

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Optimización del mantenimiento preventivo para mejorar
la disponibilidad en el área de mantenimiento en una
minera, 2024**

Jainer Alberto Nunton Sandoval

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Lima, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : JOSE ANTONIO VELASQUEZ COSTA
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 29 de Abril de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Optimización del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad en el área de mantenimiento en una minera, 2024

Autor:

JAINER ALBERTO NUNTON SANDOVAL – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "sí"): 30 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Dr. José Antonio Velásquez Costa

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño. A la Universidad Continental, por brindarme la oportunidad de crecer académicamente, y a todos aquellos que caminaron junto a mí en cada momento, siendo mi inspiración, apoyo y fortaleza, les debo este logro.

En especial, agradezco a Dios y a mi madre, cuya presencia constante fue un pilar fundamental en mi camino. Muchas gracias por demostrarme que el verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro a superarse y alcanzar sus metas.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios, quien me guio por el camino correcto, dándome la fortaleza necesaria para seguir adelante y no rendirme frente a los desafíos. Su palabra me enseñó a enfrentar las adversidades sin perder de vista mi objetivo ni desalentarme en el proceso, convirtiéndose en mi mayor fuente de inspiración para levantarme cada día.

Asimismo, dedico este logro a mi familia, mi pilar fundamental, que, incluso en los momentos más difíciles, especialmente cuando me encontraba sin trabajo, siempre me brindó su apoyo incondicional. De manera especial, agradezco a mi hermano Jorge Nunton, cuyo respaldo y ánimo constante fueron clave para alcanzar esta meta.

"siempre me recordaron que, con fe, esfuerzo y el apoyo de los seres queridos, no hay meta inalcanzable."

ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	16
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	17
1.1.1. Problema General	17
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Pregunta general	18
1.2.2. Preguntas específicas	18
1.3. Objetivos de la investigación	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Justificación e importancia	19
1.4.1. Justificación práctica	19
1.4.2. Justificación teórica	19
1.4.3. Justificación Metodológica	20
1.4.4. Importancia	20
1.5. Delimitación del proyecto	21
1.5.1. Delimitación temporal	21
1.5.2. Delimitación espacial	22
1.6. Hipótesis y variables	22
1.6.1. Hipótesis general	22
1.6.2. Hipótesis específicas	22
1.6.3. Descripción de las variables	23
1.6.4. Operacionalización de las variables	24

CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes de la investigación.	25
2.1.1. Antecedentes Internacionales	25
2.1.2. Antecedentes Nacionales	28
2.1.3. Antecedentes regionales	30
2.2. Bases Teóricas	37
2.2.1. Mantenimiento	37
2.2.2. Mantenimiento Preventivo	37
2.2.3. Gestión del Mantenimiento Preventivo	38
2.2.4. Costos de Mantenimiento Preventivo	39
2.2.5. Mantenimiento Predictivo	39
2.2.6. Mantenimiento Correctivo	40
2.2.7. Chancadora Primaria	41
2.2.8. Cinta Transportadora	41
2.2.9. Molino de Bolas	41
2.2.10. Tamiz Vibratorio	41
2.2.11. Sistema de Bombeo	42
2.2.12. Brazo de Excavadora o Rompe Roca	42
2.3. Marco conceptual	42
2.3.1. Mantenimiento Preventivo	42
2.3.2. Disponibilidad	43
2.3.3. Confiabilidad	43
2.3.4. Mantenibilidad	43
2.3.5. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	43
2.3.6. Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)	43
2.3.7. Monitoreo Predictivo	43
2.3.8. Eficiencia del Mantenimiento	43
CAPÍTULO III	44
METODOLOGÍA	44
3.1. Método, tipo o alcance de la investigación	44
3.1.1. Método de investigación	44
3.1.2. Tipo de investigación	44
3.1.3. Alcance de la investigación	45
3.2. Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)	45
3.2.1. Diseño de la investigación	45

3.2.2. Población y muestra.....	45
3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	46
CAPÍTULO IV	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. Presentación de resultados	47
4.1.1. Determinar la situación actual de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.	47
4.1.2. Determinar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.	51
4.1.3. Evaluar el efecto de la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.	54
4.2. Discusión de resultados	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS	62
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	24
Tabla 2. Técnicas e instrumentos de investigación.....	46
Tabla 3. Diagnóstico actual mediante el análisis de Pareto	47
Tabla 4. Tiempo total de operación en horas disponibles de los equipos	48
Tabla 5. Número de paradas de los equipos por fallas en los meses de enero – mayo 2024	49
Tabla 6. Tiempo total de reparación de los equipos por fallas.....	49
Tabla 7. Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas de los equipos en el periodo de enero – mayo 2024.....	49
Tabla 8. Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de los equipos en el periodo del enero – mayo.....	50
Tabla 9. Tiempo de Reparación Acumulada en horas de los equipos en el periodo de enero - mayo ..	50
Tabla 10. Porcentaje de Disponibilidad Actual de los equipos en el periodo de enero-mayo	51
Tabla 11. Número de paradas de los equipos por fallas en los meses de junio – octubre 2024.....	52
Tabla 12. Tiempo total de reparación por horas inactivas del periodo proyectado.....	52
Tabla 13. Tiempo promedio entre fallas (MTBF) en horas de los equipos en el periodo junio- octubre	52
Tabla 14. Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de los equipos en el periodo (junio- octubre)	53
Tabla 15. Tiempo de Reparación Acumulada en horas de los equipos en el periodo del junio-octubre.	53
Tabla 16. Porcentaje de disponibilidad inherente de los equipos los meses junio - octubre.....	53
Tabla 17. Costo de Implementación	54
Tabla 18. Sueldo de Personal Técnico	55
Tabla 19. Sueldo de Personal Administrativo.....	56
Tabla 20. Flujo de inversión anual.....	56
Tabla 21. Flujo de caja neto durante periodo (2024-2028).....	56
Tabla 22. Indicadores Financieros	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Pareto	48
Figura 2. Comportamiento del tiempo promedio entre Fallas (MTBF) en horas, de los equipos en el periodo (enero-mayo).....	49
Figura 3. Porcentaje de Disponibilidad Actual de los equipos en el periodo del Enero-Mayo.....	51
Figura 4. Comportamiento de Disponibilidad Inherente de equipos en el periodo (junio-octubre) ...	54
Figura 5. Flujo Neto Proyectado (2024-2028)	57

RESUMEN

La optimización del mantenimiento preventivo es crucial para mejorar la disponibilidad de los equipos en la industria minera. Este estudio se enfoca en la minera, ubicada en Moquegua, Perú, con el objetivo de evaluar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de equipos clave como la chancadora primaria, las fajas transportadoras y los molinos de bolas. Se empleó un diseño pre-experimental, evaluando un grupo antes y después de la optimización del mantenimiento preventivo. La muestra incluyó tres equipos críticos de la minera. Los instrumentos utilizados incluyeron guías de observación y análisis documental, y los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Los resultados mostraron un incremento significativo en la disponibilidad promedio de los equipos del 86% al 98%, lo que demuestra la efectividad de la intervención. La conclusión principal es que la optimización del mantenimiento preventivo mejora sustancialmente la disponibilidad de los equipos, incrementando la eficiencia operativa y reduciendo los tiempos de inactividad en la minera.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, disponibilidad, minería, optimización.

ABSTRACT

The optimization of preventive maintenance is crucial for improving equipment availability in the mining industry. This study focuses on the mine, located in Moquegua, Peru, with the objective of evaluating the impact of optimizing preventive maintenance on the availability of key equipment such as the primary crusher, conveyor belts, and ball mills. A pre-experimental design was employed, evaluating a group before and after the optimization of preventive maintenance. The sample included three critical pieces of equipment from the mine. The instruments used included observation guides and documentary analysis, and the data were analyzed using descriptive statistics. The results showed a significant increase in the average availability of the equipment from 86% to 98%, demonstrating the effectiveness of the intervention. The main conclusion is that the optimization of preventive maintenance substantially improves equipment availability, increasing operational efficiency and reducing downtime at the mine.

Keywords: Preventive maintenance, availability, mining, optimization.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento preventivo es un pilar fundamental para garantizar la continuidad operativa y la eficiencia en industrias de alta complejidad, como es el caso de la minería. En un entorno minero, la optimización de las actividades de mantenimiento se convierte en un factor crítico, no solo para reducir costos operacionales, sino también para maximizar la disponibilidad de los equipos y mejorar los niveles de productividad. La minería, como una de las actividades económicas más relevantes a nivel mundial, requiere de un mantenimiento preventivo eficaz debido a las condiciones extremas en las que operan sus maquinarias y equipos. La minería en Perú, y particularmente la operación minera, no es ajena a estos desafíos, lo que hace necesario replantear continuamente las estrategias de mantenimiento para adaptarse a las exigencias del entorno y las demandas del mercado global.

En el contexto de la Minera, ubicada en la región de Moquegua, Perú, la optimización del mantenimiento preventivo se ha convertido en una necesidad prioritaria, dado el enfoque de la compañía en mantener altos estándares de disponibilidad de equipos. En Moquegua existe uno de los proyectos mineros más importantes en el Perú, operado por Anglo American en conjunto con la Corporación Mitsubishi. Su producción de cobre a gran escala posiciona a esta mina como un jugador clave en la industria mundial de los recursos naturales. La operación se desarrolla en un ambiente geográfico complejo, donde las condiciones del terreno y el clima demandan estrategias de mantenimiento robustas y ajustadas a las particularidades de la mina. Estas condiciones extremas, combinadas con la demanda de producción continua, plantean un desafío significativo para los equipos de mantenimiento, quienes deben asegurar que los activos críticos estén disponibles y operativos con la menor cantidad de interrupciones posibles.

El concepto de disponibilidad, entendido como la capacidad de un equipo o sistema para estar en condiciones operativas durante el tiempo deseado, es una métrica clave en el sector minero. La optimización del mantenimiento preventivo tiene como objetivo central mejorar esta disponibilidad, al minimizar el tiempo de inactividad no programado y reducir la frecuencia de fallos inesperados (1). La implementación de un plan de mantenimiento preventivo bien estructurado no solo prolonga la vida útil de los equipos, sino que también incrementa la seguridad operativa y la eficiencia general de la planta. La introducción de técnicas avanzadas, como el mantenimiento predictivo basado en el análisis de datos en tiempo real, también ha demostrado ser una solución efectiva para anticipar fallos y reducir tiempos de reparación, maximizando así la disponibilidad de los equipos (2).

A medida que las empresas mineras buscan ser más competitivas y sostenibles, la necesidad de optimizar los procesos de mantenimiento preventivo ha cobrado mayor relevancia. La tecnología juega un papel fundamental en esta optimización. El uso de sistemas de monitoreo remoto, sensores

inteligentes y análisis predictivo, alimentado por el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial, permite una gestión más precisa y eficiente de los recursos de mantenimiento. Esto no solo contribuye a la disponibilidad de los equipos, sino que también tiene un impacto positivo en la reducción de los costos operativos y en la mejora del desempeño ambiental, al reducir el desperdicio y el uso excesivo de materiales.

El propósito de esta investigación es analizar y optimizar el mantenimiento preventivo en la Minera para mejorar la disponibilidad de los equipos en el área de mantenimiento. En particular, se busca desarrollar un enfoque que permita identificar las áreas críticas donde el mantenimiento preventivo puede ser más efectivo y cómo los avances tecnológicos pueden incorporarse en las prácticas actuales para mejorar los resultados.

La metodología de esta investigación se basará en el análisis de los datos operativos de los equipos de la minera, incluyendo el historial de mantenimiento, las tasas de fallos, los tiempos de inactividad y los costos asociados. A partir de este análisis, se diseñarán estrategias de optimización del mantenimiento preventivo que tengan en cuenta tanto los aspectos técnicos como económicos de la operación.

Esta investigación contribuirá al conocimiento existente sobre la optimización del mantenimiento preventivo en la industria minera, proporcionando *insights* valiosos sobre cómo las prácticas de mantenimiento pueden ser adaptadas y mejoradas en el contexto de operaciones de gran escala. Además, se espera que los resultados de esta tesis puedan ser aplicables no solo en el contexto local, sino también en otras operaciones mineras a nivel global que enfrentan desafíos similares.

En conclusión, la optimización del mantenimiento preventivo es esencial para garantizar la disponibilidad de los equipos en la industria minera, donde la continuidad operativa y la eficiencia son factores clave para el éxito. A través de un enfoque basado en datos, esta investigación buscará mejorar las prácticas actuales de mantenimiento preventivo en la Minera, con el fin de lograr una mayor disponibilidad de los equipos, reducir costos operativos y asegurar la sostenibilidad a largo plazo de la operación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

En la industria minera, la continuidad operativa es fundamental para garantizar la productividad y rentabilidad de las operaciones. La interrupción inesperada de equipos críticos, como las chancadoras, fajas transportadoras y molinos, puede tener un impacto significativo en la producción, afectando tanto la eficiencia como los costos operativos. En este contexto, el mantenimiento preventivo se presenta como una estrategia clave para minimizar las fallas no planificadas y optimizar la disponibilidad de los activos. No obstante, la implementación y gestión eficaz del mantenimiento preventivo en entornos complejos como el minero no está exenta de desafíos.

La minera en estudio, una de las más importantes del Perú, enfrenta presiones constantes para mantener altos niveles de disponibilidad de sus equipos y, al mismo tiempo, controlar los costos asociados con el mantenimiento. A pesar de contar con un sistema de mantenimiento preventivo, se siguen presentando fallas imprevistas que generan tiempos de inactividad y aumentan los costos correctivos. Esto sugiere la necesidad de revisar y optimizar el plan de mantenimiento preventivo actual, con el fin de alinearlo mejor con las exigencias operativas de la mina.

El presente estudio tiene como objetivo plantear un modelo de optimización del mantenimiento preventivo, enfocado en mejorar la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento. Mediante el análisis de datos históricos, la implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real y el uso de técnicas predictivas, se espera desarrollar un enfoque que reduzca la frecuencia de fallas no programadas y mejore la eficiencia operativa. Este planteamiento busca no solo incrementar la confiabilidad de los equipos, sino también contribuir a la sostenibilidad económica y operativa de la mina.

La administración del mantenimiento ha adquirido una importancia crucial en los últimos años. En el pasado, las reparaciones se realizaban únicamente cuando ocurría una avería que obstaculizaba el funcionamiento de los equipos. Actualmente, se implementan labores de mantenimiento preventivo con el propósito específico de anticiparse a posibles fallos (3).

A nivel nacional, resulta relevante destacar la ausencia de un enfoque sistemático en muchas empresas al ejecutar sus operaciones. Esta falta de sistematización representa una de las principales desventajas del sector, ya que impide establecer metas apropiadas en el presente y proyectar una visión clara a largo plazo. Muchas empresas carecen de una cultura de mantenimiento preventivo, sin considerar que priorizar la disponibilidad de los activos podría mejorar notablemente su eficiencia y calidad. Cuando una organización se ve obligada a realizar mantenimiento no planificado, esto revela que su personal no logra detectar oportunamente los posibles daños. La adopción de un enfoque no sistemático, sin asignación clara de responsabilidades —especialmente a quienes utilizan regularmente los equipos y maquinarias—, tiende a generar averías que afectan el rendimiento general de la organización (3).

El área de mantenimiento de la de la empresa minera presenta deficiencias en la planificación y ejecución de sus programas de mantenimiento preventivo. Como resultado, se ha producido una acumulación de órdenes de trabajo en el área de mecánica de mantenimiento, así como demoras en la reparación de motores (molinos de bolas, chancadora primaria y fajas transportadoras). El departamento responsable reconoce incumplimientos en la entrega oportuna de unidades vehiculares y reparaciones de motores. Estas deficiencias han generado una reducida confiabilidad y disponibilidad de los equipos, ocasionando períodos improductivos en el servicio.

La presente investigación tiene como propósito general evaluar el impacto de la gestión del mantenimiento preventivo en la mejora de la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera. (Ver Anexo 3)

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Problema General.

