Técnicas y Herramientas de Mantenimiento Preventivo

Las técnicas de mantenimiento preventivo incluyen inspecciones regulares, lubricación, ajustes, y la sustitución programada de componentes críticos. Estas actividades son esenciales para detectar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves. Por ejemplo, la inspección regular de los sistemas hidráulicos y de nivelación de los equipos de perforación puede prevenir fallas que de otro modo resultarían en paradas no planificadas (Mohammed et al., 2020). Según Tubis et al. (2022), estas técnicas no solo mejoran la disponibilidad de los equipos, sino que también optimizan los costos operativos a largo plazo.

Tabla 1

Frecuencia de Fallas y Horas Paradas por Sistema

Sistema	Frecuencia de Fallas (%)	Horas Paradas (%)
Sistema de gatos de nivelación	26	25

Sistema	Frecuencia de Fallas (%)	Horas Paradas (%)
Sistema hidráulico	25	21
Sistema de supresión de polvo	21	13
Sistema eléctrico	13	7
Sistema de lubricación	7	7
Sistema de cabezal	7	1
Sistema de carrilería	1	0.4
Sistema de aire acondicionado	0.4	0.4

Fuente: Datos adaptados de Saputra, Sari, y Khadijah (2022).

2.2.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Conceptos Fundamentales del RCM

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología que busca identificar las fallas potenciales y determinar las estrategias de mantenimiento más efectivas para prevenirlas. El RCM se basa en el análisis de la fiabilidad y el impacto de las fallas en las operaciones (Andreeva, 2021). Este enfoque permite desarrollar un plan de mantenimiento específico que aborda las necesidades particulares de cada equipo, asegurando así una mayor disponibilidad y confiabilidad operativa (Tubis et al., 2022).

Metodología del RCM

La metodología del RCM incluye varios pasos, como la recopilación de datos, el análisis de modos y efectos de falla (FMEA), y la evaluación de los riesgos. Este proceso sistemático permite identificar las fallas críticas y proponer estrategias específicas para prevenirlas (Saputra, Sari, & Khadijah, 2022). Además, la implementación de un programa RCM puede incluir el uso de tecnologías avanzadas como el monitoreo en tiempo real para mejorar la efectividad del mantenimiento (Cao et al., 2021).

Beneficios del RCM

Entre los beneficios del RCM se encuentran la reducción de fallas, la mejora en la disponibilidad de los equipos, y la optimización de los costos de mantenimiento. Un estudio de Mohammed et al. (2020) mostró que la implementación del RCM puede aumentar la confiabilidad operativa y reducir los tiempos de inactividad en un 22%. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la seguridad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

2.2.3. *Análisis de Criticidad*

Definición y Objetivos del Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es un proceso que evalúa y prioriza los equipos en función de su impacto en la operación, la seguridad y el medio ambiente. El objetivo es identificar los equipos más críticos y enfocarse en ellos para mejorar la fiabilidad y disponibilidad (Ugurlu & Kumral, 2020). Este análisis es fundamental para optimizar los recursos de mantenimiento y asegurar que los equipos más importantes reciban la atención necesaria (Galatia, 2022).

Criterios de Evaluación

Los criterios utilizados en el análisis de criticidad incluyen la frecuencia de fallas, los costos de mantenimiento y el impacto en la operación. Estos criterios permiten clasificar los equipos según su importancia y necesidad de mantenimiento (Saputra, Sari, & Khadijah, 2022). La Tabla 2 muestra un ejemplo de criterios utilizados en el análisis de criticidad.

Tabla 2

Criterios de Evaluación en el Análisis de Criticidad

Criterio	Descripción
Frecuencia de Fallas	Número de fallas registradas en un período
Costos de Mantenimiento	Gastos asociados a la reparación y mantenimiento
Impacto Operacional	Efecto de las fallas en la productividad

Fuente: Datos adaptados de Saputra, Sari, y Khadijah (2022).

Metodologías de Análisis

Las metodologías comunes para el análisis de criticidad incluyen matrices de criticidad y software especializado que ayudan a evaluar y priorizar los equipos. Estas herramientas permiten a las empresas identificar los equipos más críticos y asignar recursos de manera eficiente (Cao et al., 2021). Además, el uso de tecnologías avanzadas puede mejorar la precisión del análisis y facilitar la toma de decisiones informadas (Javadnejad et al., 2022).

2.2.4. *Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y Prioridad de Riesgo (NPR)*

Conceptos Básicos del AMEF

El AMEF es una herramienta que analiza los posibles modos de falla de un equipo y sus efectos en la operación. El objetivo es identificar y mitigar los riesgos asociados con estas fallas (Cao et al., 2021). Este análisis es esencial para desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas y reducir la probabilidad de fallas críticas (Javadnejad et al., 2022).

Proceso del AMEF

El proceso del AMEF incluye la identificación de fallas potenciales, la evaluación de sus efectos y la determinación de las medidas preventivas. Este análisis ayuda a priorizar las acciones de mantenimiento en función del riesgo (Saputra, Sari, & Khadijah, 2022). Además, el AMEF puede ser complementado con otras técnicas de análisis de riesgos para mejorar su efectividad (Tubis et al., 2022).

Cálculo del NPR

El NPR se calcula multiplicando la severidad, la ocurrencia y la detección de una falla. Este número ayuda a clasificar las fallas según su riesgo y a enfocar los esfuerzos de mantenimiento en las áreas más críticas (Mohammed et al., 2020). La Tabla 3 ilustra un ejemplo del cálculo del NPR.

Tabla 3

Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

Falla Potencial	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	NPR (S x O x D)
Falla del sistema hidráulico	9	7	3	189
Falla del sistema eléctrico	8	6	4	192

Fuente: Datos adaptados de Mohammed et al. (2020).

2.2.5. Disponibilidad de Equipos

Definición y Cálculo de la Disponibilidad

La disponibilidad de los equipos se define como el tiempo durante el cual un equipo está operativo y disponible para su uso. Se calcula utilizando la fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

donde MTBF es el Tiempo Medio Entre Fallas y MTTR es el Tiempo Medio para Reparar (Andreeva, 2021). Esta métrica es crucial para evaluar la eficiencia y fiabilidad de los equipos en una operación minera (Balaraju, Raj, & Murthy, 2020).

Definición y Cálculo del MTBF (Mean Time Between to Failures)

El MTBF representa el tiempo promedio durante el cual un equipo permanece en funcionamiento antes de presentar una falla. Su finalidad es medir el nivel de confiabilidad del equipo, entendida como la capacidad de operar sin interrupciones no programadas.

Su cálculo se obtiene mediante la relación entre el tiempo total de operación y la cantidad de falla registradas en el periodo de operación:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total operativo}}{N^{\circ} \text{ de paradas}}$$

En esta expresión, el tiempo total operativo corresponde al número de horas en las que el equipo estuvo en funcionamiento efectivo, mientras que el número de fallas representa la cantidad de eventos que interrumpieron su operación. Un valor elevado de MTBF refleja que el equipo puede operar durante más tiempo antes de presentar una falla, lo cual evidencia un mejor nivel de confiabilidad.

Definición y Cálculo del MTTR (Mean Time to Repair)

El MTTR corresponde al tiempo promedio requerido para restituir la operatividad del equipo después de ocurrida una falla. Este indicador permite valorar la mantenibilidad del equipo; es decir, la capacidad de ser intervenido y restablecido en el menor tiempo posible.

Su cálculo se determina dividiendo el tiempo total empleado en las reparaciones entre el número de fallas registradas:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total operativo}}{N^{\circ} \text{ de paradas}}$$

El tiempo total de reparación comprende la suma de horas utilizadas en las actividades correctivas ejecutadas durante el periodo de análisis. Un valor reducido de MTTR indica que las fallas son atendidas y corregidas en menor tiempo, lo que representa una mejor capacidad de respuesta del sistema de mantenimiento.

Indicadores Clave de Desempeño (KPI)

Los KPI utilizados para evaluar la disponibilidad incluyen el MTBF y el MTTR. Estos indicadores proporcionan información sobre la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos (Ugurlu & Kumral, 2020). La Tabla 4 muestra los indicadores clave de desempeño utilizados en la evaluación de la disponibilidad de equipos.

Tabla 4

Indicadores Clave de Desempeño (KPI)

Indicador	Definición	Fórmula
MTBF	Tiempo Medio Entre Fallas	$\frac{\text{Tiempo total disponibilidad}}{N^{\circ} \text{ de paradas}}$
MTTR	Tiempo Medio para Reparar	$\frac{\text{Horas de parada}}{N^{\circ} \text{ de paradas}}$
Disponibilidad	Proporción de tiempo operativo	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
Ejecución	Cumplimiento de ejecución de actividades del plan de mantenimiento	$\frac{N^{\circ} \text{ actividades ejecutadas}}{N^{\circ} \text{ actividades programadas}}$

Fuente: Adaptado de Andreeva (2021) y Balaraju, Raj, y Murthy (2020).

Factores que Afectan la Disponibilidad

Los factores que pueden influir en la disponibilidad incluyen la calidad de los repuestos, la efectividad del mantenimiento y las condiciones operativas. Una gestión adecuada de estos factores es esencial para mantener la operatividad de los equipos (Cao et al., 2021). Además, la capacitación continua del personal y la implementación de tecnologías avanzadas pueden mejorar significativamente la disponibilidad (Galatia, 2022).

2.2.6. Optimización del Mantenimiento

Modelos de Optimización

Los modelos de optimización utilizan técnicas matemáticas para planificar y mejorar las actividades de mantenimiento. Estos modelos ayudan a determinar el momento óptimo para realizar el mantenimiento y minimizar los costos asociados

(Saputra, Sari, & Khadijah, 2022). La aplicación de algoritmos genéticos y simulaciones permite identificar la mejor estrategia de mantenimiento (Mohammed et al., 2020).

Simulación y Modelado

Las simulaciones y el modelado se utilizan para predecir fallas y optimizar los horarios de mantenimiento. Estas herramientas permiten a las empresas evaluar diferentes escenarios y seleccionar la mejor estrategia de mantenimiento (Javadnejad et al., 2022). La Tabla 5 muestra un ejemplo de resultados de simulaciones de optimización de mantenimiento.

Tabla 5

Resultados de Simulaciones de Optimización de Mantenimiento

Estrategia de Mantenimiento	MTBF (horas)	MTTR (horas)	Disponibilidad (%)
Estrategia 1	500	5	99
Estrategia 2	450	6	98

Fuente: Datos adaptados de Javadnejad et al. (2022).

Aplicaciones Prácticas

Las aplicaciones prácticas de la optimización del mantenimiento en la industria minera han demostrado mejoras significativas en la disponibilidad y reducción de costos. Los estudios de caso muestran cómo estas técnicas pueden aplicarse efectivamente en entornos operativos reales (Saputra, Sari, & Khadijah, 2022). Por ejemplo, la optimización del mantenimiento de equipos de perforación ha resultado en una reducción del 20% en los costos de mantenimiento y un aumento del 15% en la disponibilidad operativa (Cao et al., 2021).

2.2.7. Integración de Seguridad en el Mantenimiento

Relación entre Mantenimiento y Seguridad

Un buen plan de mantenimiento no solo mejora la operatividad de los equipos, sino que también contribuye a la seguridad de los trabajadores. Las fallas inesperadas pueden representar riesgos significativos para la seguridad, y el mantenimiento preventivo puede mitigar estos riesgos (Tubis et al., 2022). La implementación de estrategias de mantenimiento que priorizan la seguridad es esencial para proteger a los trabajadores y garantizar un ambiente de trabajo seguro (Andreeva, 2021).

Estrategias de Mantenimiento Basadas en la Seguridad

Las estrategias de mantenimiento que priorizan la seguridad incluyen la identificación de riesgos, la implementación de medidas preventivas y la capacitación continua del personal. Estas estrategias son esenciales para mantener un ambiente de trabajo seguro y eficiente (Cao et al., 2021). La Tabla 6 presenta ejemplos de medidas preventivas utilizadas en el mantenimiento basado en la seguridad.

Tabla 6:
Medidas Preventivas en el Mantenimiento Basado en la Seguridad

Medida Preventiva	Descripción
Inspección Regular	Evaluación periódica de los equipos
Sustitución de Componentes Críticos	Reemplazo programado de piezas importantes
Capacitación del Personal	Formación continua en seguridad y mantenimiento

Fuente: Adaptado de Cao et al. (2021) y Tubis et al. (2022).

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, lo que significa que se centra en la generación de conocimiento nuevo para solucionar un problema específico utilizando un conocimiento ya existente (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). En este caso, el problema abordado es la baja disponibilidad de los equipos de perforación en una empresa minera ubicada en Ica. Para resolverlo, se desarrollará un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM). La metodología RCM se utiliza para identificar y mitigar fallas potenciales de los equipos, mejorando así su disponibilidad y asegurando una operación más eficiente y continua.

Además, la investigación es de tipo explicativa, ya que busca profundizar en las causas que afectan la disponibilidad de los equipos de perforación (Méndez, 2020). El objetivo es identificar y priorizar las causas que contribuyen a la baja disponibilidad de estos equipos, desarrollando soluciones adecuadas que optimicen su rendimiento y minimicen el tiempo de inactividad.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se clasifica como un estudio no experimental, de tipo longitudinal, descriptivo y correlacional, ya que analiza la evolución de indicadores de mantenimiento a lo largo del tiempo. También se analiza el impacto de la implementación de un plan de mantenimiento y estrategias sobre la disponibilidad de los equipos. Se recopilan datos de fallas, tiempos de inactividad, indicadores clave (MTBF, MTTR), y se aplicarán metodologías de análisis como AMFE y FODA.

3.3. Población y muestra

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la población es el conjunto de elementos de los que se desea obtener información para una investigación. En este estudio, la población está constituida por la data de mantenimiento de los 14 equipos de perforación de la empresa minera ubicada en Ica.

La muestra, por su parte, representa una parte representativa de la población de la que se extrae la información. En este caso, la muestra está conformada por la data de mantenimiento de los dos equipos de perforación que, según el análisis de criticidad realizado durante el desarrollo de la investigación, presentan mayor impacto en la operación de la empresa.

3.4. Recolección de datos

Para la recolección de datos se emplearán diversos instrumentos que permitan obtener información precisa y detallada sobre las variables de estudio. Estos instrumentos incluyen:

- a) Registros de mantenimiento: Documentos que contienen información detallada sobre las fallas identificadas en los equipos, incluyendo la frecuencia y las horas paradas por cada falla.
- b) Formato de análisis de criticidad de equipos: Herramienta utilizada para medir la criticidad de los equipos, considerando factores como la frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento e impacto en seguridad, ambiente e higiene.
- c) Formato AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla): Aplicado para analizar los modos y efectos de las fallas identificadas, determinando la prioridad de riesgo para enfocar los esfuerzos en las fallas con mayor impacto.
- d) Registros de disponibilidad: Documentos que contienen información sobre la mantenibilidad y confiabilidad de los equipos, así como el porcentaje de disponibilidad mensual.

Además de los instrumentos mencionados anteriormente, se utilizarán otros métodos de recolección de datos como:

- a) Observación directa: Se realizarán visitas de campo para registrar las condiciones operativas de los equipos, los tiempos de inactividad y los procedimientos de mantenimiento aplicados. Estas observaciones serán documentadas en formatos diseñados para clasificar y categorizar la información según el tipo de falla y su impacto.
- b) Cuestionarios: Se aplicará una encuesta al personal de mantenimiento para evaluar su nivel de conocimiento sobre conceptos y prácticas relacionadas con el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. El cuestionario incluirá preguntas de opción múltiple y escalas de Likert para medir variables como la frecuencia de uso de herramientas, conocimiento de conceptos y nivel de capacitación (ver Anexo 7).
- c) Entrevistas semiestructuradas: Se llevarán a cabo entrevistas con ingenieros, técnicos y supervisores de mantenimiento para obtener información detallada sobre sus experiencias, desafíos y recomendaciones en la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Se utilizará una guía de entrevista adaptada para capturar aspectos técnicos y prácticos.

3.5. Definición operacional de las variables

A continuación, se presenta la matriz de operacionalización de las variables, que define cómo se medirán y analizarán cada una de las variables del estudio:

Tabla 7

Matriz de operacionalización de las variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Formula / Unidad
Independiente: Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Aplicación del RCM para identificar fallas y definir estrategias de mantenimiento orientadas a reducir paradas.	Frecuencia de fallas	Nº de fallas	$\sum (\text{paradas al mes})$
		Horas paradas	Nº de horas paradas	$\sum (\text{horas paradas al mes})$
		Criticidad de equipos	Nivel de criticidad	$FF \times ((IO \times FO) + CM + ISAH)$
		Prioridad de riesgo	NPR	$Ocurrencia \times Severidad \times Detección de falla$
Dependiente: Disponibilidad de Equipos	Medición del tiempo operativo respecto al tiempo total programado.	Confiabilidad	MTBF	$\frac{\text{Tiempo total disponible}}{\text{Nº Paradas de máquinas}}$
		Mantenibilidad	MTTR	$\frac{\text{Horas paradas}}{\text{Nº Paradas de máquinas}}$
		Disponibilidad	% Disponibilidad	$\frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$

Nota: Elaboración Propia

Donde las siglas significan lo siguiente:

- FF: Frecuencia de falla
- IO: Impacto Operacional
- FO: Factor Operativo
- CM: Costo Monetario
- ISAH: Seguridad, Ambiente e higiene
- NPR: Número de prioridad de Riesgo.
- MTTR: Mean Time To Repair (Tiempo medio para reparar)
- MTBF: Mean Time Between Failures (Tiempo medio entre fallas)

3.6. Diseño de instrumentos

Los instrumentos que se utilizarán para la recolección de datos son:

- a) **Registros de mantenimiento:** Contienen información sobre las fallas identificadas en los equipos, indicando la frecuencia y las horas paradas por falla.
- b) **Formato de análisis de criticidad de equipos:** Se aplica para medir la criticidad de los equipos en base a la frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento e impacto en seguridad, ambiente e higiene.
- c) **Formato AMEF:** Se aplica para analizar el modo y efecto de las fallas identificadas, a su vez de determinar la prioridad de riesgo para identificar las fallas con alto riesgo.
- d) **Registros de disponibilidad:** Contienen información sobre la mantenibilidad y confiabilidad de los equipos, así como el porcentaje de disponibilidad mensual.
- e) **Formato de observación directa:** Se diseñará un formato específico para registrar las condiciones operativas de los equipos, tiempos de inactividad y procedimientos de mantenimiento aplicados durante las visitas de campo. Este formato incluirá campos para clasificar y categorizar la información según el tipo de falla y su impacto.
- f) **Cuestionario de evaluación de conocimientos:** Se desarrollará un cuestionario dirigido al personal de mantenimiento para evaluar su nivel de conocimiento sobre conceptos y prácticas relacionadas con el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. El cuestionario constará de 15 preguntas de opción múltiple y escalas de Likert de 5 puntos para medir variables como la frecuencia de uso de herramientas, conocimiento de conceptos y nivel de capacitación (ver Anexo 7). El cuestionario será validado por un panel de expertos en mantenimiento industrial y se realizará una prueba piloto con una muestra de 10 trabajadores para evaluar la claridad y pertinencia de las preguntas, así como la confiabilidad de las respuestas mediante el cálculo del coeficiente alfa de Cronbach.
- g) **Guía de entrevista semiestructurada:** Se elaborará una guía de entrevista dirigida a ingenieros, técnicos y supervisores de mantenimiento. La guía incluirá preguntas abiertas sobre sus experiencias, desafíos y recomendaciones en la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Se abordarán temas como:
 - Principales problemas y fallas recurrentes en los equipos.

- Estrategias y prácticas de mantenimiento aplicadas actualmente.
- Percepciones sobre la efectividad del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Sugerencias para mejorar la gestión del mantenimiento y aumentar la disponibilidad de los equipos.

La guía de entrevista será revisada por expertos en mantenimiento y se realizará una prueba piloto con dos entrevistados para verificar la claridad y pertinencia de las preguntas, así como la fluidez de la conversación.

Los instrumentos serán aplicados siguiendo un protocolo estandarizado para garantizar la consistencia en la recolección de datos. Los cuestionarios serán autoaplicados por el personal de mantenimiento, mientras que las entrevistas serán conducidas por el investigador en un ambiente privado y controlado.

Todos los instrumentos serán codificados y los datos recolectados serán ingresados en una base de datos para su posterior análisis estadístico y cualitativo. Se garantizará la confidencialidad de la información y se obtendrá el consentimiento informado de los participantes antes de la aplicación de los instrumentos.

4. CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL Y SITUACIÓN DE MANTENIMIENTO

4.1.Descripción genérica de la empresa de investigación

La empresa minera sujeta a estudios, es una de las referentes en prestación de servicios integrales en la industria minera, su sede principal se encuentra ubicada en Lima desde donde coordina las operaciones en las diversas regiones del Perú, el proyecto sujeto a esta investigación se encuentra en el distrito de San Juan de Marcona, Provincia de Nasca, ubicado en la región Ica.

Entre las actividades principales que brinda se encuentra la excavación y movimiento de tierras (trabajo de movimiento, remoción de tierras y preparación de terrenos), trabajos de construcción de infraestructura minera (desarrollo de caminos, presas y demás estructuras que permitan el correcto desarrollo de las operaciones mineras) y los servicios de operaciones mineras (extracción de materiales y gestión de los procesos desde la perforación/voladura hasta el transporte del mineral).

Esta organización minera contribuye con la producción de minerales y metales a través de los servicios, colaborando con proyectos de cobre, oro y plata, además de brindar un soporte permanente a demás operaciones y empresas.

Figura 1

Operaciones de la empresa minera



Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

Los yacimientos de mineral de hierro ubicados en la costa sur del Perú, a unos 530 kilómetros de Lima, en el distrito de Marcona de la provincia de Nasca en la Región Ica, son explotados, procesados y comercializados por esta empresa minera. De estos yacimientos se obtienen concentrados de alta ley para la elaboración de nuestros productos. Tres sectores conforman el complejo minero y metalúrgico:

- ✓ El área de la mina tiene una extensión aproximada de 150 km² y es escenario de permanentes actividades de exploración y explotación de minerales, que se realizan bajo el sistema de tajo abierto, mediante perforaciones y tiros, que trasladan las rocas mineralizadas hasta las trituradoras, donde son trituradas y luego apiladas para luego ser transportadas hasta San Nicolás a través de una faja de aproximadamente 15,3 kilómetros de longitud y con una capacidad de 2000 toneladas por hora.
- ✓ San Nicolás es el área donde los minerales atraviesan por una serie de etapas hasta su estado como producto comercializable, esta área cuenta con las instalaciones de planta chancadora, planta de separación magnética, falta de filtros, planta de pelets y muelle de San Nicolás.
- ✓ San Juan es el centro poblado que abarca el campamento y oficinas administrativas del proyecto, generando de esta manera un efecto positivo en la región de ubicación del proyecto.

4.2. Descripción del proceso de la empresa de estudio

Figura 2

MINA

Perforación y voladura

Cargue y Acarreo

Chancado Primario y Secundario

Stock de mineral Misa

Transporte por cinta 15.3 Km

Chancado Terciario

Chancado Primario y Secundario

Tolva Transfensora

BENEFICIO

Stock

Molienda Gruesa

Molino de Bolas

Separación Magnética Primaria

Concentrado

Molienda Fina

Molino de Bolas

Separación Magnética Secundaria

Concentrado

Espeque a Cuchas

Concentrado

Espeque

Almacenamiento y Aglutinación

Sturty

Silica

Bomba

Filtros

Tolva de Concentrado

Mezclador

Dosificador

Stock de Pellets - Planta

Stock de Pellets - Puerto

Embarque

SHOUGANG HIERRO PERU S.A.
FLOW AHEET MINA -BENEFICIO

Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

- ✓ *Exploración:* búsqueda del espacio (yacimiento, terreno) para conocer las características del mineral (hierro).
- ✓ *Perforación:* se procede con la generación de vetas de mineral, para obtener los taladros se realizan dos tipos de perforación (primaria y secundaria).

Figura 3

Perforadora



Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

- ✓ *Disparo:* Durante este procedimiento se carga en los taladros la combinación explosiva de nitrato, aluminio, petróleo y detonador. Además, se aplica pólvora a la malla guía y se colocan los retardadores de acuerdo con un diseño anterior.
- ✓ *Carguío:* Para esta tarea se utilizan palas con una capacidad de balde de treinta toneladas y/o cargadores frontales. Las palas se impulsan eléctricamente y se desplazan sobre raíles. Los cargadores funcionan con combustible y son móviles. Las flotas han categorizado estos dispositivos en función de determinados atributos.

Figura 4

Operaciones de carguío



Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

- ✓ *Acarreo:* El transporte de material desde minas o yacimientos mineros hasta fábricas o instalaciones de almacenamiento es el objetivo de esta operación. Para el transporte se utilizan camiones con gran capacidad de carga. Para llegar a su destino, estos vehículos recorren rutas predeterminadas.

Figura 5

Operaciones de acarreo



Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

- ✓ *Chancado:* se realiza el chancado de minerales y baja ley haciendo uso de dos plantas chancadoras.

Figura 6

Operaciones de chancado



Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

- ✓ *Envío de crudos: se transporta el mineral hacia la planta de Beneficio a través de fajas por una longitud total de 18.5 km.*

Figura 7

Operaciones de envío de crudos



Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

- ✓ *Chancado (San Nicolás):* es el chancado del mineral hasta que cumpla con el tamaño requerido por las especificaciones según el tipo de mineral a través de plantas chancadoras y líneas de producción.
- ✓ *Concentración:* Después de ser entregado desde la trituradora a los silos que contienen el mineral molido y clasificado, el mineral se somete a procedimientos de molienda fina y gruesa en la Planta Magnética. Hay nueve líneas de molienda y se utilizan molinos de barras para la operación de molienda principal. Los Separadores Magnéticos Cobers se utilizan para realizar la separación magnética; el concentrado recuperado se entrega al Sistema de Relaves mientras que el residuo, o relaves, se envía al circuito de molienda. Dependiendo de la producción planificada, se lleva a cabo el procedimiento de clasificación por hidrociclón. Los molinos de bolas se utilizan para el proceso de molienda secundaria. El residuo, o relaves, se transfiere al Sistema de Relaves mientras que el concentrado recuperado procede al proceso de flotación después de que se completa la separación magnética final en los separadores magnéticos Finisher, el concentrado se somete a un proceso de Flotación Celular, que utiliza reactivos químicos para eliminar el azufre del hierro.

Figura 8

Operaciones de concentración



Nota: SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. Recuperado en setiembre de 2024 de <https://www.shougang.com.pe/>.

- ✓ *Filtrado*: el mineral de molienda fina es filtrado según el tipo de producción.
- ✓ *Peletización*: Las cuchillas guían la transferencia de grano a través del lecho hasta que se forman los pellets, controlando el tamaño de estos y la duración de su residencia.

Se utilizan carros con aberturas de rejilla para transportar los pellets verdes al horno de rejilla móvil horizontal, donde se colocan sobre un lecho de pellets quemados. Antes de colocarlos en los carros, los pellets verdes pasan por un mecanismo de clasificación. Cuando los pellets entran en el carro, forman un lecho uniforme.

- ✓ *Transferencias*: Para transportar el producto desde los patios de Stock de Planta hasta el Túnel de Transferencia se utilizan tolvas, que son equipos. Para trasladar la mercancía hasta el Stock del Puerto se utiliza un sistema de Bandas. El producto se ordena en función de su categorización mediante un dispositivo apilador móvil conocido como Stacker.
- ✓ *Embarque*: Para transportar la mercancía que se descarga en los patios de acopio del puerto hasta el túnel de embarque se utilizan dispositivos de tolva. Para mover la mercancía hasta la zona de embarque se utiliza un sistema de cintas transportadoras. A continuación, la mercancía pasa por una báscula, que mide la cantidad de carga que se envía. Finalmente, la mercancía se traslada mediante una cinta transportadora hasta el muelle, donde se coloca en las bodegas del barco mediante un equipo apilador móvil diferente, conocido como pórtico.

Adicionalmente, a lo largo de todo el proceso se toman muestras del producto las mismas que son enviadas al laboratorio metalúrgico (pruebas físicas) y al laboratorio químico (pruebas químicas).

4.3. Análisis de la situación actual de la gestión de mantenimiento de los equipos intervinientes en las operaciones mineras

4.3.1. Áreas que conforman las operaciones de mantenimiento

- ✓ *Operaciones*: Son los encargados de poner en marcha y parar la maquinaria, así como de hacer funcionar la instalación. Además de garantizar la cuota de producción establecida por la dirección de la mina, también son los encargados de supervisar el proceso de transporte de los minerales a las canchas de lixiviación.

