



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Implementación de un plan de mantenimiento para mejorar la  
disponibilidad en los equipos de izajes en una empresa minera

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Industrial

**AUTORES:**

Tello Fuentes, Henry Manuel ([orcid.org/0009-0005-6489-2591](https://orcid.org/0009-0005-6489-2591))

Tirado Gomez, Ronal Eliceo ([orcid.org/0000-0001-9544-0639](https://orcid.org/0000-0001-9544-0639))

**ASESORES:**

Dr. Aranda Gonzalez, Jorge Roger ([orcid.org/0000-0002-0307-5900](https://orcid.org/0000-0002-0307-5900))

Dr. Linares Lujan, Guillermo Alberto ([orcid.org/0000-0003-3889-4831](https://orcid.org/0000-0003-3889-4831))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión Empresarial y Productiva

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

**TRUJILLO – PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A Dios quien ha sido nuestra guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A nuestros padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcarnos con ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi familia, por apoyarnos cuando más los necesitábamos, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad César Vallejo, a toda la Facultad de Ingeniería, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **Declaratoria de Autenticidad de los Asesores**

Nosotros, GUILLERMO ALBERTO LINARES LUJAN, JORGE ROGER ARANDA GONZALEZ, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesores de Tesis titulada: "Implementación de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en los equipos de izaje en una empresa minera", cuyos autores son TELLO FUENTES HENRY MANUEL, TIRADO GOMEZ RONAL ELICEO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

Hemos revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 09 de Julio del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
GUILLERMO ALBERTO LINARES LUJAN, JORGE ROGER ARANDA GONZALEZ <b>DNI:</b> 40026086 <b>ORCID:</b> 0000-0003-3889-4831	Firmado electrónicamente por: GLINARESL el 31-07-2023 21:15:06
GUILLERMO ALBERTO LINARES LUJAN, JORGE ROGER ARANDA GONZALEZ <b>DNI:</b> 18072194 <b>ORCID:</b> 0000-0002-0307-5900	Firmado electrónicamente por: JARANDA el 24-07-2023 22:15:29

Código documento Trilce: TRI - 0581998



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, TELLO FUENTES HENRY MANUEL, TIRADO GOMEZ RONAL ELICEO estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Implementación de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en los equipos de izajes en una empresa minera", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
TELLO FUENTES HENRY MANUEL : 41242072 <b>ORCID:</b> 0009-0005-6489-2591	Firmado electrónicamente por: HTELLOF el 14-09- 2023 19:18:39
TIRADO GOMEZ RONAL ELICEO : 43576265 <b>ORCID:</b> 0000-0001-9544-0639	Firmado electrónicamente por: RTIRADO el 09-09- 2023 02:22:57

Código documento Trilce: INV - 1290908

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DE LOS ASESORES .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR/ AUTORES .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	17
3.2. Variables y operacionalización.....	18
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	19
3.5. Procedimientos .....	20
3.6. Método de análisis de datos .....	24
3.7. Aspectos éticos.....	24
IV. RESULTADOS .....	25
V. DISCUSIÓN.....	76
VI. CONCLUSIONES.....	81
VII. RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS.....	84
ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Confiabilidad de la ficha de registro de datos para disponibilidad .....	20
Tabla 2. Factores críticos según el método.....	21
Tabla 3. Escala del nivel de riesgo.....	22
Tabla 4. Categorización del Lean Maintenance .....	22
Tabla 5. Valoración diagnóstica del plan.....	23
Tabla 6. Diagnóstico de la disponibilidad de los montacargas - pretest .....	25
Tabla 7. Clasificación de las fallas por componentes y montacarga - pretest .....	28
Tabla 8. Análisis de modos de falla y efecto .....	30
Tabla 9. Análisis de criticidad de fallas.....	32
Tabla 10. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Estructura del mantenimiento	34
Tabla 11. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Condiciones de los equipos ..	35
Tabla 12. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Tareas de mantenimiento .....	36
Tabla 13. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Habilidad del personal en la realización de las tareas.....	37
Tabla 14. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad.....	38
Tabla 15. Diagnóstico general del plan de mantenimiento en la empresa minera	39
Tabla 16. Objetivos del plan.....	42
Tabla 17. Cronograma .....	43
Tabla 18. Criterios de evaluación del perfil de los técnicos.....	45
Tabla 19. Valoración del perfil de los técnicos .....	47
Tabla 20. Programa de capacitación.....	48
Tabla 21. Hoja resumen de fallas.....	49

Tabla 22. Acciones de mantenimiento .....	50
Tabla 23. Criterios para evaluar proveedores .....	51
Tabla 24. Comparación de proveedores existentes .....	51
Tabla 25. Plan de compras de materiales y equipos.....	53
Tabla 26. Parámetros de seguimiento.....	55
Tabla 27. Seguimiento del plan de inspección .....	56
Tabla 28. Diagnóstico de la disponibilidad de los montacargas - postest .....	57
Tabla 29. Diagnóstico de la disponibilidad de los montacargas - postest .....	58
Tabla 30. Comparación del tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa (pretest – postest).....	60
Tabla 31. Prueba t-Student para comparar el tiempo promedio de fallas de los montacargas antes y después de la implementación .....	62
Tabla 32. Comparación del tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa (pretest – postest).....	62
Tabla 33. Prueba t-Student para comparar el tiempo medio para reparar de los montacargas antes y después de la implementación .....	64
Tabla 34. Comparación de la disponibilidad para reparar de los montacargas de la empresa (pretest – postest).....	64
Tabla 35. Prueba t-Student para comparar la disponibilidad antes y después de la implementación .....	66
Tabla 36. Determinación de costos de materiales y equipos .....	67
Tabla 37. Determinación de costos de capacitación .....	67
Tabla 38. Determinación de la inversión inicial .....	68
Tabla 39. Proyección de gastos de materiales y equipos .....	69
Tabla 40. Proyección de gastos de mano de obra .....	71
Tabla 41. Proyección de ingresos .....	73



Tabla 42. Flujo de caja proyectado y valoración económica del plan..... 75

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Diseño de investigación .....	17
Figura 2. Proceso de Mantenimiento RCM.....	23
Figura 3. Tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa - pretest .....	26
Figura 4. Tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa - pretest .....	26
Figura 5. Disponibilidad de los montacargas de la empresa - pretest.....	27
Figura 6. Clasificación de las fallas de los montacargas .....	29
Figura 7. Diagrama de Ishikawa.....	40
Figura 8. Tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa - postest	59
Figura 9. Tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa - postest .....	59
Figura 10. Disponibilidad de los montacargas de la empresa - pretest.....	60
Figura 11. Comparación del tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa (pretest – postest).....	61
Figura 12. Comparación del tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa (pretest – postest).....	63
Figura 13. Comparación de la disponibilidad de los montacargas de la empresa (pretest – postest) .....	65

## RESUMEN

El presente estudio estuvo orientado a implementar un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de Izaje en una empresa minera. Para ello, fue necesario adoptar una investigación de tipo aplicada, basada en un enfoque cuantitativo y un diseño preexperimental con pre y post-test, cuya muestra estuvo representada por cuatro montacargas de la empresa y su operatividad evaluada en un periodo de tres meses, utilizando la ficha de observación como el instrumento de recolección de información. Entre los resultados más relevantes se comprobó que en el diagnóstico inicial el nivel de disponibilidad de los montacargas de la empresa minera durante los tres meses evaluados obtuvo un valor promedio de 84.9%, lo que resultó ser inferior al valor previamente establecido del 90%. De igual forma, habiendo identificado las fallas más frecuentes mediante la aplicación del Método AMEF se propuso un plan de mantenimiento basado en RCM, cuyos objetivos principales estuvieron orientados a la capacitación del personal técnico, establecimiento de un nivel de stocks de repuestos y materiales, elevar la disponibilidad de los equipos y realizar un seguimiento a las actividades programadas. Otro hallazgo importante, fue el hecho de que luego de la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM el nivel de disponibilidad de los montacargas alcanzó un valor promedio de 91.2%, lo que significó una mejora evidente con respecto a la valoración inicial. Se concluye que la implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM puede conllevar a una mejora en la disponibilidad de los equipos de Izaje en una empresa minera a través de la prueba t-Student ( $p$ -valor  $< 0.001$ ), siendo una estrategia rentable con VAN = 14,642.3 (VAN  $> 0$ ) y TIR = 5.51% (TIR  $>$  TEM).

**Palabras clave:** Mantenimiento basado en RCM, disponibilidad, fallas, tiempo promedio de fallas, tiempo de reparación.

## ABSTRACT

The present study was oriented to implement a maintenance plan to improve the availability of lifting equipment in a mining company. For this, it was necessary to adopt an applied type of research, based on a quantitative approach and a pre-experimental design with pre and post-test, whose sample was represented by four company forklifts and their operability evaluated in a period of three months, using the observation sheet as the information collection instrument. Among the most relevant results, it was verified that in the initial diagnosis the level of availability of the mining company's forklifts during the three months evaluated obtained an average value of 84.9%, which turned out to be lower than the previously established value of 90%. In the same way, having identified the most frequent failures through the application of the FMEA Method, a maintenance plan based on RCM was proposed, whose main objectives were oriented to the training of technical personnel, establishment of a level of stocks of spare parts and materials, raising equipment availability and follow up on scheduled activities. Another important finding was the fact that after the implementation of the maintenance plan based on RCM, the level of availability of the forklifts reached an average value of 91.2%, which meant an evident improvement with respect to the initial assessment. It is concluded that the implementation of a maintenance plan based on RCM can lead to an improvement in the availability of lifting equipment in a mining company through the t-Student test ( $p$ -value  $< 0.001$ ), being a profitable strategy. with VAN = 14,642.3 (VAN  $> 0$ ) and IRR = 5.51% (IRR  $> TEM$ ).

**Keywords:** RCM-based maintenance, availability, failures, mean time to failure, repair time.

## I. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una gestión muy importante para todas las empresas porque permite maximizar la vida útil de los equipos, al tiempo que permite la reducción de los costos operativos generales. Por lo tanto, al desarrollar una estrategia de mantenimiento adecuada, las empresas podrían evitar el tiempo de inactividad no programado a largo plazo y pérdidas de productividad relacionadas con reparaciones más costosas. En este sentido, permite la detección de las fallas en una etapa temprana y la obtención de intervalos óptimos de reparación que no comprometan las metas productivas (Optimal Inspection and Preventive Maintenance Scheduling of Mining Equipment, 2020).

A nivel internacional, se concibe la implementación de un plan de mantenimiento como un proceso estratégico que está integrado al proceso productivo, ya que una falla en una maquinaria puede paralizar todos los procesos (Reliability, availability and maintainability analysis of the conveyor system in mechanized tunneling. Measurement, 2019). De hecho, el mantenimiento de equipos es tan vital que representa del 35% al 50% del presupuesto operativo anual en la industria minera, y alrededor del 30% en la construcción (A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining, 2022). En Colombia, a pesar de la expansión de actividades como la minería, no han existido mejoras en la gestión de mantenimiento, siendo tan ineficiente esta labor que termina abarcando la mayor parte del presupuesto, generando paradas, accidentes y problemas ecológicos.

En el caso del Perú, si bien la mayoría de las empresas formales implementan planes de mantenimiento con inversiones conjuntas que superan los S/. 200 millones anuales, se observa que la mayoría lo hacen en busca de una certificación y no con un enfoque de realizar el seguimiento a las fallas de las maquinarias (Propuesta de mejora del plan de gestión de mantenimiento basado en RCM y Lean Office en el proceso de inyección de polímeros, 2020). En este sentido, la mayor parte de las empresas peruanas presentan deficiencias en sus planes de mantenimiento que afectan la disponibilidad de sus equipos; así, para 2018, la eficiencia operativa de la maquinaria de la industria nacional se ubicaba en 52.15%,

por debajo del estándar internacional de 85% (Maintenance Management Model under the TPM approach to Reduce Machine Breakdowns in Peruvian Giant Squid Processing SMEs, 2020).