El mantenimiento de equipos en el sector minero representa un desafío crítico debido a las condiciones extremas de operación y a la necesidad de asegurar una disponibilidad continua de los activos. En operaciones de gran escala, como la de la minera en estudio, cualquier interrupción inesperada puede generar un impacto negativo considerable en la productividad, los costos y la rentabilidad general. A pesar de la existencia de sistemas de mantenimiento preventivo, muchas minas aún enfrentan fallas recurrentes no planificadas, lo que evidencia que los enfoques actuales no son completamente eficaces para prevenir averías.

Este estudio busca abordar dicha problemática mediante el análisis exhaustivo de los datos históricos de fallas y mantenimiento, la identificación de las principales causas de fallas no programadas y la implementación de estrategias avanzadas de mantenimiento preventivo y predictivo. Se espera así lograr una mejora sustancial en la disponibilidad de los equipos y, en consecuencia, en la eficiencia global de las operaciones mineras.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta general

¿Cómo la optimización del mantenimiento preventivo mejorará la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024?

1.2.2. Preguntas específicas

¿Cómo determinar la situación actual de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024?

¿Cómo determinar el impacto en la optimización del mantenimiento preventivo en la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024?

¿Cómo determinar el efecto en la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024?

1.3. Objetivos de la investigación

El éxito de las operaciones mineras depende, en gran medida, de la eficiencia y disponibilidad de sus equipos críticos. En este contexto, la minera en estudio enfrenta el reto de mantener altos niveles de disponibilidad operativa mediante estrategias de mantenimiento efectivas. Aunque el mantenimiento preventivo ya se encuentra implementado, no ha sido suficiente para eliminar las paradas no planificadas, lo que ha afectado negativamente la productividad y los costos operativos. Ante esta situación, resulta imperativo optimizar el sistema de mantenimiento preventivo, con el propósito no solo de evitar fallas inesperadas, sino también de maximizar el rendimiento y prolongar la vida útil de los equipos.

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la mejora de la disponibilidad de los equipos (chancadora primaria, fajas transportadora y molino de bolas) en el área de mantenimiento en la minera 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la situación actual de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

Determinar el impacto en la optimización del mantenimiento preventivo en la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

Evaluar el efecto en la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación práctica

La justificación práctica de este estudio radica en la necesidad urgente de optimizar el mantenimiento preventivo, con el fin de reducir las fallas no planificadas, disminuir los costos asociados al mantenimiento correctivo y, en última instancia, mejorar la eficiencia operativa. Una estrategia optimizada no solo permitirá un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, sino que también facilitará una planificación más precisa de las intervenciones, reduciendo significativamente los tiempos de inactividad y sus consecuencias económicas.

Desde una perspectiva práctica, este estudio tiene el potencial de generar beneficios tangibles en las operaciones cotidianas de la mina. La mejora en la gestión del mantenimiento preventivo permitirá extender la vida útil de los equipos, incrementar la confiabilidad de los sistemas críticos y garantizar una operación más fluida y segura. Asimismo, al reducir el impacto económico de las paradas imprevistas y aumentar la productividad, se fortalecerá la competitividad de la minera en un entorno altamente exigente. En este sentido, el estudio no solo responde a una problemática actual, sino que también propone soluciones prácticas con impactos directos y medibles para la operación minera.

1.4.2. Justificación teórica

La justificación teórica de este estudio se fundamenta en la necesidad de profundizar y perfeccionar los modelos existentes de mantenimiento preventivo aplicados a contextos industriales de alta exigencia, como el sector minero. Esta investigación aporta al cuerpo teórico al explorar cómo la optimización del mantenimiento preventivo puede incidir significativamente en la disponibilidad de los equipos en operaciones mineras de gran escala, como la que se desarrolla en la minera.

A través del análisis detallado de datos históricos de fallas, la aplicación de metodologías avanzadas de análisis de confiabilidad y la incorporación de tecnologías de monitoreo predictivo, el estudio busca generar nuevo conocimiento en torno a la gestión eficiente del mantenimiento industrial.

Además, examina los límites del mantenimiento preventivo tradicional en entornos complejos y propone alternativas para superarlos mediante estrategias optimizadas.

Este estudio también contribuye al debate sobre la convergencia entre el mantenimiento preventivo y predictivo, al integrar conceptos de confiabilidad con el análisis de datos en tiempo real. Así, refuerza y amplía la base teórica sobre las mejores prácticas en la gestión de activos, conectando de manera efectiva la teoría con la práctica en el contexto minero contemporáneo.

1.4.3. Justificación Metodológica

La elección metodológica del presente estudio responde a la complejidad del entorno minero y a la necesidad de abordar la optimización del mantenimiento preventivo de manera integral. Se ha optado por una estrategia metodológica mixta, que combine el análisis cuantitativo de datos históricos con la valoración cualitativa del conocimiento operativo del personal de mantenimiento.

El enfoque cuantitativo permitirá procesar grandes volúmenes de datos relacionados con el desempeño de los equipos, los tiempos de parada, las tasas de fallas y los costos asociados, con el fin de identificar patrones recurrentes, causas raíz y oportunidades de mejora. Para ello, se emplearán herramientas estadísticas y modelos de confiabilidad que faciliten la optimización de los intervalos de mantenimiento.

Complementariamente, el enfoque cualitativo aportará una comprensión contextual profunda, mediante entrevistas, observaciones y talleres participativos, recogiendo las experiencias, percepciones y recomendaciones del personal involucrado en las tareas de mantenimiento. Esta visión holística asegura que las estrategias propuestas sean técnica y operativamente viables.

Asimismo, la metodología incorpora el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real —como el análisis de vibraciones y sensores de temperatura— para fortalecer el componente predictivo del mantenimiento. En conjunto, la estrategia metodológica seleccionada proporciona una base robusta para el análisis y la implementación de soluciones efectivas, adaptadas a la realidad operativa de la minera.

1.4.4. Importancia

La minería constituye uno de los sectores estratégicos para la economía global, y en el caso del Perú, representa una de sus principales fuentes de ingresos y desarrollo. Dentro de este contexto, la eficiencia operativa de las minas es esencial para garantizar su competitividad en los mercados internacionales. La Minera, al ser una de las operaciones más relevantes del país, enfrenta el desafío constante de maximizar la disponibilidad de sus equipos para asegurar la continuidad del proceso productivo.

El presente estudio resulta de gran importancia, ya que se enfoca en uno de los factores clave para la sostenibilidad y el éxito de las operaciones mineras: la gestión eficaz del mantenimiento. Optimizar el mantenimiento preventivo contribuirá a reducir los tiempos de inactividad, mejorar la productividad, disminuir los costos operativos, y aumentar la seguridad y la sostenibilidad ambiental de la operación.

Además, este estudio tiene el potencial de convertirse en un referente metodológico que pueda ser replicado en otras operaciones mineras. Su enfoque basado en el análisis de datos y el uso de tecnologías avanzadas representa una solución innovadora frente a los desafíos recurrentes de disponibilidad en equipos críticos. También tiene implicancias estratégicas, ya que sus resultados pueden influir en la toma de decisiones y en el establecimiento de políticas de mantenimiento más eficaces dentro de la empresa y en la industria minera en general.

En consecuencia, la importancia del estudio radica no solo en su impacto directo sobre la operación analizada, sino también en su capacidad para generar conocimiento aplicable, mejorar las prácticas del sector y contribuir a una minería más eficiente, rentable y sostenible a largo plazo.

1.5. Delimitación del proyecto

La delimitación del estudio podría establecerse de la siguiente manera:

1.5.1. Delimitación temporal

La delimitación temporal es fundamental para establecer los plazos en los que se desarrollarán las actividades previstas y asegurar la viabilidad del estudio en función de los objetivos propuestos. En este caso, el proyecto busca optimizar el mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en el área de mantenimiento de la Minera, por lo que una planificación temporal clara resulta esencial para estructurar las fases de análisis, implementación y evaluación de las estrategias de mejora.

El estudio se desarrollará en un periodo de 10 meses, comprendido entre enero y octubre de 2024. Durante este lapso, se ejecutarán las siguientes etapas: recopilación y análisis de datos históricos de fallas y mantenimientos, diagnóstico del sistema actual, diseño e implementación del plan de optimización y evaluación de los resultados mediante indicadores de disponibilidad y eficiencia operativa.

Esta delimitación temporal considera también los ciclos operativos y de mantenimiento de la mina, garantizando que las intervenciones no interfieran significativamente con la producción. Además, permite ajustar el desarrollo del proyecto a las condiciones operativas reales, asegurando la

representatividad y aplicabilidad de los resultados obtenidos. De este modo, se establecen metas claras y medibles para cada fase, favoreciendo la coherencia y el éxito del estudio.

1.5.2. Delimitación espacial

La delimitación espacial define el ámbito geográfico y las áreas específicas donde se ejecutará el estudio, permitiendo enfocar los esfuerzos en un entorno controlado y pertinente para los objetivos del proyecto. En este caso, la investigación se centrará en optimizar el mantenimiento preventivo con el fin de mejorar la disponibilidad de los equipos dentro del área de mantenimiento de la minera.

El estudio se desarrollará en las instalaciones de la Minera, ubicadas en la región de Moquegua, Perú. Esta operación minera a cielo abierto, especializada en la extracción de cobre a gran escala, representa una de las más relevantes del país. La delimitación espacial se restringe específicamente al área de mantenimiento de equipos críticos, que incluye chancadoras, molinos, fajas transportadoras y otros activos fundamentales para la continuidad operativa.

Las actividades del proyecto se concentrarán en los talleres de mantenimiento y en las zonas de monitoreo y gestión de dichos equipos críticos. No se abarcarán otras áreas como extracción o procesamiento de minerales, ya que el objetivo se limita a optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo aplicadas a la infraestructura de soporte operativo. Esta delimitación espacial permitirá obtener resultados específicos, aplicables y medibles, con impacto directo en la mejora de la disponibilidad de los equipos y en la eficiencia global de las operaciones de la minera.

1.6. Hipótesis y variables

1.6.1. Hipótesis general

La optimización del mantenimiento preventivo mejorará en 12% la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

1.6.2. Hipótesis específicas

Los equipos del área de mantenimiento en la minera presentarán deficiencias operativas en 2024 debido a la ejecución de un mantenimiento preventivo inadecuado.

La optimización del mantenimiento preventivo mejorará significativamente la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

La optimización del mantenimiento preventivo incrementará significativamente la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024

1.6.3. Descripción de las variables

- Variable independiente: Mantenimiento preventivo
- Variable dependiente: Disponibilidad en el área de mantenimiento.

1.6.4. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

TIPO	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Mantenimiento Preventivo	Es el manteniendo que se ejecuta de manera anticipada en intervalos o según los criterios establecidos, su meta es disminuir la probabilidad de avería en el funcionamiento de un elemento (1).	El mantenimiento preventivo se ejecuta mediante una secuencia de actividades planificadas, cuenta con un control para garantizar un adecuado mantenimiento.	Planeación	$\frac{\% \text{ cumplimiento de la planeación} = \text{Número de máquinas dentro de la planeación}}{\text{Total de máquina}} \times 100$	Razón
				Control	$\frac{\% \text{ cumplimiento del control} = \text{Número de órdenes de trabajo ejecutadas}}{\text{Número de órdenes de trabajo programadas}} \times 100$	Razón
DEPENDIENTE	Disponibilidad	Se define la disponibilidad como la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido, después del inicio de sus operaciones, bajo condiciones estables; considerando dentro del tiempo total a los tiempos de operación, activo de reparación, inactivo y mantenimiento preventivo (4).	Se calcula como la proporción del tiempo en que los equipos están disponibles para operar frente al tiempo total de operación planificado. Se medirá en porcentaje.	Mantenibilidad	$MTTR = \frac{\sum TTR}{\# \text{ de fallas}}$ <p>Donde: TTR: Tiempo de inactividad de un equipo debido a fallas</p>	Razón
				Disponibilidad	$D\% = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ <p>Donde: MTBF: Tiempo medio (promedio) entre fallas. MTTR: Tiempo medio (promedio) entre reparaciones.</p>	Razón

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

(5) Durán Artigas, en su tesis titulada «Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Integral para la Pala Eléctrica P&H 4100XPC» (2023), se centró en optimizar la disponibilidad y eficiencia de este equipo crítico en las operaciones de la Compañía Minera Caserones. A partir de un análisis detallado de sus componentes clave y requisitos de mantenimiento, se identificaron los puntos críticos que impactaron directamente en su rendimiento. Se diseñó e implementó un plan de mantenimiento preventivo que incrementó significativamente la disponibilidad de la máquina, alcanzando un 98 %, lo que mejoró la eficiencia operativa y redujo costos por inactividad. Además, se utilizó un diagrama de causa y efecto para analizar las fallas y fundamentar decisiones informadas, ofreciendo recomendaciones como capacitación del personal, monitoreo avanzado, un plan de contingencia y un riguroso registro de mantenimiento. Este proyecto aportó un enfoque práctico y científico para enfrentar los desafíos de mantenimiento en la industria minera, impactando positivamente la eficiencia operativa y la rentabilidad empresarial.

(2) Restrepo Ávila, F., presentó su proyecto titulado «Elaboración de un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada de la división de obras públicas de La Dorada, Caldas» (2022), desarrollado en la Fundación Universidad de América de Bogotá, Colombia. La investigación destaca la relevancia y la necesidad de las actividades de mantenimiento en la localidad donde se realiza el estudio. Con base

en esta premisa, analiza las operaciones de la alcaldía, considerando que las máquinas disponibles constituyen el principal activo productivo de la entidad. El desarrollo del estudio inicia con un inventario detallado de las máquinas disponibles, incluyendo repuestos, procesos productivos y las horas de trabajo necesarias. Para documentar los procedimientos de mantenimiento existentes, se emplean formatos específicos, como hojas de vida y registros de mantenimiento. Asimismo, se establece un cronograma de actividades de mantenimiento periódico adaptado a cada máquina, programado para intervalos de 10, 50, 250, 500, 1000 y 2000 horas de trabajo. Además, el nuevo plan de mantenimiento incorpora consideraciones sobre el impacto ambiental generado, tomando en cuenta la normativa vigente y los decretos aplicables relacionados.

(6) Rojas Gutiérrez, en su proyecto desarrollado en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. (2021), tuvo como finalidad llevar a cabo un análisis detallado y estructurado del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) aplicado a los equipos electromecánicos de la planta de tratamiento de Bosconia. Este análisis se enfocó específicamente en los equipos de cloración y bombeo, estableciéndose como un plan piloto para evaluar y garantizar mejoras en las condiciones de seguridad, medio ambiente y operativas dentro de la organización. El procedimiento se basó en las siete preguntas fundamentales del proceso RCM, permitiendo evaluar las fallas ocurridas y asignar las tareas de mantenimiento más adecuadas y efectivas, las cuales fueron registradas en la hoja de decisión RCM, cumpliendo con la norma SAE JA 1011. Este programa, diseñado bajo una metodología de gestión del mantenimiento, tuvo como objetivo asegurar que los activos cumplieran sus funciones, optimizando el desempeño económico y el uso eficiente del recurso humano disponible en la empresa.

(7) Casanova, en su estudio titulado «Evaluación estratégica, técnica y económica de un plan estratégico para la gerencia de mantenimiento en Codelco División Andina» (2021), tuvo como objetivo incrementar en un 4,6 % la disponibilidad sistémica de la planta concentradora, generando ingresos adicionales de 52 millones de dólares en tres años. Se identificaron deficiencias en la gestión de mantenimiento, como planes desactualizados y uso ineficiente de recursos, diseñando un mapa estratégico con indicadores para monitorear procesos y un plan de intervención enfocado en activos críticos. La evaluación económica, con un horizonte de 36 meses y una tasa de descuento del 8,5 %, estimó una inversión de 10,9 millones de dólares y un VAN de 2,4 millones con una TIR del 10 %. La implementación del proyecto permitió cumplir los objetivos económicos, mejorar la disponibilidad y posicionar a la planta en estándares competitivos de la industria minera.