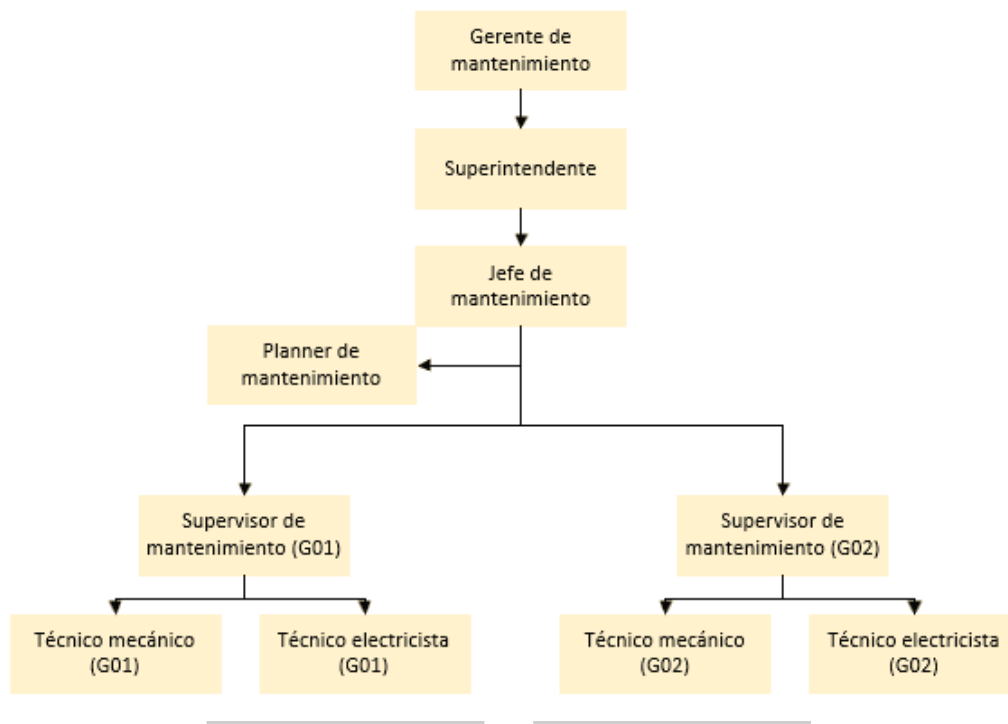
- ✓ Mantenimiento: Además de gestionar posibles emergencias, se encargan de garantizar el correcto mantenimiento de los equipos, tanto en el mantenimiento planificado como en el correctivo, por lo que son los responsables directos de garantizar la disponibilidad de la planta.
- ✓ Planeamiento: Se encargan de proporcionar suministro de componentes a corto y largo plazo y de coordinar la asistencia al área de mantenimiento. También programan el mantenimiento, tanto preventivo como correctivo.
- ✓ Logística: Sus responsabilidades incluyen la compra, la selección de los mejores proveedores en función de la urgencia de los componentes y el suministro de componentes de alta rotación para garantizar un mantenimiento regular.

El área de mantenimiento está conformada por un gerente de mantenimiento que supervisa la integración y cumplimiento de todas las áreas. El mantenimiento completo de la planta es supervisado y monitoreado por un solo jefe de mantenimiento, que conforma el grupo.

Adicionalmente, el equipo de mantenimiento es conformado por un jefe de mantenimiento, el cual verifica trabajos mecánicos, supervisa y gestiona las operaciones. En sus días libres, asumen el papel de líder general de la planta y delegan tareas. Hay también dos supervisores mecánicos para el trabajo que se está realizando. Cada uno de ellos está a cargo de ocho mecánicos de planta, que trabajan en horarios diferentes para garantizar que la planta esté dotada de personal en todo momento y que se realicen los mantenimientos y controles de rutina; adicionalmente, los supervisores de mantenimiento mecánico tienen a dos técnicos mecánicos como soporte.

Figura 9

Organigrama del área de mantenimiento



Nota: Elaboración Propia

El detalle del personal de mantenimiento se resume en la siguiente tabla:

Figura 10

Personal de mantenimiento

Cargo	Grupo Mantenimiento	Cantidad
Gerente de Mantenimiento	General	1
Superintendente	General	1
Jefe de mantenimiento	General	1
Planner de mantenimiento	General	1
Supervisor de mantenimiento mecánico	Guardia 01/ Guardia 02	2
Técnicos mecánicos	Guardia 01/ Guardia 02	2
Técnicos electricistas	Guardia 01/ Guardia 02	2
Total		10

Nota: Elaboración Propia

4.3.2. Gestión de mantenimiento actual

El crecimiento de las operaciones de mantenimiento en la empresa de estudio se encuentra plagado de posibilidades y problemas que tienen una relación directa con la eficiencia y disponibilidad de los equipos:

✓ *Estrategia de mantenimiento*

La organización utiliza soluciones de mantenimiento predictivo y preventivo como parte de su estrategia proactiva. Esto implica anticipar los problemas y minimizar el tiempo de inactividad mediante el uso de tecnología de vanguardia, como el monitoreo en tiempo real y el análisis de datos.

✓ *Organización de personal*

En el departamento de mantenimiento existe una clara estructura organizativa que delimita las responsabilidades respectivas de los gerentes y técnicos de campo. Sin embargo, es preciso proporcionar una capacitación continua, lo que dificulta la realización de trabajos especializados y la adopción de nuevas tecnologías.

La necesidad de actualizar las nuevas tecnologías y los procedimientos nunca desaparece, ni siquiera con los intentos de mejorar la capacitación del personal. Los errores que afectan la seguridad y la eficiencia operativa pueden surgir de la falta de capacitación especializada.

✓ *Gestión de recursos*

La gestión y planificación de recursos son hoy fundamentales. Para mejorar el control de inventario, el control de costos y la programación de actividades, las empresas están implementando sistemas de gestión de mantenimiento computarizados, o CMMS. Como resultado, se mejora la priorización de tareas y la visibilidad de los recursos disponibles.

✓ *Cumplimiento Normativo y Seguridad*

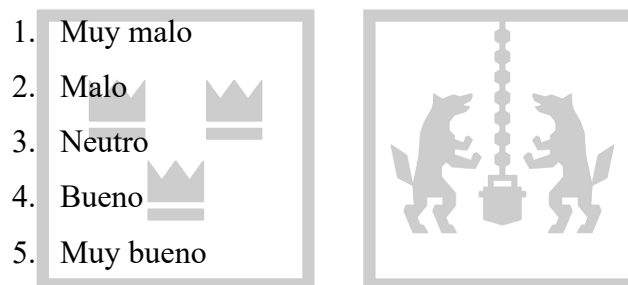
Es fundamental cumplir con las leyes ambientales y de seguridad. Para reducir los riesgos y proteger el medio ambiente, las operaciones de mantenimiento deben coordinarse con pautas estrictas. Las evaluaciones de riesgos y las auditorías son ahora procedimientos estándar para garantizar que se sigan las mejores prácticas.

4.3.3. Evaluación del grado de conocimiento

Se realizó una encuesta a todo el personal de mantenimiento de la planta para conocer su grado de conocimiento sobre los enfoques relacionados con el mantenimiento (cualitativos y cuantitativos). Con los datos recopilados, fue posible evaluar el nivel actual de capacitación del personal de mantenimiento.

La encuesta fue aplicada a los 10 colaboradores pertenecientes al área de mantenimiento teniendo una escala del 1 al 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno (ver Anexo 7).

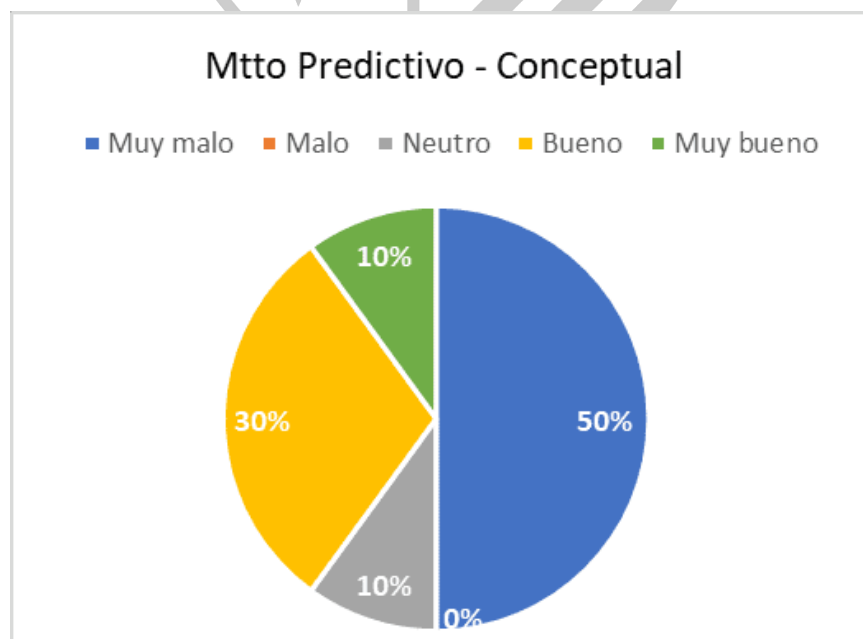
Escala:



- ✓ Conocimiento conceptual de mantenimiento predictivo: en este ítem los colaboradores se autoevalúan respecto a los conceptos manejados.

Figura 11

Resultados - Conceptos de mantenimiento predictivo

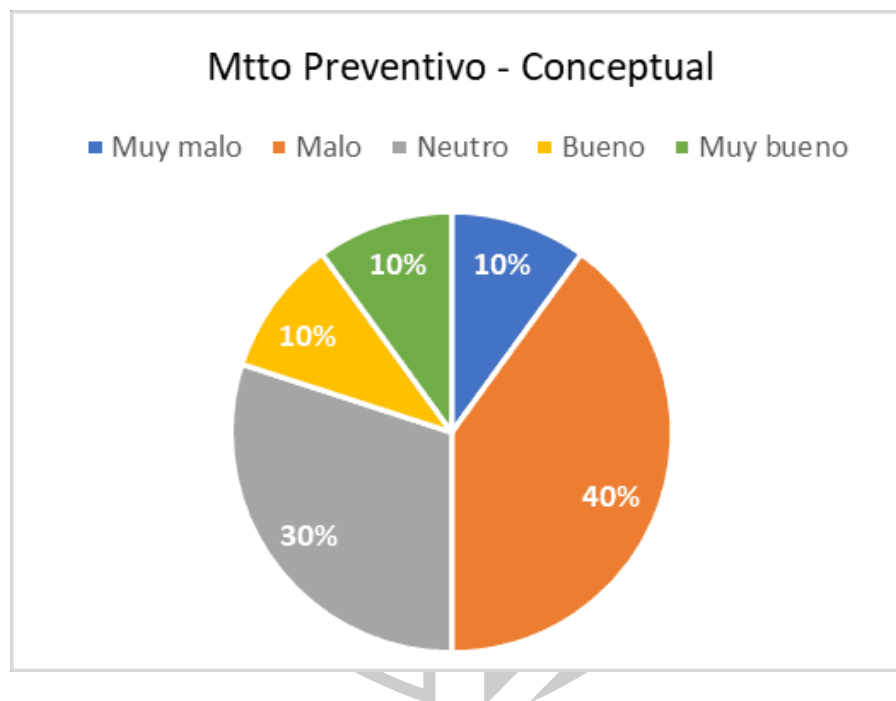


Nota: se evidencia que el personal de mantenimiento de la organización tiene en un 40% conocimientos conceptuales adecuados respecto a mantenimiento predictivo; en contraposición, existe también consciencia de que el 50% (muy malo) de colaboradores no conoce de manera apropiada los conceptos de mantenimiento preventivo.

- ✓ Conocimiento conceptual de mantenimiento preventivo: en este ítem los colaboradores se autoevalúan respecto a los conceptos relacionados con mantenimiento preventivo que manejan actualmente.

Figura 12

Resultados - Mantenimiento preventivo

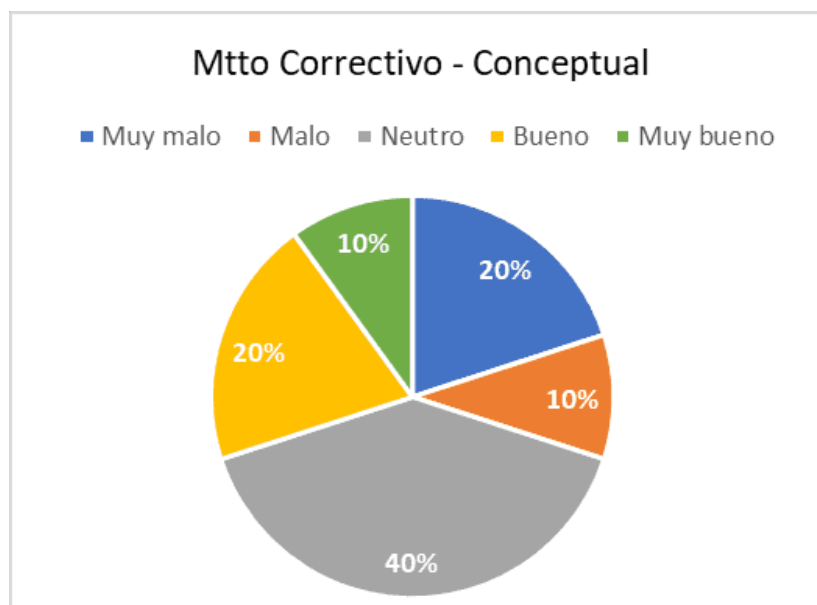


Nota: En la organización se evidencian niveles preocupantes respecto al conocimiento de mantenimiento preventivo en términos conceptuales teniendo en consideración que el 50% considera que los conocimientos que posee son malos (40%) o muy malos (10%); en este sentido, debe tenerse en especial consideración el reforzamiento de estos temas, dado que si no lo conocen no se podrán aplicar adecuadamente.

- ✓ Conocimiento conceptual de mantenimiento correctivo: en este ítem los colaboradores se autoevalúan respecto al nivel de conocimiento de conceptos relacionados con mantenimiento correctivo que manejan actualmente.

Figura 13

Resultados – Mantenimiento correctivo



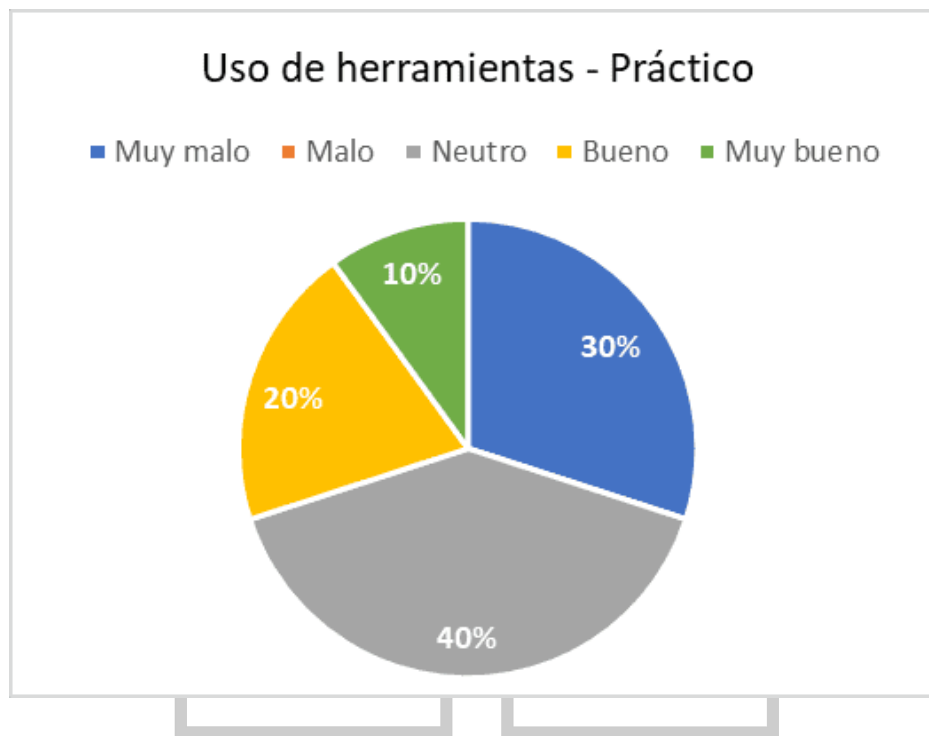
Nota: El diagnóstico general en temas conceptuales de mantenimiento es bastante deficiente, encontrándose en un 30% entre malo y muy malo para mantenimiento correctivo, a pesar de ser el modelo de mantenimiento más común aplicado en este tipo de organizaciones.

Según los resultados obtenidos para el conocimiento conceptual de los colaboradores de los temas de mantenimiento (predictivo, preventivo y correctivo) es importante para una posterior aplicación; es importante la actualización del conocimiento de los colaboradores a través de un programa de capacitación permanente y actualizado.

- ✓ Conocimiento práctico de uso de herramientas: nos permite identificar las brechas de conocimiento en el uso de herramientas y determinar la línea base para el seguimiento en el tiempo.

Figura 14

Resultados Uso de herramientas - Práctico

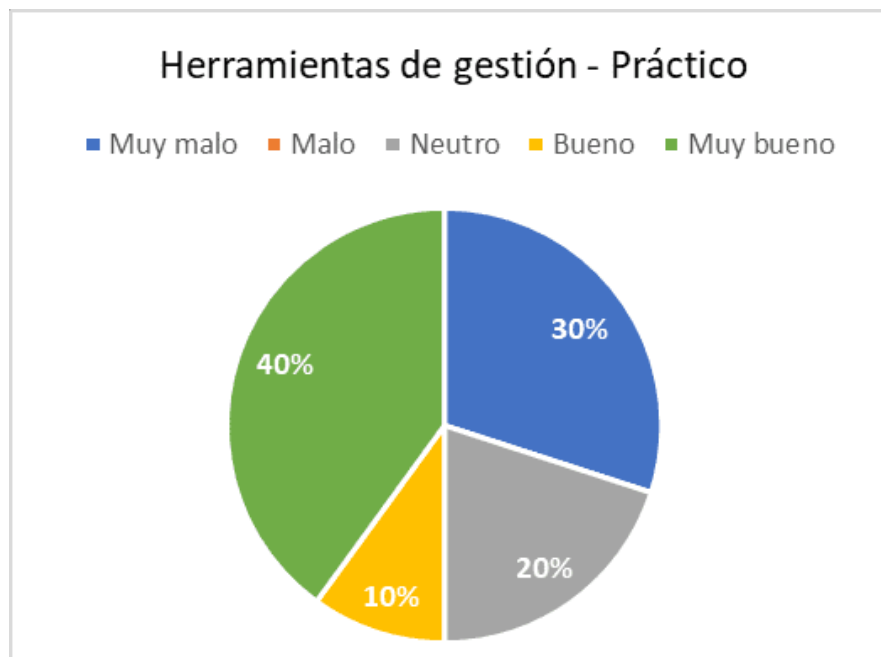


Nota: En contraposición a los resultados observados, en esta parte de la encuesta correspondiente al conocimiento de los colaboradores sobre el uso de herramientas de manera práctica, el 56% menciona que conoce de manera adecuada su uso (bueno y muy bueno); estos conocimientos se atribuyen directamente al uso y práctica constante de las herramientas en el desarrollo del trabajo de manera habitual.

- ✓ Conocimiento práctico de herramientas de gestión: permite medir la capacidad y ejecución de gestión de los colaboradores de mantenimiento, con la finalidad de identificar el nivel de trabajo colaborativo y búsqueda de soluciones en el área de mantenimiento.

Figura 15

Resultados herramientas de gestión - Práctico

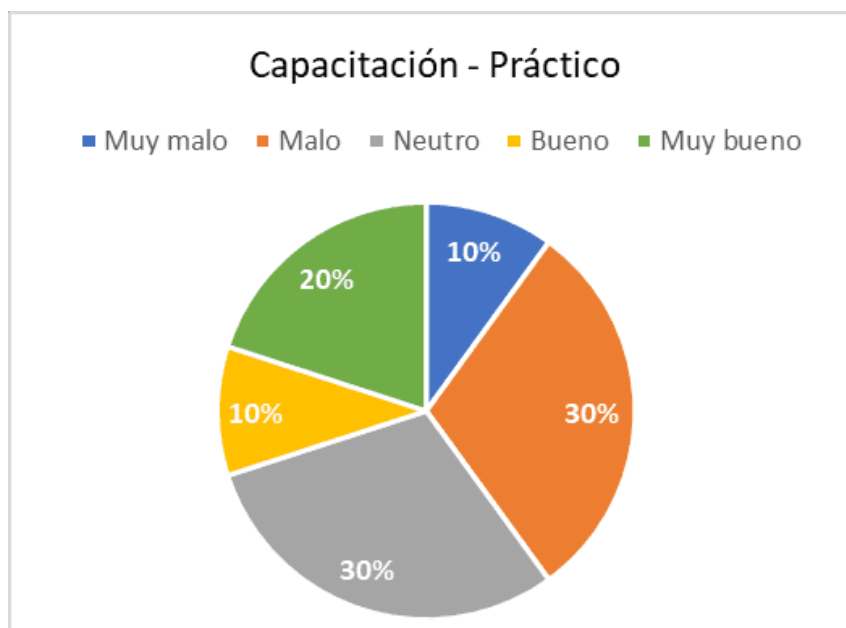


Nota: En los niveles de gestión dentro del área de mantenimiento se observa una gran deficiencia, dando luces de trabajo individual y limitaciones en temas de gestión; es importante propiciar la comunicación y gestión dentro del área de mantenimiento.

- ✓ Capacitación práctica permanente: permite la medición de búsqueda y actualización de los colaboradores respecto a nuevas prácticas que permitan ajustes y mejoras en el desarrollo de actividades de mantenimiento.

Figura 16

Capacitación - Práctica



Nota: Los resultados de la encuesta en este punto evidencian que los colaboradores no mantienen actualizaciones permanentes respecto a temas prácticos de mantenimiento, adicionalmente, al encontrarse gran parte como “neutro” (30%) se muestra que los colaboradores no se rechazan, pero tampoco buscan capacitación, encontrando de esta forma una oportunidad para la organización, quienes de potenciar a los colaboradores pueden encontrar importantes mejoras en la ejecución de actividades de mantenimiento.

Esta encuesta permitió a la organización determinar los niveles de conocimiento tanto práctico como conceptual de los colaboradores con temas relacionados al mantenimiento; identificando importantes puntos de mejora respecto a los temas conceptuales y la oportunidad de potenciar los temas prácticos.

Tabla 8*Resultados generales*

Tema	Puntaje promedio	Nivel
Mantenimiento Predictivo	2.8	Neutro
Mantenimiento Preventivo	2.8	Neutro
Mantenimiento Correctivo	2.8	Neutro
Conocimiento de herramientas	3.4	Neutro
Uso de herramientas de gestión	3.0	Neutro
Capacitación práctica permanente	3.08	Neutro

Nota: en todos los campos encuestados entre los 10 colaboradores se pueden encontrar puntos de mejora de diversas índoles, de acuerdo con el contexto (conceptual o práctico) y los temas tocados; estos resultados nos permiten tener una visión integrada e identificar de manera clara que aún existen puntos por mejorar en los colaboradores con la finalidad del desarrollo de un mejor programa de mantenimiento (ver Anexo 7).

5. CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

5.1. Formulación estratégica del plan de mantenimiento

5.1.1. Misión y visión de la organización

- **Misión:**

“Construimos un mundo mejor brindando servicios seguros, eficientes e innovadores, ofreciendo carreras retadoras y agregando valor a nuestros grupos de interés”

- **Visión:**

“Ser el proveedor líder a nivel mundial de servicios de minería y construcción”

5.1.2. Valores de la organización

- **Las personas son nuestra prioridad**

“La seguridad es un valor fundamental y no negociable”

“El desarrollo y crecimiento integral de nuestros colaboradores es nuestra prioridad”

“Estamos orgullosos de ofrecer carreras retadoras a nuestros colaboradores y oportunidades de desarrollo sostenible a las personas de las comunidades en las que trabajamos”

- **Actuamos con integridad**

“Hacemos que decimos de manera ética”

“Fomentamos el respeto por la diversidad, honestidad e inclusión para todos nuestros grupos de interés”

- **Somos eficientes**

“Establecemos metas ambiciosas, planificamos de manera responsable y ejecutamos el trabajo con excelencia”

“Creemos en la calidad, innovación y practicidad como una fórmula valiosa para comprender, anticipar y satisfacer las necesidades de nuestros clientes”

- Nos apasiona lo que hacemos

“Actuamos guiados por nuestros valores”

“Tenemos pasión para ejecutar y entregar los servicios a nuestros clientes”

“Somos un equipo sólido, multicultural y diverso que cree en su Misión”

5.2. Análisis estratégico

Se procede con el análisis de los factores tanto internos como externos que tienen relación con el área de mantenimiento.

5.2.1. Análisis interno

Esta investigación destaca la principal fortaleza de la empresa, que es su atractivo para proveedores. Esta característica es crucial ya que ofrece un soporte suficiente para todos los cambios previstos, ya que las empresas especializadas pueden ofrecer orientación en cuestiones relacionadas con la mejora continua para el plan de gestión de mantenimiento de los equipos. Adicionalmente se cuenta con un presupuesto considerable para ejecutar las acciones de mantenimiento, el mismo que incrementa de acuerdo con las horas trabajadas.

Entre las principales fortalezas, además de las ya mencionadas se pueden listar la adecuada infraestructura y herramientas, libertad de aprovisionamiento, la buena disposición de los encargados para desarrollar los procesos de mantenimiento respaldado por el adecuado seguimiento del desempeño y resultado, el proceso que se maneja y los controles aplicables al mismo.

Entre los factores negativos o debilidades se encuentra la dependencia que existe con otras áreas para la disponibilidad de los recursos, adicionalmente que si bien el proceso es estructurado y cuenta con controles resulta ser muy complicado para un personal que no se encuentre adecuadamente capacitado; además que generan una reacción lenta ante fallas no planificadas. En lo que respecta a la gestión de información, esta se vuelve deficiente cuando se presenta en grandes cantidades.

5.2.2. *Análisis externo*

Con una visión más macro, teniendo en cuenta el sector y contexto se general se puede rescatar entre los aspectos positivos que: el sector minero propicia acciones de mejora continua en el sistema de mantenimiento; adicionalmente, propiciando un ambiente de innovación y enfoque en la prevención/predicción se han busca la implementación de sensores IoT para monitoreo de los equipos en tiempo real.

Por otro lado, se ha observado que existe una gran disposición a la capacitación permanente del personal técnico y buscan la expansión con más equipos y áreas organizacionales. Toda fábrica debe priorizar el crecimiento de sus operaciones y capacidad de producción. En este caso, es posible hacerlo planificando tácticas que puedan ayudar a lograr el objetivo propuesto e incorporando a todos los departamentos para proyectar una mejor producción año tras año.

El plan de comprar más equipos para facilitar el mantenimiento es otro elemento externo significativo. Dicho esto, es importante señalar que una causa común de los períodos de espera es la deficiencia de equipos básicos necesarios para las tareas de mantenimiento.

Adicionalmente, existen aspectos negativos no planeados que pueden impactar en la organización tales como fallas no planeadas en equipos, adicionalmente es posible el cambio en la normativa legal vigente lo cual afectaría a las operaciones o personal de trabajo. Por otro lado, el implantar nuevos métodos de trabajo puede generar resistencia al cambio de parte de los colaboradores.

5.2.3. *Análisis FODA*

Cada una de las partes involucradas pudo aportar conceptos generales y se realizó una sesión de análisis, el mismo que se realizó en conjunto con la cadena de mando de la planta, que incluye a los jefes de mantenimiento mecánico, así como a los supervisores de campo. Una vez reunidos todos los componentes, se combinaron los datos de cada área consultada y se eliminaron los conceptos que se consideraron redundantes o desactualizados en relación con los objetivos.

Tabla 9*Matriz FODA del área de mantenimiento*

Fortalezas	Debilidades
1. Empresa referente en el sector, atractiva para proveedores.	1. Deficiente actitud colaborativa entre áreas.
2. Experiencia y conocimiento técnico del sector minero.	2. Procesos logísticos poco eficientes.
3. Gran capacidad de inversión (área de mantenimiento, infraestructura y herramientas).	3. Programas de capacitación deficientes y poco actualizados.
4. Libertad para manejo de stock de repuestos.	4. Deficiente planificación de actividades de mantenimiento preventivo.
5. Personal técnico capacitado para el desarrollo de actividades de mantenimiento.	5. Bajos niveles de repuestos en inventario.
6. Predisposición para cambios de parte de la alta dirección.	6. Control deficiente de las actividades de mantenimiento.
	7. Conocimiento deficiente en temas de gestión de mantenimiento.
Oportunidades	Amenazas
1. Tendencia a mejora continua en el área de mantenimiento en el sector.	1. Fallas inesperadas en equipos.
2. Facilidad de adquisición de equipos para mantenimiento.	2. Volatilidad del precio de los metales afectando los presupuestos asignados.
3. Compras de equipos a través de CAPEX.	3. Auditorías recurrentes por instituciones externas.
4. Potenciar la capacitación del personal en gestión de mantenimiento.	4. Ocurrencia de fallas por falta de mantenimiento.
5. Adquirir e implementar programa de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad.	5. Auditorías recurrentes por instituciones gubernamentales.
6. Implementar metodologías de análisis de fallas modernas.	6. Deficiencia de componentes para reparaciones.

Nota: Elaboración Propia

Conclusiones

Según los factores analizados la organización presenta la misma cantidad de debilidades que fortalezas, brindándonos un panorama más sólido para la ejecución de cualquier plan; identificando los puntos positivos que se podrían utilizar para hacer frente a las debilidades encontradas. Adicionalmente, analizando las fortalezas se puede evidenciar la consolidación organizacional al contar con experiencia en el sector minero, infraestructura adecuada y personal técnico capacitado; por otro lado, entre sus debilidades se encuentra la interdependencia entre áreas demorando los procesos y capacidad de reacción.

Por otro lado, en el análisis de los factores externos se encuentra la misma cantidad de oportunidades como de amenazas; encontrándose las principales oportunidades en el crecimiento del mercado minero en el Perú, así como la innovación y capacitación permanente; en contraposición la incertidumbre respecto a las regulaciones legales y la idiosincrasia de los colaboradores constituyen las principales amenazas.

5.2.4. *Objetivos estratégicos del área de mantenimiento*

Habiendo conocido los factores que se encuentran relacionados con el área de mantenimiento se procede a establecer los objetivos estratégicos para la aplicación del plan de mantenimiento.

Tabla 10

Objetivos estratégicos del área de mantenimiento

Perspectiva Financiera	Perspectiva del cliente
1. Ejecutar los presupuestos asignados a mantenimiento.	1. Asegurar la continuidad de operaciones y suministros.
2. Incrementar la disponibilidad de equipos.	2. Mejorar la satisfacción de los clientes internos.
Perspectiva de los procesos internos	Perspectiva del aprendizaje y crecimiento
1. Mejorar la gestión de ejecución de mantenimiento.	1. Capacitar y potenciar las habilidades del personal de mantenimiento.
2. Dar prioridad a la ejecución de mantenimiento preventivo y predictivo.	2. Fomentar la cultura de prevención.