La minería es una de las actividades más importantes para el Perú, aportando poco más del 11% del Producto Bruto Interno (PBI) y cerca de dos terceras partes de las exportaciones, con un crecimiento entre 2020 y 2021 de 10.5%. Además, se observa que el 52% de la producción se concentra mayormente en cobre, el 27% en oro y el 7% en zinc, con una inversión de USD 5,400 millones (BBVA RESEARCH, 2023).

Por otro lado, la empresa minera objeto de estudio ha venido reportando problemas con la paralización de sus equipos de izaje compuesto por locomotoras y winches, debido a que no se realizan labores periódicas de inspección ni existe una programación de estas en función de las fallas que pudiesen presentar durante su operatividad. En este sentido, las fallas más frecuentes se presentan en el motor, sistema de ventilación, sistema de seguridad y palancas de control que paralizan la labor de carga, transporte y descarga de los recursos (Effect of misalignment failures of steel guides on impact responses, 2020). Esta incorrecta gestión de mantenimiento ha conllevado al desgaste y daños en los componentes de las maquinarias, reduciendo su disponibilidad, generando su apagado regular que afecta la producción y la eficiencia, incrementa el número de inspecciones y eleva los costos (Optimal maintenance management of offshore wind turbines by, 2022).

Al no investigar este problema, las consecuencias se pronostican en que las fallas en los equipos de izaje generarán problemas en el sistema productivo de la mina, que podría resultar en la falla del producto, pérdida de tiempo y capacidad, reducción de la calidad y también imponen costos adicionales e innecesarios como el tiempo de inactividad o los costos de reprogramación (A robust integrated production and preventive maintenance planning model, 2019). Por otro lado, además de la reducción de la disponibilidad de los equipos que ocasionan una disminución en la productividad, también la ausencia de mantenimiento adecuado en este tipo de equipos incrementa los riesgos laborales que puede ocasionar lesiones y accidentes mortales en los trabajadores (Sistema de gestión de

mantenimiento basado en confiabilidad. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE, 2021).

Ante estas consideraciones, son diversas las estrategias que pueden permitir afrontar este tipo de inconvenientes que perjudican la operatividad de los equipos y sistemas, y entre ellas se puede mencionar a la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), como una iniciativa orientada a definir aquellos subsistemas y componentes que muestran un estado crítico, establecer los equipos y sistemas que necesitan ser restaurados, optimizados, y determinar los requerimientos y factibilidad del mantenimiento, con el propósito de elaborar un plan de mantenimiento funcional y racional (Study on Preventive Maintenance Strategies of Filling Equipment Based on Reliability-Centered Maintenance, 2021).

Basado en lo anterior, esta investigación se enfocó en la implementación de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en los equipos de izaje en una empresa minera, destacando que según Mena et al. (2021), un plan de mantenimiento se refiere a un conjunto de actividades de mantenimiento que deben ser llevadas a cabo en un activo físico con una frecuencia o periodicidad específica para prevenir la ocurrencia de modos críticos de falla, mientras que la disponibilidad, de acuerdo con (Reliability, availability and maintainability analysis of the conveyor system in mechanized tunneling. Measurement, 2019) es la probabilidad de que una pieza de equipo o de un sistema funcione satisfactoriamente en el tiempo, cuando se usa de acuerdo con las condiciones especificadas y en un entorno ideal.

Así, el problema general fue: ¿La implementación de un plan mantenimiento preventivo influye en la mejora de la disponibilidad de los equipos de Izaje en una empresa minera?, y las preguntas específicas fueron: ¿cuál es el nivel de disponibilidad actual de los equipos de izaje en la empresa minera?, ¿cuáles son los elementos que deben considerarse para la formulación de un plan de mantenimiento para los equipos de izaje en la empresa minera?, ¿cuál es la incidencia del plan de mantenimiento en las dimensiones de la disponibilidad (tiempo medio de falla y de reparación) de equipos de izaje en la empresa minera?, ¿cuál es la viabilidad económica de implementar un plan de mantenimiento en la

empresa minera?.

Este trabajo se justificó con base a lo estipulado por (HERNÁNDEZ SAMPIERI, et al., 2018), visto que se cumplen los criterios de conveniencia, permitiéndole a la empresa minera tener una evaluación del estado actual de su sistema de mantenimiento y de las mejoras que deben realizarse en su programación para elevar la disponibilidad de los equipos de izaje. De igual modo, tiene relevancia social visto que con las mejoras planteadas también se reducirán los accidentes laborales y los problemas ecológicos que pueden generar equipos en deficiente estado. Por otro lado, conforme a las implicancias prácticas permitirá entender la incidencia del mantenimiento en el desempeño eficiente de los equipos en el sector minero. Por último, la utilidad metodológica del estudio fue alcanzada, visto que se usaron técnicas e instrumentos de recolección de datos que podrán ser empleados en próximos estudios.

Basado en ello, el objetivo general fue implementar un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de izaje en una empresa minera, con los objetivos específicos: Realizar un diagnóstico de la situación actual de la disponibilidad de los equipos de izaje de la empresa minera, elaborar el plan de mantenimiento de los equipos de izaje de la empresa minera, realizar el análisis de las mejoras en la disponibilidad de los equipos de izaje de la empresa minera posterior a la implementación del plan y determinar la viabilidad económica del plan de mantenimiento en la empresa minera.

Así, la hipótesis general quedó expresada cómo la implementación de un plan de mantenimiento mejorará la disponibilidad en los equipos de izaje en la empresa minera.



## II. MARCO TEÓRICO

En principio se plantean los antecedentes internacionales que sustentan el presente estudio, para lo cual se cuenta con el trabajo desarrollado por Sarigül (2022), quien diseñó un plan de mantenimiento con la intención de analizar el comportamiento de la disponibilidad y mantenibilidad de los camiones que operan en una mina de carbón a cielo abierto en Turquía. La investigación correspondió a un estudio de casos donde se efectuó una simulación comparativa de mantenimiento en múltiples escenarios para una flota de camiones al introducir el tiempo de actividad aleatorio de sus subsistemas y las condiciones del tiempo de inactividad. De este modo, se empleó el modelo de simulación dinámica sustentado en el análisis de árbol de fallas para la flota compuesta por seis camiones tipo HD785 que operaban en una mina de carbón a cielo abierto. De los resultados se desprende que un escenario caracterizado por la implementación de un plan de mantenimiento correctivo e inspección regular con un factor de restauración de 0.25, puede ofrecer un nivel de disponibilidad de los vehículos del 67%, lo cual representa el nivel más alto dentro de las simulaciones realizadas. Asimismo, se comprobó que la flota de vehículos se encontraba sobre-mantenida, y las políticas de mantenimiento preventivos debían ser disminuidas ligeramente para incrementar la disponibilidad. El autor concluye que un primer escenario condicionado solamente por el mantenimiento correctivo y la inspección regular puede minimizar en mayor medida el costo total de mantenimiento de la flota, no obstante; el nivel de disponibilidad resultó ser de 60%, lo que consideró que el quinto escenario donde se obtuvo una disponibilidad de 67% es la mejor alternativa en cuanto a las políticas de mantenimiento implementadas.

Patil et al. (2022) presentaron una investigación cuyo objetivo consistió en implementar un plan de mantenimiento basado en la estrategia RCM con la intención de optimizar la disponibilidad y minimizar los costos totales de mantenimiento en un sistema de calderas de vapor instalado en una empresa textil en la India. La metodología de trabajo estuvo sustentada en la herramienta RCM, la cual se apoyó en el análisis de confiabilidad y el efecto del modo de falla y criticidad (FMECA) para visualizar los componentes críticos del sistema. Los hallazgos comprobaron que aplicación de una metodología RCM puede contribuir

a incrementar la disponibilidad del sistema en un 0.16%, al pasar de 0.993282 a 0.994957, y al mismo tiempo puede permitir un ahorro en los costos de mantenimiento de la empresa en un 20.32%. Los autores concluyeron que la metodología RCM va a constituir un procedimiento de gestión de riesgos y confiabilidad que puede ser empleado para valorar y mejorar los requerimientos de mantenimiento preventivo en la empresa.

Hardt et al. (2021) realizaron un estudio de casos orientado a aplicar una metodología sustentada en mantenimiento preventivo bajo conceptos de la industria 4.0 con la intención de hacer más efectivo el proceso productivo en función a las actividades de mantenimiento. De este modo, se diseñó e implementó un modelo de mantenimiento productivo total basado en un sistema de información Mpoint que fue aplicado para valorar el desempeño del mantenimiento preventivo en su conjunto. De los hallazgos demostraron una mejora inmediata en el sistema luego de la introducción de la nueva tecnología de mantenimiento preventivo, dado que la cantidad de anomalías procedentes de la mala calidad de los equipos y del mantenimiento regular no programado ocasionó una disminución en el año 2021, al pasar de 600 anomalías registradas en enero a aproximadamente 480 en el mes de mayo de este último año. De igual forma, la ejecución del mantenimiento preventivo obtuvo un incremento importante en la ejecución de sus actividades a partir del año 2020, pasando de 61 acciones de mantenimiento preventivo en el mes de julio de del año 2021 a 536 acciones de esta naturaleza que fueron registradas en el mes de noviembre. Los autores concluyeron que la puesta en marcha de procedimientos de mantenimiento preventivos innovadores conducen a la disminución de la fuerza laboral y fomenta un proceso de planeación y gestión más eficaz al estar parcialmente automatizadas.

Zakikhani et al. (2020) realizaron un trabajo orientado a implementar un plan de mantenimiento para la corrosión externa de las tuberías de transmisión de gas en los Estados Unidos a través de un procedimiento de planificación de mantenimiento basado en la confiabilidad y centrado en la disponibilidad. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, en el que fue aplicado un modelo de predicción de fallas desarrollado bajo la simulación de Monte Carlos en tres escenarios diferentes para las tuberías de transmisión de gas enterradas en la

región de las grandes llanuras de los Estados Unidos. Los resultados determinaron que la implementación de un plan de mantenimiento a las mangas de las instalaciones puede incrementar la vida útil de las instalaciones hasta en 33.3 años, en comparación con 30.1 y 24.2 años para escenarios en que no se realizan mantenimiento a estos componentes. Asimismo, se comprobó que la optimización de la disponibilidad de tubería por costo unitario para la primera acción de mantenimiento en los escenarios nº 1 y 2 es superior al establecido en el escenario nº 3. Los autores concluyeron que la utilización de un indicador basado en la disponibilidad y los costos puede contribuir a maximizar los niveles de disponibilidad por unidad de costo gastado en las actividades de mantenimiento, justificando en consecuencia que dichos gastos de mantenimiento pueden contribuir a elevar la disponibilidad de los equipos.

Choudhary et al. (2019) realizaron un estudio de casos con el propósito de analizar la manera en que la disponibilidad de una planta de cemento en la India puede ser mejorada evitando las fallas y disminuyendo el tiempo de mantenimiento por medio del análisis de los subsistemas de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. En el abordaje metodológico se evidenció la aplicación del análisis RAM para determinar la frecuencia de fallas en la entidad y las estrategias de mantenimiento preventivo a implementar. De los resultados se evidencia que, al realizar el examen de la disponibilidad, la totalidad de los subsistemas de la planta registraron una disponibilidad que excede el 94%, en tanto que del análisis RAM se tuvo que la disponibilidad operativa de toda la planta fue del 83%, sin embargo; la utilización de la capacidad real de la entidad resultó ser del 68%. Asimismo, se demostró que el molino crudo y el molino de carbón se caracterizaron por ser subsistemas críticos desde la perspectiva de la confiabilidad, mientras que el horno constituyó un subsistema crítico desde el enfoque de la disponibilidad. Las conclusiones determinaron que el molino de cemento presentó un tiempo de reparación mayor que el resto de los subsistemas, y al mismo tiempo se verificó que la confiabilidad de la planta de cemento experimentó un incremento con la reducción de las medidas asociadas al mantenimiento preventivo y, por otro lado, se destaca el hecho de que la disponibilidad comenzó a disminuir más allá de los niveles esperados en la confiabilidad, producto de un mantenimiento excesivo.