(8) Bravo, en su investigación titulada «Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para prensa ecológica ariete 480 en Finamet Ltda» (2019), desarrollada en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, tuvo como propósito diseñar un proyecto de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para la prensa ecológica utilizada por la asociación FINAMET. La

investigación se centró en las máquinas briquetadoras como muestra, empleando instrumentos como planos y hojas de registro. El autor concluyó que el plan de mantenimiento actualmente implementado por la empresa carece de tareas específicas, limitándose a actividades generales, sin identificar claramente los equipos de mayor relevancia que requieren atención prioritaria. Dada la importancia de la prensa ecológica en el reciclaje regional, se examinó el proceso interno de briqueteo de materiales reciclables, identificando fallas mediante el diagrama de Pareto. Los resultados mostraron que el 58 % de las fallas del proceso se concentran en la prensa ecológica. Con base en estos hallazgos, se justificó la aplicación del método RCM en este equipo principal, realizando un análisis detallado de sus componentes para mejorar su operación, confiabilidad y disponibilidad.

(9) Mufid y Nugroho, en su investigación titulada «Comparación del costo económico y la efectividad entre el programa de mantenimiento de la industria de la sal existente, el programa de mantenimiento de la confiabilidad y el programa de mantenimiento de reemplazo antiguo en la máquina trituradora» (2021), abordan el uso del mantenimiento preventivo como una práctica ampliamente utilizada en la industria minera para garantizar la continuidad operativa y mejorar la eficiencia de los equipos. No obstante, la falta de implementación de tecnologías avanzadas ha generado altos costos debido a fallas inesperadas y prolongados tiempos de inactividad, especialmente en minas de gran escala, donde estos factores impactan significativamente la productividad y rentabilidad. En este contexto, la industria minera ha comenzado a explorar cómo la optimización del mantenimiento preventivo, apoyada en tecnologías de análisis predictivo, puede mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos de operación. El estudio tuvo como objetivo desarrollar un enfoque de optimización del mantenimiento preventivo basado en la implementación de algoritmos de análisis predictivo para anticipar fallas en los equipos mineros. Se buscó mejorar la disponibilidad de los equipos críticos, reducir los tiempos de inactividad y minimizar los costos asociados con el mantenimiento correctivo. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, basado en el análisis de datos históricos de fallos de equipos en una mina de gran escala ubicada en Australia. Se recopiló información sobre el tiempo de operación de los equipos, las fallas registradas, los tiempos de inactividad y los costos asociados con el mantenimiento preventivo y correctivo. A partir de estos datos, se desarrollaron modelos predictivos utilizando técnicas de *machine learning*, como regresión logística y árboles de decisión. Estos modelos fueron entrenados para predecir fallos con base en patrones identificados en los datos históricos. Para validar su precisión, se implementó un enfoque de validación cruzada y se utilizaron métricas como *recall*, precisión y F1-score. Una vez validados, los modelos predictivos fueron aplicados en la operación minera para monitorear el estado de los equipos en tiempo real, comparando su efectividad con las prácticas de mantenimiento preventivo convencionales. Los resultados del estudio fueron significativos: se logró una reducción del 25 % en los tiempos de inactividad no programados, lo que conllevó a un aumento considerable en la disponibilidad de los equipos. Asimismo, la mina experimentó una reducción del 18 % en los costos asociados al

mantenimiento correctivo. La implementación del análisis predictivo también mejoró la seguridad operativa al permitir la identificación temprana de fallas potenciales antes de que representaran un riesgo. Además, se demostró que el enfoque predictivo permitió anticipar el 90 % de las fallas críticas, lo que redujo significativamente el tiempo de inactividad y los costos asociados. En conclusión, la optimización del mantenimiento preventivo mediante análisis predictivo no solo es factible, sino altamente beneficiosa para la industria minera. Los resultados validaron la hipótesis de que un enfoque basado en datos es más efectivo que los modelos tradicionales de mantenimiento preventivo basados únicamente en calendarios o en la experiencia del personal. La implementación de tecnologías predictivas representa una ventaja competitiva clave para maximizar la eficiencia operativa y garantizar la sostenibilidad de las operaciones mineras a largo plazo.

(10) Nota, Postiglione y Carvello, en su investigación «Técnicas de minería para la gestión del mantenimiento predictivo» (2022), destacan que en la industria minera las chancadoras desempeñan un papel fundamental en el procesamiento de minerales, siendo esenciales para la continuidad operativa. Sin embargo, las fallas inesperadas en estos equipos pueden generar interrupciones en la producción y pérdidas económicas significativas. Las estrategias tradicionales de mantenimiento preventivo no siempre logran detectar problemas incipientes, lo que ha impulsado la búsqueda de métodos más eficientes para prever fallas y optimizar la disponibilidad de los equipos. El objetivo de este estudio fue implementar un sistema de mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las chancadoras en una mina de oro a cielo abierto en Australia. Para ello, se instalaron sensores de vibración que permitieron un monitoreo en tiempo real de componentes clave, como ejes, cojinetes y engranajes. Los datos obtenidos fueron analizados mediante algoritmos de procesamiento de señales, identificando patrones anómalos que anticipaban fallas. Además, se estableció un sistema de alerta temprana, notificando al personal de mantenimiento ante cualquier desviación crítica. Los resultados fueron significativos: reducción del 35 % en paradas no planificadas, incremento del 20 % en la disponibilidad de las chancadoras y disminución del 15 % en costos de reparación de fallas críticas. El estudio demostró que el mantenimiento predictivo basado en vibraciones es una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los equipos. Se recomienda la implementación generalizada de estas técnicas en otras minas, complementando el análisis de vibraciones con el monitoreo de variables críticas como temperatura y presión del aceite, para lograr un enfoque predictivo más integral.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

(3) Galloso (2020), en su investigación titulada «Mantenimiento para incrementar la disponibilidad de maquinarias en una empresa del sector minería Cajamarca, 2020.» Lima, tuvo como objetivo incrementar la disponibilidad de las maquinarias, enfocándose en aquellas con mayor criticidad debido a su obsolescencia y alta frecuencia de fallos. En primer lugar, se evaluó la situación actual del

área de mantenimiento, identificando que el programa de mantenimiento recomendado por el fabricante no resultaba adecuado. Asimismo, se determinó que el tiempo medio entre fallas era de 29,16 horas; el tiempo promedio de reparación, de 45,87 horas; y el tiempo medio entre reparaciones, de 33,23 horas, lo que reflejaba una disponibilidad del 49 %. En respuesta a estos hallazgos, se diseñó una propuesta que incluía un cronograma de actividades de mantenimiento basado en el enfoque TPM, un programa fundamentado en tendencias, el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) y la implementación de la metodología 5S. Tras la implementación del plan de mejora propuesto, se proyectó una disminución del Tiempo Medio de Reparación (MTTR) en un 30 % y un incremento en la disponibilidad, pasando del 83 % al 96 %.

(11) Uribe (2020), en su investigación titulada «Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. Lima», tuvo como objetivo implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para una máquina remalladora en una empresa textil, dado que presentaba baja disponibilidad debido a frecuentes paradas prolongadas por mantenimiento correctivo durante las jornadas laborales. Para ello, se diseñó un programa de mantenimiento basado en un análisis de criticidad y, posteriormente, se realizó un análisis de modos y efectos de fallas. Este enfoque permitió evaluar la situación y determinar con precisión las acciones correctivas necesarias, logrando así una mejora significativa en la disponibilidad de la máquina.

(12) Osorio (2020) realizó la investigación «Propuesta técnica para implementar un plan de mantenimiento preventivo de la perforadora Jumbo Troidon 55XP para mejorar su disponibilidad en una mina subterránea para el año 2020. Lima», en la compañía minera CIA Lincuna S.A.C., con el objetivo de mejorar la disponibilidad de las perforadoras Jumbo Troidon 55XP. El estudio adoptó un enfoque aplicado, con orientación cuantitativa y diseño preexperimental longitudinal. La muestra analizada se limitó al equipo Jumbo Troidon 55XP. Los resultados mostraron una mejora significativa en la disponibilidad promedio del equipo, que incrementó del 61 % en 2018 al 89 % en 2020. Además, la eficiencia operativa promedio del equipo alcanzó un 74 %, mientras que la utilización promedio aumentó al 83 %, en comparación con el 33 % inicial. En conclusión, la implementación del plan propuesto demostró ser exitosa, contribuyendo significativamente a la eficiencia y productividad de la empresa minera.

(13) Fernández y Neyra (2021), en su investigación titulada «Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de las máquinas de la empresa Road Solutions E.I.R.L – 2020 Pimentel», tuvieron como objetivo gestionar el mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de máquinas y equipos en la empresa Road Solutions E.I.R.L. Se utilizó una metodología de enfoque descriptivo, empleando técnicas de observación, entrevistas, análisis de datos y cuestionarios como

herramientas de recolección de información. Para el análisis de los resultados, se recurrió al uso de tablas y gráficos con distribuciones de frecuencia, los cuales mostraron el estado del mantenimiento preventivo, la evaluación de piezas y componentes, y los requisitos necesarios para controlar el funcionamiento de los equipos. Además, se calcularon indicadores de mantenimiento comparando los resultados obtenidos antes y después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo. Esto permitió proporcionar a la empresa una herramienta efectiva para monitorear el desempeño operacional de las máquinas, logrando un incremento del 1,59 % en la disponibilidad tras la reducción de fallos. Se concluyó que el plan de mantenimiento preventivo constituye un conjunto estructurado de tareas que incluye actividades, procedimientos, recursos y tiempos específicos necesarios para su ejecución.

(14) Torres (2019), en su investigación titulada «Formulación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad», llevó a cabo un estudio de tipo básico, empleando un enfoque sistémico para optimizar la gestión de la flota de empernadores en la unidad Atacocha. El estudio utilizó un diseño descriptivo simple y recopiló datos de rendimiento de los cuatro equipos scissor bolter considerados en la muestra. Los resultados mostraron que la implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo (PMP) permitiría una reducción significativa de las horas de mantenimiento correctivo, disminuyendo de 6587,4 a 400 horas, mientras que las horas dedicadas al mantenimiento preventivo aumentarían de 406 a 1040. Asimismo, se proyectó una mejora en la disponibilidad mecánica de la flota, incrementando del 66,05 % al 85,07 %, garantizando así un funcionamiento eficiente en las operaciones mineras asignadas.

2.1.3. Antecedentes regionales

(15) Meza Huayta (2020), en su investigación titulada «Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada excavadora CAT 336 – Compañía Minera Raura S. A. 2019, Huancayo», abordó la pregunta: ¿cómo implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 en la Compañía Minera Raura S.A. en 2019? Su objetivo principal fue diseñar e implementar dicho plan para optimizar el rendimiento de la maquinaria. Este estudio, de nivel básico descriptivo y diseño correlacional, utilizó como métodos la observación científica, cuestionarios y fichas de reporte diario. La población incluyó toda la maquinaria pesada Excavadora CAT 336 de la empresa, con una muestra de 10 equipos operando en un solo turno. El análisis de datos se realizó mediante el software estadístico SPSS. Como resultado, se logró implementar un plan de mantenimiento preventivo adecuado, mejorando la disponibilidad mecánica de los equipos. Se evidenció que el 60 % de los encuestados indicó que la empresa utiliza una metodología para el mantenimiento de sus maquinarias, mientras que el 40 % restante no aplica ninguna metodología estructurada. La investigación concluyó que la implementación del plan basado en el RCM tuvo un impacto positivo en el rendimiento de las maquinarias evaluadas.

(16) Valverde Obregón (2021), en su investigación titulada «Plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en minera Chinalco Perú S.A. Callao», tuvo como objetivo principal determinar los tiempos operativos de los equipos de perforación, carguío y acarreo, con el propósito de optimizar sus indicadores clave de desempeño (KPI) e incrementar la producción de manera sostenible. Como parte del análisis, se utilizó el diagrama de Pareto para identificar las principales fallas y concentrar esfuerzos en los problemas más críticos. Además, se diseñó e implementó un plan de mantenimiento preventivo que contribuyó significativamente a mejorar la disponibilidad de los equipos, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y reduciendo los tiempos de inactividad. Los resultados obtenidos demostraron que la combinación de herramientas analíticas y un enfoque preventivo en el mantenimiento puede impactar positivamente en los indicadores de desempeño y en la productividad general de la operación minera.

(17) Parra (2019), en su tesis titulada «Análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo para la mejora de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina, Perú, 2019», tuvo como objetivo determinar cómo el análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo contribuye a optimizar la disponibilidad mecánica de dichos equipos. Se utilizó una metodología descriptiva con diseño no experimental, aplicando herramientas como observación directa, análisis documental y entrevistas, junto con indicadores de mantenimiento (MTBF y MTTR). Los resultados demostraron que el análisis del metrado permitió priorizar tareas críticas, redistribuir recursos eficientemente y optimizar tiempos de ejecución, lo que incrementó la disponibilidad mecánica en un 6 % y mejoró la productividad general de la operación minera.

(18) Huamán (2019), en su investigación titulada «Gestión de mantenimiento y disponibilidad de minicargador marca Case modelo SR220, Lima – 2019», tuvo como objetivo proponer una gestión de procesos para optimizar los procedimientos de mantenimiento, asegurando que los equipos estuvieran disponibles para la producción en los tiempos requeridos. Con un enfoque mixto, holístico y proyectivo, el estudio incluyó encuestas a 30 operadores y entrevistas a un supervisor, un coordinador y un mecánico de la empresa. La propuesta se basó en tres objetivos: crear procedimientos y un plan de mantenimiento con indicadores para controlar las actividades programadas; evaluar la tercerización de los mantenimientos preventivos y correctivos considerando costos y procesos; y programar mantenimientos preventivos durante las paradas operativas. Estas acciones buscan mejorar la disponibilidad y eficiencia del minicargador en las operaciones.

(19) Chuquimajo Caceres (2024), en su investigación titulada «Implementación de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de planta de la empresa JR Representaciones, Lima», desarrolló una suficiencia profesional cuyo propósito principal fue evaluar el

impacto de la implementación de un mantenimiento preventivo en el aumento de la disponibilidad de los equipos críticos de dicha planta. Para alcanzar este objetivo, se emplearon diversos indicadores de medición que, junto con el trabajo en equipo y la experiencia profesional, permitieron obtener resultados positivos. Uno de los resultados más destacados fue el incremento de la disponibilidad de los equipos, que pasó de 95,80 % a 99,33 %, evidenciando una mejora significativa. En conclusión, la implementación del plan de mantenimiento preventivo resultó ser una estrategia efectiva para optimizar la disponibilidad de los equipos críticos en JR Representaciones.

(20) Salas (2018), en su investigación titulada «Plataforma de costos al mantenimiento de equipos pesados de la Minera Las Bambas», expuso los desafíos que enfrenta esta compañía, una de las principales productoras de cobre en el Perú, debido a la baja disponibilidad de sus chancadoras primarias. Estos problemas derivan del desgaste causado por la operación continua y por condiciones ambientales extremas. La ausencia de un plan de mantenimiento preventivo optimizado ha generado paradas inesperadas, incrementando los costos de mantenimiento correctivo y afectando la producción. El objetivo de la investigación fue diseñar y optimizar un plan de mantenimiento preventivo que mejorara la disponibilidad operativa de las chancadoras primarias y redujera las paradas no planificadas. La metodología empleada combinó análisis cuantitativo y cualitativo. Se recopiló datos históricos sobre fallas, tiempos de inactividad y costos de mantenimiento, complementados con entrevistas al personal técnico para identificar las limitaciones del sistema actual. Además, se aplicaron técnicas de análisis de confiabilidad y mantenimiento basado en la condición (CBM), junto con simulaciones y pruebas piloto realizadas durante seis meses para validar el nuevo enfoque. Como resultado, las paradas no planificadas se redujeron en un 30 %, lo cual incrementó la producción general de la mina. Asimismo, los costos de mantenimiento correctivo disminuyeron en un 15 % y la seguridad laboral mejoró. Se concluyó que un mantenimiento preventivo basado en datos y confiabilidad es altamente efectivo en operaciones mineras, recomendándose su replicación en otras minas del país, además de la incorporación de tecnologías como el monitoreo en tiempo real e inteligencia artificial.