Nota: Elaboración Propia

5.2.5. Metas estratégicas

Habiendo definido los objetivos, se procede a establecer las metas estratégicas las mismas que cuantificaran los logros tras haber culminado periodos de tiempo establecidos.

- Asegurar la ejecución de los presupuestos asignados a mantenimiento en un 90%.
- Lograr una disponibilidad de equipos mayor a 85%.
- Tener como máximo 02 paradas no planificadas por mes para los equipos.
- Mantener índices de satisfacción de clientes internos mayores al 85%.
- Lograr el cumplimiento mínimo de 85% para ejecución de actividades de mantenimiento.
- Determinar el 80% de paradas programadas para mantenimiento preventivo y predictivo.
- Capacitar al 80% del personal en habilidades relacionadas a mantenimiento.
- Desarrollar al menos 04 talleres para desarrollar acciones y concientización sobre prevención.

Tabla 11

Análisis FODA cruzado

		Oportunidades	Amenazas
Externas Internas		1. Tendencia a mejora continua en el área de mantenimiento en el sector. 2. Facilidad de adquisición de equipos para mantenimiento. 3. Compras de equipos a través de CAPEX. 4. Potenciar la capacitación del personal en gestión de mantenimiento. 5. Adquirir e implementar programa de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. 6. Implementar metodologías de análisis de fallas modernas.	1. Fallas inesperadas en equipos. 2. Volatilidad del precio de los metales afectando los presupuestos asignados. 3. Auditorías recurrentes por instituciones externas. 4. Ocurrencia de fallas por falta de mantenimiento. 5. Auditorías recurrentes por instituciones gubernamentales. 6. Deficiencia de componentes para reparaciones
	Fortalezas	Estrategias FO	Estrategias FA
	1. Empresa referente en el sector, atractiva para proveedores. 2. Experiencia y conocimiento técnico del sector minero. 3. Gran capacidad de inversión (área de mantenimiento, infraestructura y herramientas). 4. Libertad para manejo de stock de repuestos.	E1. Potenciar la capacitación del personal en gestión de mantenimiento. E2. Implementación de un programa de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. E3. Optimización de compras y stock de repuestos.	E1. Mejorar la planificación de mantenimiento preventivo y predictivo para mitigar la ocurrencia de fallas. E2. Fortalecer la capacidad para auditorías internas y externas.

5. Personal técnico capacitado para el desarrollo de actividades de mantenimiento.
6. Predisposición para cambios de parte de la alta dirección.

Debilidades	Estrategias DO	Estrategias DA
2. Deficiente actitud colaborativa entre áreas.		
3. Procesos logísticos poco eficientes.		
4. Programas de capacitación deficientes y poco actualizados.	E1. Actualizar programas de capacitación, mejorando la colaboración y comunicación interna.	E1. Fortalecer la gestión de inventarios y procesos logísticos.
5. Deficiente planificación de actividades de mantenimiento preventivo.	E2. Implementar metodologías que contribuyan con el análisis de fallas.	E2. Fomentar una cultura organizacional responsable y capacitada para garantizar el cumplimiento de normativas.
6. Bajos niveles de repuestos en inventario.		
7. Control deficiente de las actividades de mantenimiento.		
8. Conocimiento deficiente en temas de gestión de mantenimiento.		

Nota: Elaboración Propia

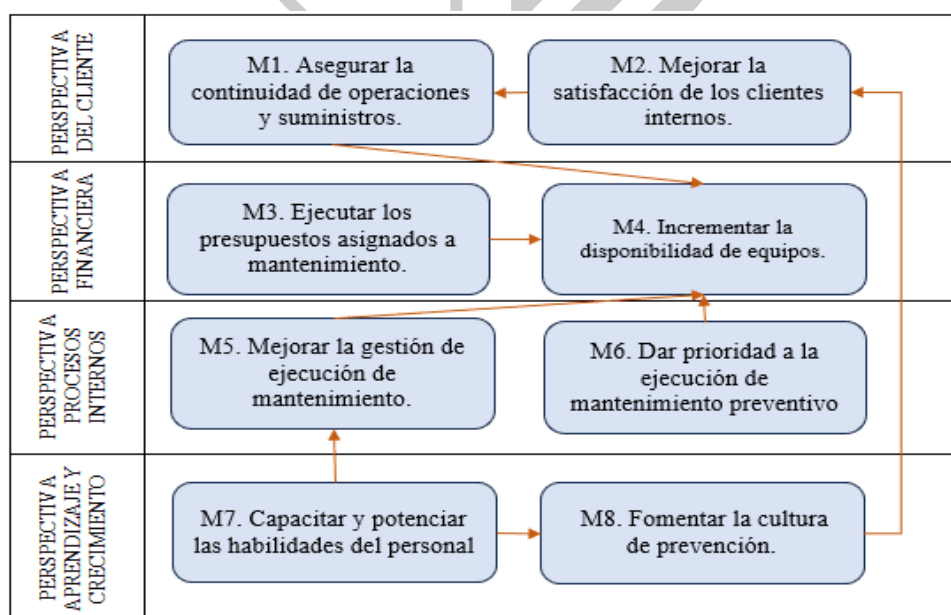
5.2.6. Mapa estratégico y su relación causa – efecto

Según lo planteado previamente (Apartado 5.2.5.) se han determinado 8 metas estratégicas, las cuales se organizarán nuevamente según las perspectivas planteadas:

En el análisis de las metas planteadas se determinó que tanto M1 (Asegurar la continuidad de operaciones y suministros), M3 (ejecutar los presupuestos asignados a mantenimiento), M5 (mejorar la gestión de ejecución de mantenimiento) y M6 (Dar prioridad a la ejecución de mantenimiento preventivo) tienen un impacto directo en la M4 (incrementar la disponibilidad de equipos) debido a que si se quiere mantener equipos disponibles es importante mantener la continuidad de operaciones y suministros, así como se debe ejecutar los presupuestos y se debe mejorar continuamente la gestión de ejecución de mantenimiento; adicionalmente M7 (capacitar y potenciar las habilidades del personal) tiene un impacto directo sobre (M8) fomentar la cultura de prevención, debido a que si se capacita de manera apropiada al personal se orienta la cultura organizacional de manera adecuada; así mismo si se logra la M8, se podrá cumplir la M2 (mejorar la satisfacción de los clientes internos) debido que si se tiene una preparación adecuada los procesos fluirán de mejor manera, asegurando también la continuidad de operaciones y suministros (M1).

Tabla 12

Mapa estratégico de mantenimiento



Nota: Elaboración Propia

5.2.7. Formulación de indicadores

Los indicadores son instrumentos clave que ofrecen datos cuantitativos y cualitativos sobre los objetivos establecidos, lo que permite un examen exhaustivo y bien razonado de los resultados alcanzados. Al elegir cuidadosamente los indicadores, se pretende evaluar el grado de eficacia de los tratamientos, identificar las áreas que necesitan mejoras y fomentar una toma de decisiones bien informada. En esta sección se tratarán los indicadores seleccionados, su justificación y la técnica de medición, ofreciendo un marco para reforzar la precisión y fiabilidad de las conclusiones del estudio.

Tabla 13

Tabla de indicadores

Indicador	Descripción	Fórmula
Disponibilidad	Mide el tiempo que un equipo está disponible para operar en comparación con el tiempo total. Refleja la efectividad del mantenimiento en minimizar el tiempo de inactividad	$\frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo total}} \times 100$
MTBF (Mean Time Between Failures)	Promedio de tiempo transcurrido entre fallas de un equipo. Indica la fiabilidad del equipo.	$\frac{\text{Tiempo Tot. Operac.}}{\text{Número de fallas}} \times 100$
MTTR (Mean Time To Repair)	Promedio de tiempo necesario para reparar un equipo después de una falla. Refleja la eficiencia del proceso de reparación.	$\frac{\text{Tiempo Tot. Reparac.}}{\text{Número de reparac.}} \times 100$

Nota: Elaboración Propia

5.3. Aplicación de herramienta de RCM

Esta parte se ocupará de la creación del nuevo plan de gestión de mantenimiento, el cual se sugerirá utilizando la herramienta RCM “mantenimiento centrado en confiabilidad”.

El proceso aplicable inicia desde el análisis de criticidad y jerarquización de equipos, en el cual se identifican los sistemas de los equipos 137 y 138; buscando determinar los más críticos para determinar acciones orientadas.

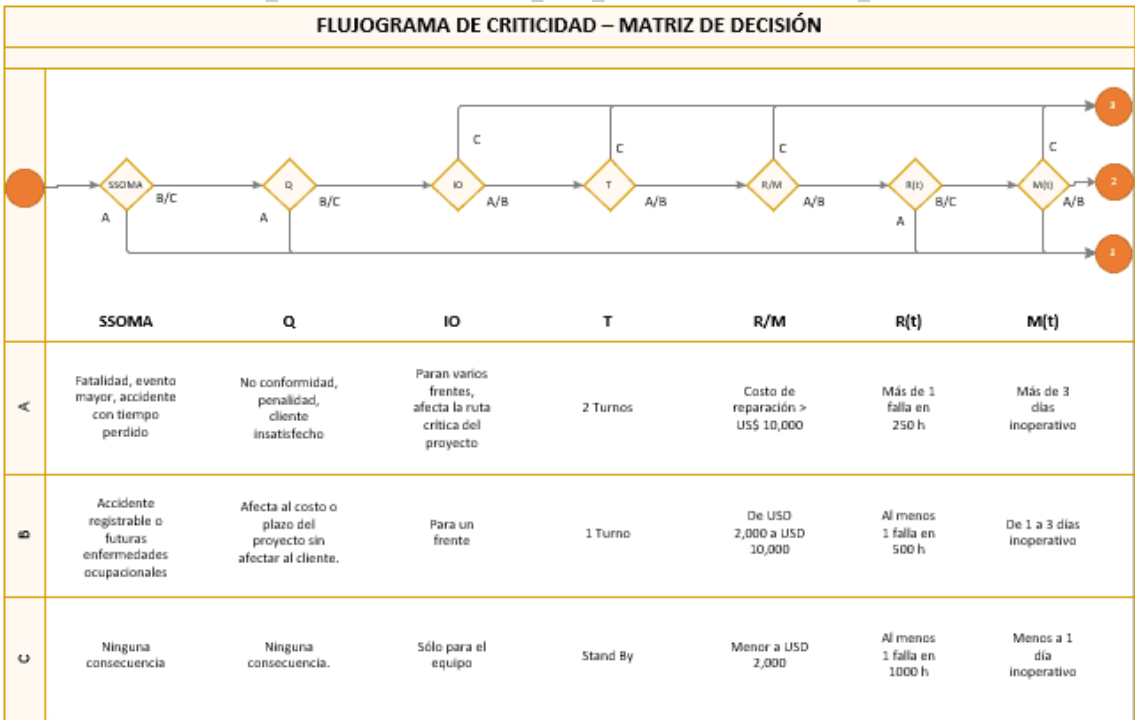
Posteriormente se elabora y analiza la matriz AMFE, en la cual se identifican los modos de falla los equipos y sus sistemas, determinando la relevancia de las fallas que se podrían presentar evaluando su impacto e importancia.

5.4. Análisis de criticidad y jerarquización de equipos

El análisis del plan de mantenimiento se desarrolla sobre la máquina perforadora modelo MD 6420, la misma tiene dos tipos de equipos, el equipo 137 y el equipo 138, siendo los referenciales para ejecutar las acciones de mantenimiento. El estudio de este tipo de maquinarias es de vital importancia por diversas razones entre las cuales se resalta el fundamento operativo que representa la operación minera, sin un perforado efectivo las actividades siguientes en el proceso no pueden ser desarrolladas de manera oportuna generando retrasos y por ende pérdidas y retrasos en la organización.

Figura 17

Jerarquización de equipos



Nota: La perforadora tiene implicancias en los diversos puntos del proceso productivo, evidenciando de esta forma la importancia de que un adecuado funcionamiento permite incrementar la garantía de operaciones exitosas.

Las perforadoras adecuadamente funcionales tienen la capacidad de brindar acceso al mineral a través de las explotaciones, generando las bases para el desarrollo de los proyectos; el óptimo funcionamiento de los equipos 137 y 138 permite reducir los tiempos de operación y costos dado que realizan perforaciones precisas reduciendo los tiempos de operación.

Por otro lado, los equipos de perforación 137 y 138 al brindar técnicas de perforación precisas y eficientes permiten minimizar el impacto ambiental debido a la poca alteración del terreno y optimizando el uso de recursos.

El funcionamiento continuo de las operaciones mineras depende de las plataformas de perforación. Son esenciales para garantizar que las operaciones sean efectivas, seguras y duraderas, desde el punto de inicio de la exploración hasta el punto de extracción y cumplimiento de la legislación. Sin ellas, el crecimiento de la minería sería mucho más difícil y menos lucrativo.

- **Análisis contextual actual del área de mantenimiento**

Con la finalidad de identificar el estado situacional actual de la empresa de estudio se procede con la clasificación de las problemáticas identificadas.

Figura 18

Diagrama de Ishikawa



Nota: En la figura se evidencian los principales problemas identificados dentro de la empresa de estudio, los mismos que son clasificados a través del método 6M (medición, método, mano de obra, materiales, máquina y medio ambiente). Entre los problemas

identificados se evidencian deficiencias respecto a la planificación ejecución de mantenimiento, desde los recursos necesarios hasta los procesos y actividades a desarrollar, lo que sin duda alguna genera un impacto negativo sobre la disponibilidad de los equipos.

Con la finalidad de determinar los principales puntos de mejora, se procedió con el recojo de información con el personal de mantenimiento, se aplicó una encuesta a un total de 15 colaboradores del área de mantenimiento (ver Anexo 7) la misma que se encuentra compuesta por 13 preguntas relacionadas a cada uno de los problemas identificados.

Tabla 14

Análisis de fiabilidad del instrumento

Alfa de Cronbach	N de elementos
0.976	15

Nota: La tabla muestra el análisis de confiabilidad de las respuestas de las 15 encuestas aplicadas, obteniendo un índice de Alfa de Cronbach de 0.976. Para determinar la confiabilidad de un instrumento, mientras más cercano a 01 sea el índice de Alfa de Cronbach obtenido más fiables serán los resultados obtenidos. En este sentido se determina que, los datos obtenidos en la encuesta aplicada son confiables con un grado “excelente”.

Tabla 15

Tabla de datos Pareto

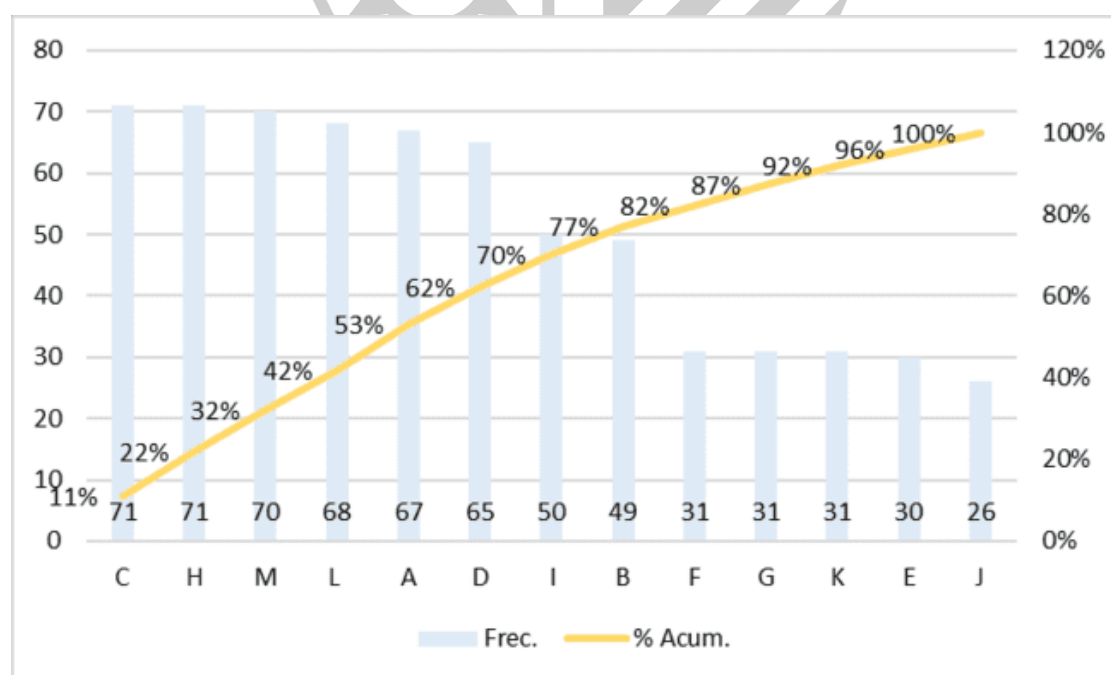
Cod	Problemática	Frec.	% Acum.
C	Plan de mantenimiento no definido	71	11%
H	Fallas no planeadas en equipos	71	22%
M	Tiempos de respuesta extensos	70	32%
L	Baja disponibilidad de equipos	68	42%
A	Seguimiento inapropiado de mantenimiento	67	53%
D	No se cuenta con procesos de mantenimiento correctivo	65	62%
I	Capacitación deficiente	50	70%
B	Deficiente determinación de metas	49	77%
F	Deficiente planeación de aprovisionamiento	31	82%
G	Condiciones ambientales que afectan el mantenimiento	31	87%
K	Comunicación deficiente	31	92%
E	Repuestos insuficientes	30	96%

Nota: la tabla muestra que, tras la cuantificación de los problemas identificados, el 77% de los problemas se encuentran concentrados en los ítems C, H, M, L, A, D, I y B, los mismos que se encuentran directamente relacionados con el plan de mantenimiento, su proceso o respuesta brindada. De esta manera se evidencia que los problemas que mayor impacto tienen en la organización se encuentran relacionados con la ejecución del mantenimiento lo cual genera deficiencias en la funcionalidad de los equipos.

Según el concepto de Pareto se determina que el 80% de problemas es generado por el 20% de causas; en este sentido, en el contexto de la organización de estudio se determina que las causas que más problemas generan son que no existe un plan de mantenimiento adecuadamente definido y que se presentan diversas fallas no planeadas en equipos. Entre estos problemas se determina una relación evidente en que estos hacen referencia a un plan de mantenimiento actual deficiente, debido a que no se tienen procesos apropiados para su desarrollo, lo que genera que los tiempos se extiendan, además que, un plan de mantenimiento deficiente generará también fallas posteriores en los equipos.

Figura 19

Diagrama de Pareto



Nota: La gráfica nos permite identificar los problemas que de aplicar alguna solución tendrían un mayor impacto respecto a la disponibilidad de los equipos. Podemos inferir que, si bien no existe una gran variación respecto a la frecuencia de los problemas identificados, son 06 los problemas que generan un mayor impacto.

Según los resultados encontrados se determina que, los principales problemas a solucionar para generar un impacto significativo respecto a la disponibilidad de los equipos se encuentran relacionados con el desarrollo del mantenimiento ya sea en procesos, tiempos de respuesta, entre otros; los mismos que responderían de manera positiva ante la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

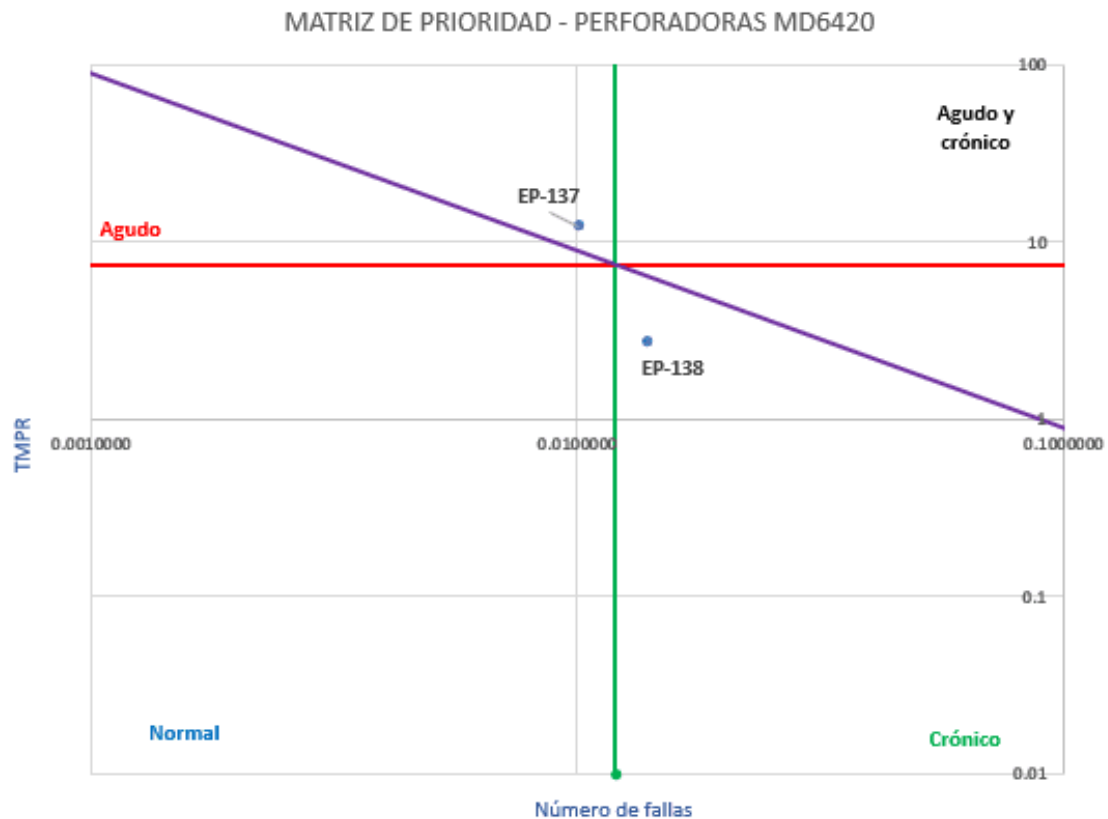
- **Análisis contextual actual de máquinas perforadoras**

Las máquinas perforadoras de la empresa de estudio son de dos tipos EP 137 y 138, ambas del modelo MD 6420.

En el lenguaje de mantenimiento, el término "método Jack Knife" se refiere a un método de análisis de datos que permite evaluar la confiabilidad de los equipos y la eficacia de los programas de mantenimiento. Recalcular las métricas después de eliminar cada observación una por una permite evaluar la variabilidad y el sesgo de las métricas de mantenimiento. Esto ayuda a determinar el impacto de cada medición o evento en los resultados finales

Figura 20

Diagrama Jack-knife equipos de perforación

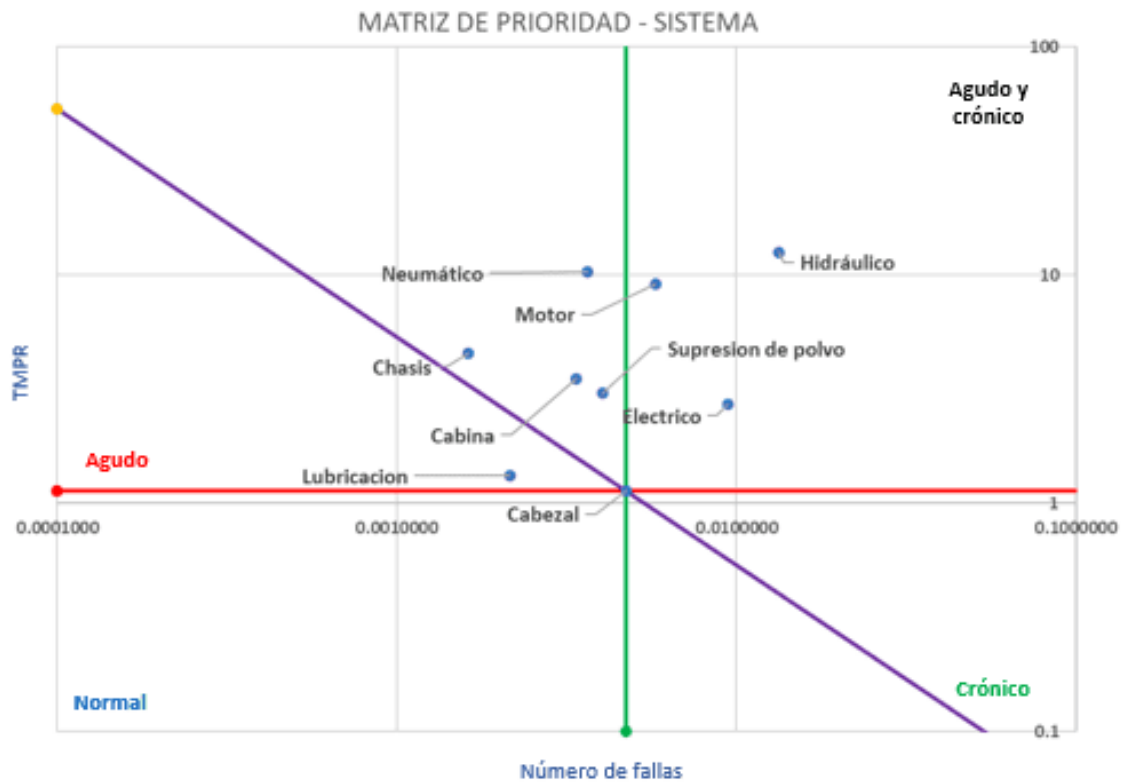


Nota: Según se puede observar en la matriz que el equipo EP 137 se encuentra dentro del cuadrante de prioridad “Aguda” y el equipo EP 138 se encuentra dentro del cuadrante “Crónico”, encontrándose ambos equipos fuera de los rangos “Normales” motivo por el cual se realizará el análisis y ejecución del plan de mantenimiento para ambos equipos, elaboración propia.

Se encuentran compuestas por el sistema hidráulico, sistema de motor, sistema neumático, sistema eléctrico, sistema de supresión de polvo, cabina, chasis, cabezal y sistema de lubricación; los cuales serán evaluados con la finalidad de determinar la prioridad para el enfoque del plan de mantenimiento.

Figura 21

Matriz de complejidad vs criticidad de causas de paradas de máquinas perforadoras



Nota: En la matriz de prioridad, el cual evalúa la criticidad y complejidad para tratar las fallas presentadas en la máquina perforadora, a partir de lo mostrado en la figura podemos determinar que los sistemas principales a tener en cuenta en para la determinación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad serían el sistema hidráulico, sistema eléctrico, motor, sistema neumático y el sistema de supresión de polvos al encontrarse dentro o muy cercano al cuadrante de mayor criticidad y complejidad.

Para una mejor visualización de los componentes de prioridad se procede a identificar las paradas no programadas, el MTTR y la indisponibilidad de los sistemas principales de la máquina perforadora.

El análisis Top Five, es un enfoque utilizado en mantenimiento para determinar y clasificar los cinco problemas o razones principales por los que falla un sistema o equipo, aplica el concepto del principio de Pareto, que sostiene que la mayoría de los problemas pueden ser causados por un pequeño número de factores, es el principal énfasis de este método

Figura 22

Indicadores sistemas top five - Perforadora MD 6420 - 2023

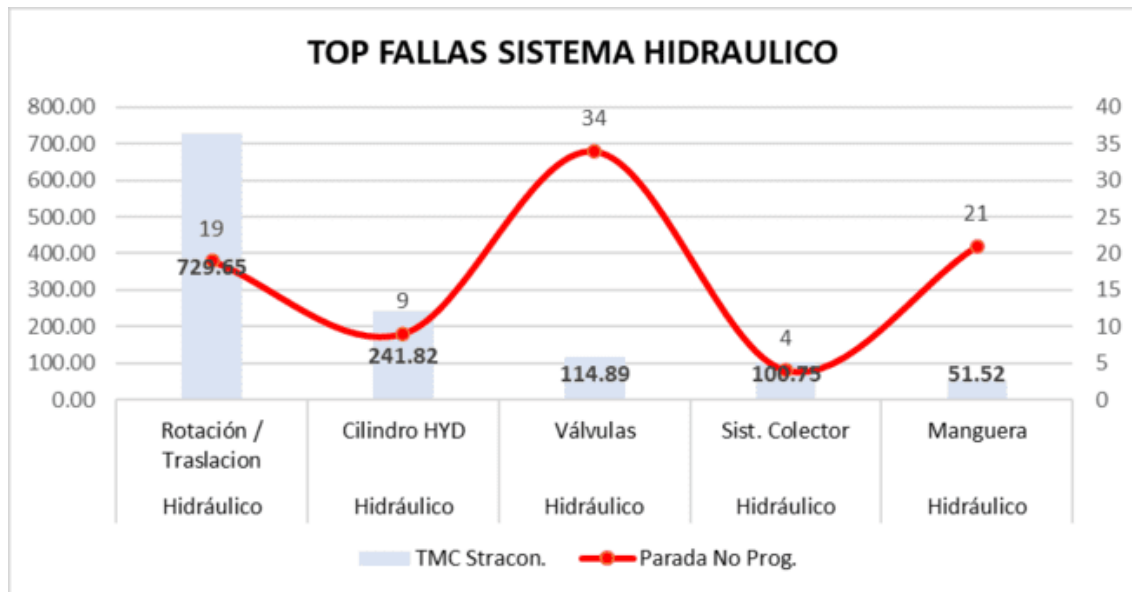


Nota: El gráfico muestra la cantidad de paradas de los sistemas de prioridad, lo que nos permite identificar que no necesariamente mientras más paradas se tienen más tiempo se ha parado, es importante tener en cuenta que los tiempos de cada parada no son estándar, más bien estos dependen de la complejidad de la falla presentada. Un factor que si impacta directamente a la disponibilidad son las horas de parada, dado que la máquina no se encuentra disponible para operar.