Dentro de los antecedentes nacionales se pueden mencionar el estudio de (CHOQUE ILLACUTIPA, 2022), quien se enfocó en evaluar la manera en que la implementación de un plan de mantenimiento RCM podría mejorar la disponibilidad de los vehículos de acarreo de la Minera Veta Dorada. Para ello recurrió a una investigación aplicada con un enfoque mixto y diseño descriptivo, con una muestra de tipo censal delimitada por 10 vehículos de acarreo pertenecientes a la compañía minera, y para la recopilación de la información fue utilizado el análisis documental y la entrevista. Los resultados comprobaron que la disponibilidad de los equipos experimentaron una disminución de 16% entre los años 2017 y 2020 al pasar de 96.00% a 80.39%, mientras que posterior a la aplicación del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM la disponibilidad de los equipos registró un valor de 96.22% para la estimación realizada en el año 2021, significando un incremento de 15.83%. En otros resultados, se comprobó que mediante la implementación del plan de mantenimiento RCM se pudo visualizar 113 modos de falla, de los cuales 64 fueron considerados críticos, y ante esta situación se formularon 68 actividades de mantenimiento preventivo y 49 de mantenimiento correctivo. El autor concluye que la puesta en marcha de un plan de mantenimiento RCM podría mejorar la disponibilidad de los vehículos de acarreo de la Minera Veta Dorada, dado que al aplicar la prueba T-Student se obtuvo un valor ( $t = -2.66002$ ,  $p < 0.05$ ).

Canahua (2021) presentó un trabajo de investigación orientada a demostrar la manera en que la implementación de una metodología de mantenimiento productivo total – TPM puede contribuir a mejorar la eficacia global del equipo – OEE y la disponibilidad en la producción de repuestos para equipos del sector minero en la empresa Frecep SAC. El estudio respondió a un tipo descriptivo y diseño preexperimental con un enfoque cuantitativo, cuya muestra estuvo conformada por 247 piezas fabricadas por la mencionada empresa. Los hallazgos constataron que la implementación de un plan de mantenimiento basado en TPM contribuyó al cumplimiento del mantenimiento preventivo y autónomo, lo que redundó en un incremento en la disponibilidad de los equipos en 10.18% al pasar de 76.68% a 93.34%, mientras que el indicador OEE evidenció una mejora de 52.72% pasando de 32.86% a 85.58%. Asimismo, se demostró que el MTBF (tiempo medio entre fallas) experimentó un incremento al pasar de 50.86 horas a 237.65 horas, en tanto

que el MTTR (tiempo medio para reparar) sufrió una reducción al pasar de 7.76 horas a 0.27 horas, lo que se traduce en mayores niveles de eficiencia en el proceso productivo de la entidad. El autor concluye que la implementación de una metodología de mantenimiento TPM conduce a un mejoramiento en los niveles de eficacia global de los equipos al obtenerse un valor  $t_{\text{calculado}} = -20.446 < t_{\text{tabla}} = 2.776$ , y a su vez considera que se puede obtener ahorros por el orden de los S/. 590, 353.55 originados por la disminución en la cantidad de operario y las demoras por actividades de mantenimiento correctivo.

(MACEDO NIÑA, et al., 2020) realizaron un trabajo de investigación con el propósito de implementar un modelo de gestión de mantenimiento sustentado en estrategias RCM para mejorar la disponibilidad en equipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho-Perú. Para ello, los autores utilizaron las metodologías de Análisis de Modo y Efecto del Fallo - AMEF y la estrategia RCM como instrumentos para gestionar los distintos problemas operativos que presentaron los equipos, para lo cual recurrieron al empleo del software Arenas para realizar la simulación de la disponibilidad, MTTF y MTTR. Los resultados comprobaron que posterior a la implementación de un plan de mantenimiento basado en estrategias RCM la disponibilidad de los equipos se incrementaron en 6%, al pasar de 77% a 83%. Por su parte, el tiempo medio entre fallas (MTTF) experimentó un aumento de 27 horas al pasar de 56 horas a 83 horas, a diferencia del tiempo medio para la reparación (MTTR) que presentó una disminución de 4 horas/avería lo que redundó en incremento de 12,630.62 toneladas en la cantidad de mineral extraído. Las conclusiones determinaron que la implementación de la metodología RCM puede incidir positivamente en diferentes áreas de la empresa como el mantenimiento, operatividad y productividad de esta.

(MIRANDA ORNA, 2019) realizó un estudio con la intención de diseñar un plan de mantenimiento sustentado en la estrategia RCM para el filtro prensa de relaves Andritz modelo 2500 perteneciente a una empresa minera. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, en el que se formuló un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM con el propósito de identificar las condiciones del equipo y los modos de fallas de los mismos. De los resultados se desprende que posterior a la aplicación del plan de mantenimiento RCM la

disponibilidad del equipo se incrementó en 13%, al pasar de 71% a un 84%, mientras que la eficacia global del equipo – OEE también evidenció una mejora de 15%, pasando de 49% a 64%. En otros resultados se obtuvo que los costos asociados al mantenimiento correctivo disminuyeron en un 79%, debido a que en un principio el valor inicial de estos costos resultó ser de \$. 531,500 en comparación al valor final de \$ 114,000, que se registró al implementarse el plan de mantenimiento en cuestión. El autor concluye que la puesta en marcha de un plan de mantenimiento RCM no solo contribuye a la optimización de indicadores como la disponibilidad, OEE o los costos asociados al mantenimiento correctivo, sino que incide en aspectos relacionados a la ingeniería de diseño, ingeniería de mantenimiento, preservación del medio ambiente, seguridad y salud ocupacional de la empresa minera.

(CHERE CUSTODIO, 2019) en un estudio enfocado en diseñar e implementar un sistema de mantenimiento para optimizar la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación subterránea (Trackless) de la empresa Gestión Minera Integral SAC. En el abordaje metodológico se corroboró que la investigación fue de tipo descriptivo – proyectivo, con una muestra conformada por 18 equipos de perforación mecanizada, y cuya recolección de información estuvo sujeto al empleo de la entrevista no estructurada y fichas de registros. Dentro de los resultados más relevantes se constató que a raíz de la implementación del sistema de mantenimiento propuesto y ejecutado en la empresa Gestión Minera Integral SAC la disponibilidad mecánica evidenció un incremento de 19.27% al pasar de 69.5% a un 88.77%, el tiempo medio entre falla (MTBF) también registró un incremento de 19.10 horas al pasar de 4.9 horas a 24 horas de trabajo, mientras que el tiempo medio de reparación (MTTR) se mantuvo dentro de un rango óptimo de 2.5 horas. En otros resultados se obtuvo que posterior a la puesta en marcha de la aplicación del sistema de mantenimiento se observó una reducción en la cantidad de paradas por mantenimiento correctivo, en tanto que los metros perforados en producción presentaron un cumplimiento en su programa de 86% (49,880 mts/mes) en comparación con el 58.6% de cumplimiento (34,000 mts/mes) que se obtuvo antes de la aplicación del sistema de mantenimiento basado en el uso. El autor concluye que las actividades asociadas al mantenimiento preventivo generan menores

gastos que el mantenimiento correctivo, lo cual redundaría en un ahorro para la empresa.

Dentro de las teorías y modelos que explican la implementación de un **plan de mantenimiento** en las organizaciones se tiene al modelo perteneciente a la escuela de pensamiento del mantenimiento global, o también denominadas filosofías del mantenimiento RCM o Reliability Centered Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), que fue producto de una documentación escrita por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en el año de 1978, el cual fue propuesto para el sector de la aviación, donde los elevados costos que se desprendían del reemplazo sistemático de las piezas amenazaba la rentabilidad de las compañías aéreas, con lo que se ameritaba una metodología sistemática de mantenimiento que ofreciera una solución a estos inconvenientes (Una polémica trascendental sobre el mantenimiento Preventivo y Predictivo, 2017).

El modelo de Mantenimiento Productivo Total diseñado por Seiichi Nakajima a comienzos de los años 70, fue considerado como un híbrido de mantenimiento preventivo y predictivo y diversas metodologías gerenciales ejecutadas mediante la participación de los empleados. De esta manera, Nakajima analizó el mantenimiento preventivo (Preventive Maintenance – PM) norteamericano en los años 50, y fue aprendiendo los aspectos asociados a la confiabilidad y mantenibilidad, LCCA, cero defectos, mantenimiento proactivo, mantenimiento autónomo, y trabajo en equipo, posteriormente combinó todas estas prácticas hasta diseñar un proceso altamente eficaz (Ardila et al., 2016).

Seguidamente, se presenta el modelo de mantenimiento Terotecnológico, que fue un enfoque diseñado por Dennis Parker en la Inglaterra de la década de los 70, y está referido al análisis y gestión de la vida de un activo, que data del comienzo hasta el final del mismo e implicando la administración económica de los activos (Una polémica trascendental sobre el mantenimiento Preventivo y Predictivo, 2017).

Más recientemente se tiene el modelo de Inteligencia Artificial que se basa en la metodología Machine Learning (ML), y se proyecta tras el surgimiento de la Cuarta Revolución Industrial o lo que es conocido como la Industria 4.0, que en este caso

se apoya en tecnologías sofisticadas (redes, sensores y otros elementos innovadores) con el propósito de crear modelos de algoritmos destinados a predecir las fallas de los equipos (Adenuga et al., 2022).

En principio se puede definir al mantenimiento, como la combinación de diferentes iniciativas técnicas y administrativas vinculadas a la retención de un elemento o a su restauración para que pueda ejecutar su función requerida (Robatto et al., 2023). Para (AGE SAPUTRA, et al., 2022), el mantenimiento puede ser definido como una serie de actividades y procedimientos administrativos y gerenciales que son ejecutados durante el ciclo de vida de un bien, sitio de trabajo, equipo de trabajo o medio de transporte, a efecto de conservar las condiciones y el valor de un activo, y donde dicho valor engloba la confiabilidad, disponibilidad, productividad y el valor de mercado.

El mantenimiento de las máquinas en cualquier proceso productivo es fundamental para garantizar que el proceso de producción pueda operar adecuadamente. En todo caso, el tiempo de inactividad como consecuencia de fallas o mantenimiento va a redundar en la paralización de todos los procesos de producción. Un mantenimiento inadecuado puede ocasionar graves consecuencias para la calidad del producto, la disponibilidad de los equipos y la competitividad de la organización (Nova et al., 2020).

Antes estas consideraciones, Angeles y Kumral (2020) coinciden en señalar que los equipos representan un activo esencial para las empresas mineras, por lo que una política de mantenimiento adecuada es fundamental para lograr un buen desempeño. De este modo, se tiene que las actividades de mantenimiento tienen una incidencia directa sobre la disponibilidad y confiabilidad, lo que posiblemente puede impactar en los aspectos económicos de las operaciones mineras al contribuir en la disminución de los costos y en la maximización de la eficiencia.

No obstante, se debe tener en cuenta que las actividades de mantenimiento pueden verse afectado por errores humanos, mala calidad de los repuestos, insuficiencia en los tiempos de mantenimiento y otros aspectos, que no permiten la restauración del equipo o sistema a un nuevo estado (Zhao et al., 2022).

La planificación del mantenimiento es una actividad orientada a subsanar daños o



advertir sobre fallas inminentes en equipos o un sistema en particular, lo que va a significar la disminución de la probabilidad de error humano, garantizar el ritmo normal de las operaciones y optimizar la confiabilidad del sistema (Xia et al., 2023). De acuerdo a lo argumentado por Tsarouhas (2020), la información histórica que se tenga sobre la confiabilidad (datos de fallas y reparaciones) de los equipos van a representar las principales entradas para un diseño confiable y un programa de mantenimiento eficiente, Es así que, la acumulación de datos de fallas y reparaciones es fundamental para llevar a cabo el análisis de la confiabilidad y disponibilidad del sistema en función de obtener resultados precisos y sin fallas. En otro orden de ideas, resulta conveniente hacer referencia a las distintas acciones estratégicas que delimitan las actividades de mantenimiento, y para lo cual se tiene al mantenimiento de productividad total - TPM y al mantenimiento centrado en la confiabilidad – RCM, como dos de las principales estrategias que son empleadas en el ámbito de la planificación del mantenimiento.