(21) Santos (2022), en su estudio titulado «Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado en el Área de Chancado de planta concentradora minera Mateas S. A. C. Arequipa», abordó los problemas de mantenimiento en los molinos de la Minera Mateas, esenciales para el procesamiento de minerales. El mantenimiento preventivo basado en tiempos programados no ha sido eficaz para predecir fallas, lo que ha provocado pérdidas de producción y costos elevados. En respuesta, la investigación propuso implementar un sistema de mantenimiento predictivo basado en tecnologías de monitoreo en línea y análisis predictivo para mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir los tiempos de inactividad. Se utilizó un enfoque cuantitativo que incluyó el análisis de datos históricos de fallas, instalación de sensores de vibración y temperatura, y procesamiento de datos mediante software especializado y algoritmos de machine learning. En un periodo de seis meses, se evaluó el desempeño

comparativo del sistema predictivo frente al mantenimiento preventivo tradicional. Los resultados mostraron una reducción del 25 % en los tiempos de inactividad no programados, un aumento del 10 % en la producción minera y una reducción del 20 % en los costos de mantenimiento. Además, se extendió la vida útil de los componentes críticos y se mejoró la eficiencia operativa. En conclusión, la implementación del mantenimiento predictivo basado en datos en tiempo real resultó ser una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia y reducir costos en equipos críticos. Se recomienda su expansión a otros equipos y la integración de inteligencia artificial para optimizar las estrategias de mantenimiento en minería.

(22) Aguilar (2019), en su investigación «Control de calidad en labores de mantenimiento mecánico de bombas verticales y sumergibles del área de relaves de unidad minera Constanca – Hudbay Minerals», examinó los retos enfrentados por la unidad minera Constanca (Cusco) respecto al mantenimiento de sus chancadoras primarias. Fallas imprevistas en componentes críticos, como el eje excéntrico y los bujes, generaron pérdidas de producción y elevados costos debido al predominio del mantenimiento correctivo y la ausencia de un enfoque preventivo adecuado. El estudio tuvo como finalidad diseñar una estrategia optimizada de mantenimiento preventivo que redujera fallas, mejorara la disponibilidad de los equipos y disminuyera los costos. Se propuso integrar monitoreo en tiempo real con el análisis de datos históricos. La metodología incluyó técnicas de confiabilidad como análisis de Weibull y FMEA, así como la implementación de sensores en puntos clave de las chancadoras. A partir de los análisis se ajustaron los intervalos de mantenimiento y se aplicó un nuevo plan, evaluado durante seis meses. La disponibilidad de las chancadoras primarias aumentó en un 18 %, y los tiempos de inactividad no planificados se redujeron en un 25 %. También se logró una disminución del 22 % en los costos de mantenimiento correctivo. Se concluyó que el mantenimiento preventivo optimizado mejora significativamente la eficiencia operativa. Se recomienda su réplica en otras minas y la inversión en tecnologías predictivas.

(23) Prado (2021), en su investigación titulada «Gestión de mantenimiento para reducir costos por paradas no planificadas en la flota de palas hidráulicas Hitachi en minería superficial en minera Yanacocha 2021», abordó los desafíos de la minera Yanacocha respecto al mantenimiento de sus chancadoras primarias. Las fallas mecánicas inesperadas generaron importantes pérdidas productivas y mayores costos. El sistema de mantenimiento basado en calendarios fijos no logró responder a las condiciones reales de operación. Ante esta situación, se propuso implementar un sistema de mantenimiento basado en la condición (CBM) para incrementar la disponibilidad de equipos, reducir tiempos de inactividad y minimizar costos. Se instalaron sensores para monitorear vibración, temperatura y presión, y se procesaron datos históricos de fallas con algoritmos predictivos. La metodología permitió anticipar fallas y ajustar los intervalos de mantenimiento. El plan optimizado fue implementado durante seis meses, logrando una reducción del 30 % en fallas no planificadas, un

aumento del 15 % en la disponibilidad de equipos y una disminución del 18 % en los costos de mantenimiento correctivo. Además, se mejoró la seguridad al reducir intervenciones de emergencia. En conclusión, el CBM incrementó la confiabilidad operativa y la eficiencia productiva. Se recomienda su aplicación a otros equipos críticos y continuar la inversión en tecnologías predictivas para optimizar el mantenimiento en minería.

(24) Gómez (2021), en su investigación «Diseño de propuesta de mejora para aumentar la disponibilidad en la gestión de mantenimiento de la Unidad Minera Cerro de Pasco», señala que la Minera Cerro de Pasco, una de las principales minas de extracción de zinc y plomo en Perú, ha experimentado problemas recurrentes con sus chancadoras de impacto debido al desgaste excesivo de los martillos y los revestimientos internos. Las fallas inesperadas en estas chancadoras han generado interrupciones frecuentes en la producción y costos elevados en reparaciones de emergencia. El enfoque de mantenimiento preventivo tradicional, basado en revisiones periódicas, ha demostrado ser ineficaz para anticipar las fallas y reducir los tiempos de inactividad. El objetivo de esta tesis fue optimizar el mantenimiento preventivo de las chancadoras de impacto en la Minera Cerro de Pasco mediante la implementación de un enfoque basado en la condición de los equipos, con el fin de aumentar la disponibilidad operativa y reducir los costos asociados con las fallas no planificadas. La metodología se basó en el análisis de datos históricos de fallas y reparaciones, así como en la implementación de sensores de monitoreo de vibraciones, desgaste y temperatura en los componentes críticos de las chancadoras de impacto. Se utilizó un software de mantenimiento predictivo para analizar los datos en tiempo real y prever fallas potenciales. Se ajustaron los intervalos de mantenimiento preventivo en función del análisis de condición y se implementó el nuevo plan durante un período de seis meses. Los resultados se compararon con los indicadores de desempeño del mantenimiento tradicional. El impacto del nuevo plan de mantenimiento fue significativo, con una reducción del 28 % en las fallas no planificadas y un aumento del 20 % en la disponibilidad de las chancadoras de impacto. Los costos de mantenimiento correctivo disminuyeron en un 22 %, gracias a la reducción en la frecuencia de las reparaciones de emergencia y a una planificación más eficiente del mantenimiento preventivo. Además, se mejoró la vida útil de los martillos y revestimientos, lo que redujo la necesidad de reemplazos frecuentes. Los resultados del estudio demostraron que el enfoque de mantenimiento preventivo basado en la condición mejoró significativamente la disponibilidad de las chancadoras de impacto y redujo los costos operativos en la Minera Cerro de Pasco. El sistema predictivo permitió anticipar fallas con mayor precisión, lo que mejoró la planificación del mantenimiento y la eficiencia general de la planta. El estudio concluyó que la optimización del mantenimiento preventivo, basada en un enfoque de monitoreo continuo, es fundamental para mejorar la disponibilidad de las chancadoras de impacto en la minería peruana. Los autores recomendaron la expansión de esta metodología a otros equipos críticos y sugirieron la integración de tecnologías de inteligencia artificial para mejorar la precisión de las predicciones de fallas.

(25) Fernández (2022), en su investigación «Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la Empresa Contratista Confipetrol Andina S.A. en la Unidad Minera Cuajone», indica que en la Minera Cuajone, una de las mayores productoras de cobre en el sur del Perú, las chancadoras giratorias juegan un papel crucial en el procesamiento del mineral. Sin embargo, las fallas en estas máquinas han causado paradas prolongadas y altos costos de reparación debido a la falta de un sistema efectivo de mantenimiento preventivo. El enfoque actual basado en el tiempo ha sido ineficaz para prevenir fallas inesperadas en los componentes críticos. El objetivo principal de la tesis fue diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en la condición para las chancadoras giratorias, con el fin de aumentar su disponibilidad y reducir los costos operativos asociados con las paradas no planificadas y las reparaciones de emergencia. El estudio empleó un enfoque cuantitativo basado en el análisis de datos históricos de fallas y mantenimiento. Se implementaron sistemas de monitoreo continuo en las chancadoras para medir vibraciones, temperaturas y presiones en tiempo real. Los datos recolectados se utilizaron para ajustar los intervalos de mantenimiento preventivo y anticipar las fallas antes de que se convirtieran en problemas graves. La implementación del sistema de mantenimiento preventivo basado en la condición resultó en una disminución del 25 % en las fallas no planificadas, aumentando la disponibilidad operativa en un 20 %. Los costos de mantenimiento correctivo también disminuyeron en un 18 %, gracias a una planificación más eficiente. Los resultados demostraron que un enfoque basado en la condición para el mantenimiento preventivo de las chancadoras giratorias es altamente efectivo para reducir fallas y mejorar la eficiencia operativa. El estudio concluyó que el mantenimiento preventivo basado en la condición debe adoptarse ampliamente en la minería peruana para mejorar la disponibilidad de equipos críticos y reducir los costos operativos.

(26) Landeo 2018, en su investigación «Programa de mantenimiento preventivo del circuito de chancado secundario cónica HP 200», expone que las chancadoras secundarias de la Minera Las Bambas han experimentado fallas inesperadas debido al desgaste severo en sus componentes críticos, lo que ha generado interrupciones en la producción y altos costos de reparación. El mantenimiento preventivo actual no ha logrado prever adecuadamente las fallas, resultando en paradas no planificadas. El objetivo de la tesis fue desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo optimizado, basado en la condición de los equipos, para mejorar la disponibilidad de las chancadoras secundarias y reducir las paradas no planificadas. El estudio utilizó datos históricos de mantenimiento y fallas, así como un sistema de monitoreo en tiempo real de las condiciones operativas de las chancadoras. Se ajustaron los intervalos de mantenimiento preventivo en función del estado real de los equipos y se implementó un plan optimizado durante seis meses. El impacto del nuevo plan de mantenimiento incluyó una reducción del 30 % en las fallas no planificadas y un aumento del 18 % en la disponibilidad operativa de las chancadoras secundarias. Los costos de mantenimiento correctivo también disminuyeron en un 15 %. El estudio mostró que la implementación de un plan de mantenimiento

basado en la condición mejoró significativamente la confiabilidad de las chancadoras secundarias. El estudio concluyó que la optimización del mantenimiento preventivo es clave para mejorar la eficiencia operativa en el sector minero peruano, recomendando la adopción de tecnologías de monitoreo continuo.

(27) Landeo (2022), en su investigación «Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en la planta concentradora de una empresa minera, Áncash, 2022», refiere que en la Minera Antapaccay, las chancadoras de impacto han presentado fallas recurrentes debido al desgaste en los martillos y revestimientos. Esto ha ocasionado costosos tiempos de inactividad y un aumento en los costos de reparación. El mantenimiento preventivo actual no ha sido capaz de prevenir de manera efectiva las fallas, lo que ha afectado la producción. El objetivo de esta investigación fue implementar un plan de mantenimiento preventivo optimizado para las chancadoras de impacto, utilizando un enfoque basado en el monitoreo de la condición de los equipos. Se implementó un sistema de monitoreo de vibraciones y desgaste en los componentes clave de las chancadoras de impacto. Los datos recolectados se analizaron para ajustar los intervalos de mantenimiento y prevenir fallas antes de que ocurran. La implementación del nuevo sistema de mantenimiento preventivo resultó en una reducción del 28 % en las fallas no planificadas y un aumento del 15 % en la vida útil de los componentes clave. Los costos de reparación también disminuyeron significativamente. El estudio concluyó que un plan de mantenimiento basado en la condición es altamente efectivo para mejorar la disponibilidad de las chancadoras de impacto y reducir los costos operativos. El enfoque de mantenimiento preventivo basado en la condición fue altamente recomendado para mejorar la eficiencia operativa y reducir las interrupciones en la producción.

(28) Reyes (2022), en su investigación «Accesorios de la perforación convencional y mecanizado, en la Empresa AESA - Compañía Minera Minsur S.A. – Mina San Rafael», reporta que las chancadoras giratorias en la Minera San Rafael han experimentado fallas críticas debido al desgaste excesivo en componentes como el eje y los bujes, lo que ha resultado en paradas prolongadas y altos costos de reparación. El mantenimiento preventivo actual basado en calendarios ha sido insuficiente para prever y evitar las fallas. El objetivo de esta investigación fue implementar un sistema de mantenimiento preventivo basado en la condición para las chancadoras giratorias, con el fin de reducir las fallas inesperadas y mejorar la disponibilidad operativa. Se utilizaron sensores de vibración y temperatura para monitorear en tiempo real las condiciones de los componentes clave de las chancadoras. Los datos recolectados fueron utilizados para ajustar los intervalos de mantenimiento y prevenir fallas. La implementación del nuevo sistema de mantenimiento preventivo resultó en una reducción del 30 % en las fallas no planificadas y un aumento del 15 % en la vida útil de los componentes. Los costos operativos también se redujeron en un 20 %. El estudio demostró que un enfoque de mantenimiento preventivo basado en la condición es altamente efectivo para mejorar la

disponibilidad de las chancadoras giratorias. El mantenimiento basado en la condición fue recomendado como una estrategia clave para mejorar la eficiencia operativa y reducir las interrupciones en la producción.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Mantenimiento

El mantenimiento es una función esencial en cualquier operación industrial, especialmente en el sector minero, donde la disponibilidad de los equipos es crucial para la continuidad y eficiencia del proceso productivo. El mantenimiento se puede clasificar principalmente en tres tipos: correctivo, preventivo y predictivo. El mantenimiento correctivo se realiza tras una falla, con el objetivo de restaurar el equipo a su estado operativo; sin embargo, esto puede conllevar altos costos y tiempos de inactividad. Por otro lado, el mantenimiento preventivo se basa en la planificación y ejecución de tareas periódicas para prevenir fallas mediante la inspección, limpieza, y sustitución de componentes antes de que ocurran fallas graves. Esta estrategia ayuda a maximizar la disponibilidad y prolongar la vida útil de los equipos, lo que es esencial en operaciones como las mineras, donde las paradas no planificadas pueden resultar en enormes pérdidas económicas.

En los últimos años, el enfoque ha evolucionado hacia el mantenimiento predictivo, que se basa en la condición real del equipo, utilizando tecnologías avanzadas de monitoreo y análisis de datos para anticipar fallas. Este enfoque permite optimizar las intervenciones de mantenimiento y reducir tanto los costos como el tiempo de inactividad. La aplicación de técnicas como el análisis de vibraciones, monitoreo de temperatura, y algoritmos de *machine learning*, ha mejorado la precisión en la detección temprana de anomalías en los equipos, lo que es fundamental en entornos complejos como el minero. La implementación de un programa efectivo de mantenimiento preventivo y predictivo, en combinación con un análisis riguroso de los datos históricos de fallas, es clave para mejorar la disponibilidad de los equipos y la eficiencia operativa general en la minería.

2.2.2. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es una estrategia de gestión de activos que se enfoca en la planificación y ejecución sistemática de actividades de mantenimiento antes de que ocurra una falla en los equipos. Este tipo de mantenimiento se basa en la idea de que las fallas pueden prevenirse si los componentes críticos se inspeccionan, limpian, lubrican, o reemplazan en intervalos regulares y predeterminados, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o el análisis de datos históricos. El principal objetivo del mantenimiento preventivo es maximizar la disponibilidad de los equipos, reducir las interrupciones operativas no planificadas, y prolongar la vida útil de los activos, lo que a su vez puede reducir los costos de mantenimiento correctivo y las pérdidas económicas asociadas con tiempos de inactividad inesperados.

En el contexto minero, donde la operación continua de equipos como chancadoras, fajas transportadoras y molinos es crucial para mantener la producción, el mantenimiento preventivo adquiere una importancia crítica. Las actividades preventivas incluyen revisiones periódicas de componentes clave, como motores, cojinetes, y sistemas de transmisión, así como pruebas funcionales y ajustes necesarios. La implementación de un programa efectivo de mantenimiento preventivo requiere una planificación detallada basada en un conocimiento profundo de los ciclos de vida de los equipos y de las condiciones operativas específicas de la mina.