A continuación, se procede con el análisis de los puntos críticos y complejos que deben tratarse con la finalidad de mejorar la disponibilidad de perforadoras.

Figura 23

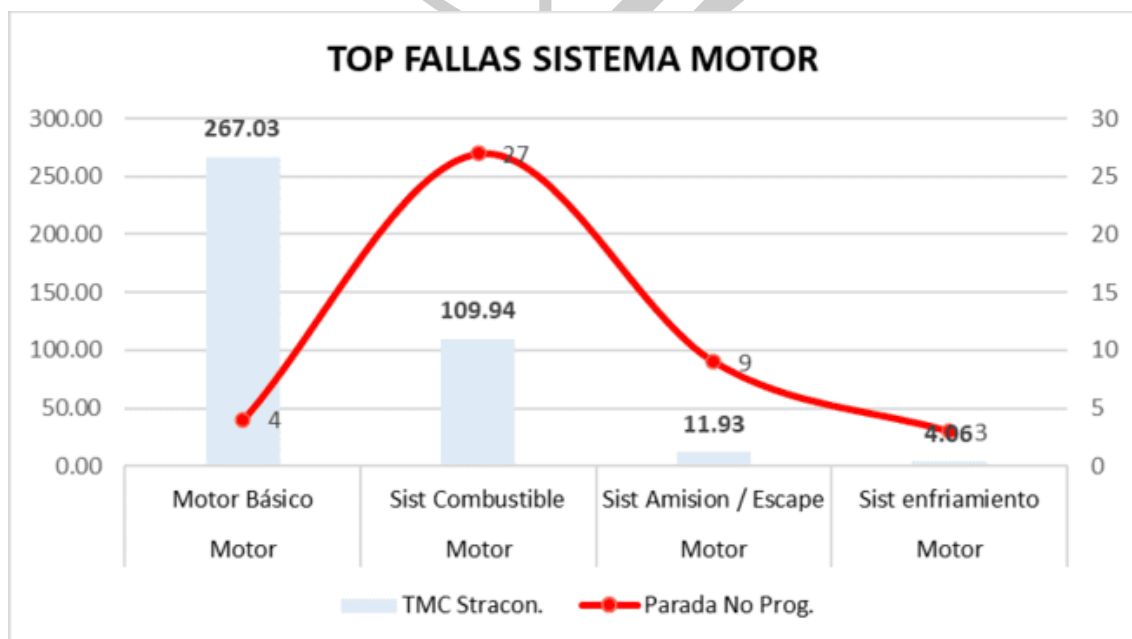
Top fallas del sistema hidráulico - 2023



Nota: La imagen muestra que, si bien la cantidad de paradas no programadas del sistema hidráulico se deben a fallas en las válvulas, la cantidad mayor cantidad de horas paradas se deben a fallas en la rotación /traslación con solo una cantidad de 19 paradas, estas fallas tienen un promedio de 38.40 horas por parada, haciendo de esta forma que este componente sea el más crítico del sistema.

Figura 24

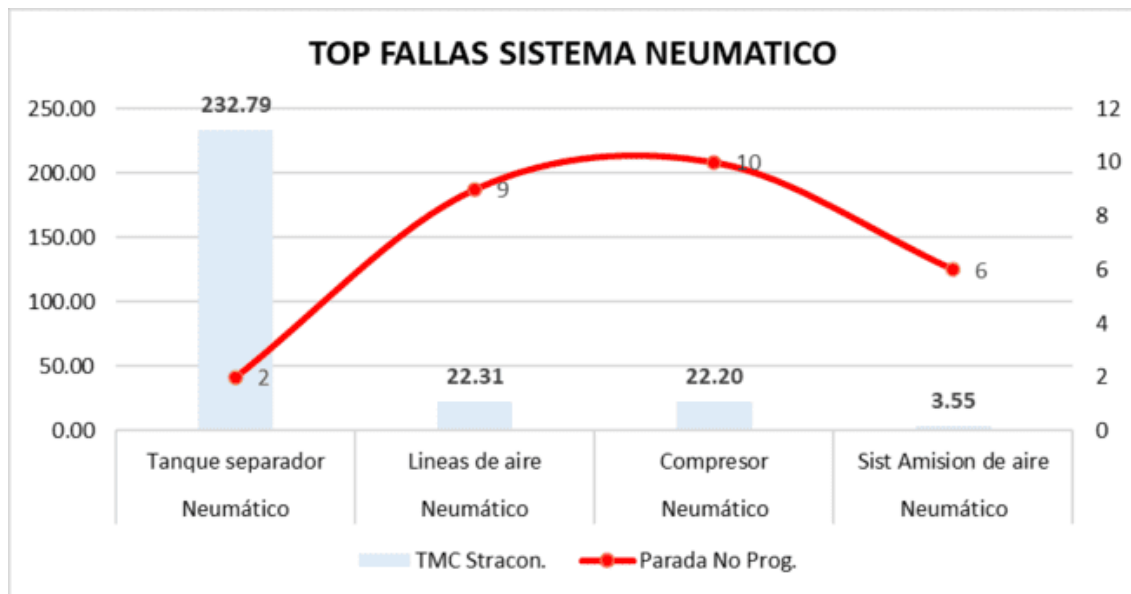
Principales fallas - sistema motor - 2023



Nota: Para el sistema de motor se tiene la mayor cantidad de paradas debido al sistema de combustible, sin embargo, este motivo es el segundo respecto a cantidad de horas; por otro lado, las fallas en motos básico pese a tener muy pocas paradas por mantenimiento correctivo representan la mayor cantidad de horas de parada no programada, deduciendo que por cada parada no programada por fallas en el motor básico, el sistema completo falla por un total de 66.75 horas.

Figura 25

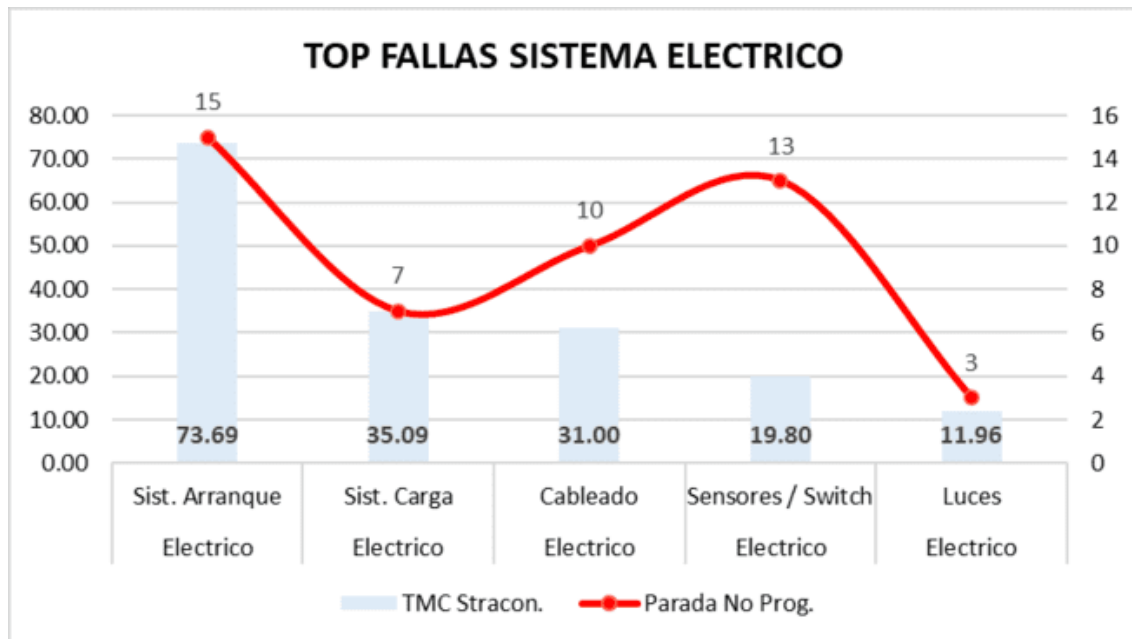
Principales fallas - sistema neumático - 2023



Nota: el sistema neumático ha presentado presenta la menor cantidad de paradas en comparación a los otros sistemas, sin embargo, es importante recalcar que, si en el sistema neumático falla el tanque separador la parada no programada sería en promedio de 116.39 horas, convirtiendo de esta forma al tanque separador en uno de los componentes más críticos de la máquina perforadora MD 6420.

Figura 26

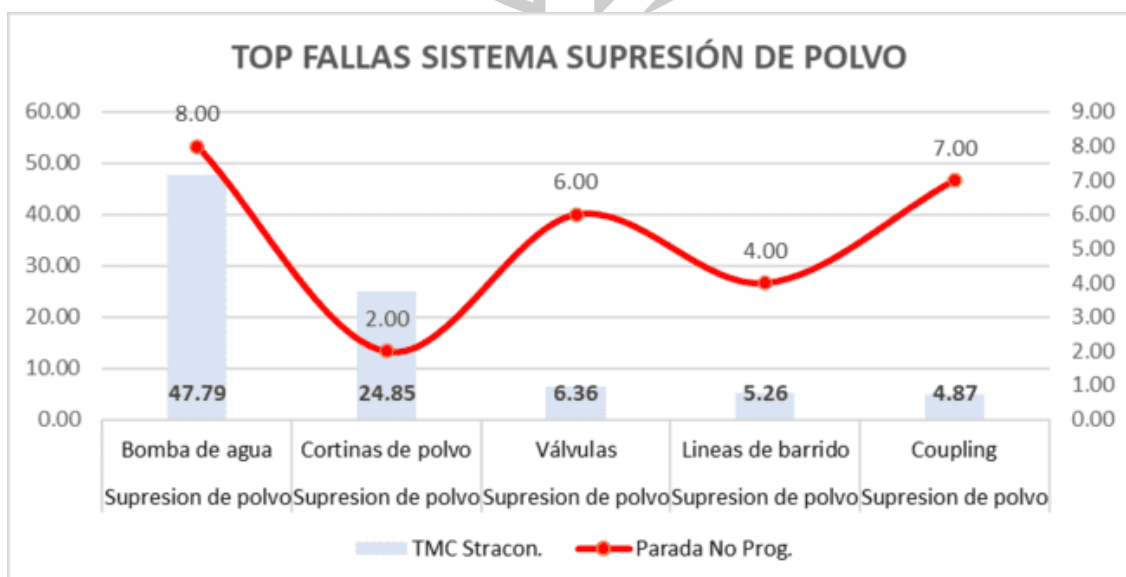
Principales fallas - sistema eléctrico - 2023



Nota: Si bien el sistema eléctrico es uno de los que más cantidad de paradas de planta presenta, la cantidad de horas promedio de parada es mucho menor en comparación a los picos presentados en otros sistemas, teniendo tiempo de parada no programada promedio de 2.71 horas; de esta forma se deduce que la prioridad de este sistema radica en la reducción de cantidad de paradas no programadas.

Figura 27

Principales fallas - sistema de supresión de polvo - 2023



Nota: Según lo observado en el gráfico, el sistema de supresión de polvos presenta su mayor cantidad de paradas debido a fallas en la bomba de agua, con un tiempo de parada promedio de 5.97 horas, sin embargo, para el componente cabinas de polvo se tiene un tiempo promedio de parada de 12.43 horas; en este sentido, el componente cortinas de polvo debe ser considerado en una prioridad mayor al de bombas de agua.

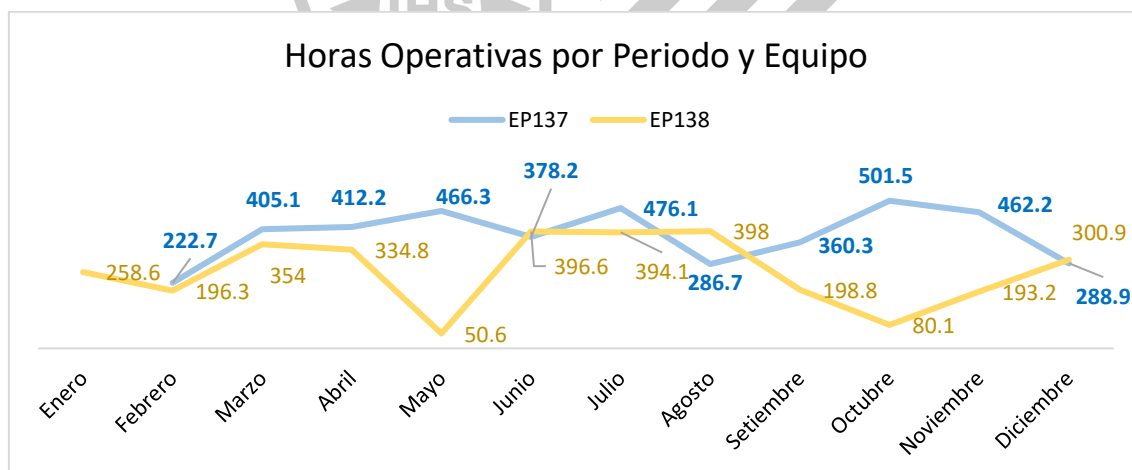
Con la finalidad de estructurar de manera óptima el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se procede con la determinación de la disponibilidad de las máquinas EP 137 y EP 138, ambas de modelo MD6420.

A continuación, según la revisión documentaria se procede a determinar los indicadores actuales de disponibilidad para los dos equipos más importantes en perforación EP137 y EP 138, ambas del modelo MD 6420, durante el periodo 2023, esto basado en la información del funcionamiento durante el 2023 tomada de los registros de la organización (ver Anexo 4).

Inicialmente, se procede a analizar las horas operativas disponibles de las máquinas de perforación (EP 137 y EP 138).

Figura 28

Horas operativas – Perforadoras que perforadoras MD 6420 - 2023



Nota: En el análisis del comportamiento operativo de los equipos EP 137 y EP 138, podemos observar que, ambos equipos tienen amplia variabilidad respecto a su operatividad, lo cual genera inestabilidad respecto a la disponibilidad de la maquinaria (Anexo 4).

Tabla 16*Indicadores equipo EP 137 - 2023*

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Febrero	21.39	21.80	48.25%
Marzo	2.04	71.71	96.05%
Abril	5.88	30.46	81.04%
Mayo	3.67	33.26	87.25%
Junio	8.43	37.55	80.75%
Julio	3.72	26.56	86.04%
Agosto	14.33	20.65	47.99%
Setiembre	14.61	22.64	56.79%
Octubre	3.76	32.11	87.45%
Noviembre	12.17	99.21	82.01%
Diciembre	5.66	40.21	85.85%

Nota: La tabla muestra los datos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del equipo de perforación EP 137 durante el 2023, encontrando sus niveles más bajos en febrero y agosto (48.25% y 47.99% respectivamente), estos datos nos permiten inferir que durante el periodo 2023 la máquina tiene una disponibilidad promedio de 76.32% (ver Anexo 4).

Tabla 17*Indicadores de equipo EP 138 - 2023*

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Enero	7.75	14.43	61.71%
Febrero	17.80	42.71	68.89%
Marzo	2.75	21.22	86.91%
Abril	11.60	15.96	57.91%
Mayo	74.07	5.93	7.41%
Junio	7.20	24.17	73.86%
Julio	6.43	25.38	73.21%
Agosto	7.81	20.31	69.58%
Setiembre	22.89	13.26	35.38%
Octubre	4.15	139.85	97.12%
Noviembre	2.70	72.11	96.01%
Diciembre	7.72	50.24	84.99%

Nota: La tabla muestra los datos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del equipo de perforación EP 138 durante el 2023, encontrando sus niveles más bajos en

mayo y setiembre (07.41% y 35.38% respectivamente), estos datos anuales permiten determinar una disponibilidad total del 67.75% durante periodo de revisión.

En la revisión de la información de estos equipos, se evidencia que el equipo EP 138 tiene una disponibilidad mucho menor a la esperada y si bien el equipo EP 137 tiene mejores índices de disponibilidad ninguno de los dos alcanza los niveles esperados por la organización (85% - 90%) (ver Anexo 4).

En este sentido, se procede con el análisis de ambas máquinas de perforación en conjunto:

Tabla 18

Datos de paradas en equipos de perforación MD 6420 (137 y 138) – 2023

Mes	Q paradas	Horas MC	Horas MP
Enero	32	243.85	4.27
Febrero	31	604.81	11.67
Marzo	45	104.38	10.13
Abril	51	417.46	36.74
Mayo	34	754.66	3.84
Junio	44	307.17	30.57
Julio	57	90.99	202.42
Agosto	56	505.61	107.67
Setiembre	43	792.62	9.67
Octubre	29	66.42	44.65
Noviembre	22	72.39	91.15
Diciembre	32	143.50	66.49

Nota: La tabla muestra los datos de paradas en los equipos de perforación por mes durante el 2023, adicionalmente se muestran los tiempos en horas empleados para cada fase de la reparación o mantenimiento realizado.

Con los datos obtenidos, se procede con la determinación de los indicadores de mantenimiento: tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad de los equipos de perforación (ver Anexo 4).

Tabla 19

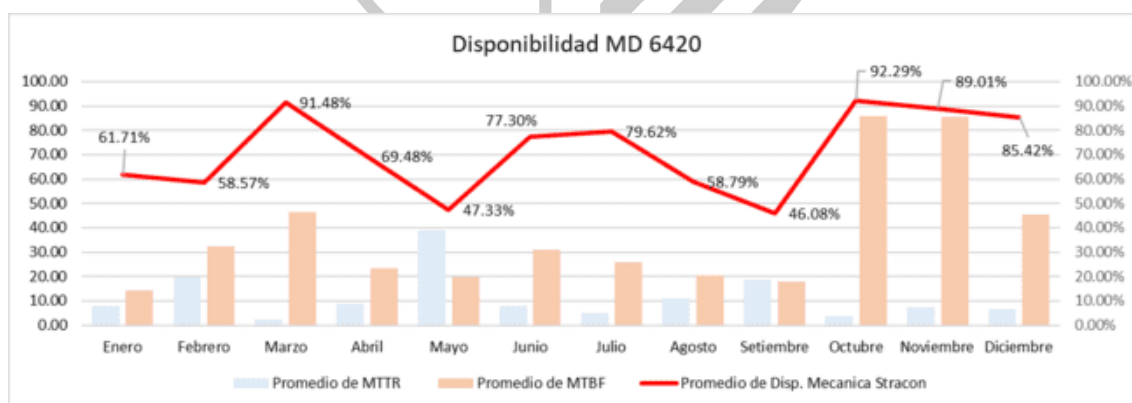
Indicadores de mantenimiento máquina perforadora MD 6420 (Equipos 137 y 138) - 2023

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Enero	7.75	14.43	61.71%
Febrero	19.60	32.26	58.57%
Marzo	2.40	46.47	91.48%
Abril	8.74	23.21	69.48%
Mayo	38.87	19.59	47.33%
Junio	7.81	30.86	77.30%
Julio	5.08	25.97	79.62%
Agosto	11.07	20.48	58.79%
Setiembre	18.75	17.95	46.08%
Octubre	3.96	85.98	92.29%
Noviembre	7.43	85.66	89.01%
Diciembre	6.69	45.23	85.42%
Promedio	11.68	38.34	71.84%

Nota: La tabla muestra los indicadores de mantenimiento durante el año 2023 (enero a diciembre), obteniendo una disponibilidad promedio de 71.84% de los equipos de perforación durante el 2023.

Figura 29

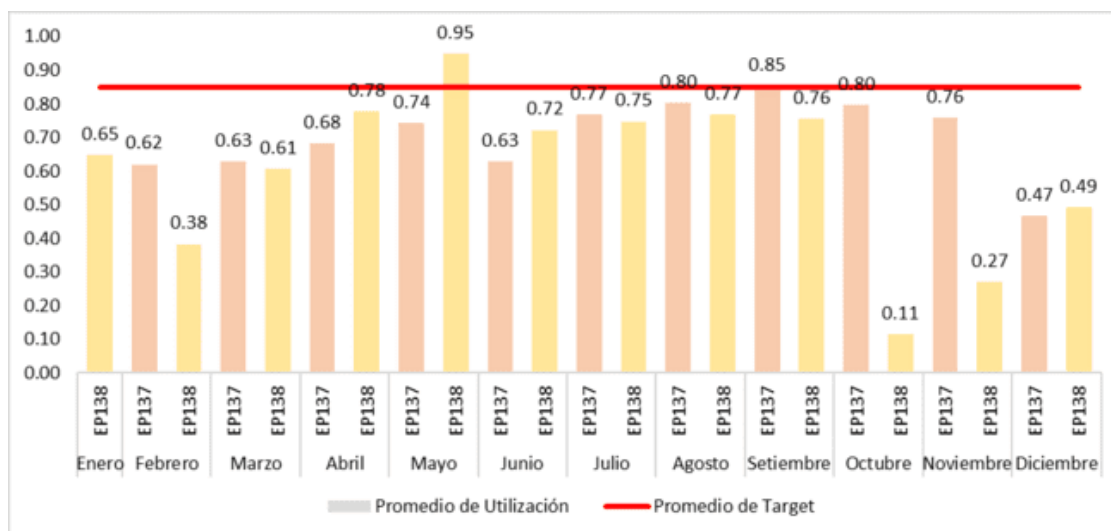
Evolución de disponibilidad general - 2023



Nota: La imagen muestra la evolución de disponibilidad de los equipos de perforación durante el 2023, evidenciando la variabilidad existente respecto a la disponibilidad de la perforadora, generando incertidumbre respecto a la utilización de estos equipos en las actividades de la empresa.

Figura 30

Utilización real vs Utilización esperada de la empresa (85%) - 2023



Nota: La figura muestra los niveles de utilización de las maquinarias de perforación durante todo el año 2023, en comparativa como el esperado evidenciando que solo en el mes de mayo la máquina EP 138 superó los niveles esperados (ver Anexo 4).

5.5. Análisis de modo, efecto y fallas (AMFE)

Una correcta estructuración del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se basa en el análisis de efectos y modos de falla (AMFE), a través del cual se describen los equipos, las fallas que presentan, las funciones que realiza, el modo en el cual fallan y los efectos que pueden generar en estado de falla (Anexo 3).

Para el desarrollo del AMFE se clasificó la información de la perforadora en los 05 principales sistemas que lo conforman (sistema eléctrico, sistema neumático, motor, cabezal y mástil), los mismos que presentaron fallas permanentes durante el periodo de estudio (2023), a continuación, se procede a determinar el Nivel de Prioridad de Riesgo para la máquina perforadora MD 6420 en base a las fallas identificadas.

5.5.1. Sistemas de la máquina perforadora

La máquina perforadora de agujeros para explosivos giratoria MD 6420, cuenta con los sistemas:

- Sistema hidráulico: compuesto por cadena izquierda, bomba de la cadena derecha,

bomba de alimentación/circuito del accesorio (circuito abierto), bomba del circuito del ventilador (circuito abierto), motores (2) de mando de cadenas, motores (2) de mando de rotación, motores de mando del ventilador, caja de engranajes de mando de la bomba, filtración (todos los filtros tienen indicadores y derivación).

- Sistema de mando giratorio
- Sistema de enfriamiento de aceite (tanque hidráulico)
- Accesorios, herramientas y equipos: tubo de perforación, auxiliar adaptador en la parte superior, sustituto de broca, llave de la plataforma, llave HOBOT para desprendimiento, soporte de tubo, sistema cabrestante.

Adicionalmente, entre sus principales componentes se encuentran:

- Sistema Motor
- Sistema Hidráulico
- Sistema eléctrico
- Sistema Neumático
- Sistema de supresión de polvos

Figura 31

Vista frontal y trasera - Máquina perforadora MD 6420



Nota: Recuperado de “Dimensiones”, Especificaciones de la Perforadora de Agujeros para Explosivos Giratoria MD6420B



Nota: Recuperado de “Dimensiones”, Especificaciones de la Perforadora de Agujeros para Explosivos Giratoria MD6420B

Figura 32

Vista lateral - Máquina perforadora MD 6420



Nota: Recuperado de “Dimensiones”, Especificaciones de la Perforadora de Agujeros para Explosivos Giratoria MD6420B

5.5.2. *Análisis AMFE de los subsistemas de la máquina perforadora*

Una herramienta esencial para la gestión de riesgos y la mejora de la fiabilidad de los equipos industriales es el análisis modal de fallos y sus efectos (FMEA). Este enfoque se emplea para detectar y evaluar posibles deficiencias en un proceso o producto, junto con su impacto en la eficiencia y la calidad. Su objetivo principal es prevenir los problemas antes de que surjan, mejorando así la fiabilidad y la seguridad de los sistemas.

En este artículo se presenta el FMEA de la perforadora MD 6420, creado para optimizar los procedimientos de perforación en una variedad de entornos de trabajo.

La máquina MD 6420 se distingue por su resistencia, precisión y eficiencia, siendo utilizada en aplicaciones esenciales en minería y construcción. Sin embargo, es susceptible a fallas, como cualquier maquinaria compleja, que pueden comprometer tanto su funcionalidad como su seguridad operativa. Para garantizar el rendimiento y la seguridad del equipo, el objetivo de este Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) es identificar los modos de falla potenciales en los 05 sistemas de prioridad identificados en el apartado 4.3.1. de este documento, evaluar sus consecuencias y sugerir medidas preventivas que reduzcan los riesgos.

El término "**severidad**" describe el grado en que una falla afecta a un sistema, procedimiento o equipo, evalúa cuán perjudicial podría ser una falla para el rendimiento, la seguridad o los gastos operativos. El nivel de severidad de una falla aumenta con su impacto; en una escala de 1 a 10, 1 denota una falla sin repercusiones importantes (gravedad mínima) y 10 denota una falla catastrófica con ramificaciones importantes para la operación, la seguridad o la salud.

La probabilidad de que un sistema o equipo falle en un período de tiempo determinado se mide por la frecuencia de **ocurrencia**, esta indica la probabilidad de que ocurra un determinado modo de falla, donde 1 denota una falla que es extremadamente infrecuente o poco común y 10 denota una falla que está casi garantizada que ocurrirá durante cada ciclo de funcionamiento.

La **detectabilidad** cuantifica la probabilidad de que se detecte un defecto antes de que tenga un impacto adverso importante. El grado de detectabilidad de un defecto aumenta con la dificultad de identificarlo antes de que surjan consecuencias significativas. Se puntúa desde 1 (un problema que se puede detectar fácilmente

utilizando las técnicas de control o inspección actuales) hasta 10 (un defecto que es casi difícil de descubrir antes de que cause un daño importante).

El NPR es un indicador que clasifica los escenarios de falla según los tres factores mencionados anteriormente. Los tres valores asignados (ocurrencia, detectabilidad y gravedad) se multiplican para determinarlo. Una falla de alta prioridad, es decir, significativa, frecuente y difícil de detectar, se indica con un RPN alto, mientras que una falla con un riesgo asociado reducido se indica con un RPN bajo.

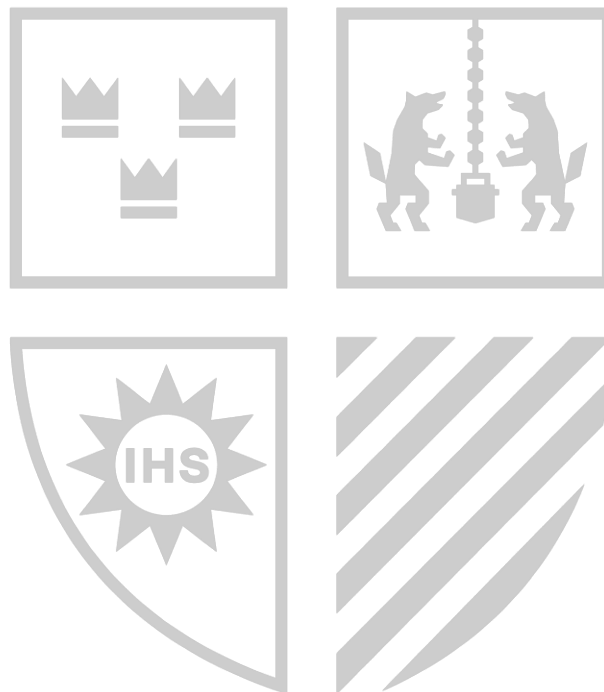


Tabla 20

Número de Prioridad de Riesgo (NPR) Perforadora MD 6420

Función		Falla Funcional		Modo de Falla (Causa de la Falla)	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	NPR
A	Sistema Hidráulico: proveer la energía necesaria para la operación de los componentes móviles y de perforación.	A1	Pérdida de presión hidráulica	Fugas en mangueras o conexiones	3	2	3	18
		A2	Pérdida de presión.	Fugas en mangueras o conexiones	3	2	3	18
		A3	Contaminación del fluido hidráulico.	Presencia de partículas en el fluido hidráulico	3	3	2	18
		A4	Sobrecalentamiento del fluido	Flujo insuficiente o radiador obstruido.	3	3	3	27
		A5	Bloqueo de válvulas	Acumulación de suciedad o corrosión.	2	3	3	18
B	Motor: proporciona la potencia necesaria para las operaciones de	B1	Sobrecalentamiento	Fallos en el sistema de refrigeración	3	2	3	18
				Lubricación deficiente	3	2	3	18

	perforación y el movimiento de la perforadora	B2	Fallo en el arranque	Batería descargada o con fallas	3	2	3	18
				Problemas en el sistema de arranque	3	2	2	12
		B3	Desgaste de componentes	Desgaste en pistones, anillos o válvulas.	3	2	3	18
		B4	Fallos en el sistema de combustible	Juntas o sellos desgastados	3	2	3	18
				Lubricación deficiente	3	3	2	18
C	Sistema Neumático: utiliza aire comprimido para accionar varios mecanismos dentro de la perforadora	C1	Fugas en mangueras neumáticas	Desgaste de mangueras neumáticas	2	2	2	8
				Mantenimiento deficiente que ocasiona fallas mecánicas internas	3	2	3	18
		C3	Mal funcionamiento de válvulas	Válvulas atascadas o flojas	3	3	3	27
		C4	Condensación de humedad	Acumulación de agua en el sistema causando corrosión.	3	2	3	18
		C5	Fugas de aire	Mangueras, conexiones o cilindros flojos.	3	2	3	18
D	Sistema Eléctrico: gestiona y distribuye la energía eléctrica necesaria para	D1	Corto circuito en el panel de control	Fallos en el sistema de cableado	3	2	3	18
				Sobrecarga eléctrica	3	2	3	18
		D2	Fallos en suministro de energía	Problemas con generador de energía	2	2	2	8

	operar diversos sistemas y componentes de la máquina.	D3	Fallos en la batería	Batería descargada o dañada	2	3	2	12
		D4	Problemas en el alternador	Generación de carga deficiente	3	3	2	18
E	Sistema de Supresión de Polvos: Minimizar la liberación de polvo durante la perforación.	E1	Desgaste de componentes	Ineficiencia en la supresión del polvo	2	2	2	8
		E2	Obstrucción en boquillas	Acumulación de minerales o suciedad	3	3	2	18
		E3	Fallo en la bomba	Presión inadecuada	2	3	3	18
		E4	Contaminación del líquido supresor	Presencia de partículas o impurezas	2	3	3	18

Nota: Elaboración Propia

El análisis de Nivel de prioridad de Riesgo para la máquina perforadora MD 6420 indica que todas las fallas presentadas se encuentran en nivel de riesgo medio (rango de 7 a 36), en tal sentido, se determinan las acciones de mejora con la misma magnitud de prioridad para todos los sistemas.