En primer lugar, se tiene al TPM como un enfoque destinado a incrementar la eficacia de las organizaciones, así como el rendimiento de sus equipos en el momento en que puedan ser utilizados en las distintas operaciones, para lo cual se debe contar con la participación y el interés de todos sus colaboradores. En tal sentido, el propósito principal de la metodología TPM radica en disminuir los desperdicios en los diferentes procesos, al tiempo de intentar reducir los costos totales al incrementar la productividad y fabricar productos de calidad (Singh et al., 2022). Al respecto, (PELANTOVÁ, 2022) concuerda en señalar que el TPM es considerada como una filosofía integral de mantenimiento preventivo eficaz, la cual no muestra interés solamente en las maquinarias y equipos, sino que, por el contrario, se interesa en la intervención de los empleados en sus funciones como operadores de producción, así como en su rol de resguardar los equipos.

Por otra parte, se presenta el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como un procedimiento empleado para establecer las necesidades de mantenimiento que presentan los activos físicos en su contexto operativo. Dicha metodología implica una combinación sistemática de métodos particulares de mantenimiento que permiten la conformación de una estructura óptima de mantenimiento. Por lo tanto, visualiza los equipos que deben ejecutarse hasta que

se produzcan las fallas, ayuda a identificar aquellos que necesitan mantenimiento preventivo/programado y, aunado a ello fomenta la práctica del mantenimiento predictivo y basado en la condición (Adenuga et al., 2022).

La filosofía RCM propone, como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes que son catalogados como críticos para el adecuado funcionamiento de los equipos o sistemas, dejando operar hasta su fallo a los componentes no críticos, momento en el que se implementa el mantenimiento correctivo correspondiente. Entre los instrumentos que forma parte de la estrategia RCM se pueden nombrar, el equipo de trabajo de la mejora continua, delimitación de sistemas, funciones y condiciones operacionales, establecimiento y diferenciación de la criticidad, análisis de la causa raíz, documentación de hojas de decisión para las actividades de planeación (Díaz-Concepción et al., 2016).

En lo concerniente a los tipos de mantenimiento, existen diversas modalidades de mantenimiento, no obstante; los más usuales están dados por: 1) Mantenimiento correctivo, que básicamente consiste en la realización de un trabajo para corregir fallas o reacondicionar un equipo que presente averías, lo cual es llevado a cabo en un momento previo a que la incidencia de la falla en las operaciones se convierta en una condición crítica; 2) Mantenimiento preventivo el cual se caracteriza por la realización de un conjunto de trabajos programados y ejecutados a intervalos específicos, en los cuales se procede a la sustitución o restauración de ciertos componentes, indistintamente del estado en que se encuentre (Robatto et al., 2023), y 3) Mantenimiento predictivo que representa una modalidad de mantenimiento en la cual se emplea la información histórica para detectar una trayectoria de comportamiento de los equipos, que puede permitir pronosticar el instante en que podrían fallar, de tal manera que, una vez que se visualizan las tendencias de falla y es notificado el momento de la falla, las actividades de mantenimiento predictivo pueden ser planificados con bastante antelación (Jaramillo et al., 2020).

Con respecto a esta clasificación Age et al. (2022), plantean que las tareas de mantenimiento pueden suponer un conflicto con las actividades productivas de una entidad, y es que si bien es cierto el mantenimiento preventivo puede hacer más

lenta la degradación del equipo, y disminuir la necesidad de llevar a cabo acciones correctivas complejas y costosas, puede afectar la disponibilidad de los equipos. Según lo señalado por estos últimos autores, en el caso específico de las empresas mineras se tiene que a medida que la producción experimenta un incremento, estas organizaciones requieren de equipos óptimos que les garantice la maximización de los beneficios económicos, afrontar los desafíos que entraña la competencia global, y el mantenimiento de la confiabilidad, entendiendo por este último concepto como la posibilidad de que un equipo opere adecuadamente durante un cierto tiempo en el momento que son usados correctamente bajo condiciones particulares.

En relación a lo que representa la disponibilidad de los equipos, Sarkhel y Dey (2015) la definen como la probabilidad de que un sistema o equipo pueda estar disponible para ser utilizado en un momento determinado. Para Su y Cheng (2017), la disponibilidad operativa (A) se puede calcular en función al tiempo de actividad medio (MUT) y el tiempo medio de inactividad de cada ciclo (MDT), lo que va a estar vinculado a la siguiente expresión:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

El nivel de disponibilidad incide de forma directa en la planificación de la capacidad del proceso productivo, y es que el proceso de capacidad de producción se puede cuantificar por la cantidad de producto fabricado. Por lo que, la disponibilidad determina una asociación directa con la capacidad de producción, dado que constituye una magnitud de tiempo en la que el equipo estará disponible para las operaciones productivas (Dos Santos Silva et al., 2016).

Por otra parte, se tiene a la Efectividad Global de Equipo - OEE que representa una proporción de rendimiento que ayuda a estimar la eficiencia global del equipo. En este sentido, en vista de que dicho indicador está conformado por los niveles de disponibilidad, desempeño y calidad, se presentan un conjunto de pérdidas asociadas a cada uno de estos elementos, es decir; a) pérdidas por la falta de disponibilidad de equipos, b) pérdidas por bajo desempeño o rendimiento de los equipos y (c) pérdidas por la elaboración de productos de baja calidad. En tal sentido, la OEE esta condicionada a la siguiente expresión, a saber:

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

Para Corral-Ramírez et al. (2018), la ventaja principal que se obtiene al aplicar esta proporción reside en que estima en un solo indicador, la totalidad de los parámetros más relevantes que son utilizados en la producción industrial, como son: la disponibilidad, el rendimiento y la calidad. En definitiva, se podría obtener información vinculada a la producción que se debió haber producido en el tiempo previsto para ello (disponibilidad), la adecuación del ritmo de producción (rendimiento) y la calidad óptima que es solicitada por los clientes (calidad).

Con respecto a la estimación del OEE, es esencial hacer referencia a lo que se conoce como el tiempo medio de reparación – MTTR, que según Zeng et al. (2021) constituye el tiempo medio que demora un equipo o sistema en volver a estar en servicio luego de que se haya presentado una falla, y que puede expresarse de la siguiente manera

$$MTTR = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{n}$$

Donde  $t_i$  equivale a las  $i$ -ésimas horas reparadas y  $n$  es el número de veces de reparación.

De manera simultánea, se tiene a otro índice que está estrechamente vinculado a la OEE, y que tiene que ver con el tiempo medio entre fallas – MTBF, que no es más que el valor promedio de tiempo entre fallas de un sistema (Ranjan et al., 2019), y que puede ser expresado de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{T}{N}$$

Donde  $T$  equivale al tiempo total de trabajo del equipo, y  $t_i$  las horas de trabajo estimadas entre cada falla.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

El tipo de estudio fue aplicado, lo cual según lo describe Carrasco (2017), tiene una finalidad práctica inmediata, orientándose a modificar la situación actual de la disponibilidad de los equipos de izaje en la mensajería minera. De esta manera, se ha modificado la realidad existente de la empresa con la implementación de un plan de mantenimiento (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, CONCYTEC, 2018).

Por otro lado, la investigación fue de enfoque cuantitativo, visto que se centró en la comprobación de hipótesis que fueron planteadas al comienzo, a través del análisis numérico de datos que fueron recabados con instrumentos de recolección de datos (Hernández y Mendoza, 2018).

##### **Diseño de investigación**

Siguiendo a Arias y Covinos (2021), el estudio contó con un diseño preexperimental con pre y post-test, en el cual se ha manipulado una variable (plan de mantenimiento) para ver la mejora en otra variable (disponibilidad), sin que se establezcan grupos de control. Por otro lado, fue de corte longitudinal, visto que se recolectaron los datos en dos momentos para comprobar si hubo una mejora en la variable dependiente (Hernández y Mendoza, 2018). En la figura 1, se presenta el diseño de investigación.

Figura 1. Diseño de investigación

GE: O1 X O2

Fuente: Carrasco (2017)

Donde GE: grupo experimental, O1: disponibilidad de equipo de izaje antes de la implementación, X: plan de mantenimiento y O2: disponibilidad de equipo de izaje después de la implementación.

### **3.2. Variables y operacionalización**

#### **Variable 1: Plan de mantenimiento**

Definición conceptual: Se caracteriza por la realización de un conjunto de trabajos programados y ejecutados a intervalos específicos, en los cuales se procede a la sustitución o restauración de ciertos componentes, indistintamente del estado en que se encuentre (Robatto et al., 2023).

Definición operacional: las dimensiones seleccionadas del plan comprenden la estructura del mantenimiento, condiciones de los equipos, tareas de mantenimiento, habilidad del personal en la realización de tareas y evaluación de fallas y la ingeniería de confiabilidad.

Dimensiones: estructura del mantenimiento, condiciones de los equipos, tareas de mantenimiento, habilidad del personal en la realización de las tareas y evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad.

Escala: de razón.

#### **Variable 2: Disponibilidad**

Definición conceptual: Se define como la probabilidad de que un sistema o equipo pueda estar disponible para ser utilizado en un momento determinado (Su y Cheng, 2017).

Definición operacional: Las dimensiones consideradas para esta variable son tiempo promedio de fallas y tiempo de reparación.

Dimensiones: tiempo promedio de fallas y tiempo de reparación.

Escala: de razón.

### **3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis**

#### **Población:**

La población de la investigación se refiere a la agrupación de todos los elementos con características similares y mensurables que están presentes en el estudio (Carhuancho et al., 2019). En este caso, la población estuvo compuesta por cuatro montacargas de la empresa.

#### **Criterios de inclusión:**

Equipos en operación por más de un año.

Equipos que sean utilizados según los fines los previstos en sus especificaciones.

**Criterios de exclusión:**

Equipos en estado de deterioro total.

**Muestra:**

La muestra, como específica Carrasco (2017), se refiere a un subconjunto de elementos de la población que tiene ciertas características de representatividad que permiten la generación de los resultados. En este caso, se han seleccionados los cuatro montacargas de la empresa y su operatividad por un plazo de tres meses.

**Muestreo:**

Se ha aplicado muestreo no probabilístico a conveniencia o intencional, en donde el investigador bajo sus propios criterios elige la cantidad y los elementos de la población que serán sometidos al análisis (Hernández y Mendoza, 2018). De esta manera, se han elegido todos los montacargas de la empresa minera que han estado operativos por más de un año.

**Unidad de análisis:**

En este caso, se analizó la disponibilidad de los montacargas.

**3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos****Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos constituyen el conjunto de métodos y procesos que son aplicados para la recopilación de los datos requeridos en la información (Arias y Corvino, 2021). En este estudio, se aplicó la **observación directa**, definida por Carrasco (2017), como un método que ayuda a recopilar la información directamente del fenómeno investigado.

Adicionalmente, se consideró el **análisis documental**, que es un procedimiento que ayuda a la compilación y examen de información documental, con la idea de obtener datos previamente obtenidos (Arias y Corvino, 2021).

**Instrumentos de recolección de datos**

Como instrumento, se empleará la ficha de observación que consiste en un formato de registro de los datos que han sido observados en un fenómeno (Hernández y Mendoza, 2018). En Anexos 2, se incluyen estas fichas.

La **validez** de un instrumento indica la cualidad de medir lo que se ha pretendido

medir; en este caso, las variables plan de mantenimiento y disponibilidad; al igual que sus dimensiones e indicadores (Carrasco, 2017). En este caso, la validez se realizará a través de juicio de expertos.

La **confiabilidad**, para Carrasco (2017), expresa que el instrumento reproduce los mismos resultados en caso de ser aplicado en repetidas de oportunidades a una misma muestra. Para la medición de la confiabilidad, se realizó la medición de la estabilidad (test-retest) para la Ficha de observación para medición de disponibilidad descrita en el Anexo 2.

Esta prueba de confiabilidad es útil para ver si al aplicar el instrumento se generan resultados similares en distintos momentos y se determina a través de las correlaciones de los indicadores medidos, las cuales deben ser mayores a 0.500 para indicar una confiabilidad aceptable. Este procedimiento se realizó a través del software estadístico SPSS V.28.0.

Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 1, observándose que los coeficientes de correlación son mayores que cero, superando el mínimo exigido de 0.500, lo cual indica que los parámetros medidos son fiables. Para el cálculo de estos valores, se levantó información semanal de las fallas presentadas en los montacargas durante un periodo de tres meses.

Así, el levantamiento de datos consideró los siguientes aspectos: i) una jornada laboral de ocho horas (la jornada de 7:00 am a 4:00 pm); ii) seis días de operatividad y iii) la cantidad de horas programadas se fija en 12 horas (aproximadamente).

Tabla 1. Confiabilidad de la ficha de registro de datos para disponibilidad

Descripción	Correlación total de elementos corregida
Número de fallas detectadas (N)	0.745
Tiempo total de falla (B) (horas/semana)	0.745

### 3.5. Procedimientos

Para dar respuesta a cada objetivo específico, se ha planteado lo siguiente:

Para el objetivo específico 1, se aplicó la ficha de observación para la medición de



la disponibilidad. Seguidamente, se realizó el Método AMEF con base a los criterios empleados en la tabla 2.

Tabla 2. Factores críticos según el método

Frecuencia de fallas (F)	
Más de 16 fallas	4
De 12 a 16 fallas	3
De 6 a 10 fallas	2
Menos de 6 fallas	1
Impacto operacional (IO)	
Se paraliza inmediatamente el vehículo	10
Afectación en costos operacionales	8
Se genera un impacto en productividad y/o calidad	4
No involucra una afectación importante en producción y calidad	1
Flexibilidad Operacional (FO)	
No se encuentra disponible el repuesto en el mercado	4
Existe el repuesto, pero fuera de la empresa	2
Se dispone del repuestos en almacén	1
Costo de mantenimiento (CM)	
El costo de mantenimiento del componente supera los S/. 500.	3
El costo de mantenimiento del componente se ubica entre S/. 250 y S/. 500.	2
El costo de mantenimiento del componente es inferior a S/. 250.	1
Impacto en seguridad, ambiente y salud (ISAS)	
Impacto alto en pérdida de vidas o daño graves al ambiente	7
Impacto medio en la salud de los operadores o daños moderados al ambiente	5
Impacto bajo en la salud de los operadores o daños moderados al ambiente	3
No hay impacto medio sobre la salud de los operadores o el ambiente	1

Seguidamente, se calcula las consecuencias de la falla (C) por la ecuación:

$$C = IO * FO + CM + ISAS$$

Luego, se determina el nivel de riesgo con la fórmula:

$$R = F * C$$

Dependiendo del valor de R, se clasifica el riesgo según la tabla 3.

Tabla 3. Escala del nivel de riesgo

Escala	Descripción
125-200	Riesgo crítico
101-125	Riesgo alto
26-100	Riesgo moderado
0-25	Riesgo muy bajo

Para el desarrollo del objetivo específico 2, se empleó el proceso de mantenimiento RCM, donde la fase 1 se refiere a la preparación de la información, luego la fase 2 indica los resultados del método AMEF y en la fase 3 se aplicó la ficha de observación del plan de mantenimiento (ver Anexo 3) y el empleo de los diagramas de Ishikawa y Pareto para precisar las causas, para evaluar las condiciones actuales del mismo; así como, se revisaron los procesos de mantenimiento mediante la revisión el diagrama de procesos.

Esta ficha considera cinco aspectos importantes del plan, las cuales son: estructura del mantenimiento, condiciones de los equipos, tareas de mantenimiento, habilidad del personal en la realización de tareas y evaluación de fallas y la ingeniería de confiabilidad y están descritas en al categorización el Lean Maintenance. De esta manera, cada ítems contiene 10 preguntas con una escala valorativa de que va de 0 a 10 puntos, lo cual se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4. Categorización del Lean Maintenance

Nº de categoría	Categoría	Nº de preguntas	Cantidad de puntos posibles
1	Estructura del mantenimiento	10	100
2	Condiciones de loss equipos	10	100
3	Tareas de mantenimiento	10	100
4	Habilidad del personal en la realización de las tareas	10	100
5	Evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad	10	100
Total		50	500

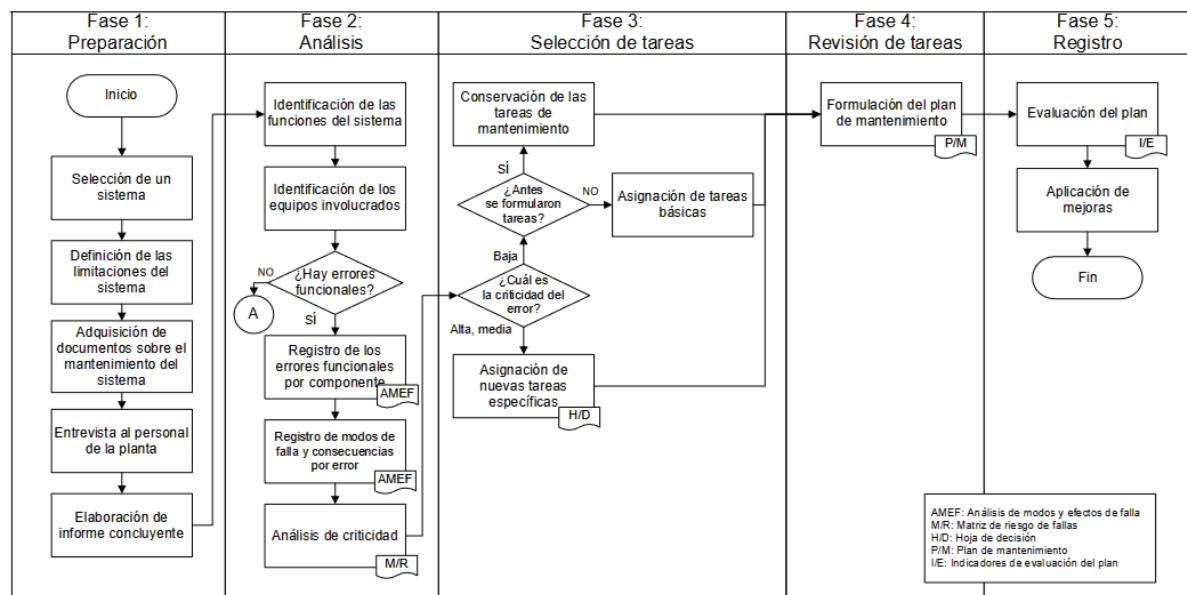
La valoración se realiza conforme a las escalas prevista en la tabla 5.

Tabla 5. Valoración diagnóstica del plan

Niveles	Explicación
A	-Define al nivel más elevado de valoración -Se aprecia que más del 95% de lo planteado se logra cumplir
B	-Delimita al segundo nivel de valoración -Se percibe que más del 50% de lo planteado se cumple
C	-Delimita el tercer nivel de valoración -Se considera que el 50% de lo planteado se cumple
D	-Define a un nivel inferior al promedio de la valoración -Se cumplen en una proporción menor al 50%.
E	-Delimita al grado más bajo de valoración -Se percibe que el cumplimiento de los parámetros presentados se cumple en una proporción menor al 25%.

Seguidamente, en la fase 4 se formuló el plan y en la fase 5 se evaluó su implementación.

Figura 2. Proceso de Mantenimiento RCM



Para el objetivo específico 3, se realizó un análisis descriptivo e inferencial conforme a lo establecido en la apartado 3.6, a través de la prueba t-Student para comparación de medias de dos muestras distintas.

Finalmente, para el objetivo específico 4 se determinaron los costos y ahorros generados por el plan y se proyectaron por doce meses, para estimar el flujo de caja del plan y los indicadores VAN, TIR, tiempo de recuperación de la inversión y

relación beneficio-costos que permitirán evaluar su viabilidad económica.

### **3.6. Método de análisis de datos**

El estudio se desarrolló bajo el método hipotético – deductivo, el cual según Arias y Corvino (2021), permite la comprobación de hipótesis, partiendo de lo general a lo particular. Para la comprobación de la hipótesis del estudio, se realizará un estudio descriptivo mediante gráficos y tablas del comportamiento de la disponibilidad en los equipos de izaje en la empresa, antes y luego de la implementación del plan. Seguidamente, se aplicó la prueba t-Student para comparación de medias de dos muestras distintas, con un nivel de significancia del 5%, lo que permitió identificar si las medias de la disponibilidad son distintas en los periodos antes y después de la implementación.

### **3.7. Aspectos éticos**

Durante la investigación, se han cumplido con diversas normas y aspectos éticos, satisfaciéndose lo siguiente:

Se ha respetado la autoría de las fuentes de información, aplicando el estilo ISO 690 para el citado.

Cumplimiento del código de ética de la Universidad César Vallejo.

En este sentido, se respetaron los principios éticos de beneficencia, visto que el estudio fue ejecutado para mejorar las condiciones de la empresa minera; no maleficencia, ya que no se afectó a ninguno de los empleados de la empresa. Además, se empleó el principio de autonomía, por lo que no se obligó a ningún sujeto a participar en el estudio y de justicia, tratándose a todas las unidades muestrales sin distinciones.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. Diagnóstico de la situación actual de la disponibilidad de los equipos de izaje de la empresa minera

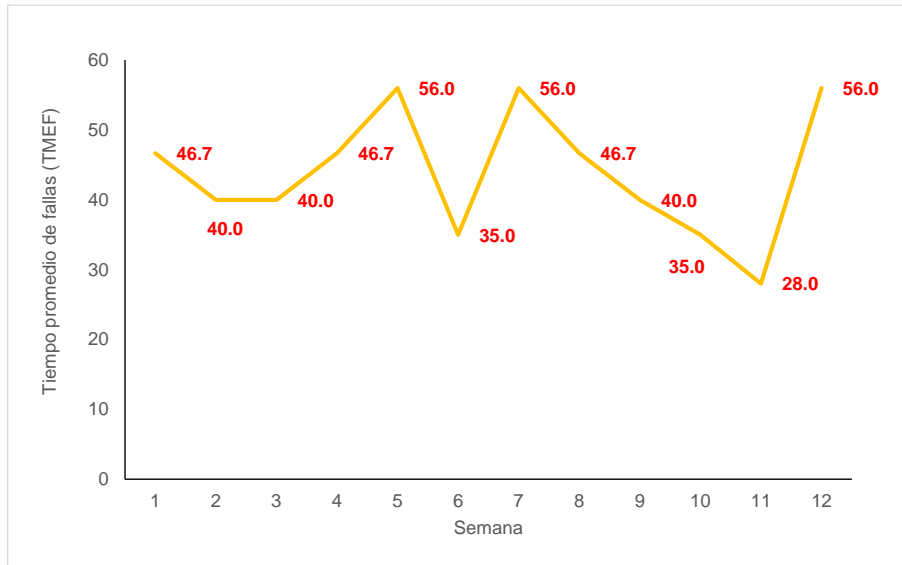
Como se aprecia en la tabla 6, la disponibilidad de los montacargas de la empresa minera durante los tres meses se encuentra por debajo del 90% que se ha contemplado, con un promedio de 84.9%; de hecho, durante el periodo evaluado esta variable disminuyó en 3.4%, al pasar de 87.2% a 83.8%. También esa tabla se aprecia que la cantidad de fallas promedio fue de 6.7 durante el periodo, alcanzándose el valor más alto en la semana 11 con un total de 10 fallas. Por su parte, el tiempo total de falla se ubicó en 50.4 horas/semana, que representa el 18% de las horas programadas, estimadas en 280 horas/semana. Con base a estos valores el tiempo promedio de fallas de los cuatro montacargas se estima en 43.8, destacándose que el mismo se elevó en 19.9%, durante el periodo al pasar de 46.7 a 56.0. Por su parte, el tiempo medio para reparar se ubicó en promedio en 7.8, incrementándose en 4.0% al pasar de 6.9 horas/semana a 10.9 horas/semana.