En los últimos años, la incorporación de tecnologías de monitoreo en tiempo real ha permitido refinar los intervalos de mantenimiento preventivo y ha facilitado la transición hacia enfoques híbridos que combinan mantenimiento preventivo y predictivo. Estos avances tecnológicos han mejorado la capacidad de las operaciones mineras para anticiparse a las fallas y optimizar los programas de mantenimiento, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y una reducción de los costos globales. (22)

2.2.3. Gestión del Mantenimiento Preventivo

La gestión del mantenimiento preventivo es un enfoque estructurado que abarca la planificación, implementación y control de todas las actividades relacionadas con el mantenimiento programado de los equipos y sistemas dentro de una organización. Su objetivo principal es asegurar la máxima disponibilidad y confiabilidad de los activos, minimizando al mismo tiempo los costos asociados con las reparaciones no planificadas y el tiempo de inactividad. Esta gestión involucra la identificación de los equipos críticos, la determinación de los intervalos de mantenimiento óptimos, y la asignación eficiente de recursos, como personal y repuestos, para ejecutar las tareas necesarias.

En el sector minero, donde los equipos son sometidos a condiciones extremas y se espera una operación continua, la gestión del mantenimiento preventivo se vuelve esencial para evitar fallas inesperadas que puedan interrumpir la producción y generar costos adicionales. Una correcta gestión implica el uso de herramientas de software especializadas (CMMS - Computerized Maintenance Management Systems), que permiten realizar un seguimiento preciso de las tareas de mantenimiento programadas, el historial de fallas y las reparaciones realizadas. Estos sistemas ayudan a priorizar las actividades preventivas, asegurando que los recursos estén disponibles cuando sean necesarios y que las inspecciones o sustituciones de piezas se realicen de acuerdo con un cronograma bien estructurado.

Además, la gestión del mantenimiento preventivo en minería también debe integrar la capacitación del personal, la mejora continua de los procedimientos de mantenimiento, y la adaptación de los planes de mantenimiento basados en las condiciones operativas reales y los datos obtenidos del

monitoreo de los equipos en tiempo real. La incorporación de prácticas predictivas, como el análisis de vibraciones, ha permitido optimizar los intervalos de mantenimiento y mejorar la gestión en general, aumentando así la disponibilidad de los equipos y la productividad de la operación. (29)

2.2.4. Costos de Mantenimiento Preventivo

Los costos de mantenimiento preventivo son una parte fundamental en la gestión de activos en cualquier industria, y en el sector minero, son particularmente importantes debido a la necesidad de maximizar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos. Estos costos incluyen todos los gastos relacionados con la planificación, ejecución y seguimiento de las actividades preventivas, como las inspecciones programadas, la sustitución de piezas, la lubricación de componentes, y la capacitación del personal. Aunque estos costos suelen ser más bajos que los asociados al mantenimiento correctivo pueden representar una inversión significativa, especialmente cuando se trata de grandes equipos industriales como chancadoras, fajas transportadoras y molinos.

La gestión eficiente de los costos de mantenimiento preventivo implica encontrar el equilibrio adecuado entre realizar las actividades de mantenimiento de manera oportuna y evitar gastos innecesarios. Un enfoque óptimo busca reducir las intervenciones no críticas sin comprometer la seguridad y el rendimiento de los equipos. Además, los costos de mantenimiento preventivo pueden incluir gastos indirectos, como el almacenamiento de repuestos, la mano de obra especializada, y las paradas programadas necesarias para realizar las tareas de mantenimiento.

En el contexto de la minería, los costos de mantenimiento preventivo pueden verse afectados por factores como las condiciones operativas (altas cargas, temperaturas extremas), la accesibilidad de los equipos, y la disponibilidad de tecnologías de monitoreo que permitan predecir con mayor precisión el desgaste de los componentes. La inversión en un mantenimiento preventivo efectivo, aunque elevada en términos de planificación y ejecución, puede generar ahorros significativos a largo plazo al reducir el tiempo de inactividad no programado, minimizar las reparaciones costosas y prolongar la vida útil de los equipos. El uso de sistemas avanzados de gestión de mantenimiento (CMMS) permite monitorear y controlar estos costos, optimizando los recursos y mejorando la rentabilidad de las operaciones. (25)

2.2.5. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es un enfoque avanzado de gestión de activos que se basa en el monitoreo continuo de las condiciones de los equipos en tiempo real para prever fallas antes de que ocurran, con el objetivo de optimizar las intervenciones de mantenimiento. A diferencia del mantenimiento preventivo, que se basa en un cronograma predefinido, el mantenimiento predictivo emplea datos recogidos por sensores que miden variables críticas, como vibraciones, temperatura, presión y otros indicadores de desgaste. Estos datos son analizados mediante técnicas avanzadas de

análisis de datos, machine learning y algoritmos predictivos, los cuales permiten identificar patrones de fallo antes de que se produzca una avería.

En el sector minero, donde los equipos están expuestos a condiciones operativas extremas y la fiabilidad es clave para mantener la producción, el mantenimiento predictivo resulta especialmente valioso. Las tecnologías predictivas, como el análisis de vibraciones, termografía infrarroja, análisis de aceite y ultrasonido, son utilizadas para diagnosticar el estado de componentes críticos como motores, cojinetes, engranajes y sistemas hidráulicos. Este enfoque permite programar las intervenciones de mantenimiento solo cuando son necesarias, evitando paradas innecesarias, optimizando el uso de los recursos y reduciendo los costos asociados con el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento predictivo no solo mejora la disponibilidad de los equipos, sino que también ayuda a prolongar su vida útil y a mejorar la seguridad operativa, al identificar fallas potenciales antes de que se conviertan en problemas graves. El desarrollo de plataformas de gestión basadas en el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial ha acelerado la adopción del mantenimiento predictivo en la industria, brindando a los operadores mineros herramientas más sofisticadas para gestionar de manera proactiva sus activos. (30)

2.2.6. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es una estrategia de gestión de activos que implica la reparación o sustitución de componentes una vez que estos han fallado. A diferencia de los enfoques preventivos o predictivos, el mantenimiento correctivo no se realiza de manera planificada, sino que responde a fallas inesperadas en los equipos. Esta estrategia suele llevarse a cabo cuando los equipos presentan averías que interrumpen el funcionamiento normal de los sistemas productivos, y el objetivo principal es restaurar los equipos a sus condiciones operativas originales lo más rápido posible para minimizar el tiempo de inactividad.

En el sector minero, el mantenimiento correctivo puede generar altos costos operativos debido a las interrupciones no planificadas en la producción y la necesidad de reparaciones de emergencia, especialmente en equipos críticos como las chancadoras, molinos y fajas transportadoras. Las paradas inesperadas pueden implicar no solo la pérdida de producción, sino también riesgos adicionales asociados con la seguridad de los operarios, ya que las reparaciones en condiciones de emergencia suelen realizarse bajo presión. Aunque el mantenimiento correctivo puede ser más económico a corto plazo, en el largo plazo puede conducir a un incremento significativo en los costos operativos debido a la frecuencia de las averías y los tiempos de inactividad. (4)

El mantenimiento correctivo tiene sentido en situaciones en las que los costos de mantenimiento preventivo o predictivo superarían los beneficios, o en equipos secundarios cuyo fallo no afecta significativamente la operación. Sin embargo, en equipos de alto impacto como los utilizados en minería, se recomienda combinar el mantenimiento correctivo con otras estrategias más proactivas para optimizar la disponibilidad de los activos. Además, los avances en tecnologías de diagnóstico han permitido reducir la dependencia del mantenimiento correctivo mediante la detección temprana de fallas incipientes.

2.2.7. Chancadora Primaria

Una chancadora primaria es un equipo utilizado en la minería y en procesos industriales para reducir el tamaño de grandes bloques de material, generalmente roca o minerales, provenientes de la mina. Este equipo es esencial en las etapas iniciales de los procesos de conminución, donde se busca disminuir el tamaño de los fragmentos a un tamaño adecuado para su posterior procesamiento o transporte. Existen diversos tipos de chancadoras primarias, siendo las más comunes las de mandíbulas y las giratorias, diseñadas para soportar grandes volúmenes y trabajar de manera continua. (31)

2.2.8. Cinta Transportadora

Una cinta transportadora es un sistema mecánico compuesto por una banda continua que se mueve sobre rodillos o poleas, utilizada para el transporte de materiales a granel o unidades individuales a lo largo de un trayecto fijo. En minería, este sistema es fundamental para el traslado eficiente de minerales, rocas y otros materiales, desde el punto de extracción hasta otras etapas del proceso, como la trituración o almacenamiento. Las cintas transportadoras son esenciales para optimizar el flujo de materiales y reducir el uso de maquinaria pesada para el transporte terrestre, mejorando la eficiencia y reduciendo costos operativos. (32)

2.2.9. Molino de Bolas

Un molino de bolas es un equipo de molienda utilizado en el procesamiento de minerales. Su función principal es reducir el tamaño de las partículas de mineral mediante la rotación de un tambor cilíndrico que contiene bolas de acero o de otro material resistente al desgaste. A medida que el tambor gira, las bolas impactan y friccionan el material, logrando la fragmentación del mismo. Este equipo es común en operaciones de minería, donde se utiliza tanto en procesos de molienda primaria como secundaria para preparar el mineral antes de las etapas de concentración o extracción. (33)

2.2.10. Tamiz Vibratorio

Un tamiz vibratorio es un equipo utilizado en la industria minera y de procesamiento de minerales para la separación de partículas de distintos tamaños. Funciona mediante un sistema de

vibración que facilita el paso de las partículas finas a través de una malla o superficie perforada, mientras que las partículas más grandes se retienen y se transportan hacia una salida separada.

Este equipo consta de varios componentes, como una estructura de soporte, motores vibratorios, mallas de diferentes tamaños y sistemas de amortiguación. Su uso es fundamental en etapas de clasificación y cribado en procesos de trituración, molienda o lavado de minerales.

La vibración se genera mediante motores o mecanismos excéntricos, lo que asegura una mayor eficiencia en el proceso de separación, ya que las partículas tienen más oportunidades de entrar en contacto con la malla. Los tamices vibratorios se pueden encontrar en versiones horizontales, inclinadas o multideck, dependiendo de las necesidades específicas de la operación.

Su principal función es optimizar la clasificación de materiales, lo que contribuye al mejor rendimiento del proceso productivo. (34)

2.2.11. Sistema de Bombeo

En ingeniería minera, un sistema de bombeo se refiere a un conjunto de equipos y componentes diseñados para extraer, transportar y manejar fluidos, como agua o lodos, dentro de una mina. Estos sistemas son esenciales para mantener las condiciones adecuadas en operaciones subterráneas o a cielo abierto, ya que permiten controlar el drenaje de agua, evitando inundaciones y asegurando la estabilidad de las labores mineras. (35)

2.2.12. Brazo de Excavadora o Rompe Roca

Un brazo de excavadora es uno de los componentes clave de la maquinaria pesada utilizada en operaciones de minería y construcción. Este brazo articulado está compuesto por varios segmentos conectados por articulaciones hidráulicas que permiten su movimiento. Su función principal es realizar trabajos de excavación, elevación y manipulación de materiales en terrenos difíciles. El brazo, junto con la pluma (boom) y el cucharón, forma parte del sistema de trabajo de la excavadora, y su capacidad de movimiento en diferentes direcciones facilita la extracción y carga de material. (36)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Mantenimiento Preventivo

Según (3), es el conjunto de actividades programadas y sistemáticas diseñadas para prevenir fallas en los equipos, asegurando su operatividad y reduciendo los costos de mantenimiento correctivo.

2.3.2. Disponibilidad

De acuerdo con (12), es la capacidad de un equipo o sistema para estar en condiciones operativas durante un período de tiempo determinado, minimizando el tiempo de inactividad.

2.3.3. Confiabilidad

Según (7), es la probabilidad de que un equipo funcione sin fallas durante un tiempo específico bajo condiciones normales de operación.

2.3.4. Mantenibilidad

De acuerdo con (8), es la facilidad con la que un equipo puede ser restaurado a su estado operativo tras una falla, optimizando tiempos de reparación y costos operativos.

2.3.5. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Según (6), es una estrategia de mantenimiento basada en el análisis de fallas y criticidad de los equipos, con el fin de priorizar acciones para maximizar la confiabilidad operativa.

2.3.6. Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

Según (17), es una técnica utilizada para identificar y evaluar posibles fallos en un sistema, permitiendo implementar acciones preventivas antes de que ocurran.

2.3.7. Monitoreo Predictivo

Según (16), es el uso de sensores y análisis de datos en tiempo real para anticipar fallas en los equipos, reduciendo costos de mantenimiento y mejorando la disponibilidad operativa.

2.3.8. Eficiencia del Mantenimiento

Según (13), es la relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos en la gestión del mantenimiento, buscando minimizar costos y maximizar la disponibilidad de los equipos.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

Para esta investigación se empleará el método deductivo, lo cual implica comenzar con una teoría general sobre la eficacia del mantenimiento preventivo en la industria minera. A partir de esta teoría, se formulan hipótesis específicas, que serán probadas mediante la recopilación y el análisis de datos en el contexto particular de la empresa minera. Este enfoque permite evaluar si la optimización del mantenimiento preventivo contribuye efectivamente a mejorar la disponibilidad de los equipos en el área de mantenimiento, utilizando un razonamiento lógico y estructurado.

3.1.2. Tipo de investigación

Aplicada

Esta investigación será de tipo aplicada, ya que se orienta a abordar problemas prácticos y a proporcionar soluciones directamente aplicables en un contexto específico, como lo es la industria minera. El propósito es generar conocimiento que pueda utilizarse para resolver situaciones reales y mejorar procesos o prácticas existentes en el área de mantenimiento de la empresa minera. Por tanto, se trata de una investigación claramente aplicada.

3.1.3. Alcance de la investigación

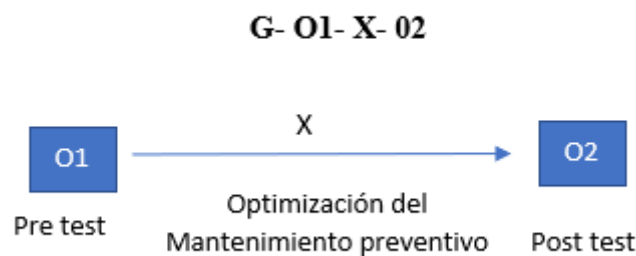
Explicativo

El alcance de esta investigación será explicativo, dado que busca demostrar cómo la optimización del mantenimiento preventivo influye en la disponibilidad de los equipos en la empresa minera. Mediante el diseño experimental, se implementarán mejoras en el mantenimiento y se evaluará su impacto, permitiendo establecer la relación causal entre ambas variables. Esto facilitará la comprensión de cómo una mejor gestión del mantenimiento puede incrementar la disponibilidad de los equipos.

3.2. Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)

3.2.1. Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo experimental, con un diseño pre-experimental, ya que se evaluará a un grupo antes y después de aplicar el estímulo (optimización del mantenimiento preventivo). El procedimiento se describe de la siguiente manera:



- G: Grupo (Empresa Minera)
- O1: Disponibilidad de los equipos del área mantenimiento en la Minera.
- Antes de la Gestión del mantenimiento preventivo.
- O2: Disponibilidad de los equipos del área mantenimiento en la Minera.
- Después de la Optimización del mantenimiento preventivo.
- X: Optimización del mantenimiento preventivo

3.2.2. Población y muestra

La población estará constituida por los tres equipos mecánicos con los que cuenta la empresa minera: molinos de bolas, chancadora primaria y fajas transportadoras. La muestra será el 100 % de la población, es decir, los tres equipos serán objeto de estudio.

3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica es un mecanismo que permite recabar información necesaria y relevante de la muestra de estudio. La técnica de investigación se entiende como el conjunto de reglas y procedimientos que ayudan al investigador a establecer la relación con el objeto o sujeto de la investigación (37)

Baena (2017) indica que el instrumento es el medio a través del cual se desarrolla la investigación, mediante reglas preestablecidas. En él se incluyen: las secuencias generales, las disposiciones administrativas, las técnicas de experimentación y las formas de presentación de resultados (38).