Seguidamente se procede con la determinación de acciones para hacer frente a las fallas identificadas en el equipo.

Tabla 21

Matriz AMFE de máquina perforadora MD 6420

Función		Falla Funcional		Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Tipo de consecuencia				
						Oculto	Seguridad	Ambiente	Operacional	No Operacional
A	Sistema Hidráulico: proveer la energía necesaria para la operación de los componentes móviles y de perforación.	A1	Pérdida de presión hidráulica	Fugas en mangueras o conexiones.	Reducción en la eficiencia de perforación, posible detención de la perforadora.				X	
		A2	Contaminación del fluido hidráulico.	Presencia de partículas en el fluido hidráulico	Disminución en el flujo del fluido, fallas en el sistema			X		
		A3	Sobrecalentamiento del fluido	Flujo insuficiente o radiador obstruido.	Degrada el fluido y afecta el rendimiento del sistema				X	
		A4	Bloqueo de válvulas	Acumulación de suciedad o corrosión.	Disminución en el flujo del fluido.			X		
B	Motor: proporciona la potencia necesaria para las operaciones de perforación y	B1	Sobrecalentamiento	Fallos en el sistema de refrigeración	Parada inesperada de motor				X	
				Lubricación deficiente	Pérdida de potencia de motor	X				
		B2	Fallo en el arranque	Batería descargada o con fallas	Inactividad				X	

	el movimiento de la perforadora			Problemas en el sistema de arranque	Demoras en el funcionamiento o inactividad				X	
		B3	Desgaste de componentes	Desgaste en pistones, anillos o válvulas.	Inactividad				X	
		B4	Fallos en el sistema de combustible	Juntas o sellos desgastados	Inactividad				X	
				Lubricación deficiente	Demoras en el funcionamiento o inactividad					
C	Sistema Neumático: utiliza aire comprimido para accionar varios mecanismos dentro de la perforadora	C1	Fugas en mangueras neumáticas	Desgaste de mangueras neumáticas	Pérdida de presión en neumáticos				X	
					Disminución del rendimiento de actuadores.	X				
		C2	Fallo en el compresor neumático	Mantenimiento deficiente que ocasiona fallas mecánicas internas	Pérdida de presión en neumáticos				X	
		C3	Mal funcionamiento de válvulas	Válvulas atascadas o flojas	Pérdida de presión en neumáticos				X	
		C4	Condensación de humedad	Acumulación de agua en el sistema causando corrosión.	Disminución del rendimiento de actuadores.	X				
		C5	Fugas de aire	Mangueras, conexiones o cilindros flojos.	Funcionamiento deficiente de los sistemas dependientes				X	
D	Sistema Eléctrico: gestiona y distribuye la energía eléctrica necesaria para operar diversos	D1	Corto circuito en el panel de control	Fallos en el sistema de cableado	Parada inesperada de la maquinaria					
				Sobrecarga eléctrica	Pérdida de funcionalidad en los sistemas eléctricos				X	
		D2	Fallos en suministro de energía	Problemas con generador de energía	Intermitencias en el funcionamiento de la perforadora				X	

	sistemas y componentes de la máquina.	D3	Fallos en la batería	Batería descargada o dañada	Funcionamiento deficiente				X	
		D4	Problemas en el alternador	Generación de carga deficiente	Funcionamiento deficiente				X	
E	Sistema de Supresión de Polvos: Minimizar la liberación de polvo durante la perforación.	E1	Desgaste de componentes	Ineficiencia en la supresión del polvo	Reducción en la precisión de perforación. Incremento del tiempo de perforación.				X	
		E2	Obstrucción en boquillas	Acumulación de minerales o suciedad	Dispersión incorrecta de agua				X	
		E3	Fallo en la bomba	Presión inadecuada	Impide que se mantengan niveles de humedad apropiados				X	
		E4	Contaminación del líquido supresor	Presencia de partículas o impurezas	Compromete la capacidad del supresor del polvo.				X	

Nota: Elaboración Propia

La identificación sistemática de los posibles modos de fallo y sus efectos, categorizados en cinco áreas (operaciones, seguridad, medio ambiente, operacionales y no operacionales), ha sido posible gracias al análisis de modos de fallo y efectos (FMEA) realizado para la máquina de perforación MD 6420. Este método exhaustivo ha facilitado la evaluación de los peligros asociados al uso del equipo con mayor precisión y ha proporcionado a los responsables de la toma de decisiones una base sólida.

Análisis RCM y acciones a tomar

Con el fin de crear un plan de gestión de mantenimiento sólido que pueda servir de modelo para otras unidades mineras, se han tenido en cuenta las ideas y acciones de mejora aportadas por el personal involucrado en el mantenimiento de las máquinas perforadoras. La experiencia de este personal constituye la base de las tareas propuestas. Este análisis FMEA tiene como objetivo no solo identificar los modos de falla y sus consecuencias, sino también sugerir medidas preventivas y correctivas que mejoren la confiabilidad del equipo y reduzcan los riesgos operativos. A lo largo del documento se proporcionarán resultados y sugerencias para mejorar el rendimiento de la máquina, lo que garantizará un entorno de trabajo más seguro y productivo.

A continuación, se indican las mejores líneas de acción sugeridas por RCM:

Tabla 22

Acciones propuestas para cada tipo de falla identificada

Función		Modo de Falla (Causa de la Falla)	Descripción de las Tareas Propuestas	Frecuencia	Ejecutor	Cantidad de Ejecutantes	Horas Hombre
A	Sistema Hidráulico: proveer la energía necesaria para la operación de los componentes móviles y de perforación.	Fugas en mangueras o conexiones	Inspección y mantenimiento regular de mangueras y conexiones.	6M	Operario	1O	3
		Presencia de partículas en el fluido hidráulico	Inspección y verificación de los fluidos hidráulicos				
		Flujo insuficiente o radiador obstruido.	Inspección de cantidades y verificación de estado del radiador	1M	Operario	1O	2
		Acumulación de suciedad o corrosión.	Limpieza permanente de los conductos	1S	Operario	1O	3
B	Motor: proporciona la potencia necesaria para las operaciones de perforación y el movimiento de la perforadora	Fallos en el sistema de refrigeración	Mantenimiento y revisión del sistema de refrigeración	6M	Técnico mecánico	1O	1
		Lubricación deficiente	Limpieza y lubricación permanente de componentes	3M	Técnico mecánico	1O	1
		Batería descargada o con fallas	Mantenimiento de baterías y baterías de respaldo	1A	Técnico electricista	1O	1
		Problemas en el sistema de arranque	Verificación de estado y mantenimiento	1M	Operario	1O	1

		Desgaste en pistones, anillos o válvulas.	Verificación de estado y mantenimiento	1M	Operario	1O	1
		Juntas o sellos desgastados	Verificación de estado y mantenimiento	1M	Operario	1O	1
C	Sistema Neumático: utiliza aire comprimido para accionar varios mecanismos dentro de la perforadora	Desgaste de mangueras neumáticas	Reemplazo de mangueras Mantenimiento de mangueras y ajuste	6M	Técnico mecánico	1O	1
		Mantenimiento deficiente que ocasiona fallas mecánicas internas	Determinación de plan de mantenimiento preventivo	6M	Operario	2O	1
		Válvulas atascadas o flojas	Verificación de estado y mantenimiento	1M	Operario	1O	2
		Acumulación de agua en el sistema causando corrosión.	Limpieza permanente	1S	Operario	2O	1
		Mangueras, conexiones o cilindros flojos.	Mantenimiento de conexiones y mangueras	3M	Técnico mecánico	2O	2
D	Sistema Eléctrico: gestiona y distribuye la energía eléctrica necesaria para operar diversos sistemas y componentes de la máquina.	Fallos en el sistema de cableado	Revisión del cableado y estado de conexiones	6M	Técnico electricista	1O	1
		Sobrecarga eléctrica	Instalar protecciones adicionales al cableado	1A	Técnico electricista	1O	1
		Problemas con generador de energía	Mantenimiento permanente al generador de energía. Tener fuentes de energía de respaldo.	1M	Técnico electricista	1O	1
		Batería descargada o dañada	Mantenimiento de baterías y baterías de respaldo	3M	Técnico electricista	1O	1
		Generación de carga deficiente	Mantenimiento de baterías y baterías de respaldo	3M	Técnico electricista	1O	1

E	Sistema de Supresión de Polvos: Minimizar la liberación de polvo durante la perforación.	Ineficiencia en la supresión del polvo	Mantenimiento del sistema de rociado de agua, obstrucción en los conductos.	6M	Técnico mecánico	1O	1
		Acumulación de minerales o suciedad	Limpieza de los conductos	1M	Operario	2O	2
		Presión inadecuada	Instalación y verificación de sensores de presión	3M	Técnico mecánico	1O	1
		Presencia de partículas o impurezas	Verificación y limpieza	1M	Operario	2O	2

Nota: Elaboración Propia

El planteamiento de estas acciones destaca la importancia de examinar periódicamente los procesos establecidos y realizar un seguimiento continuo para adaptarse a la evolución de las tecnologías y a las situaciones operativas cambiantes. Al final, la puesta en práctica de las medidas sugeridas contribuirá a garantizar un entorno de trabajo más seguro y eficaz, minimizando los efectos de los errores en la productividad y el bienestar de los trabajadores, así como en la conservación del medio ambiente.

5.6. Plan de gestión de mantenimiento

Una vez finalizado el análisis RCM, combinamos los datos para desarrollar la ruta de inspección de la máquina perforadora MD 6420. Esta ruta identifica las actividades diarias que se deben realizar y/o los medios para confirmar que se ha realizado el mantenimiento preventivo de rutina.

El plan de mantenimiento se debe realizar cada 250, 500, 1000 y/o 2000 horas según los lineamientos del fabricante y de la organización; estos procedimientos se basan en la revisión y desarrollo de acciones preventivas en los principales sistemas de la máquina perforadora; para un adecuado desarrollo se debe completar la “Hoja de Servicio de mantenimiento preventivo” para cada uno de los servicios.

Tabla 23

Plan de mantenimiento

Tipo de mantenimiento	Rango	Sistemas de revisión
Preventivo / Predictivo	250 horas (Anexo 8)	- Motor diesel
	500 horas (Anexo 9)	- Compresor de aire
	1000 horas (Anexo 10)	- Cabezal de rotación
	2000 horas (Anexo 11)	- Caja de engranajes
		- Mandos finales
		- Sistema hidráulico
		- Winche
		- Sistema de enfriamiento

Nota: Elaboración Propia.

Las cartillas de mantenimiento (anexo 08, 09, 10 y 11) determinan las acciones a realizar en mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo según los requerimientos de cada sistema de la máquina perforadora. A través de estas acciones se busca actuar rápidamente ante las posibles fallas, adicionalmente, se busca reducir en gran manera la probabilidad de falla mediante monitoreo constante de las condiciones para cada parte del sistema, así como, un seguimiento y reparación permanente a estos. El tipo de acciones a desarrollar dependen de la cantidad de horas transcurridas después del último mantenimiento aplicado.

Plan de Inspecciones y Reemplazos

La finalidad del plan de inspecciones y reemplazos general, adicionales a los planes de mantenimiento, con la finalidad es determinar actividades simples de rutina, las mismas que deben ser realizadas en adición al mantenimiento de manera diaria, este plan permitirá establecer hábitos de revisión en los operarios de cada maquinaria y registrar posibles observaciones, las mismas que servirán de input para el personal de mantenimiento y de esta manera mejorar el diagnóstico de cada sistema de la máquina perforadora (Ver Anexo 12).

Documentación y Registro

- ✓ Registro de Mantenimiento: Documenta todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo detalles de inspecciones, reparaciones y reemplazos. En esta parte se categoriza el plan de inspecciones, así como las acciones tomadas para mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.
- ✓ Historial de Fallos: Mantén un historial detallado de fallos y fallos corregidos para análisis futuros (Ver Anexo 13).

Es importante que se determine el registro de este historial para determinar mejores diagnósticos a la maquinaria, el formato contempla los campos de fecha, hora de la falla, el equipo, sistema donde se presentó la falla (parte del equipo), tipo de falla, atendido (si, no, pendiente), encargado, tiempo de reparación y observaciones.

Capacitación y Desarrollo

- ✓ Capacitación Continua: Asegura que el personal de mantenimiento esté capacitado en el uso de herramientas de diagnóstico y procedimientos de mantenimiento de manera general, se recomienda potenciar los conocimientos sobre tipos de mantenimiento, sus beneficios y componentes.

Tabla 24*Temas de capacitación continua*

	Tema	Duración (h)
CAPACITACIÓN GENERAL	<i>Inducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)</i>	8
	Conceptos iniciales RCM	2
	Beneficios de RCM	2
	Metodología de análisis de fallas y sus efectos	4
	<i>Mantenimiento Predictivo</i>	12
	Técnicas de mantenimiento predictivo	4
	Herramientas de monitoreo	4
	Métodos para el diagnóstico de mantenimiento predictivo	4
	<i>Mantenimiento Preventivo</i>	6
	Planeación de mantenimiento preventivo	2
	Procedimientos de inspección	2
	Herramientas y repuestos, tipos de gestión	2
	<i>Mantenimiento correctivo</i>	10
	Detección de fallas y reparación	2
	Procedimientos	4
	Uso de equipos y herramientas de reparación	4

Nota: Elaboración Propia

Para garantizar el óptimo desarrollo de las capacitaciones planteadas los colaboradores que asistan deben registrarse (Anexo 14) y deben calificar de manera general el desarrollo de la capacitación (Anexo 15).

- ✓ Repaso y actualización de Conocimientos: Mantén al equipo informado sobre nuevas tecnologías y mejores prácticas de mantenimiento del equipo en particular, es definida especialmente como un recordatorio del mantenimiento aplicable al equipo y sus sistemas.

Tabla 25*Temas de capacitación para repaso y actualización*

	Tema	Duración
CAPACITACIÓN ESPECIALIZADA	Sistema hidráulico	6
	Inspección y diagnóstico de fugas.	2
	Reemplazo y ajuste de mangueras y conexiones.	2
	Mantenimiento de filtros y bombas hidráulicas.	2
	Motor	6
	Mantenimiento correctivo y preventivo	2

Problemáticas habituales	2
Técnicas de seguimiento	2
Sistemas neumáticos	6
Funcionamiento y componentes clave	2
Diagnóstico y reparación	2
Mantenimiento de compresores y reguladores	2
Sistemas eléctricos	6
Funcionamiento y diagnóstico	2
Reparación y reemplazo de componentes	2
Herramientas de medición	2
Sistema de supresión de polvos	6
Inspección y limpieza de boquillas y filtros.	2
Reemplazo y ajuste de bombas de agua y mangueras.	2
Ajustes necesarios para mantener el rendimiento óptimo.	2

Nota: Elaboración Propia

La finalidad de los temas planteados es generar en el colaborador un recordatorio permanente de los procedimientos para el mantenimiento de los componentes de la perforadora MD 6420, para cada componente se han determinado 03 temas los mismos que refuerzan los puntos tocados en las capacitaciones de cada tipo de mantenimiento. De igual manera, con la finalidad de garantizar el óptimo desarrollo de las capacitaciones planteadas los colaboradores que asistan deben registrarse (Anexo 14) y deben calificar de manera general el desarrollo de la capacitación (Anexo 15).

Revisión y Mejora Continua

- ✓ Evaluación de Efectividad: Revisa periódicamente la efectividad del plan de mantenimiento basado en métricas de rendimiento y disponibilidad, para lo cual se tomarán las mediciones del periodo siguiente a la aplicación, en este caso 2024. Las mediciones realizadas se basan en los indicadores de MTTR, MTBF y disponibilidad.

Proceso de implementación

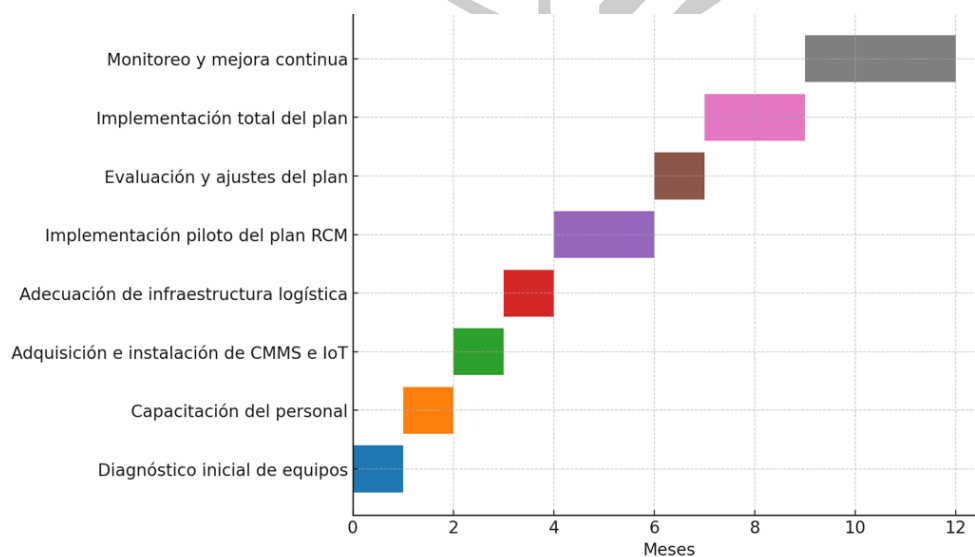
Se presenta el cronograma de implementación del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM), elaborado mediante un diagrama de Gantt. Este gráfico muestra la planificación temporal de las actividades necesarias para la puesta en marcha de la propuesta, distribuidas en un horizonte de 12 meses.

El cronograma inicia con el diagnóstico de los equipos (mes 0), seguido de la capacitación del personal (mes 1), lo cual asegura que los trabajadores adquieran las competencias necesarias para ejecutar la metodología RCM. Posteriormente, en los meses 2 y 3, se contempla la adquisición e instalación del sistema CMMS e IoT, así como la adecuación de la infraestructura logística, asegurando que la organización disponga de herramientas tecnológicas y de repuestos críticos. A partir del mes 4 se desarrolla la implementación piloto del plan, con una duración de dos meses, que permite validar la metodología y ajustar procedimientos antes de su aplicación total. En el mes 6 se incluye una fase específica de evaluación y ajustes, orientada a corregir desviaciones identificadas en el piloto.

La implementación total del plan se realiza entre los meses 7 y 8, lo que marca el inicio de la operación formal del mantenimiento bajo la estrategia RCM. Finalmente, entre los meses 9 y 11 se establece la fase de monitoreo y mejora continua, en la cual se recopilan indicadores de desempeño, se evalúa la efectividad del plan y se aplican acciones correctivas para garantizar la sostenibilidad del sistema de mantenimiento. En síntesis, el cronograma refleja una planificación estructurada y progresiva, en la que cada fase contribuye al éxito de la propuesta, garantizando que la implementación del plan de mantenimiento se ejecute en un tiempo razonable, con recursos definidos y bajo un esquema de mejora permanente.

Figura 33

Gantt de implementación



Elaboración propia

6. CAPÍTULO VI: PROPUESTAS PARA LA APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

6.1. Programa de seguimiento y mejora continua

Este programa tiene como objetivo mejorar las operaciones actuales y adaptarse a los avances tecnológicos en evolución y a las circunstancias del entorno de la organización mediante la implementación de acciones y el fomento de una cultura de mejora continua. Mediante este enfoque la organización podrá asegurar que se mantengan las condiciones planteadas de RCM.

Recopilación y tratamiento de datos:

- ✓ Implementar sistemas de captura de datos sobre mantenimiento, tiempos de inactividad y fallas (Anexo 13)
- ✓ Utilizar un sistema computarizado para la gestión del mantenimiento CMMS (Anexo 17).
- ✓ Analizar los datos de forma mensual para encontrar tendencias y patrones de fallas.
- ✓ Aplicación del análisis de Pareto de manera mensual para clasificar las preocupaciones más importantes.

Decisión y acciones:

- ✓ Utilizando los datos recopilados, se debe evaluar y modificar los planes de mantenimiento predictivo y preventivo de manera semestral.
- ✓ Modificar las iniciativas de capacitación y educación del personal de manera anual, actualizando los planes según las necesidades y tendencias observadas de manera previa.

- ✓ Llevar un registro de todas las modificaciones y mejoras realizadas, con la finalidad de determinar mecanismos de medición de las acciones implementadas.

Revisión y mejora:

- ✓ Monitorear las métricas para el mantenimiento, como el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) e indicadores claves relacionados.
- ✓ Realizar un seguimiento mensual del rendimiento del equipo y ejecutar auditorías de rutina de manera trimestral.
- ✓ Organizar reuniones frecuentes con el personal de mantenimiento para analizar los resultados, las lecciones aprendidas y las áreas que podrían mejorarse.
- ✓ Fomentar la cooperación y la comunicación entre las áreas que tienen injerencia en el desarrollo de mantenimiento.
- ✓ Fomentar una cultura de desarrollo y mejora continua, manteniendo la participación de todo el personal involucrado.

Evaluación

- ✓ Evaluar los consolidados de indicadores del programa RCM una vez al año para hacer un seguimiento de los avances hacia los objetivos predeterminados.
- ✓ Examinar y modificar el software en función de los hallazgos y las modificaciones del proceso de perforación.

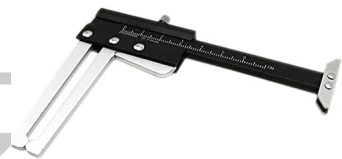
6.2. Implementación de equipos

Las herramientas de mantenimiento preventivo/predictivo deben utilizarse dentro de un programa de mantenimiento basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), ya que la eficiencia y la seguridad son fundamentales en la industria minera.

Este enfoque no solo optimiza la disponibilidad de los equipos, sino que también minimiza los costos operativos y reduce el riesgo de fallas inesperadas. El objetivo es crear un marco que mejore la durabilidad de los activos, garantice la continuidad del negocio y fomente un entorno de trabajo seguro mediante la integración de tecnología de vanguardia y procedimientos metódicos. En este sentido, se propone la implementación de los siguientes equipos para incrementar la eficiencia de las operaciones de mantenimiento.

Tabla 26

Herramientas propuestas

ITEM	DESCRIPCION	IMAGEN
Herramienta para medición de desgaste de frenos	Herramienta utilizada para medir el desgaste de los frenos en equipos pesados, como maquinaria de minería o construcción. Su principal función es proporcionar una evaluación precisa del estado de las pastillas de freno y los discos, permitiendo a los operadores y técnicos determinar si es necesario realizar mantenimiento o reemplazo.	
Herramienta para medición de desgaste de frenos	Herramienta utilizada para medir el desgaste de los frenos en equipos pesados, como maquinaria de construcción y minería. Su función principal es evaluar el estado de las pastillas de freno y los discos, lo que permite a los técnicos y operadores	
Pie de rey (Mitutoyo) Alternativo Energotec	Se utiliza para medir dimensiones lineales con alta precisión, sus funciones principales incluyen la medición de longitud, profundidad, pasos, versatilidad y facilidad de uso. Diseñado para la medición de semiejes, se utiliza principalmente para obtener medidas precisas de componentes cilíndricos y otras piezas. Principalmente empleado para la medición de diámetros, control de calidad y calibración	
Micrómetro Exteriores (Medición De Semiejes) (Mitutoyo) Energotec		

Cable VIMS	Es utilizado en equipos de maquinaria pesada, especialmente en aplicaciones relacionadas con el monitoreo y diagnóstico de condiciones operativas. Sus principales funciones incluyen conexión de sensores, detección de fallas y optimización de rendimiento.	
Adapter As (Vims)	Se utiliza en maquinaria pesada para conectar diferentes componentes del sistema VIMS (Vibration Information Management System). Sus funciones principales incluyen el monitoreo de condiciones, diagnóstico de fallas y optimización del rendimiento.	
Comm adapter	Se utiliza principalmente para facilitar la conexión y comunicación entre diferentes sistemas y dispositivos en maquinaria pesada, contribuye con el diagnóstico y mantenimiento.	

Nota: Elaboración Propia

6.3. Implementación de RCM

Dado a que ya se han establecido los cronogramas y planes generales de inspección para asegurar la disponibilidad y mantenibilidad de las máquinas de perforación, podemos comenzar a organizar su implementación progresiva de manera de minimizar cualquier efecto negativo en las actividades en curso.

El primer paso para establecer una estrategia RCM en las tareas de mantenimiento es la capacitación del personal. Considerando las condiciones y la cantidad de personal que realiza el mantenimiento, podemos estimar que en tres meses todos los empleados habrán recibido la capacitación necesaria en temas fundamentales de mantenimiento con énfasis en confiabilidad.

El siguiente paso es designar a los inspectores más calificados y explicarles detalladamente el valor de un examen minucioso, así como todas las ventajas potenciales. Para asignar esta responsabilidad crucial para la gestión eficaz de nuestro plan RCM a los

miembros del personal con las mejores actitudes y aptitudes, debemos considerar la evaluación del desempeño que se ha sugerido.

Cuando el personal interno de mantenimiento haya recibido la capacitación necesaria, debemos incorporar también a las áreas de soporte, lo que les permitirá trabajar en conjunto para implementar a cabalidad nuestra estrategia de RCM, con cada área con objetivos relacionados y alineados con las metas previstas.

En términos generales, un plan de RCM demora dos años en implementarse, según las experiencias de otras empresas mineras. Sin embargo, considerando el estado del área de mantenimiento y en particular de las máquinas de perforación, podríamos apuntar alto e implementar nuestro nuevo plan de mantenimiento en tan solo doce meses, dependiendo de la voluntad del personal y del cumplimiento gradual de las metas sugeridas en nuestro cuadro de mando integral.

6.4. Reducción de tiempos

La aplicación de la metodología RCM en constituye una estrategia sistemática para optimizar los planes de mantenimiento, mejorar la confiabilidad de los equipos y, principalmente, reducir tiempos muertos asociados a fallas no planificadas y mantenimientos ineficientes.

- *Identificación y priorización de funciones críticas*

Mediante el análisis funcional, se determinan los subsistemas de mayor impacto en la disponibilidad operativa: sistemas hidráulicos de avance, motores eléctricos, sistemas de control, cabezal de perforación y mecanismos de alineación. Esto evita destinar recursos de forma dispersa y permite concentrar esfuerzos en las funciones que impactan directamente en la continuidad de la perforación.

- *Análisis de modos y efectos de falla (FMEA)*

Al identificar los modos de falla recurrentes (ejemplo: fugas hidráulicas, atascos de barras, fallas en actuadores, desgaste prematuro de brocas), se establecen estrategias preventivas o predictivas específicas. Esto reduce los tiempos de diagnóstico y evita intervenciones reactivas prolongadas, al anticiparse a los fallos más probables.

- *Selección de tareas de mantenimiento óptimas*

El RCM define qué actividades deben ser predictivas (monitoreo de vibraciones, ultrasonido en rodamientos, análisis de aceite en sistemas hidráulicos), cuáles deben ser preventivas programadas (cambios de filtros, calibración de controles) y cuáles deben ser correctivas planificadas. Así se eliminan mantenimientos innecesarios o excesivos que generan paradas improductivas.

- *Implementación de mantenibilidad y tiempos estándar*

Con RCM se generan instrucciones claras y secuenciales, reduciendo la variabilidad en la ejecución de tareas. Esto disminuye el MTTR (Mean Time To Repair), pues los técnicos trabajan con un procedimiento estandarizado y herramientas definidas, evitando improvisación.

- *Gestión de confiabilidad y disponibilidad*

Al reducir la frecuencia de fallas (incremento del MTBF) y al optimizar la reparabilidad (disminución del MTTR), se mejora la disponibilidad física de la perforadora. Una perforadora más disponible significa menor tiempo de espera de la operación minera y mejor aprovechamiento del turno de perforación.

- *Optimización de repuestos y logística*

El RCM permite identificar los componentes críticos que deben tener stock de seguridad, evitando retrasos por espera de repuestos. Esto recorta significativamente los tiempos muertos logísticos asociados a mantenimientos no planificados.

6.5. Reducción de costos

La implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad nos permite transformar el modelo de mantenimiento, pasando de un enfoque reactivo y correctivo a uno proactivo y optimizado, lo que se traduce en reducciones significativas de costos directos e indirectos.