Tabla 6. Diagnóstico de la disponibilidad de los montacargas - pretest

Semana	Número de fallas detectadas (N)	Tiempo de operatividad (A) (horas/semana)	Tiempo total de falla (B) (horas/semana)	TMEF (A)/(N)	TMPR (B)/(N)	Disponibilidad
1	6	280	41.2	46.7	6.9	87.2
2	7	280	52.3	40.0	7.5	84.3
3	7	280	49.8	40.0	7.1	84.9
4	6	280	48.7	46.7	8.1	85.2
5	5	280	36.5	56.0	7.3	88.5
6	8	280	55.5	35.0	6.9	83.5
7	5	280	50.1	56.0	10.0	84.8
8	6	280	50.5	46.7	8.4	84.7
9	7	280	52.3	40.0	7.5	84.3
10	8	280	52.2	35.0	6.5	84.3
11	10	280	61.2	28.0	6.1	82.1
12	5	280	54.3	56.0	10.9	83.8
Promedio	6.7	280	50.4	43.8	7.8	84.9

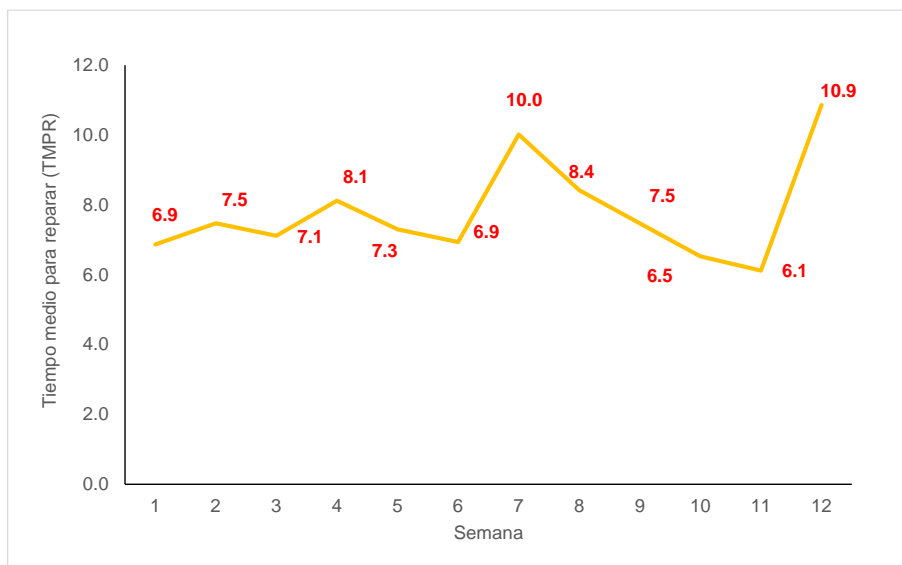
En la figura 3, se observa el comportamiento del tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa en el pretest, observándose que si bien ha tenido un comportamiento cíclico, al final se aprecia una tendencia creciente, iniciando con 46.7 horas/semana y cerrando con 56.0 horas/semana.

Figura 3. Tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa - pretest



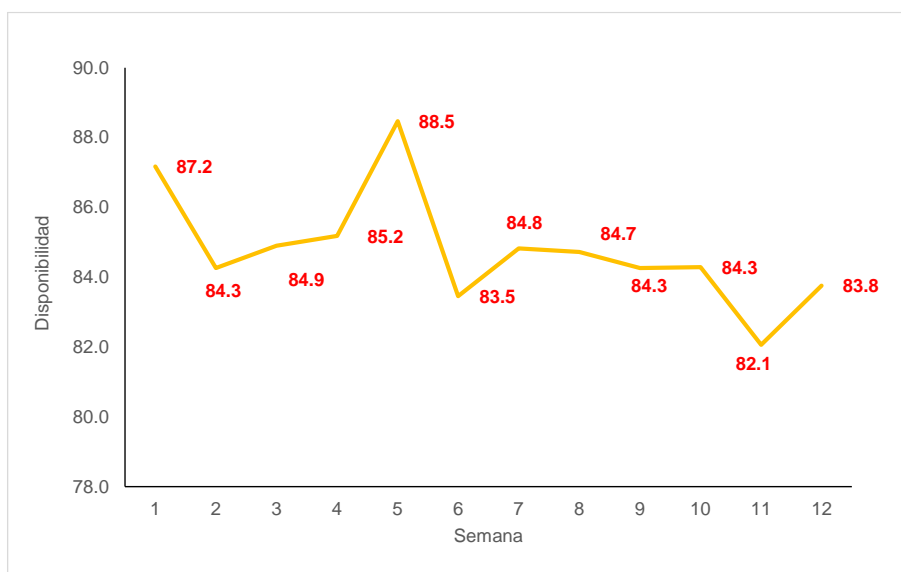
En la figura 4, se observa el comportamiento del tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa en el pretest, observándose que si bien ha tenido un comportamiento cíclico, al final se aprecia una tendencia creciente, iniciando con 6.9 horas/semana y cerrando en 10.9 horas/semana.

Figura 4. Tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa - pretest



En la figura 5, se observa el comportamiento de la disponibilidad de los montacargas de la empresa en el pretest, observándose que si bien ha tenido un comportamiento cíclico, al final se aprecia una tendencia decreciente, iniciando con 87.2% y cerrando en 83.9%, muy por debajo de la meta inicial de la empresa de 90.0%.

Figura 5. Disponibilidad de los montacargas de la empresa - pretest



## 4.2. Elaboración del plan de mantenimiento de los equipos de izaje de la empresa minera

### 4.2.1. Metodología AMEF

Seguidamente, para entender las razones de la baja disponibilidad se ha aplicado el Método AMEF, en el cual se ha considerado las fallas más frecuentes cinco componentes de los montacargas: luces (fundición o desgaste), llantas (ruptura, neumático desinflado o desgaste), filtros (falta de combustible, suciedad o falta de lubricación), circulina (fundición o desgaste) y cadena (elongación anormal, presencia anormal de ruido y desgaste). Esta clasificación se presenta en la figura 6.

En la tabla 7, se aprecia que durante los tres meses evaluados se generaron 80 fallas clasificadas en 27.5% en el montacarga DP150NM1, 27.5% en el montacarga DP150NM4 y 22.5% para cada uno de los montacargas DP150NM2 y DP150NM3. De igual modo, se observa que el 27.5% se ubicaron en las llantas, el 21.3% en los

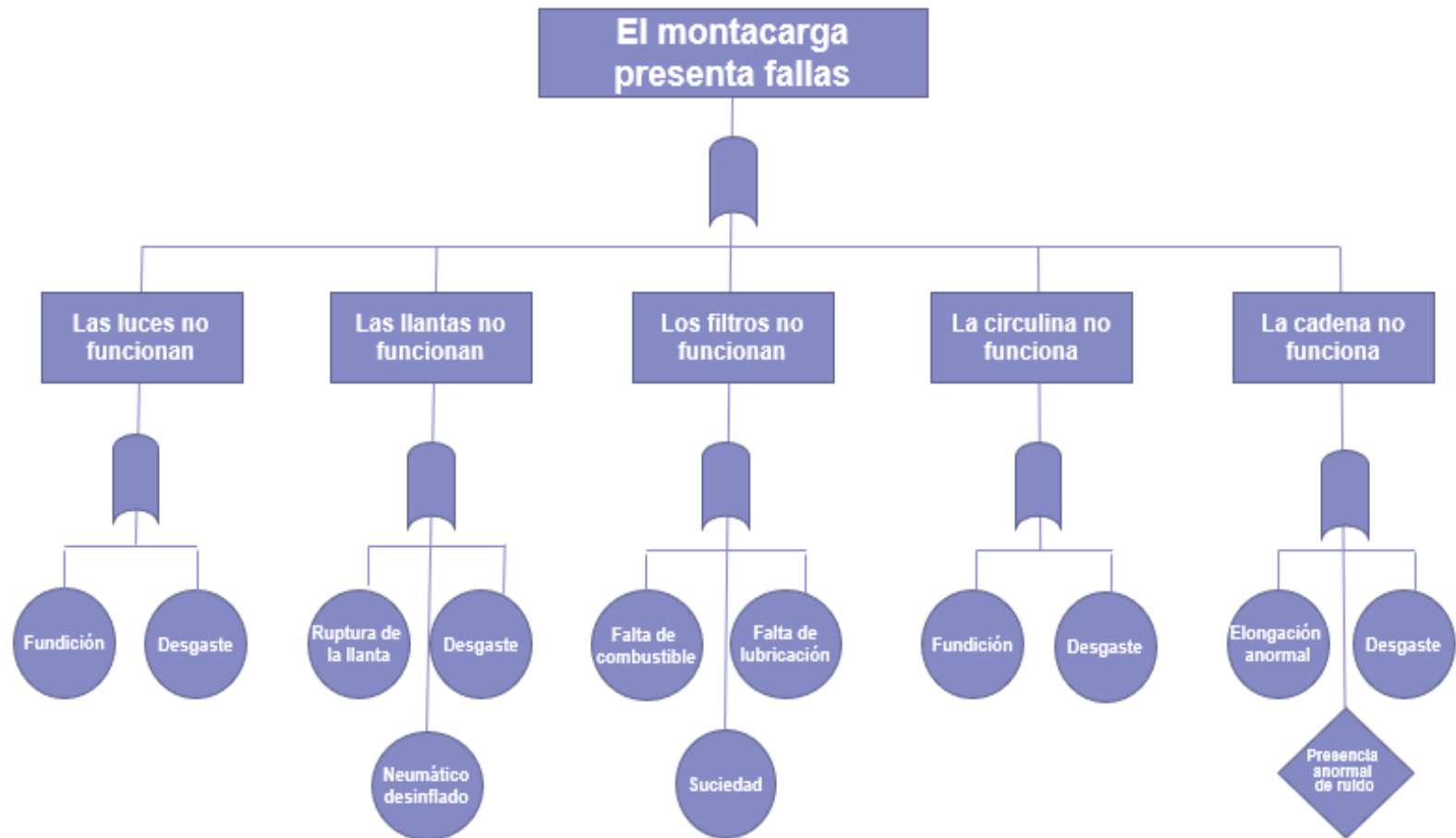
filtros, en 18.7% en la cadena, el 17.5% en las luces y el 15.0% en la circulina.

Tabla 7. Clasificación de las fallas por componentes y montacarga - pretest

Descripción	Montacarga				Total por falla	%
	DP150NM1	DP150NM2	DP150NM3	DP150NM4		
Luces	3	5	2	4	14	17.5%
Llanta	7	3	5	7	22	27.5%
Filtros	6	3	4	4	17	21.3%
Circulina	2	4	3	3	12	15.0%
Cadena	4	3	4	4	15	18.7%
Total por montacarga	22	18	18	22	80	100.0%
%	27.5%	22.5%	22.5%	27.5%	100.0%	



Figura 6. Clasificación de las fallas de los montacargas



En la tabla 8, se identifican las fallas funcionales por cada componente de los montacargas, el modo en que se presentan y las consecuencias que se derivan.