Tabla 2. Técnicas e instrumentos de investigación

Objetivos específicos	Técnicas	Instrumentos
Determinar la situación actual de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.	Análisis documental	Guía de revisión documental: Estado actual de los tiempos de mantenimiento mediante reportes. Hoja de registro de fallas
Determinar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024	Observación	Guía de observación para la medición de índice de inspecciones realizadas. Formato de órdenes de servicio para la medición de la mantenibilidad de los equipos.
Evaluar el efecto de la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.	Observación	Guía de observación para la medición de índice de inspecciones realizadas. Formato de órdenes de servicio para la medición de la disponibilidad de los equipos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Determinar la situación actual de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

Se iniciará realizando un diagnóstico mediante un análisis de Pareto para saber la situación actual.

Tabla 3. Diagnóstico actual mediante el análisis de Pareto

PROBLEMAS	FRECUENCIA	P. ACUMULADO
Inspecciones insuficientes por falta de planificación	100	21%
Mantenimiento deficiente	80	38%
Falta de lubricación	70	53%
Fallas eléctricas o inadecuadas	60	65%
Falta de repuestos y piezas de reemplazos	50	76%
Desgaste de neumáticos	40	84%
Equipos sin sistemas	30	91%
Falta de capacitación al personal	20	95%
Condiciones ambientales	15	98%
Repuestos inapropiados	10	100%

Según la Tabla 3, se muestra los problemas que ocasionan la No disponibilidad de los equipos, siendo el más frecuente las Insuficientes Inspecciones por falta de planificación y el menos frecuente por repuestos inapropiados o dañados para dichos equipos.

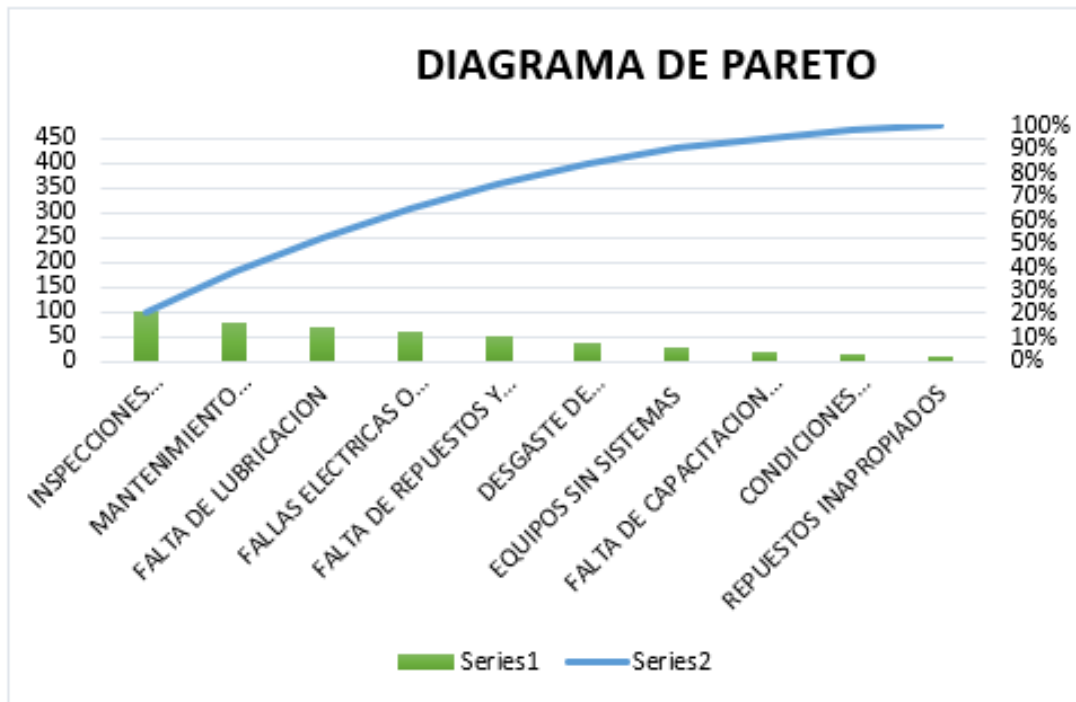


Figura 1. Diagrama de Pareto

Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF)

representa el intervalo promedio en el que un equipo opera de forma continua antes de presentar una falla. Para calcular este indicador, se ha tomado en cuenta el tiempo acumulado de operación efectiva y la cantidad de fallas registradas en los equipos críticos durante un periodo de cinco meses en el año 2024, aplicando la fórmula correspondiente.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Numero de fallas}}$$

Tabla 4. Tiempo total de operación en horas disponibles de los equipos

EQUIPOS	NRO DE OPERACIÓN AL DÍA	NRO DÍAS EN 05 MESES	AÑO 2024				
			enero	febrero	marzo	abril	mayo
Molinos de bolas Chancadora primaria	24	150	3611	3611	3611	3611	3611
Fajas transportadoras	19	150	2833	2833	2833	2833	2833
	25	150	3772	3772	3772	3772	3772

El tiempo total de operación en horas disponibles resulta de multiplicar las horas de operación por día (24 h / día) * número de días en 5 meses (150 días) = 3,611.00 horas.

Tabla 5. Número de paradas de los equipos por fallas en los meses de enero – mayo 2024

AÑO 2024					
EQUIPOS	enero	febrero	marzo	abril	mayo
Molinos de bolas	4	4	4	4	4
Chancadora primaria	4	4	4	4	4
Fajas transportadoras	3	4	4	4	4

En la Tabla 5, se detalla la cantidad de paradas por fallas que tuvieron los 3 equipos en estudio durante los meses de enero – mayo 2024.

Tabla 6. Tiempo total de reparación de los equipos por fallas

EQUIPOS	NRO DE HORAS INACTIVIDAD POR FALLA	NUMERO DE HORAS INACTIVIDAD POR FALLA (enero 24- mayo 24)				
		enero	febrero	marzo	abril	mayo
Molinos de bolas	127	508	508	508	508	508
Chancadora primaria	115	460	460	460	460	460
Fajas transportadoras	104	312	416	416	416	416

En el mes de enero, el tiempo total de inactividad registrado en los molinos de bolas fue de 508 horas, resultado de multiplicar 127 horas promedio por falla por las 4 paradas ocurridas en ese periodo.

Tabla 7. Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas de los equipos en el periodo de enero – mayo 2024

MTBF	Mes				
	enero	febrero	marzo	abril	mayo
Molinos de bolas	776	776	776	776	776
Chancadora primaria	593	593	593	593	593
Fajas transportadoras	1153	839	839	839	839

Comportamiento del tiempo promedio entre fallas (MTBF) en horas, de los equipos en el periodo enero- mayo

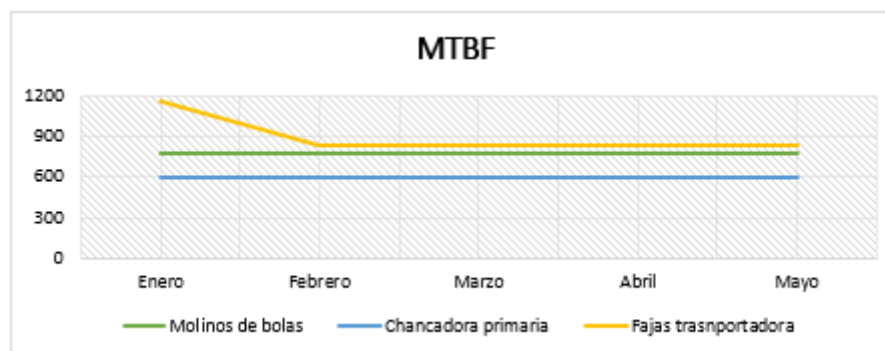


Figura 2. Comportamiento del tiempo promedio entre Fallas (MTBF) en horas, de los equipos en el periodo (enero-mayo)

Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)

Es el valor promedio requerido para restaurar la operatividad de un equipo tras una falla. Para su cálculo, se emplean las horas acumuladas de parada (Anexo 3) y la cantidad de eventos de falla registrados durante el periodo evaluado.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Inactividad}}{\text{Número de Fallas}}$$

Tabla 8. Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de los equipos en el periodo del enero – mayo

MTTR	Mes				
	enero	febrero	marzo	abril	mayo
Molinos de bolas	127	127	127	127	127
Chancadora primaria	115	115	115	115	115
Fajas transportadoras	104	104	104	104	104

En enero el tiempo promedio de reparación (MTTR) del molino de bolas fue 127 horas, esto resulta de dividir: 508 horas de inactividad entre 4 de fallas = 127 horas.

Como se muestra, el tiempo de inactividad de las máquinas críticas es constante a través del tiempo.

Tabla 9. Tiempo de Reparación Acumulada en horas de los equipos en el periodo de enero - mayo

EQ. CARGUIO Y ACARREO	Mes				
	enero	febrero	marzo	abril	mayo
Molinos de bolas	508	508	508	508	508
Chancadora primaria	460	460	460	460	460
Fajas transportadoras	312	416	416	416	416

En enero el tiempo de reparación acumulada en horas es 508 (molinos de bolas), esto resulta de calcular el tiempo promedio de reparación 127 por 4 de fallas = 508 horas

Disponibilidad

La disponibilidad inherente representa el porcentaje del tiempo en que un equipo está en condiciones de operar durante un período de análisis, considerando únicamente los paros no programados.

Para calcular este indicador, se utilizará la ecuación que se describe a continuación:

$$\text{Disponibilidad Inherente (\%)} = \left(\frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \right) \times 100$$

Tabla 10. Porcentaje de Disponibilidad Actual de los equipos en el periodo de enero-mayo

	Mes				
	enero	febrero	marzo	abril	mayo
Molinos de bolas	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %
Chancadora primaria	84 %	84 %	84 %	84 %	84 %
Fajas transportadoras	92 %	89 %	89 %	89 %	89 %

Como podemos observar en la tabla 10, el porcentaje de la disponibilidad inherente promediado es 86 %, por lo que los equipos demuestran deficiencias para operar con normalidad.

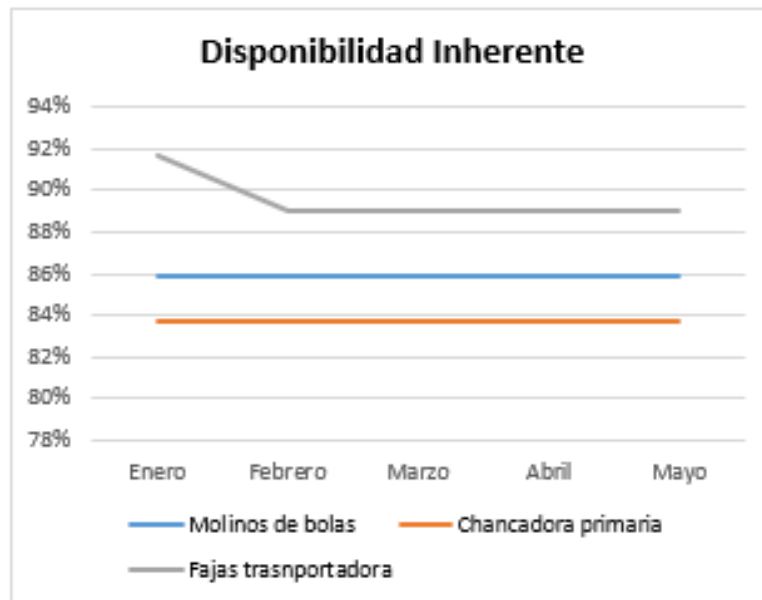


Figura 3. Porcentaje de disponibilidad actual de los equipos en el periodo del enero-mayo.

4.1.2. Determinar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

Para optimizar el mantenimiento preventivo y aumentar la disponibilidad de los equipos en la minera, es necesario incrementar su confiabilidad. Para ello, se deben implementar sistemas de mantenimiento preventivo que aseguren el correcto funcionamiento de los equipos, como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) (anexo 3).

Para la gestión del plan de mantenimiento, se utilizará el formato que ha sido implementado para todos los equipos (anexo 5)

Tiempo Promedio Entre fallas (MTBF)

Para calcular este este indicador, se han considerado los valores del tiempo total de funcionamiento aproximado dividido por el número de fallas de los equipos en el período comprendido entre junio y octubre, mediante la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total de Funcionamiento}}{\text{Número de Fallas}}$$

Tabla 11. Número de paradas de los equipos por fallas en los meses de junio – octubre 2024

EQUIPOS	Meses				
	junio	julio	agosto	septiembre	octubre
Molinos de bolas	2	2	2	2	2
Chancadora primaria	1	1	1	1	1
Fajas transportadoras	1	1	1	1	1

En la Tabla 11, se presenta el número de interrupciones operativas registradas durante el periodo junio-octubre.

Tabla 12. Tiempo total de reparación por horas inactivas del periodo proyectado

EQUIPOS	NRO DE HORAS INACTIVIDAD POR FALLA	NÚMERO DE HORAS INACTIVIDAD POR FALLA (Periodo junio-octubre)				
		junio	julio	agosto	septiembre	octubre
Molinos de bolas	54	108	108	108	108	108
Chancadora primaria	41	41	41	41	41	41
Fajas transportadoras	27	27	27	27	27	27

En junio el número de horas de inactividad será aproximadamente de 108 horas (molinos de bolas), esto resulta de multiplicar 54 horas de inactividad/ falla * 2 N° de paradas por falla = 108 horas.

Tabla 13. Tiempo promedio entre fallas (MTBF) en horas de los equipos en el periodo junio- octubre

MTBF	Mes				
	junio	julio	agosto	septiembre	octubre
Molinos de bolas	1752	1752	1752	1752	1752
Chancadora primaria	2793	2793	2793	2793	2793
Fajas transportadoras	3745	3745	3745	3745	3745

Como se puede observar en la Tabla 13, el número de horas de las máquinas demuestran una tendencia estacional durante el periodo de junio-octubre.

Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)

Este indicador se calcula dividiendo el tiempo total de parada acumulado entre el número de fallas registradas en el periodo junio-octubre, mediante la siguiente fórmula.

Permite medir la eficiencia en la restitución operativa de los equipos

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Número de fallas}}$$

Tabla 14. Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de los equipos en el periodo (junio-octubre)

MTTR	Meses				
	junio	julio	agosto	septiembre	octubre
Molinos de bolas	54	54	54	54	54
Chancadora primaria	41	41	41	41	41
Fajas transportadoras	27	27	27	27	27

En el mes de junio, el Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) estimado para los molinos de bolas será de aproximadamente 54 horas, resultado de dividir el total de horas de indisponibilidad (108 h) entre el número de eventos de falla registrados 2.

Tabla 15. Tiempo de Reparación Acumulada en horas de los equipos en el periodo del junio-octubre.

EQUIPOS	Meses				
	junio	julio	agosto	septiembre	octubre
Molinos de bolas	108	108	108	108	108
Chancadora primaria	41	41	41	41	41
Fajas transportadoras	27	27	27	27	27

Por otro lado, la duración total de las intervenciones correctivas acumuladas durante ese mismo mes(junio) asciende a 108 horas, calculada en función del tiempo empleado por evento multiplicado por la cantidad de paradas ocurridas

Porcentaje de Disponibilidad

El porcentaje de disponibilidad se determina a partir de los valores previamente obtenidos, como el Mean Time Between Failures (MTBF) y el Mean Time To Repair (MTTR). Estos indicadores permiten aplicar la siguiente fórmula estándar para disponibilidad operativa:

$$\% \text{ disponibilidad inherente} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100$$

Tabla 16. Porcentaje de disponibilidad inherente de los equipos los meses junio - octubre.

Meses

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Molinos de bolas	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %
Chancadora primaria	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %
Fajas transportadoras	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %

Como se observa en la tabla 16, la disponibilidad mecánica promedio posterior a la implementación del plan de mantenimiento alcanzó el 98 %, en comparación con la disponibilidad inicial del 86 %, lo que representa una mejora del 12 %. Este incremento se atribuye a la aplicación de la metodología RCM (Reliability-Centered Maintenance), la cual optimiza la confiabilidad operativa de los equipos mediante una gestión sistemática y proactiva del mantenimiento, como se muestra en el siguiente gráfico.