- *Disminución de fallas no planificadas*

Cada falla correctiva implica horas de mano de obra, repuestos urgentes y pérdida de producción. Con RCM se anticipan las fallas más probables mediante tareas predictivas y preventivas específicas, reduciendo los costos correctivos no presupuestados.

- *Optimización del inventario de repuestos*

El análisis RCM permite identificar qué componentes realmente requieren stock crítico y cuáles no. Esto evita el exceso de inventario inmovilizado y, al mismo tiempo, elimina los costos adicionales por compras de emergencia o paradas prolongadas por falta de repuestos.

- *Mejora de la vida útil de componentes*

Estrategias como lubricación adecuada, inspecciones predictivas o cambios programados en el momento óptimo, aumentan el MTBF (tiempo medio entre fallas). Con ello se prolonga la vida útil de piezas críticas (cilindros, motores hidráulicos, cabezal de perforación), reduciendo la frecuencia de reemplazos y sus costos asociados.

- *Reducción de costos de mano de obra*

Al contar con tareas planificadas, se eliminan horas extras por mantenimientos de emergencia. El personal trabaja con mayor eficiencia, reduciendo costos de intervención por unidad de tiempo.

- *Estandarización de procedimientos*

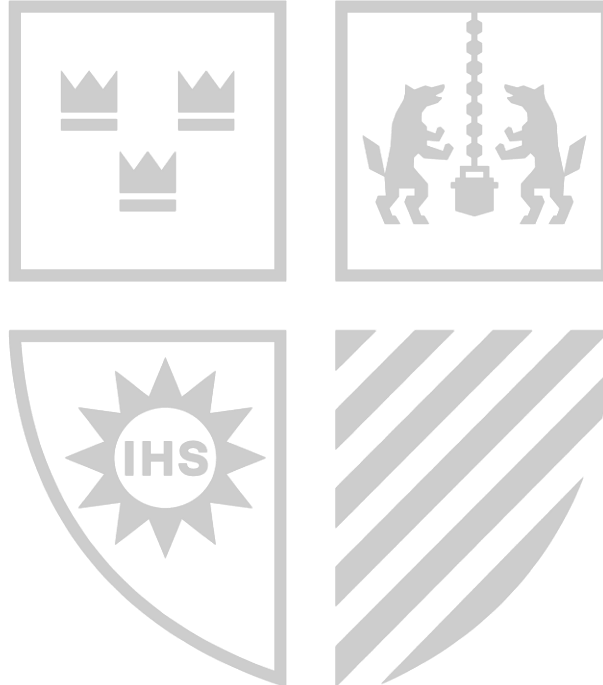
El RCM genera instrucciones claras y secuenciales de mantenimiento, lo que reduce la variabilidad en la ejecución. Esto minimiza errores que podrían ocasionar reprocesos o daños adicionales, evitando costos indirectos.

- *Mejor disponibilidad y producción*

Una perforadora más disponible significa mayor aprovechamiento de horas productivas y menos pérdidas por inactividad. Desde la perspectiva económica, la reducción de paradas se traduce en mayor retorno de inversión (ROI) de los activos.

- *Control de costos ocultos*

Al disminuir fallas, se reducen también los costos asociados a incidentes de seguridad, impactos ambientales y retrasos en la cadena de valor minera. Estos elementos, aunque menos visibles, tienen un impacto significativo en el costo total de operación.



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran una coherencia parcial con los antecedentes analizados, aunque revelan también diferencias significativas que merecen ser discutidas en profundidad. Por un lado, estudios como los realizados por Mohammed et al. (2020) y Cao et al. (2021) destacan que la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) puede generar incrementos inmediatos en la disponibilidad de los equipos, alcanzando niveles superiores al 85%. En el caso de esta investigación, los equipos EP 137 y EP 138 lograron una disponibilidad promedio de 71.84%, lo que, aunque representa un avance, se mantiene por debajo de los niveles recomendados por la literatura y de los objetivos establecidos por la organización. Este resultado refleja que, si bien la adopción del RCM ha generado algunos beneficios, la implementación del plan aún requiere mejoras específicas para alcanzar su máximo potencial y garantizar un desempeño alineado con las expectativas del sector.

Al analizar los meses de mayor y menor disponibilidad, se observa que los equipos lograron niveles cercanos al 90% en algunos periodos, como en marzo y octubre, pero en otros, como en febrero y agosto, la disponibilidad cayó por debajo del 50%. Esta variabilidad sugiere que el mantenimiento no ha sido ejecutado de manera constante ni uniforme a lo largo del tiempo. Esta inconsistencia en los resultados revela la necesidad de fortalecer la planificación y la gestión de las intervenciones, así como de asegurar una mejor coordinación entre las áreas operativas y logísticas para evitar interrupciones imprevistas en los procesos. La falta de continuidad en las actividades preventivas también se posiciona como un obstáculo relevante para el éxito del plan, lo que enfatiza la necesidad de revisar los protocolos actuales y asegurar su correcta aplicación en todas las fases operativas.

Una coincidencia importante con estudios previos, como el de Javadnejad et al. (2022), se encuentra en el uso del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) como una herramienta clave para identificar modos de falla críticos. No obstante, la presente investigación identificó aspectos que no habían sido considerados en investigaciones anteriores. En particular, se encontraron paradas frecuentes no previstas debido a problemas en el sistema neumático, así como deficiencias en la gestión de inventarios. La ausencia de repuestos estratégicos en almacenes temporales y la dependencia de almacenes centrales generaron demoras en las reparaciones, lo que afectó negativamente la disponibilidad de los equipos. Este hallazgo resalta la importancia de una gestión logística eficiente como complemento del mantenimiento. Aunque la literatura revisada no abordó este aspecto con profundidad, los resultados de esta investigación demuestran que la creación de almacenes temporales puede reducir significativamente los tiempos de espera, permitiendo una respuesta más rápida a las fallas críticas.

Un hallazgo particularmente relevante de este estudio es el impacto del tanque separador dentro del sistema neumático, un componente cuya relevancia no había sido destacada en investigaciones previas. Mientras que otros estudios se han enfocado principalmente en los sistemas hidráulico y eléctrico como los más críticos, en esta investigación se observó que las fallas en el tanque separador generaron paradas no programadas de hasta 116.39 horas. Este tiempo de inactividad no solo afectó la eficiencia operativa, sino que también tuvo repercusiones importantes en los procesos productivos subsiguientes, lo que evidencia la necesidad de priorizar este componente en los planes de mantenimiento. La relevancia de este hallazgo radica en la necesidad de ajustar los protocolos preventivos y realizar revisiones más frecuentes en el sistema neumático. Además, se sugiere la instalación de sensores para monitoreo en tiempo real, lo que permitiría anticipar posibles fallas y reducir las paradas imprevistas, mejorando así la eficiencia global del proceso.

En cuanto a la adopción de tecnología, los resultados evidenciaron limitaciones en la implementación de herramientas como los sistemas CMMS y las tecnologías IoT, lo que impactó negativamente en la capacidad de predicción de fallas. Si bien estas herramientas se mencionan en el marco teórico como fundamentales para un mantenimiento eficiente, la falta de adopción plena dentro de la organización resultó ser un obstáculo significativo. La falta de un sistema automatizado para la captura de datos en tiempo real limitó la capacidad del equipo de mantenimiento para identificar patrones

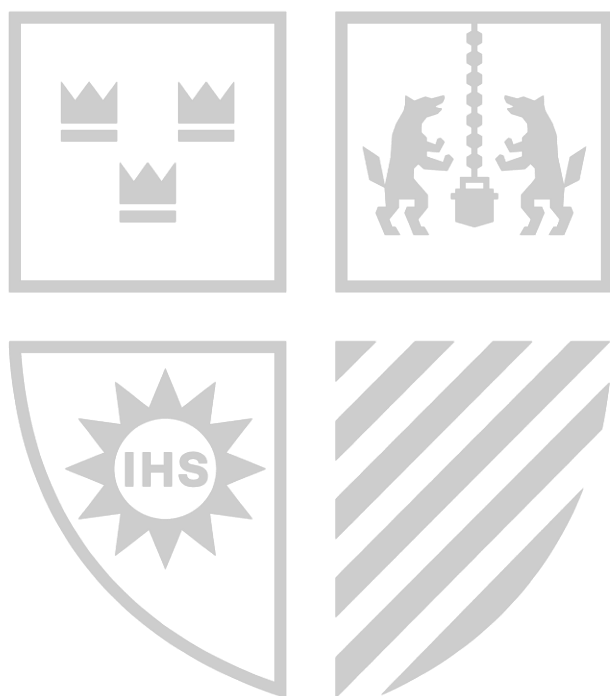
de fallas y tomar medidas preventivas a tiempo. Esta situación destaca la importancia de complementar el enfoque del RCM con herramientas avanzadas de monitoreo que permitan anticipar las fallas y optimizar los tiempos de respuesta. Sin embargo, también se identificó que la baja capacitación del personal en el uso de estas tecnologías fue un factor limitante, lo que subraya la necesidad de implementar programas de formación continua que fortalezcan las competencias técnicas del equipo.

El análisis de criticidad y la matriz AMFE aplicados en esta investigación demostraron ser herramientas eficaces para priorizar las intervenciones de mantenimiento. La priorización de los sistemas hidráulico, eléctrico y neumático permitió diseñar planes más precisos y alineados con las necesidades operativas, optimizando así la asignación de recursos. Además, la aplicación del análisis de Pareto permitió identificar que el 77% de los problemas estaban relacionados con la gestión del mantenimiento, lo que refuerza la importancia de desarrollar un plan integral que abarque tanto las actividades correctivas como preventivas. Estos hallazgos aportan validez al estudio, al demostrar que una gestión eficiente del mantenimiento no solo mejora la disponibilidad de los equipos, sino que también reduce significativamente el impacto de las paradas no programadas en la cadena productiva.

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que el método utilizado es replicable en otras operaciones mineras con características similares, pero su éxito dependerá de varios factores contextuales. La replicabilidad del RCM está sujeta tanto a la capacidad del personal como al grado de adopción tecnológica. En contextos donde los recursos humanos o tecnológicos sean limitados, será necesario ajustar las estrategias de implementación para asegurar su eficacia. Además, la integración de tecnologías de monitoreo en tiempo real se presenta como una necesidad fundamental para mejorar la capacidad predictiva del mantenimiento. Esto permitirá no solo anticipar fallas, sino también reducir los costos operativos al minimizar las interrupciones no planificadas.

La experiencia obtenida en esta investigación puede servir como base para futuras implementaciones del RCM en otros sectores industriales más allá de la minería. La metodología aplicada, que combina análisis de criticidad, matrices AMFE y herramientas logísticas, ofrece un modelo robusto para optimizar operaciones y mejorar la eficiencia de los procesos. Además, los hallazgos de este estudio abren nuevas líneas de investigación orientadas a la integración de tecnologías emergentes en el mantenimiento,

como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas, así como al desarrollo de estrategias de capacitación más efectivas para el personal involucrado en las operaciones de mantenimiento. En resumen, esta investigación no solo contribuye al campo del mantenimiento industrial, sino que también establece un precedente significativo para la mejora continua en la gestión de equipos críticos.



CONCLUSIONES

La implementación del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad permitió mejorar la disponibilidad de los equipos de perforación EP 137 y EP 138, logrando un incremento en la disponibilidad promedio a 71.84% en el año 2023. Sin embargo, los resultados obtenidos indican que el objetivo de alcanzar un nivel óptimo de 85% a 90% de disponibilidad aún no se ha cumplido plenamente, evidenciando la necesidad de realizar ajustes continuos en el plan y reforzar las intervenciones preventivas para consolidar los beneficios proyectados.

El diagnóstico identificó diversas limitaciones en la gestión de mantenimiento, entre las que destacan la falta de un control eficiente de inventarios, lo que generó tiempos prolongados de espera por repuestos, y la escasa capacitación en mantenimiento preventivo, con el 50% del personal evaluado indicando niveles bajos de conocimiento en esta área. Además, se observó una dependencia operativa significativa entre áreas, lo que contribuyó a la lentitud en las respuestas a fallas no programadas, afectando negativamente la continuidad de las operaciones.

El análisis mostró que la disponibilidad mensual de los equipos EP 137 y EP 138 fue altamente variable, alcanzando niveles de hasta 97.12% en octubre, pero también cayendo hasta 7.41% en mayo para el equipo EP 138. Estos resultados reflejan una inconsistencia operativa, con un promedio anual de 71.84%, evidenciando que los equipos no alcanzaron el objetivo organizacional de una disponibilidad superior al 85%. Esta variabilidad destaca la necesidad de optimizar la planificación y gestión de recursos.

El plan de mantenimiento se enfocó en los sistemas más críticos de los equipos, incluyendo los sistemas hidráulico, neumático y eléctrico, con un enfoque en la identificación de modos de falla mediante AMFE y la priorización de intervenciones con análisis de criticidad. Además, se diseñaron protocolos para realizar mantenimientos

preventivos cada 250, 500, 1000 y 2000 horas según la criticidad de los componentes. Sin embargo, la implementación inicial del plan reveló la necesidad de fortalecer las capacidades de monitoreo en tiempo real para asegurar una ejecución más eficiente.

La evaluación del plan mostró que, aunque se logró reducir las paradas no programadas en un 20%, la meta de disponibilidad superior al 85% no fue alcanzada consistentemente. La falta de integración de herramientas como sistemas CMMS e IoT limitó la capacidad predictiva, afectando la prevención de fallas críticas. Además, el análisis reveló que la creación de almacenes temporales para repuestos podría haber reducido los tiempos de espera y mejorado los resultados, lo que se presenta como un área de mejora futura.

El análisis económico evidenció que la implementación del plan permitió una reducción en los costos operativos relacionados con fallas correctivas en un 15% durante el 2023. Sin embargo, los costos iniciales de capacitación e infraestructura, junto con la necesidad de adquirir nuevas herramientas de monitoreo, representaron un desafío económico para la empresa. A pesar de esto, se proyecta que la inversión realizada generará retornos positivos a mediano plazo, siempre y cuando se mantenga la disciplina en la ejecución del mantenimiento preventivo y se continúe fortaleciendo el sistema de gestión.

RECOMENDACIONES

Para asegurar la sostenibilidad del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad y alcanzar los niveles óptimos de disponibilidad esperados, se recomienda fortalecer las actividades de planificación y monitoreo en tiempo real. La implementación de herramientas tecnológicas como los sistemas CMMS e IoT debe ser priorizada, ya que su capacidad para registrar datos en tiempo real permitirá mejorar la predicción de fallas y la gestión de intervenciones preventivas. Además, es fundamental establecer protocolos más rígidos para la coordinación entre áreas operativas y logísticas, evitando la dependencia excesiva que actualmente afecta la rapidez de las respuestas ante fallas imprevistas.

Es crucial que se desarrolle un programa de capacitación continua para el personal de mantenimiento, enfocado en el conocimiento técnico tanto de los sistemas críticos como del uso de nuevas tecnologías. La evaluación mostró que el 50% del personal presenta deficiencias en los conocimientos preventivos, lo que limita la efectividad del plan implementado. La capacitación debe incluir tanto aspectos conceptuales como habilidades prácticas, con especial énfasis en el uso eficiente de herramientas de gestión y mantenimiento preventivo. Asimismo, se sugiere realizar evaluaciones periódicas del desempeño del personal, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y reconocer las competencias desarrolladas.

Otra recomendación es establecer almacenes temporales cerca de las áreas operativas para reducir los tiempos de espera por repuestos y evitar paradas prolongadas. La investigación evidenció que una gestión ineficiente de los inventarios generó retrasos significativos en la realización de actividades correctivas, impactando negativamente en la disponibilidad de los equipos. Se recomienda definir un inventario mínimo de repuestos

estratégicos, especialmente para los sistemas neumático e hidráulico, asegurando que estén siempre disponibles para intervenciones inmediatas.

A nivel metodológico, se sugiere ajustar el plan de mantenimiento basado en los resultados del análisis de criticidad. Es necesario revisar y priorizar los componentes que generaron más horas de parada, como el tanque separador en el sistema neumático, para prevenir futuros contratiempos. Adicionalmente, se deben realizar inspecciones más frecuentes en los meses críticos identificados, como mayo y septiembre, cuando la disponibilidad de los equipos fue especialmente baja. De esta forma, será posible mitigar las variaciones operativas y asegurar que los equipos se mantengan dentro de los estándares de disponibilidad establecidos por la organización.

Finalmente, se recomienda realizar auditorías semestrales del plan de mantenimiento para evaluar su efectividad y realizar los ajustes necesarios. Estas auditorías deberán considerar tanto los indicadores operativos como los económicos, permitiendo un balance entre el control de costos y la mejora continua del desempeño. Además, se sugiere que la empresa implemente un programa de mejora continua, donde se involucren a todas las áreas relacionadas con el mantenimiento, fomentando la comunicación, la colaboración y la innovación en los procesos. Con estas medidas, la organización podrá optimizar su gestión de mantenimiento y alcanzar niveles superiores de eficiencia en el largo plazo.

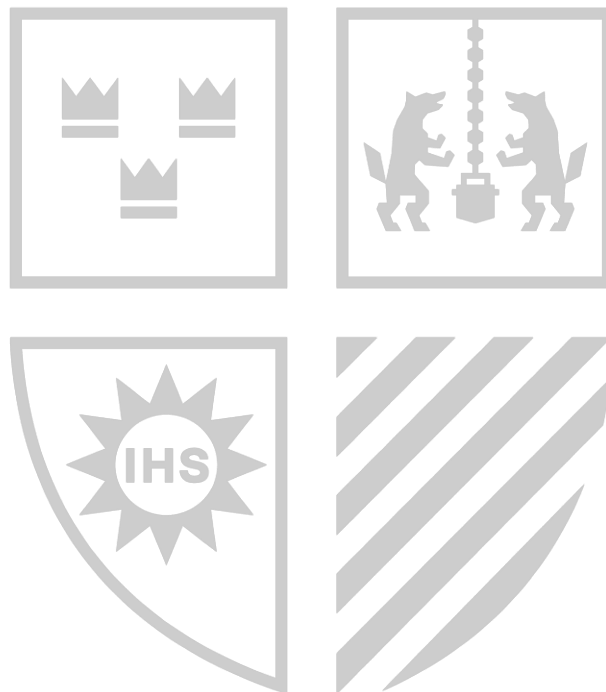
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

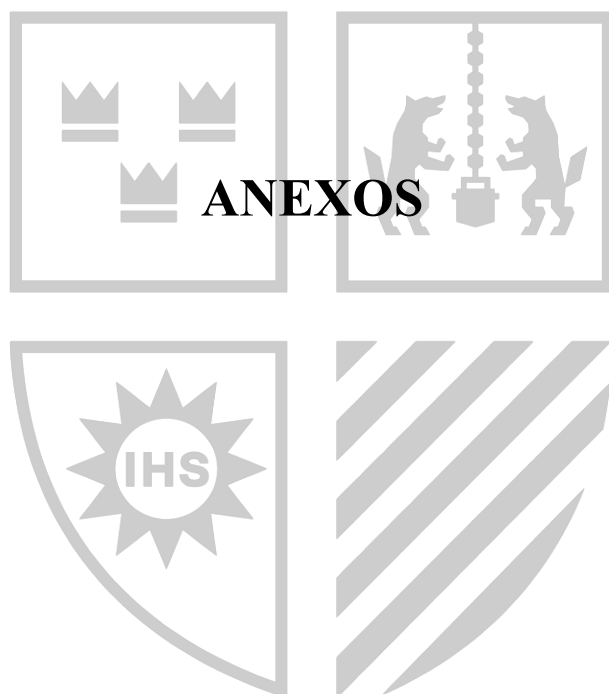
- Age Saputra, B., Novita Sari, D., & Khadijah, M. (2022). Preventive maintenance of mining heavy equipment in an Indonesian coal mining contracting company. *Proceedings of the International Conference in Industrial & Mechanical Engineering and Operations Management (IMEOM)*.
- Andreeva, L., & Institute of Mining UB RAS. (2021). Choosing a strategy for mining equipment repair service. *Izvestiâ vyssih učebnyh zavedenij. Gornyj žurnal*, 4, 83–91. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-4-83-91>
- Balaraju, J., Govinda Raj, M., & Murthy, C. S. N. (2020). Performance evaluation of underground mining machinery: A case study. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 20(5), 1726–1737. <https://doi.org/10.1007/s11668-020-00980-0>
- Cao, X. G., Zhang, M. Y., Gong, Y. R., Jia, X. L., & Zhang, R. Y. (2021). Maintenance decision method considering inspection of mining equipment. *International journal of metrology and quality engineering*, 12, 21. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2021018>
- Galatia, D., & Zambia. (2022). Replacement method of main parts of mining and earth moving equipment: Current situation and prospect of machinery industry. *International Journal of Power and Energy Engineering*, 4(3). [https://doi.org/10.53469/ijpee.2022.04\(03\).02](https://doi.org/10.53469/ijpee.2022.04(03).02)
- Javadnejad, F., Sharifi, M. R., Basiri, M. H., & Ostadi, B. (2022). Optimization model for maintenance planning of loading equipment in open pit mines. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 7(5), 94–101. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2022.7.5.2907>

- Mohammed, A., Ghaithan, A., Al-Saleh, M., & Al-Ofi, K. (2020). Reliability-based preventive maintenance strategy of truck unloading systems. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 10(19), 6957. <https://doi.org/10.3390/app10196957>
- Odeyar, P., Apel, D. B., Hall, R., Zon, B., & Skrzypkowski, K. (2022). A review of reliability and fault analysis methods for heavy equipment and their components used in mining. *Energies*, 15(17), 6263. <https://doi.org/10.3390/en15176263>
- Perdomo, A. C., Carreño, F. S.-, Núñez, L. E. G., Mamani, A. Q., Manrique, E. E. T., & López, J. M. C. (2023). Strategic management plan for maintenance in mining companies as A form of technological innovation. *International journal of membrane science and technology*, 10(2), 395–410. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i2.1212>
- Rahimdel, M. J., Ataei, M., & Ghodrati, B. (2020). Modeling and simulation approaches for reliability analysis of drilling machines. *Journal of The Institution of Engineers (India) Series C*, 101(1), 125–133. <https://doi.org/10.1007/s40032-019-00533-x>
- Tubis, A., Werbińska-Wojciechowska, S., Sliwinski, P., & Zimroz, R. (2022). Fuzzy risk-based maintenance strategy with safety considerations for the mining industry. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(2), 441. <https://doi.org/10.3390/s22020441>
- Ugurlu, O. F., & Kumral, M. (2020). Reliability-based performance analysis of mining drilling operations through Markov chain Monte Carlo and mean reverting process simulations. *Simulation*, 96(7), 593–604. <https://doi.org/10.1177/0037549720923751>
- Blanchard, B. S. (1995). Logistics engineering and management (5th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, maintenance, and reliability for engineers. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Ebeling, C. E. (1997). An introduction to reliability and maintainability engineering. New York: McGraw-Hill.

Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance (2nd ed.). New York: Industrial Press.

Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). RCM—Gateway to world class maintenance. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.





ANEXO N° 1: INDICADORES KPI

KPI	Descripción	Fórmula / Método de Cálculo	Meta	Frecuencia de Medición
Disponibilidad de los equipos	Porcentaje del tiempo en que los equipos están operativos.	$\frac{\text{Tiempo total operativo}}{\text{Tiempo total programado}} * 100$	95%	Mensual
Frecuencia de fallas	Número de fallas que ocurren en un periodo de tiempo.	$\sum \text{N° de fallas por mes}$	< 2 fallas/meses	Mensual
Horas paradas	Total de horas en que los equipos no están operativos debido a fallas.	$\sum \text{Horas paradas por mes}$	< 10 horas/meses	Mensual
MTBF (Mean Time Between Failures)	Tiempo promedio entre fallas de los equipos.	$\frac{\text{Tiempo total operativo}}{\text{N° de fallas}}$	> 500 horas	Mensual
MTTR (Mean Time To Repair)	Tiempo promedio para reparar una falla.	$\frac{\text{Tiempo de horas de parada}}{\text{N° de fallas}}$	< 5 horas	Mensual
Nivel de criticidad de equipos	Medida del impacto de la criticidad de los equipos en la operación.	$FF * ((IO * FO) + CM + ISAH)$	Reducción del 20%	Trimestral

Prioridad de riesgo (NPR)	Evaluación del riesgo asociado a las fallas de los equipos.	$Ocurrencia * Severidad * Detección de fallas$	Reducción del 30%	Trimestral
Costo de mantenimiento	Total de costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo.	$\sum Costo de materiales + \sum Costo de mano de obra$	Reducción del 10%	Trimestral
Índice de cumplimiento de OT preventivas	Porcentaje de Órdenes de Trabajo preventivas completadas en el tiempo programado.	$\frac{OT\ Preventivas\ completadas}{OT\ Preventivas\ Programadas} * 100\%$	100%	Mensual
Índice de cumplimiento de OT correctivas	Porcentaje de Órdenes de Trabajo correctivas completadas en el tiempo programado.	$\frac{OT\ Correctivas\ completadas}{OT\ Correctivas\ Programadas} * 100\%$	95%	Mensual

ANEXO N° 2: ENCUESTA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. ¿Considera usted que el mantenimiento desarrollado NO es adecuado?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
2. ¿Considera usted que las metas establecidas son claras?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
3. ¿Considera usted que el plan de mantenimiento se encuentra adecuadamente definido?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
4. ¿Considera usted que se cuentan con plantes de mantenimiento correctivo?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
5. ¿Considera usted que los repuestos son suficientes?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
6. ¿Considera usted que la planeación de aprovisionamiento NO es adecuada?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
7. ¿Considera usted que los factores ambientales afectan el mantenimiento?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
8. ¿Considera usted que los factores ambientales afectan el mantenimiento?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
9. ¿Considera usted que los factores ambientales afectan el mantenimiento?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
10. ¿Existe resistencia al cambio en los colaboradores?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
11. ¿Existe resistencia al cambio en los colaboradores?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
12. ¿Considera usted que las máquinas tienen la disponibilidad adecuada?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()
13. ¿Considera usted que los tiempos de repuesta ante una avería son apropiados?
Nunca () Casi Nunca () A veces () Casi Siempre () Siempre ()

ANEXO N° 3: AMFE PERFORADORA MD 6420

Función		Falla Funcional		Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Tipo de consecuencia				
						Oculto	Seguridad	Ambiente	Operacional	No Operacional
A	Sistema Hidráulico: proveer la energía necesaria para la operación de los componentes móviles y de perforación.	A1	Pérdida de presión hidráulica	Fugas en mangueras o conexiones.	Reducción en la eficiencia de perforación, posible detención de la perforadora.				X	
		A2	Contaminación del fluido hidráulico.	Presencia de partículas en el fluido hidráulico	Disminución en el flujo del fluido, fallas en el sistema			X		
		A3	Sobrecalentamiento del fluido	Flujo insuficiente o radiador obstruido.	Degrada el fluido y afecta el rendimiento del sistema				X	
		A4	Bloqueo de válvulas	Acumulación de suciedad o corrosión.	Disminución en el flujo del fluido.			X		
B	Motor: proporciona la potencia necesaria para las operaciones de perforación y el movimiento de la perforadora	B1	Sobrecalentamiento	Fallos en el sistema de refrigeración	Parada inesperada de motor				X	
				Lubricación deficiente	Pérdida de potencia de motor	X				
		B2	Fallo en el arranque	Batería descargada o con fallas	Inactividad				X	
				Problemas en el sistema de arranque	Demoras en el funcionamiento o inactividad				X	

		B3	Desgaste de componentes	Desgaste en pistones, anillos o válvulas.	Inactividad				X	
		B4	Fallos en el sistema de combustible	Juntas o sellos desgastados	Inactividad				X	
				Lubricación deficiente	Demoras en el funcionamiento o inactividad					
C	Sistema Neumático: utiliza aire comprimido para accionar varios mecanismos dentro de la perforadora	C1	Fugas en mangueras neumáticas	Desgaste de mangueras neumáticas	Pérdida de presión en neumáticos				X	
					Disminución del rendimiento de actuadores.	X				
		C2	Fallo en el compresor neumático	Mantenimiento deficiente que ocasiona fallas mecánicas internas	Pérdida de presión en neumáticos				X	
		C3	Mal funcionamiento de válvulas	Válvulas atascadas o flojas	Pérdida de presión en neumáticos				X	
		C4	Condensación de humedad	Acumulación de agua en el sistema causando corrosión.	Disminución del rendimiento de actuadores.	X				
		C5	Fugas de aire	Mangueras, conexiones o cilindros flojos.	Funcionamiento deficiente de los sistemas dependientes				X	
D	Sistema Eléctrico: gestiona y distribuye la energía eléctrica necesaria para operar diversos sistemas y componentes de la máquina.	D1	Corto circuito en el panel de control	Fallos en el sistema de cableado Sobrecarga eléctrica	Parada inesperada de la maquinaria					
					Pérdida de funcionalidad en los sistemas eléctricos				X	
		D2	Fallos en suministro de energía	Problemas con generador de energía	Intermitencias en el funcionamiento de la perforadora				X	
		D3	Fallos en la batería	Batería descargada o dañada	Funcionamiento deficiente				X	
		D4	Problemas en el alternador	Generación de carga deficiente	Funcionamiento deficiente				X	