Tabla 8. Análisis de modos de falla y efecto

Descripción	Componente	Falla funcional	Modos de falla	Consecuencia
Montacarga	Luces	El faro no presenta un funcionamiento adecuado o las luces parpadean o son tenues	Fundición	El operario no puede movilizarse el vehículo en zonas bajas de iluminación, tampoco puede estacionarse con la seguridad debida
			Desgaste	
	Llanta	Desbalance en el vehículo que genera traqueteo al interior de la cabina	Rotura	No puede ser utilizado el montacarga
			Neumático desinflado	
			Desgaste	
	Filtro	No logra encenderse el vehículo por déficit de combustible El vehículo enciende con dificultad vista la presencia de suciedad o de lubricación en el filtro de aire	Falta de combustible	El vehículo no logra avanzar o se paraliza en la fase de producción
Suciedad				
Circulina	No se logra el encendido de la circulina o su luz es tenue	Falta de lubricación	Baja visibilidad que ocasiona accidentes o daños a la maquinaria en circulación	
		Desgaste		
Cadena	La elongación de la cadena se ha alargado, está oxidada o se ha desgastado	Elongación anormal	El vehículo no puede levantar ni sostener la carga	
		Presencia anormal de óxido		
		Desgaste		

De acuerdo con el análisis de criticidad de fallas, se observa en la tabla 9 un nivel de riesgo crítico en la cadena, visto su alto impacto operacional, la poca disponibilidad en el mercado de este tipo de repuestos, el impacto en la seguridad de los operarios y el alto costo que involucra. Seguidamente, los niveles de riesgos se ubican en alto en las llantas y moderado en las luces, filtros y circulina

Tabla 9. Análisis de criticidad de fallas

Componente	Código	Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo de mantenimiento	Impacto en seguridad, ambiente y salud	Consecuencia	Riesgo	Criticidad
Luces	01-01	3	4	1	1	5	10	30	Moderado
Llanta	01-02	4	10	2	3	7	30	120	Alto
Filtros	01-03	4	8	1	3	3	14	56	Moderado
Circulina	01-04	3	4	1	1	5	10	30	Moderado
Cadena	01-05	3	10	4	3	5	48	144	Crítico

#### **4.2.2. Diagnóstico de la gestión de mantenimiento**

En las tablas 10 a 14 se presenta la evaluación de los cinco componentes del plan de mantenimiento que aplicaba la empresa de acuerdo con el principio Lean Maintenance, al respecto se observa lo siguiente:

En cuanto a la estructura de mantenimiento, solo se cumple con el 27% de los criterios considerados, denotando un bajo nivel de calificación, especialmente, en aspectos como bajo nivel de incentivo de la estructura organizativa en la proactividad del personal (ver tabla 10).

Con respecto a las condiciones de los equipos, solo se cumple con el 24% de los criterios considerados, denotando un bajo nivel de calificación, especialmente, en aspectos como ausencia de sistema de criticidad de equipos, bajo nivel de medición de las consecuencias de las fallas, no hay estructura jerárquica que evalúe el grado de criticidad, no existe una taxonomía correcta de los equipos y no se dispone de información estadística sobre el historial de criticidad (ver tabla 11).

En cuanto a las tareas de mantenimiento, solo se cumple con el 13% de los criterios considerados, denotando un bajo nivel de calificación y es la dimensión con peor valoración, especialmente, porque el mantenimiento no se sustenta en las condiciones de los equipos, no se aplica el mantenimiento basado en confiabilidad, no se establecen estrategias para la atención de las fallas, no se monitorean las actividades de mantenimiento y los resultados de las labores de mantenimiento no son divulgados (ver tabla 12).

Con relación a habilidad del personal en la realización de las tareas, solo se cumple con el 13% de los criterios considerados, denotando un bajo nivel de calificación y es la dimensión con peor valoración, especialmente, porque en la empresa no hay un plan de capacitación del personal, no se distinguen las potencialidades de los operarios para labores de mantenimiento y no se realizan tareas para minimizar errores (ver tabla 13).

Tabla 10. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Estructura del mantenimiento

Ítem	Estructura de mantenimiento	A	B	C	D	E	Puntuación total
		(10)	(7)	(5)	(2)	(0)	
1.1	La empresa cuenta con una política actualizada que promueva la gestión de mantenimiento.				X		2
1.2	La empresa responde oportunamente a las tres modalidades básicas de mantenimiento; es decir; preventivo, correctivo y predictivo.				X		2
1.3	Los roles y funciones del personal están claramente definidos			X			5
1.4	La estructura organizacional de mantenimiento distingue las distintas funciones básicas: ejecución del trabajo, planeación e Ingeniería de mantenimiento				X		2
1.5	La estructura organizacional incentiva la proactividad del personal.					X	0
1.6	La empresa cuenta con un grupo de trabajo encargado que cubre las tareas de mantenimiento preventivo.			X			5
1.7	Las responsabilidades en la planificación de las actividades de mantenimiento preventivo están delimitadas.			X			5
1.8	El departamento de mantenimiento implementa recurrentemente procedimientos para corregir los problemas que se presentan				X		2
1.9	La empresa cuenta con manuales de operaciones de los equipos, diagramas y flujogramas de procesos				X		2
1.10	El área de producción, compras y tecnología ofrecen apoyo a las actividades de mantenimiento				X		2
Resultado obtenido							27

Nota: A = más del 95% de cumplimiento, B = más del 50% de cumplimiento, C = 50% de cumplimiento, D = menos del 50% de cumplimiento y E = menos del 25% de cumplimiento.

Tabla 11. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Condiciones de los equipos

Ítem	Condiciones de los equipos	A	B	C	D	E	Puntuación total
		(10)	(7)	(5)	(2)	(0)	
2.1	La empresa cuenta con una base de datos de todos sus activos productivos.		X				7
2.2	La totalidad de las actividades de mantenimiento preventivo se registran una base de datos			X			5
2.3	La totalidad de los equipos presentan una codificación			X			5
2.4	La codificación de los equipos engloba la ubicación, clasificación, componentes.				X		2
2.5	Los equipos presentan una ficha técnica que establezca sus atributos técnicos y su función dentro de la empresa			X			5
2.6	Se evidencia un sistema de criticidad en los equipos ubicados en la planta					X	0
2.7	La criticidad está estructurada en base a las consecuencias de las fallas más recurrentes en relación con la frecuencia de ocurrencia de estas					X	0
2.8	Los equipos de plantas están estructurados jerárquicamente en función al grado de criticidad					X	0
2.9	La empresa presenta una taxonomía correcta para los equipos, según el grado de criticidad					X	0
2.10	La empresa cuenta con información estadística sobre el historial de criticidad					X	0
Resultado obtenido							24

Nota: A = más del 95% de cumplimiento, B = más del 50% de cumplimiento, C = 50% de cumplimiento, D = menos del 50% de cumplimiento y E = menos del 25% de cumplimiento.

Tabla 12. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Tareas de mantenimiento

Ítem	Tareas de mantenimiento	A	B	C	D	E	Puntuación total
		(10)	(7)	(5)	(2)	(0)	
3.1	Generalmente la empresa considera la implementación del mantenimiento preventivo			X			5
3.2	Las actividades de mantenimiento presentan las especificaciones adecuadas para garantizar su consistencia				X		2
3.3	La empresa dispone de un programa de mantenimiento preventivo				X		2
3.4	El programa de mantenimiento se sustenta en la condición de los equipos					X	0
3.5	Los principios de mantenimiento basado en la confiabilidad para la totalidad de los equipos					X	0
3.6	La empresa dispone de estrategias de mantenimiento preventivo adecuadas en relación con las fallas presentadas					X	0
3.7	Las actividades de mantenimiento son monitoreadas para establecer su eficacia					X	0
3.8	Las actividades de mantenimiento se llevan a cabo con los equipos adecuados				X		2
3.9	La empresa supervisa recurrentemente las actividades de mantenimiento y ofrece una respuesta a las desviaciones que se presentan				X		2
3.10	Los resultados de las tareas de mantenimiento preventivo son divulgados dentro de la empresa					X	0
Resultado obtenido							13

Nota: A = más del 95% de cumplimiento, B = más del 50% de cumplimiento, C = 50% de cumplimiento, D = menos del 50% de cumplimiento y E = menos del 25% de cumplimiento.



Tabla 13. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Habilidad del personal en la realización de las tareas

Ítem	Habilidad del personal en la realización de las tareas	A	B	C	D	E	Puntuación total
		(10)	(7)	(5)	(2)	(0)	
4.1	La empresa dispone de un plan de capacitación del personal de planta					X	0
4.2	La empresa tiene un plan para distinguir las potencialidades de los trabajadores en el mantenimiento en los distintos departamentos.					X	0
4.3	La empresa suscribe actas para señalar las labores y actividades de los trabajadores					X	0
4.4	Se realizan talleres de capacitación para minimizar las debilidades de los empleados				X		2
4.5	La estructura organizacional realiza tareas para minimizar los errores y mejorar el desempeño dentro de la empresa					X	0
4.6	Los operadores de los materiales se encuentran capacitados en tareas del mantenimiento preventivo				X		2
4.7	Los empleados de la organización se encuentran lo suficientemente capacitados para la realización de labores de mantenimiento dentro de la empresa.				X		2
4.8	Se considera que el personal de la planta presenta aptitudes multifuncionales en las actividades de mantenimiento				X		2
4.9	El plan de entrenamiento y capacitación de los empleados involucra actividades de autoestudio y actividades prácticas de mantenimiento preventivo en las áreas de planta					X	0
4.10	La empresa dispone de una política de remuneraciones y recompensas por el desempeño del personal			X			5
Resultado obtenido							13

Nota: A = más del 95% de cumplimiento, B = más del 50% de cumplimiento, C = 50% de cumplimiento, D = menos del 50% de cumplimiento y E = menos del 25% de cumplimiento.

Tabla 14. Diagnóstico del plan de mantenimiento: Evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad

Ítem	Evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad	A	B	C	D	E	Puntuación total
		(10)	(7)	(5)	(2)	(0)	
5.1	La empresa cuenta con un área de mantenimiento o confiabilidad.		X				7
5.2	El área de ingeniería de la empresa ejecuta acciones de mantenimiento preventivo.			X			5
5.3	El área de ingeniería de la empresa examina la eficiencia de las actividades de mantenimiento preventivo.					X	0
5.4	El personal de mantenimiento se encuentra lo suficientemente capacitados para manipular los equipos de la empresa.			X			5
5.5	La empresa maneja acciones de prevención y cuidados del uso de los equipos por parte de los empleados.			X			5
5.6	El personal del departamento de mantenimiento se encuentra capaz de realizar pruebas eficientes para pronosticar las fallas					X	0
5.7	La empresa señala los niveles de desempeño a través del mantenimiento basado en la confiabilidad					X	0
5.8	La empresa maneja niveles de frecuencia máximos en el mantenimiento preventivo.				X		2
5.9	La empresa verifica las actividades de mantenimiento desarrolladas			X			5
5.10	La empresa coteja y analiza periódicamente la cantidad de equipos en mal estado y se orienta a optimizar las actividades de mantenimiento				X		2
Resultado obtenido							31

Nota: A = más del 95% de cumplimiento, B = más del 50% de cumplimiento, C = 50% de cumplimiento, D = menos del 50% de cumplimiento y E = menos del 25% de cumplimiento.

Con relación a evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad, se cumple con el 31% de los criterios considerados, denotando un bajo nivel de calificación, aunque es la dimensión con la valoración más alta. Las deficiencias observadas se presentan en el examen de la eficiencia de las actividades de mantenimiento, no se

realizan los pronósticos de las fallas y no se exhibe un desempeño del mantenimiento basado en confiabilidad (ver tabla 15).

De la tabla 15, se aprecia que la empresa minera solo cumple con el 21.6% de los criterios exigidos en un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, lo cual obliga al diseño e implementación de este enfocado en los cuatro montacargas.