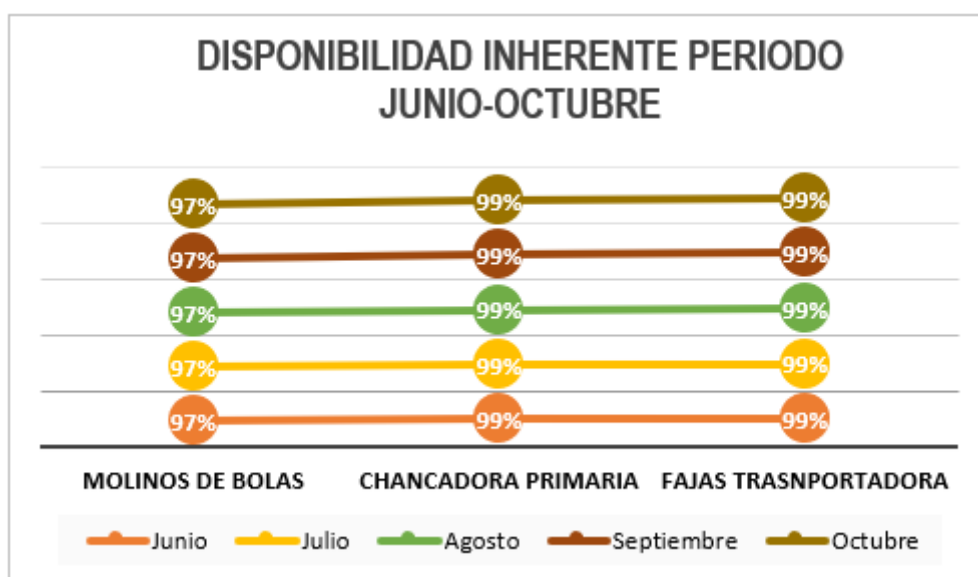


Figura 4. Comportamiento de disponibilidad inherente de equipos en el periodo (junio-octubre)

4.1.3. Evaluar el efecto de la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.

Para evaluar el efecto de la optimización del mantenimiento preventivo, es necesario analizar el impacto económico asociado al costo total del mantenimiento por fallas, considerando la suma de los costos por mano de obra y materiales utilizados.

Tabla 17. Costo de Implementación

Ítem	Medida	Cantidad	Precio	TOTAL
ÚTILES DE ESCRITORIO				
Papel bond A4	mll	3	S/ 15.00	S/ 45.00
Check List Millar	mll	3	S/ 60.00	S/ 180.00
Lapiceros Caja	cja	8	S/ 12.00	S/ 96.00
Perforador Unidad	und	5	S/ 7.00	S/ 35.00
Tinta de impresora Unidad	und	3	S/ 80.00	S/ 240.00
Engrapador Unidad	und	1	S/ 5.00	S/ 5.00
Archivadores	und	4	S/ 7.50	S/ 30.00

Plumones	cja	1	S/	8.00	S/	8.00
EQUIPOS DE OFICINA						
Laptop	und	1	S/	1,400.00	S/	1,400.00
Escritorio	und	1	S/	200.00	S/	200.00
Impresora	und	1	S/	300.00	S/	300.00
Cámara fotográfica	und	1	S/	200.00	S/	200.00
Memorias USB	und	2	S/	18.00	S/	36.00
MATERIALES						
Detergente	KG	15	S/	14.00	S/	210.00
Trapos industriales	KG	2	S/	5.00	S/	10.00
Desinfectante Galón	GLN	2	S/	14.00	S/	28.00
Aceite para engrasar	LTR	5	S/	80.00	S/	400.00
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						
Líquidos Penetrantes	und	2	S/	70.00	S/	140.00
Partículas Magnéticas	und	2	S/	80.00	S/	160.00
Termógrafo	und	1	S/	200.00	S/	200.00
Manómetro	und	1	S/	800.00	S/	800.00
Pirómetro	und	1	S/	900.00	S/	900.00
HERRAMIENTAS PERSONALES						
Zapatos puntas de acero	PAR	6	S/	55.00	S/	330.00
Overol	und	6	S/	40.00	S/	240.00
Guantes	PAR	12	S/	14.00	S/	168.00
Lentes de seguridad	und	6	S/	30.00	S/	180.00
Casco	und	6	S/	35.00	S/	210.00
Respirador	und	6	S/	35.00	S/	210.00
CAPACITACIÓN AL PERSONAL						
Capacitación de					S/	-
mantenimiento	HRS	8	S/	80.00	S/	640.00
preventivo					S/	-
Total de Inversión S/.					S/	7,601.00

Según la Tabla 17, el costo total de inversión para la implementación del mantenimiento preventivo asciende a S/. 7,601.00.

Dicha inversión incluye la contratación de personal técnico y administrativo, así como la adquisición de herramientas básicas y especializadas. Para la ejecución de las actividades, se contará con personal mecánico calificado responsable del mantenimiento de los equipos.

Tabla 18. Sueldo de Personal Técnico

Cantidad	Técnico	Sueldo base + beneficios	Costo anual
1	Mantenimiento	S/ 1,500.00	S/ 18,000.00

Asimismo, se contempla la contratación de personal administrativo especializado, con el fin de asegurar una gestión eficiente del sistema de mantenimiento preventivo, a cargo de personal capacitado en administración y control de procesos.

Tabla 19. Sueldo de Personal Administrativo

Cantidad	Administrativo	Sueldo base + beneficios	Costo anual
1	Personal	S/ 1,100.00	S/ 13,200.00

Flujo de Inversión: En el flujo de caja se han contemplado los desembolsos correspondientes al año cero, manteniéndose solo los gastos recurrentes en los años posteriores. Los costos asociados a herramientas, equipos y capacitación se han proyectado exclusivamente para el primer año. Respecto a los materiales de oficina, el presupuesto inicial ha sido reducido, ya que únicamente se considera la adquisición de los formatos para los *checklist* de mantenimiento preventivo.

Tabla 20. Flujo de inversión anual

DESCRIPCIÓN	FLUJO DE INVERSIÓN ANUAL				
	2024	2025	2026	2027	2028
Sueldo de personal técnico	S/ 18,000.00	S/ 18,000.00	S/ 18,000.00	S/ 18,000.00	S/ 18,000.00
Sueldo de personal administrativo	S/ 13,200.00	S/ 13,200.00	S/ 13,200.00	S/ 13,200.00	S/ 13,200.00
Costo de herramientas y equipos	S/ 2,200.00	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Costos de implementos de seguridad	S/ 1,338.00	S/ 1,338.00	S/ 1,338.00	S/ 1,338.00	S/ 1,338.00
Costo de mantenimiento de equipos	S/ 648.00	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Costo de capacitación	S/ 640.00	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Costos de útiles de escritorio y equipos de oficina	S/ 2,775.00	S/ 180.00	S/ 180.00	S/ 180.00	S/ 180.00
COSTO TOTAL	S/ 38,801.00	S/ 32,718.00	S/ 32,718.00	S/ 32,718.00	S/ 32,718.00

La tabla anterior muestra los costos proyectados para un periodo de cinco años. En el año cero, la inversión inicial permitirá la implementación del sistema de mantenimiento, con un valor de S/. 38,801.00. En los años subsiguientes se registra un costo constante para la continuidad del sistema, con un valor de S/. 32,718.00.

Tabla 21. Flujo de caja neto durante periodo (2024-2028)

2024	2025	2026	2027	2028
S/ 38,801.00	S/ 38,900.00	S/ 40,000.00	S/ 38,000.00	S/ 40,000.00

En la Tabla 21 se muestra el flujo de caja en un periodo de cinco años, en el año cero es negativo por el costo que se invertirá para aplicar el sistema de mantenimiento preventivo.



Figura 5. Flujo neto proyectado (2024-2028)

Evaluación de Indicadores Financieros

Tabla 22. Indicadores Financieros

COK	10 %	Costo de Oportunidad de Capital
VA	S/. 169,673.00	Valor actual
VAN	S/. 69,673.00	Valor actual neto
TIR	94%	Tasa Interna de Retorno
IR	1.7	Índice de Rentabilidad

VAN: El valor del VAN es mayor a cero y permitirá generar una utilidad de S/. 69,673.00 en un periodo de 5 años.

TIR: La implementación del sistema de mantenimiento preventivo se acepta porque la Tasa Interna de Retorno es mayor al Costo de oportunidad del capital.

IR: La Implementación del sistema de mantenimiento preventivo indica que es rentable ya que es mayor a 1.

4.2. Discusión de resultados

La optimización del mantenimiento preventivo aplicada en el área de mantenimiento de la minera permitió un incremento significativo en la disponibilidad de los equipos críticos, aumentando del 86 % al 98 %. Este resultado es consistente con lo planteado por Durán Artigas (5), quien evidenció que un plan de mantenimiento preventivo estructurado incrementó la disponibilidad de los activos en un 98 %, mejorando la eficiencia operativa de una planta minera. Asimismo, Galloso (3) encontró que el fortalecimiento del mantenimiento preventivo en maquinaria minera elevó la disponibilidad del 83 % al 96 %, demostrando la relevancia de una adecuada gestión de mantenimiento.

La reducción en el Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) observada en el presente estudio también indica que la mantenibilidad de los equipos mejoró de manera significativa. Este hallazgo coincide con lo señalado por Osorio (12), quien identificó que la implementación de un plan técnico de mantenimiento preventivo en perforadoras mineras incrementó notablemente la eficiencia operativa y la mantenibilidad de los activos.

Sin embargo, es importante señalar que, aunque se observaron mejoras sustanciales en la disponibilidad de los equipos, la mantenibilidad no alcanzó niveles óptimos en todos los casos evaluados. Este comportamiento podría estar relacionado con factores externos, como las condiciones ambientales adversas propias del entorno minero —altas temperaturas, polvo, humedad—, que aceleran el desgaste de componentes críticos, así como con la antigüedad y obsolescencia de ciertos equipos que no fueron renovados oportunamente. Además, se identificó que algunas intervenciones de mantenimiento carecían de soporte tecnológico adecuado, lo que limitó la eficiencia de las acciones correctivas.

Estos aspectos representan limitaciones importantes que deberán ser abordadas en investigaciones futuras, considerando estrategias de renovación de activos, incorporación de mantenimiento predictivo y adaptación de planes de mantenimiento a las condiciones reales de operación. Casanova (7) también menciona que la gestión del mantenimiento debe considerar de manera continua la actualización tecnológica de los equipos, la modernización de los procesos de intervención y el análisis permanente del entorno operativo para sostener altos niveles de disponibilidad y eficiencia a largo plazo en sectores industriales exigentes como la minería.

Entre las principales limitaciones de este estudio se encuentra la duración limitada del análisis, el cual comprendió solo algunos meses de operación. Esto impide evaluar los efectos sostenidos de la optimización del mantenimiento en periodos más extensos. Mufid y Nugroho (9) subrayan que la incorporación de técnicas predictivas basadas en análisis de datos puede ofrecer un enfoque más integral

y efectivo para anticipar fallos, lo cual representa una oportunidad para futuras líneas de investigación en el contexto minero.

CONCLUSIONES

1. Se evaluó el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo, evidenciándose una mejora significativa en la disponibilidad de los equipos clave, como la chancadora primaria, las fajas transportadoras y el molino de bolas. Al comparar los indicadores antes y después de la optimización, se observó un incremento promedio en la disponibilidad del 12 %, pasando de 86 % a 98 %. Esta mejora no solo asegura un mayor tiempo de operación, sino que también reduce considerablemente los tiempos de inactividad no programada, lo que contribuye a una mayor eficiencia y productividad en las operaciones mineras.
2. Se identificó la situación actual de los equipos en el área de mantenimiento, revelándose deficiencias importantes previas a la implementación de la optimización. Los equipos presentaban alta frecuencia de fallas y tiempos de inactividad elevados, lo que impactaba negativamente en la producción. Entre los principales problemas detectados se encontraron la falta de planificación en las inspecciones y la escasa disponibilidad de repuestos, factores que afectaban el rendimiento en términos de mantenibilidad y disponibilidad.
3. Se determinó que la optimización del mantenimiento preventivo tuvo un impacto positivo en la mantenibilidad de los equipos. El tiempo medio entre fallas (MTBF) mostró una tendencia creciente, lo que evidencia una mejora en la fiabilidad de los equipos. Asimismo, el tiempo medio de reparación (MTTR) se redujo de forma significativa, reflejando una mayor eficiencia en las intervenciones de mantenimiento. Estos cambios sugieren que los equipos ahora son más fáciles de mantener y que el tiempo necesario para restablecer su operatividad se ha acortado considerablemente.
4. La evaluación del efecto de la optimización en la disponibilidad de los equipos arrojó resultados concluyentes. La implementación de estrategias como la planificación sistemática y el monitoreo continuo permitió maximizar la operatividad de los equipos críticos. Esto no solo incrementó la disponibilidad, sino que también tuvo un efecto positivo en la productividad general de la operación minera, lo que subraya la importancia de mantener un enfoque proactivo y estructurado en la gestión del mantenimiento preventivo.

RECOMENDACIONES

1. Implementar señalización adecuada en el lugar de trabajo para identificar zonas de riesgo y peligro, mejorando así la seguridad del personal durante las labores de mantenimiento.
2. Establecer un sistema de control y seguimiento de los cursos o talleres de capacitación dirigidos al personal técnico y a todos los involucrados en las tareas de mantenimiento, con el objetivo de fortalecer sus competencias y asegurar el cumplimiento de los objetivos del sistema.
3. Realizar una distribución adecuada del personal según sus habilidades y experiencia en las actividades planificadas de mantenimiento, a fin de optimizar los recursos humanos y evitar la contratación excesiva.
4. Asignar anualmente un presupuesto estructurado para cada proyecto, destinado a la adquisición de repuestos y accesorios necesarios, asegurando la continuidad y eficacia de las labores de mantenimiento preventivo.

REFERENCIAS

1. **AENOR.** *Gestión del mantenimiento. UNE 151001.* Madrid : AENOR, 2011. pág. 200 pp. ISBN: 8481437352.
2. **Restrepo Ávila, F.** *Elaboración de un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada de la división de obras públicas de La Dorada, Caldas, Proyecto de grado, Fundación Universidad de América.* Bogotá- Colombia : s.n., 2022.
3. **Galloso Cruzado, Zamir Franks.** *Diseño de una propuesta de mejora del área de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de maquinarias en una empresa del sector minería Cajamarca, 2020.* Lima : s.n., 2020.
4. **Vilca P.** *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la mejora de la disponibilidad de los equipos del sistema de carga y transporte en una empresa minera, Lima 2018.* s.l. : Universidad Privada del Norte, 2018.
5. **Durán Artigas, Oswaldo.** *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Integral para la Pala Eléctrica P&H 4100XPC, Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Federico Santa María.* Copiapó, Chile : s.n., 2023.
6. **Rojas Gutiérrez, Nicolás Mateo.** *Implementación de técnicas de mantenimiento basado en condición para el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento en el acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP.* Bucaramanga : s.n., 2021.
7. **Casanova Toledo, Carlos Ariel.** *Evaluación estratégica, técnica y económica de un plan estratégico para la gerencia de mantenimiento en Codelco División Andina.* SANTIAGO DE CHILE : s.n., 2021.
8. **Bravo Vilugrón, R. A.** *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para prensa ecológica ariete 480 en Finamet Ltda, Tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile : Repositorio de la Universidad Técnica Federico Santa María., 2019.*
9. **MUFID, F.H. and NUGROHO, H.S.** *Comparison of Economic Cost and Effectiveness between Existing Salt Industry Maintenance Program, Reliability Maintenance Program and Age- Replacement Maintenance Program on Salt Crusher Machine.* 2021.
10. **Nota, G., Postiglione, A. y Carvello, R.** *Text mining techniques for the management of predictive maintenance.* 2022.
11. **Uribe, Sophia Cristina.** *Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil.* Lima : s.n., 2020.
12. **Osorio, O.** *Propuesta técnica para implementar un plan de mantenimiento preventivo de la perforadora Jumbo Troidon 55XP para mejorar su disponibilidad en una mina subterránea para el año 2020.* Lima : Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico), 2020.