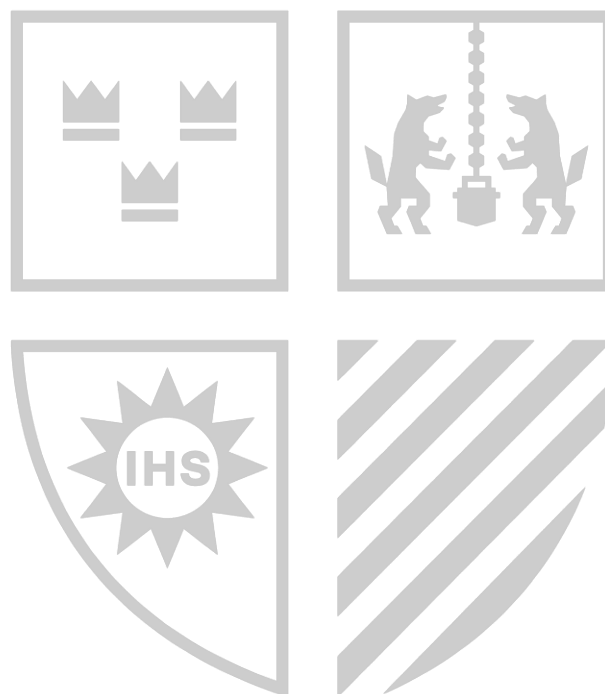
E	Sistema de Supresión de Polvos: Minimizar la liberación de polvo durante la perforación.	E1	Desgaste de componentes	Ineficiencia en la supresión del polvo	Reducción en la precisión de perforación. Incremento del tiempo de perforación.				X	
		E2	Obstrucción en boquillas	Acumulación de minerales o suciedad	Dispersión incorrecta de agua				X	
		E3	Fallo en la bomba	Presión inadecuada	Impide que se mantengan niveles de humedad apropiados				X	
		E4	Contaminación del líquido supresor	Presencia de partículas o impurezas	Compromete la capacidad del supresor del polvo.				X	

Nota: Elaboración Propia

ANEXO N° 4: BASE DE DATOS DE MANTENIMIENTO 2023 – MÁQUINA PERFORADORA MD 6420

Periodo	Equipo	Fecha Inicial	HRM Inicial	Fecha Final	HRM Final	Horas Operativas	Horas Calendario	Horas MC Stracon	Horas MP Stracon	Hrs Mantto SM	N° de Paradas NP	N° de Paradas P	Total Hrs Paradas	Disp. Mecanica Stracon	MTTR	MTBF
Enero	EP138	05/01/2023	6330.9	25/01/2023	6589.5	258.6	504	243.85	4.27	249.62	28	4	32	50.8%	7.75	9.29
Febrero	EP138	26/01/2023	6589.5	25/02/2023	6785.8	196.3	744	231.46		231.46	12	1	13	68.9%	17.80	42.71
Febrero	EP137	26/01/2023	1319.1	25/02/2023	1541.8	222.7	744	373.35	11.67	388.44	17	1	18	48.3%	21.39	21.80
Marzo	EP138	26/02/2023	6785.8	25/03/2023	7139.8	354	672	77.81	10.13	91.89	28	4	32	86.9%	2.75	21.22
Marzo	EP137	26/02/2023	1541.8	25/03/2023	1946.9	405.1	672	26.57		29.68	9	4	13	96.0%	2.04	71.71
Abril	EP138	26/03/2023	7139.8	25/04/2023	7473.6	334.8	744	313.17	0.00	313.34	27	0	27	57.9%	11.60	15.96
Abril	EP137	26/03/2023	1946.9	25/04/2023	2359.1	412.2	744	104.29	36.74	160.49	21	3	24	81.0%	5.88	30.46
Mayo	EP138	26/04/2023	7473.6	25/05/2023	7524.2	50.6	720	666.67	0.00	666.67	9	0	9	7.4%	74.07	5.93
Mayo	EP137	26/04/2023	2359.1	25/05/2023	2825.4	466.3	720	88.00	3.84	91.83	19	6	25	87.2%	3.67	33.26
Junio	EP138	26/05/2023	7524.2	25/06/2023	7920.8	396.6	744	163.93	30.57	195.71	24	3	27	73.9%	7.20	24.17
Junio	EP137	26/05/2023	2825.4	25/06/2023	3203.6	378.2	744	143.24	0.00	143.95	16	1	17	80.7%	8.43	37.55
Julio	EP138	26/06/2023	7920.8	25/07/2023	8314.9	394.1	720	34.87	158.04	192.91	27	3	30	73.2%	6.43	25.38
Julio	EP137	26/06/2023	3203.6	25/07/2023	3679.7	476.1	720	56.12	44.39	100.51	25	2	27	86.0%	3.72	26.56
Agosto	EP138	26/07/2023	8314.9	25/08/2023	8712.9	398	744	215.97	10.38	226.35	26	3	29	69.6%	7.81	20.31
Agosto	EP137	26/07/2023	3679.7	25/08/2023	3966.4	286.7	744	289.63	97.29	386.92	22	5	27	48.0%	14.33	20.65
Setiembre	EP138	26/08/2023	8712.9	25/09/2023	8911.7	198.8	744	478.76	2.03	480.79	20	1	21	35.4%	22.89	13.26
Setiembre	EP137	26/08/2023	3966.4	25/09/2023	4326.7	360.3	744	313.85	7.64	321.49	19	3	22	56.8%	14.61	22.64
Octubre	EP138	26/09/2023	8911.7	25/10/2023	8991.8	80.1	720	20.73	0.00	639.26	5	0	5	97.1%	4.15	139.85
Octubre	EP137	26/09/2023	4326.7	25/10/2023	4828.2	501.5	720	45.68	44.65	103.91	21	3	24	87.5%	3.76	32.11
Noviembre	EP138	26/10/2023	8991.8	25/11/2023	9185	193.2	744	22.86	6.81	493.19	10	1	11	96.0%	2.70	72.11
Noviembre	EP137	26/10/2023	4828.2	25/11/2023	5290.4	462.2	744	49.53	84.34	193.53	7	4	11	82.0%	12.17	99.21

Diciembre	EP138	26/11/2023	9185	25/12/2023	9485.9	300.9	720	66.90	41.19	120.09	13	1	14	85.0%	7.72	50.24
Diciembre	EP137	26/11/2023	5290.4	25/12/2023	5579.3	288.9	720	76.60	25.30	118.31	16	2	18	85.8%	5.66	40.21



ANEXO N° 5: BASE DE DATOS POR SISTEMAS DE MÁQUINA DE MANTENIMIENTO 2023 – MÁQUINA PERFORADORA MD 6420

Etiquetas de fila	TMC Stracon.	Parada No Prog.	MTTR	Tasa de falla	Indisponibilidad
Hidráulico	1252.86	99	12.66	0.013349155	16.89%
Motor	392.95	43	9.14	0.005798118	5.30%
Neumático	280.85	27	10.40	0.003640679	3.79%
Eléctrico	190.01	70	2.71	0.009438796	2.56%
Supresión de polvo	91.39	30	3.05	0.004045198	1.23%
Cabina	88.00	25	3.52	0.003370999	1.19%
Chasis	54.69	12	4.56	0.001618079	0.74%
Cabezal	39.96	35	1.14	0.004719398	0.54%
Lubricación	21.23	16	1.33	0.002157439	0.29%
Total general	2411.93	357	5.39	0.01	0.03

**ANEXO N° 6: BASE DATOS TOP FIVE DE FALLA EN
MANTENIMIENTO 2023**

Sistema	Sub-Sistema	TMC	Parada No Prog.
Hidráulico	Rotación / traslación	729.65	19.00
Hidráulico	Cilindro HYD	241.82	9.00
Hidráulico	Válvulas	114.89	34.00
Hidráulico	Sist. Colector	100.75	4.00
Hidráulico	Manguera	51.52	21.00
Motor	Motor Básico	267.03	4.00
Motor	Sist Combustible	109.94	27.00
Motor	Sist Admisión / Escape	11.93	9.00
Motor	Sist enfriamiento	4.06	3.00
Neumático	Tanque separador	232.79	2.00
Neumático	líneas de aire	22.31	9.00
Neumático	Compresor	22.20	10.00
Neumático	Sist Admisión de aire	3.55	6.00
Eléctrico	Sist. Arranque	73.69	15.00
Eléctrico	Sist. Carga	35.09	7.00
Eléctrico	Cableado	31.00	10.00
Eléctrico	Sensores / Switch	19.80	13.00
Eléctrico	Luces	11.96	3.00
Supresión de polvo	Bomba de agua	47.79	8.00
Supresión de polvo	Cortinas de polvo	24.85	2.00
Supresión de polvo	Válvulas	6.36	6.00
Supresión de polvo	líneas de barrido	5.26	4.00
Supresión de polvo	Coupling	4.87	7.00

ANEXO N° 7: ENCUESTA DE CONOCIMIENTOS A COLABORADORES

Colabora dor	Conceptos			Conocimie nto de herramient as	Práctica	
	Mantenimie nto Predictivo	Mantenimie nto Preventivo	Mantenimie nto Correctivo		Uso de herramientas de gestión	Capacitac ión práctica permanen te
1	4	2	5	4	1	5
2	1	2	3	3	3	3
3	4	2	4	3	4	3
4	1	2	2	4	1	5
5	1	3	3	5	5	2
6	4	1	3	1	5	2
7	5	3	3	1	3	1
8	1	5	1	1	5	4
9	1	4	1	3	5	3
10	3	3	4	3	1	2
	2.8	2.8	2.8	3.4	3.0	3.1
	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro

ANEXO N° 8: CARTILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 250 HORAS

HOJA DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

PERFORADORA SKSS13/MD6420 CATERPILLAR

250 HRS

OT

Datos del Equipo Código : _____ Descripción : _____	Realizado Fecha : ____/____/____ Horómetro : _____ Hora de Inicio del Servicio : _____ Hora de Fin del Servicio : _____
--	--



- TODO TRABAJO DE REPARACIÓN REQUIERE EL BLOQUEO DEL EQUIPO.

- TODO BLOQUEO ES INDIVIDUAL Y SE HACE EN LA LLAVE DE CORTE GENERAL DE ENERGÍA.

INSPECCIÓN DE FUGAS (Inspeccionar con el vehículo sin lavar)		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar si hay fugas de aceite en el motor.	
2	Inspeccionar el estado de los soportes de motor.	
3	Inspeccionar si hay fugas de combustible de motor.	
4	Inspeccionar si hay fugas de refrigerante en el motor.	
5	Inspeccionar si hay fugas de aceite por el reductor de giro y mangueras.	
6	Inspeccionar si hay fugas de aceite por los mandos finales.	
7	Inspeccionar si hay fugas en las líneas del sistema hidráulico.	
8	Fugas de aceite en cilindros hidráulicos.	

ANTES DE INICIAR EL SERVICIO		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Trasladar el Equipo a una zona despejada para proceder a iniciar el servicio	
2	Realizar el cuaderno de operación segura en conjunto con todos los miembros del equipo que estarán involucrados en el mantenimiento	
3	Aliviar presiones del Sistema Hidráulico (pueden existir presiones residuales inmensas en el sistema hidráulico)	
4	Colocar los elementos de bloqueo (Lock Out - Candado de Bloqueo) por parte de todo el personal que va a intervenir en el mantenimiento.	
5	Entrevistar al operador a un lado de la maquina sobre los eventos o anomalías de la máquina que haya observado durante su operación para poder programar cualquier trabajo correctivo con anticipación	

EQUIPO DE SEGURIDAD		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar el soporte, estado y la carga del sistema AFEX	
2	Verificar la tarjeta del extintor.	
3	Verificar si el check list del operador se encuentra en la cabina.	

MUESTRAS SOS		
ITEM	Sistema	CHECK
1	Motor Diesel	
2	Compresor Aire	
3	Cabezal de Rotación	
4	Caja de Engranajes (PTO)	
5	Mandos Finales (x2)	
6	Sistema Hidráulico	
7	Winche	
8	Sistema de Enfriamiento	

PRUEBAS DEL EQUIPO			
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	Valor Esperado	Valor Tomado
1	Medir presión de controlador del compresor	125 PSI	
2	Medir presión piloto del controlador del compresor	50 PSI	
3	Medir presión mínima de la bomba de agua	150 PSI	
4	Medir presión de Aceite de Motor	67PSI@2200 RPM	
5	Medir presión de combustible	118PSI@2200 RPM	
6	Medir presión de refuerzo turbo	43.7 IN HG	

MOTOR		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspecciones las abrazaderas y mangueras de radiador.	
2	Inspeccionar ajuste y condición de fajas (de ser necesario cambiarlo)	
3	Inspeccionar los cojinetes de polea tensora y cubo de ventilador.	
4	Inspeccionar abrazaderas y mangueras de admisión de aire.	
5	Inspeccionar fugas de gases de escape de motor.	
6	Inspeccionar soportes de motor.	

7	Inspeccionar estado de correas de alternador	
8	Limpiar precleaners de sistema de admisión	
9	Revisar nivel del refrigerante de motor.	
10	Verifique que el radiador se encuentre limpio y en buenas condiciones.	
11	Lavar / Limpiar respiraderos de motor.	
12	Limpiar el depósito del filtro separador de agua.	
13	Engrase de la polea del ventilador.	
14	Cambiar Filtro de Aceite de motor	
15	Cambio de Filtro de combustible	
16	Cambio de Filtro separador de agua	
17	Filtro de aire primario motor	
18	Cambio de Aceite de Motor	

CABEZAL DE ROTACION

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar los sellos del swivel, de ser necesario cambiar	
2	Realizar la precarga de los cabezales (0.002"-0.004")	
3	Revisión de los pads de desgaste en deslizadores	
4	Revisar el ajuste de los pernos de montaje	

COMPRESOR DE AIRE

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Cambio de Filtro de aire primario compresor	
2	Cambio de Elemento de aceite de compresor	

TREN DE RODAMIENTO Y CARRILERIA

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar tapones de mandos finales RH y LH	
2	Verificar Nivel de aceite de los mandos finales RH y LH	
3	Inspeccionar ajuste (tensado) de cadenas de rodamiento RH y LH (comba 250 a 30 mm)	
4	Inspeccionar estado y ajuste de guíadores laterales de cadenas RH y LH.	
5	Inspeccionar estado de ruedas guía RH y LH.	
6	Llenar el formato de inspección Carrileria Anexo	

SISTEMA HIDRÁULICO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Despresurizar el sistema hidráulico por el respiro del tanque.	
2	Inspeccionar funcionamiento de bloqueo de seguridad del sistema hidráulico.	
3	Verificar nivel de aceite y estado del tanque aceite hidráulico	
4	Condición del enfriador de aceite hidráulico.	
5	Verificar el estado de las mangueras y abrazaderas del sistema hidráulico	
6	Verificar el estado de los motores de giro, ventilador y motores de traslación	
7	Verificar estado de control de válvulas principal	

CABLE DE PULLDOWN

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
------	--------------------------	-------

1	Revisar el estado de los cables de pulldown	
2	Revisar que cuenta con lubricación Permalubes	

WINCHE

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Verificar nivel de aceite Winche	

BOMBA DE AGUA

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Limpiar el strainer de la bomba de agua	
2	Revisar el estado del coupling	
3	Engrasar el coupling	

CHASIS

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar Visual del Equipo para detectar fisuras	

CABINA Y ACCESORIOS

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Verificar condición de parabrisas.	
2	Verificar condición de limpiaparabrisas.	
3	Verificar funcionamiento de acondicionador de aire.	
4	Condición de asientos y cinturón de seguridad.	
5	Peldaños y manijas.	
6	Funcionamiento/ajuste de pestillo y de cerradura de puerta.	
7	Examinar condiciones generales de cabina.	
8	Revisión de hermeticidad de cabina (Estado de jebes, estado de parabrisas, estado de chasis de cabina)	
9	Comprobar y limpiar el condensador.	
10	Compresor del aire acondicionado; comprobar la fijación.	

SISTEMA ELÉCTRICO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar interruptor principal del sistema eléctrico.	
2	Inspeccionar todas las luces, indicadores, avance, intermitentes.	
3	Limpiar compartimiento de baterías.	
4	Inspeccionar terminales y soportes de baterías.	
5	Revisar nivel de electrolítico de batería.	
6	Limpiar conectores eléctricos.	
7	Verificar operatividad del claxon.	
8	Verificar funcionamiento de alarma de retroceso - 6 metros de radio de audición.	
9	Verificar nivel de agua de batería, si es que corresponde a una batería 'no libre de mantenimiento'.	
10	Verificar funcionamiento de luces del equipo, indicadores e instrumentos de cabina.	
11	Limpiar conectores eléctricos, VERIFICAR ESTADO DE FUSIBLES (si es necesario cambiar)	

SISTEMA DE LUBRICACION									
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD							CHECK	
1	Revisar funcionamiento del sistema de lubricación automático.								
2	Sistema de engrase: añadir grasa.								
3	Engrasar cojinetes de rotación (collarín de grasa).								
4	Comprobar el funcionamiento del sistema completo, de las bombas y del control.								
PERSONAL EJECUTANTE									
N°	CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES					HORA INICIO	HORA FIN	
1									
2									
3									
4									
5									
BACKLOG's ENCONTRADOS									
1									
2									
3									
4									
5									
OBSERVACIONES									
(Coloque todas las observaciones adicionales, pendientes o sucesos ocurridos durante el mantenimiento)									

ANEXO N° 9: CARTILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 500 HORAS

HOJA DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERFORADORA SKSS13/MD6420 CATERPILLAR

500 HRS

OT

Datos del Equipo Código : _____ Descripción : _____	Realizado Fecha : ____/____/____ Horómetro : _____ Hora de Inicio del Servicio : _____ Hora de Fin del Servicio : _____
--	--



- TODO TRABAJO DE REPARACIÓN REQUIERE EL BLOQUEO DEL EQUIPO.
- TODO BLOQUEO ES INDIVIDUAL Y SE HACE EN LA LLAVE DE CORTE GENERAL DE ENERGÍA.

INSPECCIÓN DE FUGAS (Inspeccionar con el vehículo sin lavar)

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar si hay fugas de aceite en el motor.	
2	Inspeccionar el estado de los soportes de motor.	
3	Inspeccionar si hay fugas de combustible de motor.	
4	Inspeccionar si hay fugas de refrigerante en el motor.	
5	Inspeccionar si hay fugas de aceite por el reductor de giro y mangueras.	
6	Inspeccionar si hay fugas de aceite por los mandos finales.	
7	Inspeccionar si hay fugas en las líneas del sistema hidráulico.	
8	Fugas de aceite en cilindros hidráulicos.	

ANTES DE INICIAR EL SERVICIO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Trasladar el Equipo a una zona despejada para proceder a iniciar el servicio	

2	Realizar el cuaderno de operación segura en conjunto con todos los miembros del equipo que estarán involucrados en el mantenimiento	
3	Aliviar presiones del Sistema Hidráulico (pueden existir presiones residuales inmensas en el sistema hidráulico)	
4	Colocar los elementos de bloqueo (Lock Out - Candado de Bloqueo) por parte de todo el personal que va a intervenir en el mantenimiento.	
5	Entrevistar al operador a un lado de la maquina sobre los eventos o anomalías de la máquina que haya observado durante su operación para poder programar cualquier trabajo correctivo con anticipación	

EQUIPO DE SEGURIDAD

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar el soporte, estado y la carga del sistema AFEX	
2	Verificar la tarjeta del extintor.	
3	Verificar si el check list del operador se encuentra en la cabina.	

MUESTRAS SOS

ITEM	Sistema	CHECK
1	Motor Diesel	
2	Compresor Aire	
3	Cabezal de Rotación	
4	Caja de Engranajes (PTO)	
5	Mandos Finales (x2)	
6	Sistema Hidráulico	
7	Winche	
8	Sistema de Enfriamiento	

PRUEBAS DEL EQUIPO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	Valor Esperado	Valor Tomado
1	Medir presión de controlador del compresor	125 PSI	
2	Medir presión piloto del controlador del compresor	50 PSI	
3	Medir presión mínima de la bomba de agua	150 PSI	
4	Medir presión de Aceite de Motor	67PSI@2200 RPM	
5	Medir presión de combustible	118PSI@2200 RPM	
6	Medir presión de refuerzo turbo	43.7 IN HG	
7	Medir presión del freno de traslado	5,000 PSI	
8	Medir presión de carga Bombas Principales	320 PSI	

MOTOR

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspecciones las abrazaderas y mangueras de radiador.	
2	Inspeccionar ajuste y condición de fajas (de ser necesario cambiarlo)	
3	Inspeccionar los cojinetes de polea tensora y cubo de ventilador.	
4	Inspeccionar abrazaderas y mangueras de admisión de aire.	
5	Inspeccionar fugas de gases de escape de motor.	

6	Inspeccionar soportes de motor.	
7	Inspeccionar estado de correas de alternador	
8	Limpiar precleaners de sistema de admisión	
9	Revisar nivel del refrigerante de motor.	
10	Verifique que el radiador se encuentre limpio y en buenas condiciones.	
11	Lavar / Limpiar respiraderos de motor.	
12	Limpiar el depósito del filtro separador de agua.	
13	Engrase de la polea del ventilador.	
14	Cambiar Filtro de Aceite de motor	
15	Cambio de Filtro de combustible	
16	Cambio de Filtro separador de agua	
17	Cambio de Filtro de aire primario motor	
18	Cambio de Filtro de aire secundario motor	
19	Cambio de Filtro acondicionador de refrigerante	
20	Cambio de Aceite de Motor	

CABEZAL DE ROTACION

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar los sellos del swivel, de ser necesario cambiar	
2	Realizar la precarga de los cabezales (0.002"-0.004")	
3	Revisión de los pads de desgaste en deslizadores	
4	Revisar el ajuste de los pernos de montaje	
5	Cambio de aceite de Cabezal de Rotación	

COMPRESOR DE AIRE

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Cambio de Filtro de aire primario compresor	
2	Cambiar Filtro aire secundario de compresor	
3	Cambio de Elemento de aceite de compresor	
4	Probar la válvula de temperatura compresor	

TREN DE RODAMIENTO Y CARRILERIA

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar tapones de mandos finales RH y LH	
2	Cambio de aceite de Mandos Finales	
3	Inspeccionar ajuste (tensado) de cadenas de rodamiento RH y LH (comba 250 a 30 mm)	
4	Inspeccionar estado y ajuste de guidores laterales de cadenas RH y LH.	
5	Inspeccionar estado de ruedas guía RH y LH.	
6	Llenar el formato de inspección Carrileria Anexo	

SISTEMA HIDRÁULICO & PTO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Despresurizar el sistema hidráulico por el respiro del tanque.	
2	Inspeccionar funcionamiento de bloqueo de seguridad del sistema hidráulico.	
3	Verificar nivel de aceite y estado del tanque aceite hidráulico	
4	Condición del enfriador de aceite hidráulico.	

5	Verificar el estado de las mangueras y abrazaderas del sistema hidráulico	
6	Verificar el estado de los motores de giro, ventilador y motores de traslación	
7	Verificar estado de control de válvulas principal	
8	Cambio de Elemento hidráulico de carga	
9	Cambio de aceite PTO	

CABLE DE PULLDOWN

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar el estado de los cables de pulldown	
2	Revisar que cuenta con lubricación Permalubes	

WINCHE

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Cambio de aceite de Winche	

SISTEMA DE INYECCION DE AGUA Y BARRIDO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Limpiar el strainer de la bomba de agua	
2	Revisar el estado del coupling	
3	Engrasar el coupling	
4	Cambio de aceite de bomba de agua	
5	Cambio de aceite de unidad de bomba de aire barrido	

CHASIS

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar Visual del Equipo para detectar fisuras	
2	Verificar las zonas descritas en el formato de inspección de soldadura anexo	

CABINA Y ACCESORIOS

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Verificar condición de parabrisas.	
2	Verificar condición de limpiaparabrisas.	
3	Verificar funcionamiento de acondicionador de aire.	
4	Condición de asientos y cinturón de seguridad.	
5	Peldaños y manijas.	
6	Funcionamiento/ajuste de pestillo y de cerradura de puerta.	
7	Examinar condiciones generales de cabina.	
8	Revisión de hermeticidad de cabina (Estado de jebes, estado de parabrisas, estado de chasis de cabina)	
9	Comprobar y limpiar el condensador.	
10	Compresor del aire acondicionado: comprobar la fijación.	
11	Cambio de Filtro de cabina	

SISTEMA ELÉCTRICO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar interruptor principal del sistema eléctrico.	
2	Inspeccionar todas las luces, indicadores, avance, intermitentes.	
3	Limpiar compartimiento de baterías.	
4	Inspeccionar terminales y soportes de baterías.	
5	Revisar nivel de electrolítico de batería.	
6	Limpiar conectores eléctricos.	
7	Verificar operatividad del claxon.	
8	Verificar funcionamiento de alarma de retroceso - 6 metros de radio de audición.	
9	Verificar nivel de agua de batería, si es que corresponde a una batería 'no libre de mantenimiento'.	
10	Verificar funcionamiento de luces del equipo, indicadores e instrumentos de cabina.	
11	Limpiar conectores eléctricos, VERIFICAR ESTADO DE FUSIBLES (si es necesario cambiar)	

SISTEMA DE LUBRICACION

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar funcionamiento del sistema de lubricación automático.	
2	Sistema de engrase: añadir grasa.	
3	Engrasar cojinetes de rotación (collarín de grasa).	
4	Comprobar el funcionamiento del sistema completo, de las bombas y del control.	

PERSONAL EJECUTANTE

Nº	CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES	HORA INICIO	HORA FIN
1				
2				
3				
4				
5				

BACKLOG´s ENCONTRADOS

1	
2	
3	
4	
5	

OBSERVACIONES

(Coloque todas las observaciones adicionales, pendientes o sucesos ocurridos durante el mantenimiento)

ANEXO N° 10: CARILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 1000 HORAS

HOJA DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERFORADORA SKSS13/MD6420 CATERPILLAR

1000 HRS

OT

Datos del Equipo Código : _____ Descripción : _____	Realizado Fecha : ____/____/____ Horómetro : _____ Hora de Inicio del Servicio : _____ Hora de Fin del Servicio : _____
--	--



- TODO TRABAJO DE REPARACIÓN REQUIERE EL BLOQUEO DEL EQUIPO.
- TODO BLOQUEO ES INDIVIDUAL Y SE HACE EN LA LLAVE DE CORTE GENERAL DE ENERGÍA.

INSPECCIÓN DE FUGAS (Inspeccionar con el vehículo sin lavar)		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar si hay fugas de aceite en el motor.	
2	Inspeccionar el estado de los soportes de motor.	
3	Inspeccionar si hay fugas de combustible de motor.	
4	Inspeccionar si hay fugas de refrigerante en el motor.	
5	Inspeccionar si hay fugas de aceite por el reductor de giro y mangueras.	
6	Inspeccionar si hay fugas de aceite por los mandos finales.	
7	Inspeccionar si hay fugas en las líneas del sistema hidráulico.	
8	Fugas de aceite en cilindros hidráulicos.	

ANTES DE INICIAR EL SERVICIO		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK

1	Trasladar el Equipo a una zona despejada para proceder a iniciar el servicio	
2	Realizar el cuaderno de operación segura en conjunto con todos los miembros del equipo que estarán involucrados en el mantenimiento	
3	Aliviar presiones del Sistema Hidráulico (pueden existir presiones residuales inmensas en el sistema hidráulico)	
4	Colocar los elementos de bloqueo (Lock Out - Candado de Bloqueo) por parte de todo el personal que va a intervenir en el mantenimiento.	
5	Entrevistar al operador a un lado de la maquina sobre los eventos o anomalías de la máquina que haya observado durante su operación para poder programar cualquier trabajo correctivo con anticipación	

EQUIPO DE SEGURIDAD		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar el soporte, estado y la carga del sistema AFEX	
2	Verificar la tarjeta del extintor.	
3	Verificar si el check list del operador se encuentra en la cabina.	

MUESTRAS SOS		
ITEM	Sistema	CHECK
1	Motor Diesel	
2	Compresor Aire	
3	Cabezal de Rotación	
4	Caja de Engranajes (PTO)	
5	Mandos Finales (x2)	
6	Sistema Hidráulico	
7	Winche	
8	Sistema de Enfriamiento	

PRUEBAS DEL EQUIPO			
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	Valor Esperado	Valor Tomado
1	Medir presión de controlador del compresor	125 PSI	
2	Medir presión piloto del controlador del compresor	50 PSI	
3	Medir presión mínima de la bomba de agua	150 PSI	
4	Medir presión de Aceite de Motor	67PSI@2 200 RPM	
5	Medir presión de combustible	118PSI@ 2200 RPM	
6	Medir presión de refuerzo turbo	43.7 IN HG	
7	Medir presión del freno de traslado	5,000 PSI	
8	Medir presión de carga Bombas Principales	320 PSI	
9	Medir Presión máxima de pulldown	4000 PSI	
10	Medir la Presión máxima de alivio de rotación	4000 PSI	

MOTOR		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspecciones las abrazaderas y mangueras de radiador.	