13. **Fernandez Heredia, Blanca Lizet y Neyra Nieto, Maria Zaratine.** *Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de las máquinas de la empresa Road Solutions E.I.R.L – 2020.* Pimentel : s.n., 2021.
14. **Torres, P.** *Formulación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad .* Huancayo : s.n., 2019.
15. **Meza Huayta, Luis Miguel .** *Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada excavadora CAT 336 – Compañía Minera Raura S. A. 2019.* Huancayo : s.n., 2020.
16. **Valverde Obregón, Abel Dino.** *Plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en minera Chinalco Perú S.A.* Callao : s.n., 2021.
17. **Parra Quispe, Alberto Leopoldo .** *Análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo para la mejora de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina Perú, 2019.* 2019.
18. **Huamán Zavaleta, Giancarlo.** *Propuesta de gestión de mantenimiento y disponibilidad del minicargador marca case modelo SR220 - 2019.* Lima : s.n., 2019.
19. **Chuquimajo Caceres, Edwin Edmundo .** *Implementación de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de planta de la empresa JR Representaciones.* Lima : s.n., 2024.
20. **Salas, Carmen.** *Plataforma de costos al mantenimiento de equipos pesados de la minera Las Bambas.* Callao : Universidad Nacional del Callao, 2018.
21. *Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado en el área de chancado de planta concentradora minera Mateas S. A. C. Arequipa.* **Santos, J.** Arequipa : Universidad Continental, 2022.
22. **Aguilar, Y.** *Control de calidad en labores de mantenimiento mecánico de bombas verticales y sumergibles del área de relaves de unidad minera constancia – Hudbay Minerals.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
23. *Gestión de mantenimiento para reducir costos por paradas no planificadas en la flota de palas hidráulicas Hitachi en minería superficial en minera Yanacocha 2021.* **Prado, J. s.l.** : Universidad Señor de Sipán, 2021.
24. **P., Gomez.** *Diseño de propuesta de mejora para aumentar la disponibilidad en la gestión de mantenimiento de la Unidad Minera Cerro de Pasco.* Huancayo : Universidad Continental, 2021.
25. **Fernandez, J.** *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa contratista Confipetrol Andina S.A. en la unidad minera Cuajone.* Tacna : Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2022.
26. **Landeo, J.** *Programa de mantenimiento preventivo del circuito de chancado secundario cónica HP 200.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018.

27. **Campos Landeo, Edwin.** *Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en la planta concentradora de una empresa minera, Áncash, 2022.* Huancayo : Universidad Continental, 2022.
28. *Accesorios de la perforación convencional y mecanizado, en la Empresa AESA - Compañía Minera Minsur S.A – Mina San Rafael.* **G., REYES.** Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2022.
29. **Castro, K.** *Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para mejorar el rendimiento de las chancadoras primarias de la Cia. Minera Casapalca S.A.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.
30. **Heras, C.** *Gestión de mantenimiento y reducción de costos operativos en la flota de equipos auxiliares de una empresa minera, 2022.* Trujillo : Universidad Cesar Vallejo, 2022.
31. **Ramos, Cesar.** *Mejoramiento de la eficiencia de chancadora.* Arequipa : Universidad Continental, 2019.
32. *Análisis comparativo del uso de fajas transportadoras y camiones para el acarreo aplicando costos unitarios en una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca.* **Infante, Juan. y Valdivia, Gilberto.** Cajamarca : Universidad Privada del Norte, 2019.
33. **Pretel, Franklin.** *Diseño de un molino de bolas para triturar mineral de baja ley y aumentar la producción de concentrado en la mina Esperanza, región La Libertad, 2020.* Trujillo : Universidad Privada del Norte, 2022.
34. **Espinosa, Abraham y Varela, Edizon.** *Rediseño y simulación de una tamizadora de granos de café para la planta de empaquetado de la asociación Río Intag.* Quito : Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
35. **Huallpa, Miguel.** *Implementación del sistema de bombeo para optimizar el drenaje del nivel 2370 al nivel 2620 de la Minera Aurífera Retamas S.A.* Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2022.
36. **Delgado, A.** *Diseño de un conjunto de componentes mecánicos para modificar un elevador telescópico en un desatador de rocas.* Lima : Universidad de Ingeniería y Tecnología, 2019.
37. **Fuentes-Doria, Deivi, y otros.** *Metodología de la investigación: conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables.* Medellín : Universidad Pontificia Bolivariana, 2020. DOI: 10.18566/978-958-764-879-9.
38. **Baena Paz, Guillermina.** *Metodología de la investigación. 3.a ed.* México : Patria, 2017. pág. 157 pp. ISBN 978-607-744-748-1.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Optimización del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad en el área de mantenimiento en la minera, 2024

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo la optimización del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la mejora de la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera, 2024.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La optimización del mantenimiento preventivo mejora en 12% la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera, 2024.</p>		Planeación	$\% \text{ cumplimiento de la planeación} = \frac{\text{Número de máquinas dentro de la planeación}}{\text{Total de máquina}} \times 100$	<p>Tipo de Investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Método de investigación</p> <p>Deductivo</p> <p>Diseño de la Investigación</p> <p>Experimental de diseño Pre-experimental</p>
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO</p> <p>¿Cómo determinar la situación actual de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Determinar la situación actual de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.</p>	<p>H1: Los equipos del área de mantenimiento en la minera presentan deficiencias operativas en 2024 debido a un mantenimiento preventivo inadecuado.</p>	Mantenimiento Preventivo	Control	$\% \text{ cumplimiento del control} = \frac{\text{Número de órdenes de trabajo ejecutadas}}{\text{Número de órdenes de trabajo programadas}} \times 100$	<p>Población</p> <p>20 equipos mecánicos con las que cuenta la empresa Minera.</p>
<p>¿Cómo determinar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera, 2024?</p>	<p>Determinar el impacto de la optimización del mantenimiento preventivo en la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera, 2024.</p>	<p>H2: La optimización del mantenimiento preventivo mejora significativamente la mantenibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.</p>		Mantenibilidad	$MTTR = \frac{\sum TTR}{\# \text{ de fallas}}$ <p>Donde:</p> <p>TTR: Tiempo de inactividad de un equipo debido a fallas.</p>	<p>Muestra</p> <p>10 equipos críticos, siendo su unidad de análisis los equipos mecánicos de la empresa</p> <p>Técnica de recolección de datos</p> <p>Análisis documental, Observación</p>
<p>¿Cómo determinar el efecto de la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024?</p>	<p>Evaluar el efecto de la optimización del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.</p>	<p>H3: La optimización del mantenimiento preventivo incrementa significativamente la disponibilidad de los equipos del área de mantenimiento en la minera 2024.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Disponibilidad</p>	Disponibilidad	$D\% = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ <p>Donde:</p> <p>MTBF: Tiempo medio (promedio) entre fallas.</p> <p>MTTR: Tiempo medio (promedio) entre reparaciones.</p>	<p>Instrumento</p> <p>Guía de revisión documental, Guía de observación</p>

Anexo 2. Matriz de operacionalización de las variables

TIPO	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Mantenimiento Preventivo	Es el manteniendo que se ejecuta de manera anticipada en intervalos o según los criterios establecidos, su meta es disminuir la probabilidad de avería en el funcionamiento de un elemento (1).	El mantenimiento preventivo se ejecuta mediante una secuencia de actividades planificadas, cuenta con un control para garantizar un adecuado mantenimiento.	Planeación	$\% \text{ cumplimiento de la planeación} = \frac{\text{Número de máquinas dentro de la planeación}}{\text{Total de máquina}} \times 100$	Razón
				Control	$\% \text{ cumplimiento del control} = \frac{\text{Número de órdenes de trabajo ejecutadas}}{\text{Número de órdenes de trabajo programadas}} \times 100$	Razón
DEPENDIENTE	Disponibilidad	Se define la disponibilidad como la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido, después del inicio de sus operaciones, bajo condiciones estables; considerando dentro del tiempo total a los tiempos de operación, activo de reparación, inactivo y mantenimiento preventivo (4).	Se calcula como la proporción del tiempo en que los equipos están disponibles para operar frente al tiempo total de operación planificado. Se medirá en porcentaje.	Mantenibilidad	$MTTR = \frac{\sum TTR}{\# \text{ de fallas}}$ <p>Donde: TTR: Tiempo de inactividad de un equipo debido a fallas</p>	Razón
				Disponibilidad	$D\% = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$ <p>Donde: MTBF: Tiempo medio (promedio) entre fallas. MTTR: Tiempo medio (promedio) entre reparaciones.</p>	Razón

**Anexo 3. Información de los Equipos.
Horas de operación de los equipos-enero 2024**

Equipo (enero)	Horas de Operación por Mes	Horas de Inactividad por Mes	Horas Programadas por Mes	Disponibilidad
Chancadora primaria	510	120	630	80.95 %
Cinta transportadora	679	100	779	87.16 %
Molino de bolas	650	130	780	83.33 %
Tamiz vibratorio	720	123	843	85.41 %
Sistema de bombeo	680	120	800	85.00 %
Brazo de excavadora o rompe roca	650	150	800	81.25 %

Horas de operación de los equipos-febrero 2024

Equipo (febrero)	Horas de Operación por Mes	Horas de Inactividad por Mes	Horas Programadas por Mes	Disponibilidad
Chancadora primaria	500	110	610	81.97 %
Cinta transportadora	679	105	784	86.61 %
Molino de bolas	640	130	770	83.12 %
Tamiz vibratorio	710	82	792	89.65 %
Sistema de bombeo	660	120	780	84.62 %
Brazo de excavadora o rompe roca	640	145	785	81.53 %

Horas de operación de los equipos-marzo 2024

Equipo (marzo)	Horas de Operación por Mes	Horas de Inactividad por Mes	Horas Programadas por Mes	Disponibilidad
Chancadora primaria	500	115	615	81.30 %
Cinta transportadora	679	105	784	86.61 %
Molino de bolas	640	125	765	83.66 %
Tamiz vibratorio	710	82	792	89.65 %
Sistema de bombeo	660	129	789	83.65 %
Brazo de excavadora o rompe roca	640	153	793	80.71 %

Horas de operación de los equipos-abril 2024

Equipo (abril)	Horas de Operación por Mes	Horas de Inactividad por Mes	Horas Programadas por Mes	Disponibilidad
Chancadora primaria	521	115	636	81.92 %
Cinta transportadora	689	105	794	86.78 %
Molino de bolas	650	125	775	83.87 %
Tamiz vibratorio	720	82	802	89.78 %
Sistema de bombeo	660	119	779	84.72 %
Brazo de excavadora o rompe roca	630	153	783	80.46 %

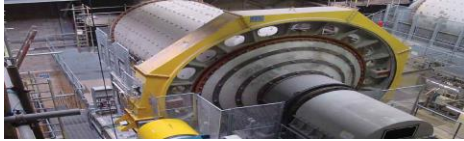
Horas de operación de los equipos-mayo 2024

Equipo (mayo)	Horas de Operación por Mes	Horas de Inactividad por Mes	Horas Programadas por Mes	Disponibilidad
Chancadora primaria	521	115	636	81.92 %
Cinta transportadora	680	105	785	86.62 %
Molino de bolas	610	125	735	82.99 %
Tamiz vibratorio	720	82	802	89.78 %
Sistema de bombeo	620	129	749	82.78 %
Brazo de excavadora o rompe roca	630	153	783	80.46 %

Anexo 4. Plan de mantenimiento preventivo

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	VIGENCIA: ENERO 2024-MAYO 2024	FECHA: 08/01/2024	No. 1
---	---------------------------------------	--------------------------	--------------

EQUIPO: Molinos de Bola

ACTIVIDAD	REALIZÓ	FRECUENCIA	PERIODO	OBSERVACIONES				
	NOMBRE O PUESTO DE QUIEN REALIZA LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA DE LA ACTIVIDAD						
1. Mantenimiento General del Equipo								
Verificar y limpiar la bomba de aceite								
Verificar y limpiar el filtro de aceite								
Verificar y limpiar el lub oleoducto								
Renovar el lub petroleo								
Verificar todos los pernos y reajustar								
Tomar nota de los patrones de desgaste de los								
Verificar el acoplamiento								
Reemplace el anillo elastico de goma								
Reemplace el revestimiento del forro de molino								
Revisar cableado electrico								
Otros								
Otros								
Prueba de calidad								

ELABORÓ

Vo. Bo.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	VIGENCIA: <i>ENERO 2024-MAYO 2024</i>	FECHA: 08/01/2024	No. 1
---	--	--------------------------	--------------

EQUIPO: Chancadora primaria


ACTIVIDAD	REALIZÓ	FRECUENCIA	PERIODO	OBSERVACIONES				
	NOMBRE O PUESTO DE QUIEN REALIZA LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA DE LA ACTIVIDAD						
1. Mantenimiento General del Equipo								
Limpie todo el aceite, la grasa o el oxido de las ranuras de la polea								
Inspecciones de los elementos de transmisión (poleas, ejes, cojinetes)								
Verificar si existe oxido y realizar limpieza								
Reemplazar todas las guardas protectores antes de poner en funcionamiento								
Otros								
Otros								
Prueba de calidad								

ELABORÓ

Vo. Bo.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	VIGENCIA:ENERO 2024-MAYO 2024	FECHA: 08/01/2024	No. 1
---	--------------------------------------	--------------------------	--------------

EQUIPO: Faja transportadora

ACTIVIDAD	REALIZÓ	FRECUENCIA	PERIODO	OBSERVACIONES				
	NOMBRE O PUESTO DE QUIEN REALIZA LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA DE LA ACTIVIDAD						
1. Mantenimiento General del Equipo								
Limpieza y engrasado de elementos rodantes.								
Ajuste y reglaje de la banda transportadora								
Sustitución y/o reparación de elementos deteriorados o dañados.								
Comprobar fugas hidráulicas o de aceite, estado de conexiones eléctricas.								
Comprobación de los sistemas de seguridad y protección.								
Otros								
Otros								
Prueba de calidad								

ELABORÓ

Vo. Bo.

Anexo 5. Check list de maquinarias

CHECK LIST DE MAQUINARIA					
MAQUINA:		Molinos de Bola			
FECHA:		8/01/2024			
SUPERVISOR:		JUAN PEREZ			
Rwvisiones Basicas de Mantenimiento Predictivo		Antes de comenzar el trabajo	Diariamente	Semanalmente	Según las necesidades
Nivel de aceite	Control visual				
	Rellenado				
Fugas de aceite	Control visual				
	Rellenado				
Ultrasonido industrial	Control visual				
	Sustitución				
Pruebas electricas	Control visual				
	Sustitución				
Vibraciones	Comprobar				
	Servicio técnico				
Lubricación y Limpieza	Comprobar				
	Servicio técnico				

Anexo 6. Cronograma de plan de mantenimiento preventivo de las maquinarias

CRONOGRAMA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
MÁQUINA	ELEMENTOS A REVISAR		
		Fecha Revisión	Periodicidad Informe
Molinos de bolas	Cableado electrico	3/06/2024	semanal
	Verificar y limpiar la bomba de aceite	10/06/2024	semanal
	Verificar todos los pernos y reajustar	17/06/2024	semanal
	Verificar el acoplamiento	24/06/2024	semanal
Chancadora primaria	Limpie todo el aceite, la grasa o el oxido de las ranuras de la polea	5/06/2024	semanal
	Inspecciones de los elementos de transmisión (poleas, ejes, cojinetes)	19/06/2024	semanal
	Verificar si existe oxido y realizar limpieza	26/06/2024	semanal
Fajas transportadoras	Limpieza y engrasado de elementos rodantes.	8/06/2024	semanal
	Ajuste y reglaje de la banda transportadora	15/06/2024	semanal
	Comprobar fugas hidraulicas o de aceite, estado de conexiones electricas.	22/06/2024	semanal
	Comprobación de los sistemas de seguridad y protección.	29/06/2024	semanal

Anexo 7. Molino de bolas