2	Inspeccionar ajuste y condición de fajas (de ser necesario cambiarlo)	
3	Inspeccionar los cojinetes de polea tensora y cubo de ventilador.	
4	Inspeccionar abrazaderas y mangueras de admisión de aire.	
5	Inspeccionar fugas de gases de escape de motor.	
6	Inspeccionar soportes de motor.	
7	Inspeccionar estado de correas de alternador	
8	Limpiar precleaners de sistema de admisión	
9	Revisar nivel del refrigerante de motor.	
10	Verifique que el radiador se encuentre limpio y en buenas condiciones.	
11	Lavar / Limpiar respiraderos de motor.	
12	Limpiar el depósito del filtro separador de agua.	
13	Engrase de la polea del ventilador.	
14	Cambiar Filtro de Aceite de motor	
15	Cambio de Filtro de combustible	
16	Cambio de Filtro separador de agua	
17	Cambio de Filtro de aire primario motor	
18	Cambio de Filtro de aire secundario motor	
19	Cambio de Filtro acondicionador de refrigerante	
20	Cambio de Aceite de Motor	

CABEZAL DE ROTACION

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar los sellos del swivel, de ser necesario cambiar	
2	Realizar la precarga de los cabezales (0.002"-0.004")	
3	Revisión de los pads de desgaste en deslizadores	
4	Revisar el ajuste de los pernos de montaje	
5	Cambio de aceite de Cabezal de Rotación	
6	Cambio de Respiradero de cabezal de rotación	

COMPRESOR DE AIRE

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Cambio de Filtro de aire primario compresor	
2	Cambiar Filtro aire secundario de compresor	
3	Cambio de Elemento de aceite de compresor	
4	Probar la válvula de temperatura compresor	

TREN DE RODAMIENTO Y CARRILERIA

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar tapones de mandos finales RH y LH	
2	Cambio de aceite de Mandos Finales	
3	Inspeccionar ajuste (tensado) de cadenas de rodamiento RH y LH (comba 250 a 30 mm)	
4	Inspeccionar estado y ajuste de guidores laterales de cadenas RH y LH.	
5	Inspeccionar estado de ruedas guía RH y LH.	
6	Llenar el formato de inspección Carrileria Anexo	

SISTEMA HIDRÁULICO & PTO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
------	--------------------------	-------

1	Despresurizar el sistema hidráulico por el respiro del tanque.	
2	Inspeccionar funcionamiento de bloqueo de seguridad del sistema hidráulico.	
3	Verificar nivel de aceite y estado del tanque aceite hidráulico	
4	Condición del enfriador de aceite hidráulico.	
5	Verificar el estado de las mangueras y abrazaderas del sistema hidráulico	
6	Verificar el estado de los motores de giro, ventilador y motores de traslación	
7	Verificar estado de control de válvulas principal	
8	Cambio de Elemento hidráulico de carga	
9	Cambio de aceite PTO	
10	Filtro de desfogue silencer	
11	Elemento hidráulico de retorno	
12	Elemento hidráulico de presión	
13	Elemento hidráulico del sistema ventiladores	
14	Respiradero de tanque hidráulico	
15	Respiradero de PTO	

CABLE DE PULLDOWN

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar el estado de los cables de pulldown	
2	Revisar que cuenta con lubricación Permalubes	

WINCHE

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Cambio de aceite de Winche	

SISTEMA DE INYECCION DE AGUA Y BARRIDO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Limpiar el strainer de la bomba de agua	
2	Revisar el estado del coupling	
3	Engrasar el coupling	
4	Cambio de aceite de bomba de agua	
5	Cambio de aceite de unidad de bomba de aire barrido	

CHASIS

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar Visual del Equipo para detectar fisuras	
2	Verificar las zonas descritas en el formato de inspección de soldadura anexo	

CABINA Y ACCESORIOS

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Verificar condición de parabrisas.	
2	Verificar condición de limpiaparabrisas.	
3	Verificar funcionamiento de acondicionador de aire.	
4	Condición de asientos y cinturón de seguridad.	

5	Peldaños y manijas.	
6	Funcionamiento/ajuste de pestillo y de cerradura de puerta.	
7	Examinar condiciones generales de cabina.	
8	Revisión de hermeticidad de cabina (Estado de jebes, estado de parabrisas, estado de chasis de cabina)	
9	Comprobar y limpiar el condensador.	
10	Compresor del aire acondicionado: comprobar la fijación.	
11	Cambio de Filtro de cabina	
12	Cambio de Filtro de Aire Acondicionado	

SISTEMA ELÉCTRICO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar interruptor principal del sistema eléctrico.	
2	Inspeccionar todas las luces, indicadores, avance, intermitentes.	
3	Limpiar compartimiento de baterías.	
4	Inspeccionar terminales y soportes de baterías.	
5	Revisar nivel de electrolítico de batería.	
6	Limpiar conectores eléctricos.	
7	Verificar operatividad del claxon.	
8	Verificar funcionamiento de alarma de retroceso - 6 metros de radio de audición.	
9	Verificar nivel de agua de batería, si es que corresponde a una batería 'no libre de mantenimiento'.	
10	Verificar funcionamiento de luces del equipo, indicadores e instrumentos de cabina.	
11	Limpiar conectores eléctricos, VERIFICAR ESTADO DE FUSIBLES (si es necesario cambiar)	

SISTEMA DE LUBRICACION

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar funcionamiento del sistema de lubricación automático.	
2	Sistema de engrase: añadir grasa.	
3	Engrasar cojinetes de rotación (collarín de grasa).	
4	Comprobar el funcionamiento del sistema completo, de las bombas y del control.	

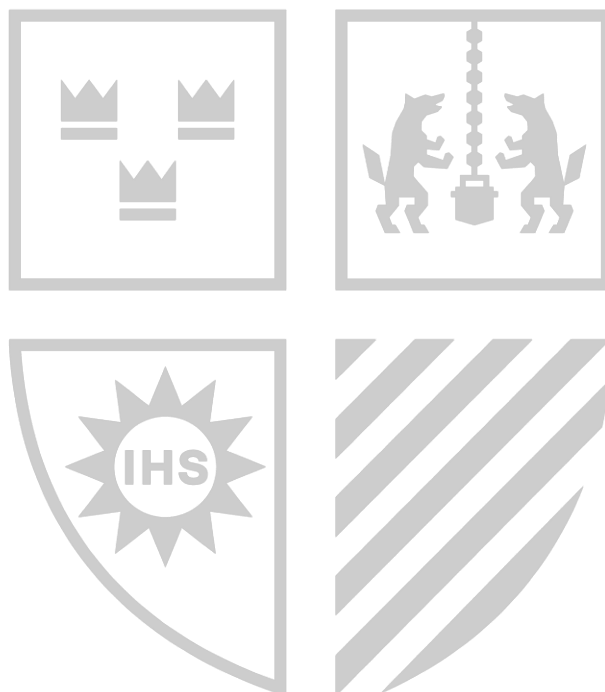
PERSONAL EJECUTANTE

N°	CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES	HORA INICIO	HORA FIN
1				
2				
3				
4				
5				

BACKLOG's ENCONTRADOS

1	
2	
3	

4	
5	
OBSERVACIONES (Coloque todas las observaciones adicionales, pendientes o sucesos ocurridos durante el mantenimiento)	



ANEXO N° 11: CARTILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 2000 HORAS

HOJA DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERFORADORA SKSS13/MD6420 CATERPILLAR

2000 HRS

OT

Datos del Equipo Código : _____ Descripción : _____	Realizado Fecha : ____/____/____ Horómetro : _____ Hora de Inicio del Servicio : _____ Hora de Fin del Servicio : _____
--	--



- TODO TRABAJO DE REPARACIÓN REQUIERE EL BLOQUEO DEL EQUIPO.
- TODO BLOQUEO ES INDIVIDUAL Y SE HACE EN LA LLAVE DE CORTE GENERAL DE ENERGÍA.

INSPECCIÓN DE FUGAS (Inspeccionar con el vehículo sin lavar)

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar si hay fugas de aceite en el motor.	
2	Inspeccionar el estado de los soportes de motor.	
3	Inspeccionar si hay fugas de combustible de motor.	
4	Inspeccionar si hay fugas de refrigerante en el motor.	
5	Inspeccionar si hay fugas de aceite por el reductor de giro y mangueras.	
6	Inspeccionar si hay fugas de aceite por los mandos finales.	
7	Inspeccionar si hay fugas en las líneas del sistema hidráulico.	
8	Fugas de aceite en cilindros hidráulicos.	

ANTES DE INICIAR EL SERVICIO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Trasladar el Equipo a una zona despejada para proceder a iniciar el servicio	
2	Realizar el cuaderno de operación segura en conjunto con todos los miembros del equipo que estarán involucrados en el mantenimiento	
3	Aliviar presiones del Sistema Hidráulico (pueden existir presiones residuales inmensas en el sistema hidráulico)	
4	Colocar los elementos de bloqueo (Lock Out - Candado de Bloqueo) por parte de todo el personal que va a intervenir en el mantenimiento.	
5	Entrevistar al operador a un lado de la maquina sobre los eventos o anomalías de la máquina que haya observado durante su operación para poder programar cualquier trabajo correctivo con anticipación	

EQUIPO DE SEGURIDAD		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar el soporte, estado y la carga del sistema AFEX	
2	Verificar la tarjeta del extintor.	
3	Verificar si el check list del operador se encuentra en la cabina.	

MUESTRAS SOS		
ITEM	Sistema	CHECK
1	Motor Diesel	
2	Compresor Aire	
3	Cabezal de Rotación	
4	Caja de Engranajes (PTO)	
5	Mandos Finales (x2)	
6	Sistema Hidráulico	
7	Winche	
8	Sistema de Enfriamiento	

PRUEBAS DEL EQUIPO			
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	Valor Esperado	Valor Tomado
1	Medir presión de controlador del compresor	125 PSI	
2	Medir presión piloto del controlador del compresor	50 PSI	
3	Medir presión mínima de la bomba de agua	150 PSI	
4	Medir presión de Aceite de Motor	67PSI@2200 RPM	
5	Medir presión de combustible	118PSI@2200 RPM	
6	Medir presión de refuerzo turbo	43.7 IN HG	
7	Medir presión del freno de traslado	5,000 PSI	
8	Medir presión de carga Bombas Principales	320 PSI	
9	Medir Presión máxima de pulldown	4000 PSI	
10	Medir la Presión máxima de alivio de rotación	4000 PSI	
11	Revisar las RPM del Ventilador	1400 rpm / Hyd <50°C	
12	Calibración de válvulas de motor diesel	Según Cartilla	

MOTOR		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar las abrazaderas y mangueras de radiador.	
2	Inspeccionar ajuste y condición de fajas (de ser necesario cambiarlo)	
3	Inspeccionar los cojinetes de polea tensora y cubo de ventilador.	
4	Inspeccionar abrazaderas y mangueras de admisión de aire.	
5	Inspeccionar fugas de gases de escape de motor.	
6	Inspeccionar soportes de motor.	
7	Inspeccionar estado de correas de alternador	
8	Limpiar precleaners de sistema de admisión	
9	Revisar nivel del refrigerante de motor.	
10	Verifique que el radiador se encuentre limpio y en buenas condiciones.	
11	Lavar / Limpiar respiraderos de motor.	
12	Limpiar el depósito del filtro separador de agua.	
13	Engrase de la polea del ventilador.	
14	Cambiar Filtro de Aceite de motor	
15	Cambio de Filtro de combustible	
16	Cambio de Filtro separador de agua	
17	Cambio de Filtro de aire primario motor	
18	Cambio de Filtro de aire secundario motor	
19	Cambio de Filtro acondicionador de refrigerante	
20	Cambio de Aceite de Motor	

CABEZAL DE ROTACION		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar los sellos del swivel, de ser necesario cambiar	
2	Realizar la precarga de los cabezales (0.002"-0.004")	
3	Revisión de los pads de desgaste en deslizadores	
4	Revisar el ajuste de los pernos de montaje	
5	Cambio de aceite de Cabezal de Rotación	
6	Cambio de Respiradero de cabezal de rotación	

COMPRESOR DE AIRE		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Cambio de Filtro de aire primario compresor	
2	Cambiar Filtro aire secundario de compresor	
3	Cambio de Elemento de aceite de compresor	
4	Probar la válvula de temperatura compresor	
5	Cambio de Elemento separador primario del compresor	
6	Cambio de Aceite de Compresor de Aire	

TREN DE RODAMIENTO Y CARRILERIA		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar tapones de mandos finales RH y LH	
2	Cambio de aceite de Mandos Finales	

3	Inspeccionar ajuste (tensado) de cadenas de rodamiento RH y LH (comba 250 a 30 mm)	
4	Inspeccionar estado y ajuste de guidores laterales de cadenas RH y LH.	
5	Inspeccionar estado de ruedas guía RH y LH.	
6	Llenar el formato de inspección Carrilería Anexo	

SISTEMA HIDRÁULICO & PTO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Despresurizar el sistema hidráulico por el respiro del tanque.	
2	Inspeccionar funcionamiento de bloqueo de seguridad del sistema hidráulico.	
3	Verificar nivel de aceite y estado del tanque aceite hidráulico	
4	Condición del enfriador de aceite hidráulico.	
5	Verificar el estado de las mangueras y abrazaderas del sistema hidráulico	
6	Verificar el estado de los motores de giro, ventilador y motores de traslación	
7	Verificar estado de control de válvulas principal	
8	Cambio de Elemento hidráulico de carga	
9	Cambio de aceite PTO	
10	Cambio de aceite Sistema Hidráulico	
11	Filtro de desfogue silencer	
12	Elemento hidráulico de retorno	
13	Elemento hidráulico de presión	
14	Elemento hidráulico del sistema ventiladores	
15	Respiradero de tanque hidráulico	
16	Respiradero de PTO	

CABLE DE PULLDOWN

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Revisar el estado de los cables de pulldown	
2	Revisar que cuenta con lubricación Permalubes	

WINCHE

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Cambio de aceite de Winche	
2	Inspeccionar el cable y gancho del winche	

SISTEMA DE INYECCION DE AGUA Y BARRIDO

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Limpiar el strainer de la bomba de agua	
2	Revisar el estado del coupling	
3	Engrasar el coupling	
4	Cambio de aceite de bomba de agua	
5	Cambio de aceite de unidad de bomba de aire barrido	

CHASIS

ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar Visual del Equipo para detectar fisuras	

2	Verificar las zonas descritas en el formato de inspección de soldadura anexo	
---	--	--

CABINA Y ACCESORIOS		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Verificar condición de parabrisas.	
2	Verificar condición de limpiaparabrisas.	
3	Verificar funcionamiento de acondicionador de aire.	
4	Condición de asientos y cinturón de seguridad.	
5	Peldaños y manijas.	
6	Funcionamiento/ajuste de pestillo y de cerradura de puerta.	
7	Examinar condiciones generales de cabina.	
8	Revisión de hermeticidad de cabina (Estado de jebes, estado de parabrisas, estado de chasis de cabina)	
9	Comprobar y limpiar el condensador.	
10	Compresor del aire acondicionado: comprobar la fijación.	
11	Cambio de Filtro de cabina	
12	Cambio de Filtro de Aire Acondicionado	

SISTEMA ELÉCTRICO		
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	CHECK
1	Inspeccionar interruptor principal del sistema eléctrico.	
2	Inspeccionar todas las luces, indicadoras, avance, intermitentes.	
3	Limpiar compartimiento de baterías.	
4	Inspeccionar terminales y soportes de baterías.	
5	Revisar nivel de electrolítico de batería.	
6	Limpiar conectores eléctricos.	
7	Verificar operatividad del claxon.	
8	Verificar funcionamiento de alarma de retroceso - 6 metros de radio de audición.	
9	Verificar nivel de agua de batería, si es que corresponde a una batería 'no libre de mantenimiento'.	
10	Verificar funcionamiento de luces del equipo, indicadores e instrumentos de cabina.	
11	Limpiar conectores eléctricos, VERIFICAR ESTADO DE FUSIBLES (si es necesario cambiar)	

SISTEMA DE LUBRICACION									
ITEM	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD								CHECK
1	Revisar funcionamiento del sistema de lubricación automático.								
2	Sistema de engrase: añadir grasa.								
3	Engrasar cojinetes de rotación (collarín de grasa).								
4	Comprobar el funcionamiento del sistema completo, de las bombas y del control.								
PERSONAL EJECUTANTE									
N°	CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES					HORA INICIO	HORA FIN	

1				
2				
3				
4				
5				
BACKLOG's ENCONTRADOS				
1				
2				
3				
4				
5				
OBSERVACIONES				
(Coloque todas las observaciones adicionales, pendientes o sucesos ocurridos durante el mantenimiento)				



ANEXO N° 12: CHECK LIST HABITUAL DE INSPECCIONES OPERADORES

CHECK LIST DE INSPECCIÓN PERFORADORA				
Código de Equipo:		Fecha:		
Horómetro:		Inspector:		
Duración:		Firma:		
NOTA:	Llenar la hoja de control de riesgos Comunicación contante con la supervisión de mantenimiento antes, durante y después de realizar la inspección en el equipo. Cumplir con el estándar de seguridad de bloqueo de equipos ante cualquier atención que se vaya a realizar. Usar ames de seguridad para la inspección que se requiera por encima de 1.8 metros. Cualquier trabajo menor a 10 minutos deberá ser reparado e informado al supervisor Comunicar al supervisor el momento en que se da operativo el equipo <i>Para el inicio de la inspección la perforadora deberá tener la torre parada y con el cabezal abajo</i>			
INSPECCIÓN CON MASTIL DE PERFORACIÓN PARADA CABEZAL ABAJO - PERSONAL EN PISO				
ITEM		DESCRIPCION	OK	PROBLEMA ENCONTRADO
1	1.1	Mangueras hidráulicas debajo de cabina		
	1.2	Escaleras y barandas de acceso		
	1.3	Gata nivelación lado cabina		
2	2.1	Estado de vidrios cabina		
	2.2	Cabina en buen estado		
3	3.1	Estado faldón y rod seal		
	3.2	Barandas		
	3.3	Base de carrusel (fisuras, juego, etc.)		
	3.4	Fisuras en deck seguro de barra		

4	4.1	Gata nivelación lado colector		
	4.2	Barandas lado colector		
	4.3	Tanque agua		
5	5.1	Bastidor tren de rodamientos lado colector		
	5.2	Cadena oruga lado colector		
	5.3	Rodillos superiores lado colector		
	5.4	Rodillos inferiores lado colector		
	5.5	Sprocket lado colector		
	5.6	Rueda gula lado colector		
6	6.1	Tanque aire		
	6.2	Fugas aceite		
	6.3	Nivel aceite compresor		
7	7.1	Gata nivelación trasera		
	7.2	Barandas		
8	8.1	Plataforma lado cabina		
	8.2	Barandas lado cabina		
	8.3	Fugas de refrigerante		
	8.4	Mangueras		
9	9.1	Bastidor tren de rodamientos lado cabina		
	9.2	Cadena oruga lado cabina		
	9.3	Rodillos superiores lado cabina		
	9.4	Rodillos inferiores lado cabina		
	9.5	Sprocket lado cabina		
	9.6	Rueda gula lado cabina		
INSPECCIÓN CON TORRE PERFORACIÓN PARADA CABEZAL ABAJO - PERSONAL EN PLATAFORMA MAQUINA				
ITEM		DESCRIPCION	OK	PROBLEMA ENCONTRADO
10	10.1	Jebes de puerta principal		
	10.2	Chapa puerta principal		
	10.3	Palancas de mandos		
	10.4	Control cable combas		
	10.5	Fugas aceite		
	10.6	Piso cabina		
	10.7	Tapiz techo y paredes		

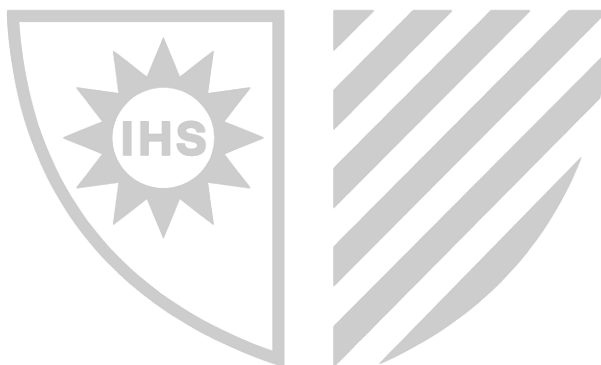
	10.8	Asiento operador (base, coderas, tapiz, etc.)		
	10.9	Jebes de puerta plataforma		
	10.1	Chapa puerta plataforma		
11	11.1	Plataforma perforación		
	11.2	Lora y grapas de winche		
	11.3	Freno carrusel		
	11.4	Parte inferior de carrusel		
	11.5	Mordaza - seguro de barra		
	11.6	Cilindro seguro de barra		
	11.7	Deck seguro de barra		
	11.8	Nivel aceite cabezal		
	11.9	Baquelitas lado colector		
	11.10	Reten inferior spindle		
	11.11	Fugas aceite parte superior de cabezal		
	11.12	Tuberías entrada aire/agua		
	11.13	Packing cabezal		
	11.14	Baquelitas lado cabina		
	11.15	Soporte mangueras rotación		
	11.16	Mangueras rotación		
	11.17	Cilindro llave cadena		
12	12.1	Cilindro levante torre		
	12.2	Pines cilindro levante		
	12.3	Mangueras debajo tanque hidráulico lado cabina		
	12.4	Válvula(s) diverter lado colector		
	12.5	Bomba principal lado cabina		
13	13.1	Cilindro levante torre lado colector		
	13.2	Pines cilindro levante lado colector		
	13.3	Mangueras debajo tanque hidráulico lado colector		
	13.4	Válvula(s) diverter lado colector		
	13.5	Bomba lado colector		
	13.6	Bomba avance lento		
	13.7	Caja reductora		
14	14.1	Fugas aceite motor parte delantera y lado colector		

	14.2	Fugas refrigerante motor parte delantera y lado colector		
	14.3	Nivel aceite motor		
	14.4	Líneas, mangueras, filtros, manómetros válvulas motor		
15	15.1	Fugas aceite compresor		
	15.2	Líneas, mangueras y filtros aceite compresor		
	15.3	Manguera 3" compresor		
	15.4	Válvula check compresor		
	15.5	Bomba lubricación compresor		
	15.6	Linkage UL-88		
	15.7	Sistema mariposa compresor (varillas, brazo etc)		
	15.8	Mangueras azules compresor		
	15.9	Válvula termostática compresor		
16	16.1	Fugas aceite motor parte trasera y lado cabina		
	16.2	Fugas refrigerante motor parte trasera y lado cabina		
	16.3	Nivel aceite compresor		
	16.4	Líneas, mangueras, filtros, manómetros válvulas motor		
INSPECCIÓN CON TORRE PERFORACIÓN HORIZONTAL - PERSONAL EN PLATAFORMA PERFORACIÓN				
ITEM	DESCRIPCION		OK	PROBLEMA ENCONTRADO
17	17.1	Tuberías hidráulicas motores rotación		
	17.2	Mangueras hidráulicas		
	17.3	Parte intermedia carrusel		
INSPECCION CON TORRE PERFORACION HORIZONTAL - PERSONAL EN PISO				
ITEM	DESCRIPCION		OK	PROBLEMA ENCONTRADO
18	18.1	Condición faros delanteros		
	18.2	Válvulas diverter		
	18.3	Fugas aceite hidráulico mangueras tanque hidráulico		
19	19.1	Sprocket superiores		
	19.2	Cadena holdback		
	19.3	Condición faros posteriores		
INSPECCIONES OPERATIVAS				
ITEM	DESCRIPCION		OK	PROBLEMA ENCONTRADO
20	20.1	Presión rotación		
	20.2	Presión avance		

	20.3	Presiones compresor aire (stand by, trabajo)		
	20.4	Reloj sistema seguridad (temperatura refrigerante, compresor)		
	20.5	Retención de barra		
	20.6	Retención de gatas (se contraen o caen)		
INSPECCIONES DE SEGURIDAD				
	ITEM	DESCRIPCION	OK	PROBLEMA ENCONTRADO
21	21.1	Estado de circulina		
	21.2	Estado de extintor		
	21.3	Estado de Luces		

OBSERVACIONES

.....
Supervisor de
Mantenimiento



Semana: _____
Desde: / / **- Hasta:** / /
Área: _____

[illegible]

CAPACITACIONES

[illegible]

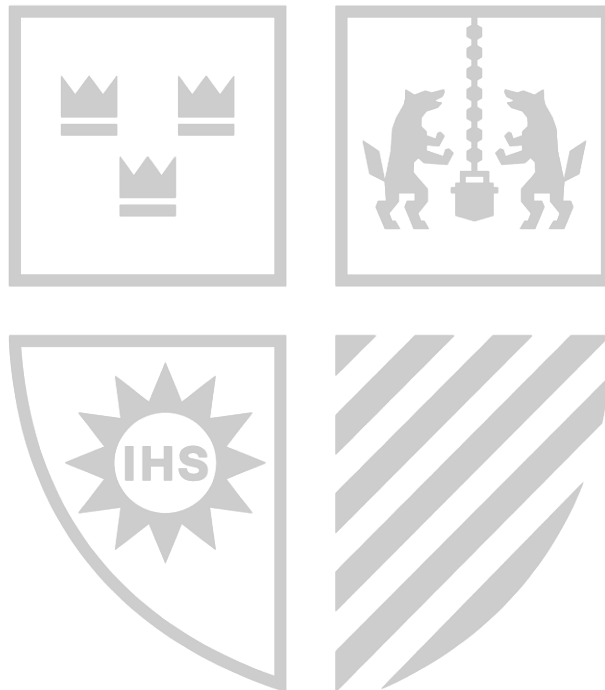
ANEXO N° 15: ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LA CAPACITACIÓN

[illegible]

ANEXO N° 16: REGISTRO DE BACKLOGS

FORMATO DE BACKLOG MANTENIMIENTO						
N° ORDEN DE TRABAJO		BL GENERADO				
DATOS GENERALES						
EQUIPO	HOROMETRO	PRIORIDAD (Lead Time)	ACCION	EVENTO / EJECUCION		
		EMERGENCIA - INOPERATIVO (3 - 4 días) NORMAL (15 - 24 días)	GARANTIA TALLER MANTTO ACCIDENTE	En PM1 En PM2 En PM3 En PM4	En Pre - PM Parada exclusiva/Correc.	EN SERIE EN PARALELO
DATOS DE LAS ACTIVIDADES						
ACTIVIDAD A REALIZAR	SISTEMA	SINTOMA / CAUSA		COMP. MAYOR	TIPO REPARACION	
		Sintoma: Causa:		--	GENERAL (CERO HORAS) PARCIAL	
CODIGO DE COMPONENTE	SUB SISTEMA			OBSERVACIONES / RECOMENDACIONES		
	ÚNICO DELANTERO DER. (RH) POSTERIOR IZQ. (LH)					
DATOS DE LOS RECURSOS						
TIEMPO ESTIMADO / LUGAR A REALIZAR		RECURSOS HUMANOS		EQUIPOS SOPORTE		
HORAS DÍAS	CAMPO TALLER MANTTO	MECÁNICO ELECTRICISTA SOLDADOR GRUERO RIGGER TOTAL:		GRÚA MAQUINA DE SOLDAR COMPRESORA LUMINARIA MONTACARGA HERRAMIENTAS / OTROS		
SOLICITUD DE PARTES						
ITEM	NUMERO PARTE	DESCRIPCION			CANT.	REF.
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
REFERENCIAS, FOTOS, ANEXOS						

APROBACIONES							
ELABORADO		V° B° SUPERVISOR MANTENIMIENTO		V° B° JEFATURA MANTENIMIENTO		RECEPCION	
Guardia	SOLICITADO POR :	Revisado (1) por:		Revisado (2) y autorizado por:		PLANEAMIENTO	
Fecha		Fecha		Fecha		Fecha	



ANEXO N° 17: IMAGEN DE SOFTWARE CMMS PARA MANTENIMIENTO (AMT)



My Functions

- Setup & Admin
- Strategic Optimization
- Longterm Planning
- Product Support Marketing
- Daily Planning
- Daily Operations
- Reporting & Analysis
- AMT IC
- Budgeting & Forecasting
- Knowledge Database
- MARC
- Part File
- Condition
- Modeling
- System Administration

Alexander Rivera (Server: HUANCAYO.STRACON.COM)



Proactive asset management

AMT 8.11.0

Last Software Update 18 February 2016

Licensed to STRACON GyM

Support Email: support@stracon.com

My Dashboard

	Availability - Last 48 Hours	Availability - Month To Date	Backlog Ratio	Annualized Usage - Last 48 Hours	Equipment Currently Down	MTTF After Pul	Reliability (MTBF) - Month To Date	Strategy Ratio - Overall	Annualized Usage - Month To Date
1. STRACON S.A. (PERU)	98.3%	98.3%	29	7,016	0.4%	82.9	9.467	71.6%	7,302
➤ 0002 LASAC	100.0%	100.0%	1	2,732	0.0%			89.3%	2,733
➤ 1001 CENTRAL DE EQUIPOS	97.6%	97.6%	16	3,342	1.0%			88.1%	3,842
➤ 1001.a EQUIPOS TERCEROS DESMONTADOS	100.0%	100.0%	60	711	0.1%			99.0%	760
➤ 1002-CIVIL-3002,CONSTANCIA CIVIL			4		0.0%			100.0%	
➤ 1002-MINA-0001,CONSTANCIA ALQUILER	100.0%	100.0%	4	2,401	2.4%			90.9%	2,401
➤ 1003-CIVIL-4002,SHAHUNDO CIVIL	100.0%	100.0%	4	3,993	0.0%			100.0%	3,993
➤ 1010-CIVIL-3010,TOROMOCHO			54	6,636	2.0%			98.3%	6,636
➤ 1012 Quellaveco Minado			9	6,300	0.0%			99.3%	6,300
➤ 1015 CONSTANCIA MINING			5		0.0%			0.0%	
➤ 1022 SHAHUNDO MINADO	100.0%	100.0%	6	5,411	0.1%			90.0%	5,370
➤ 1026 SHAHUNDO CONSTRUCCION DE PAGO y PHE			2		0.0%			0.0%	
➤ 1031 CANAL DE DERIVACION TS			1		4.0%			100.0%	
➤ 1727 TIRAJU CIVIL	100.0%	100.0%	4	3,931	0.4%			98.8%	3,931
➤ 1807 K148A MOV TIERRAS AREA PLANTA QUELLAVECO			6	2,586	1.4%			99.9%	2,586
➤ 2023 SHAHUNDO-PLANTA DE PROCESOS Y ENERGIA			1	6,760	0.0%			0.0%	6,760



ANEXO N° 18: FORMATO DE AMEF

Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Tipo de consecuencia				
				Oculto	Seguridad	Ambiente	Operacional	No Operacional
A								
B								

[illegible]

ANEXO N° 19: FORMATO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE RIESGOS

Función		Falla Funcional		Modo de Falla (Causa de la Falla)		Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	NPR
A									
B									