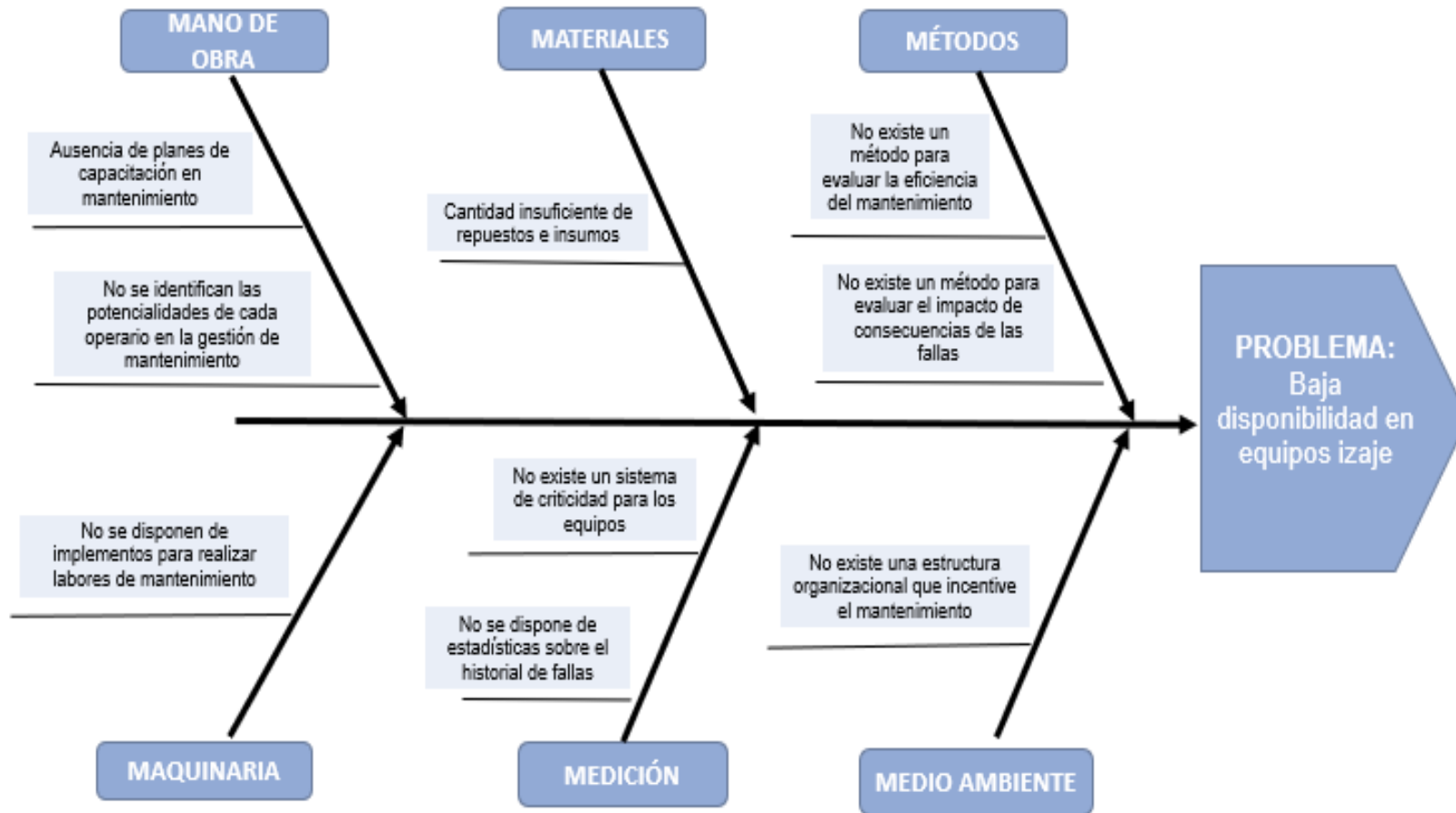
Tabla 15. Diagnóstico general del plan de mantenimiento en la empresa minera

N.º de categoría	Categoría	N.º de preguntas	Cantidad de puntos posibles	Puntaje logrado	Cumplimiento
1	Estructura del mantenimiento	10	100	27	27.0%
2	Condiciones de los equipos	10	100	24	24.0%
3	Tareas de mantenimiento	10	100	13	13.0%
4	Habilidad del personal en la realización de las tareas	10	100	13	13.0%
5	Evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad	10	100	31	31.0%
Puntos totales posibles		50	500	108	21.6%

#### 4.2.3. Diagrama de Ishikawa

Con base al diagnóstico del plan de mantenimiento disponible en la empresa minera, en la figura 7 se presente el diagrama de Ishikawa donde se exponen los principales problemas de la empresa. En este caso, en cuanto a la mano de obra destacan problemas como ausencia de planes de capacitación de mantenimiento y falta de identificación de potencialidad de cada operario en la gestión de mantenimiento. En cuanto a materiales, se aprecia una cantidad insuficiente de repuestos e insumos y en métodos, destaca que no existe un procedimiento para evaluar la eficiencia del mantenimiento y de un método para evaluar el impacto de las consecuencias de las fallas.

Figura 7. Diagrama de Ishikawa



En cuanto a maquinaria, destaca la ausencia de implementos para realizar las labores de mantenimiento; por otro lado, con relación a medición no se dispone de estadísticas sobre el historial de fallas y con relación al medio ambiente, la falta de una estructura que incentive el mantenimiento.

#### **4.2.4. Plan de mantenimiento**

Para corregir estas fallas se propone un plan de mantenimiento basado en RCM, del cual en la tabla 16 se presentan sus objetivos (que atienden a las causas determinadas en el diagrama de Ishikawa), sus indicadores y metas. Así, se propone capacitar al menos el 95% del personal técnico en mantenimiento basado en RCM, mantener stocks de repuestos y materiales de al menos un mes, elevar la disponibilidad de los equipos a por lo menos 95% y ejecutar el 100% de las acciones programadas.

##### **4.2.4.1. Cronograma del plan**

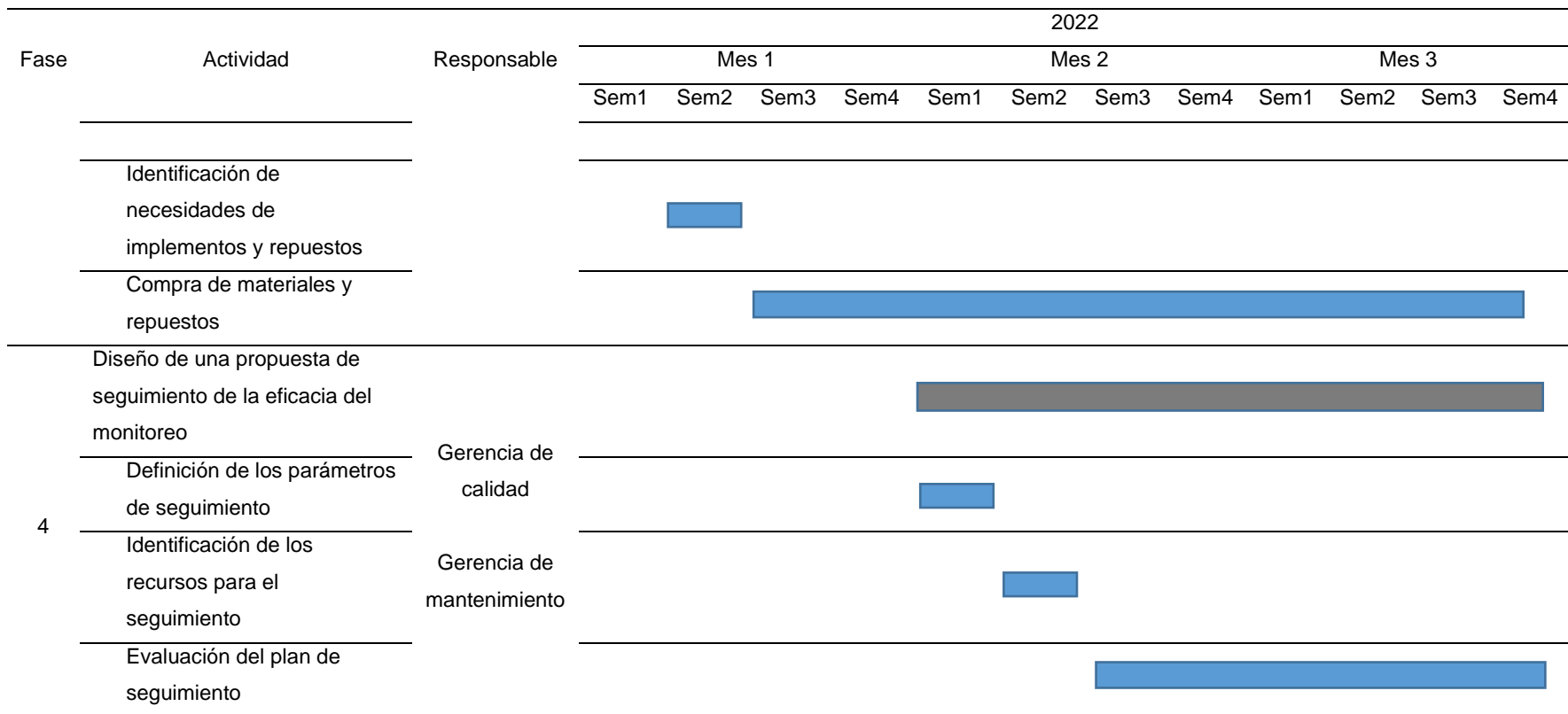
De igual modo, en la tabla 17 se presenta el cronograma del plan, el cual para su implementación requiere de un periodo de tres meses.

Tabla 16. Objetivos del plan

Ítem	Causa del problema	Objetivo del RCM	Indicadores	Meta
1	Ausencia de planes de capacitación de mantenimiento	Capacitar al personal técnico en materia de mantenimiento basado en RCM de acuerdo a su perfil	$\frac{N^{\circ} \text{ de técnicos capacitados}}{N^{\circ} \text{ total de técnicos}} * 100$	> 95%
2	No se identifican las potenciales de cada operario en la gestión de mantenimiento			
3	No se disponen de implementos para realizar labores de mantenimiento	Implementar un programa de adquisición de materiales y repuestos	Stock de materiales	Nivel mínimo de un mes
4	Cantidad insuficiente de repuestos e insumos		Stock de repuestos	Nivel mínimo de un mes
5	No existe un sistema de criticidad para los equipos			
6	No existe un método para evaluar el impacto de consecuencia de las fallas	Aplicar de manera periódica del método AMEF para la identificación de fallas y de nivel de criticidad	Disponibilidad de equipos	> 95%
7	No existe una estructura organizacional que incentive el mantenimiento			
8	No se dispone de estadísticas sobre el historial de fallas			
9	No existe un método para evaluar la eficiencia del mantenimiento	Diseñar una propuesta de seguimiento de la eficacia del monitoreo	$\frac{N^{\circ} \text{ de total de acciones realizadas}}{N^{\circ} \text{ total de acciones programadas}} * 100$	100%

Tabla 17. Cronograma

Fase	Actividad	Responsable	2022											
			Mes 1				Mes 2				Mes 3			
			Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4
1	Capacitación al personal técnico en materia de mantenimiento basado en RCM de acuerdo a su perfil		[Barra gris]											
	Evaluación del perfil de cada técnico	Gerencia de Recursos Humanos	[Barra azul]											
	Determinación de necesidades de capacitación	Gerencia de mantenimiento	[Barra azul]											
	Contratación de empresa consultora		[Barra azul]											
	Desarrollo de las jornadas de capacitación		[Barra azul]											
2	Aplicación de manera periódica del método AMEF para la identificación de fallas y de nivel de criticidad	Gerencia de mantenimiento	[Barra gris]											
3	Implementación de un programa de adquisición de implementos y repuestos	Área de compra y contrataciones	[Barra gris]											
	Evaluación de proveedores	Gerencia de mantenimiento	[Barra azul]											
	Selección de proveedor	Gerencia de mantenimiento	[Barra azul]											





#### 4.2.4.2. Actividades del plan

A continuación, se desarrollan cada una de las actividades del plan, explicándose sus tareas asociadas.

1.- Capacitación al personal técnico en materia de mantenimiento basado en RCM de acuerdo a su perfil

##### 1) Evaluación del perfil de cada técnico

En esta fase, se definen los criterios de evaluación del perfil de cada técnico, conforme dos aspectos importantes: prácticas y conocimientos. Cada aspecto tiene cinco ítems y se califica con una escala de 1 a 5, donde 1 representa un nivel de desempeño bajo y 5 un nivel de desempeño alto, esto se aprecia en la tabla 18.

Tabla 18. Criterios de evaluación del perfil de los técnicos

Indicadores	Valoración				
	1	2	3	4	5
Prácticas					
Deja registro del cumplimiento de sus labores al finalizar la jornada					
Reporta las condiciones de los equipo					
Reporta las incidencias que inciden sobre el mantenimiento y limpieza de equipos					
Asegura que los implementos y repuestos a su cargo sean utilizados de manera correcta					
Verifica las condiciones y estado de los equipos					
Conocimientos					
Conoce las fallas que se pueden presentar en los componentes de los equipos					
Conoce la periodicidad de las fallas que se pueden presentar en los componentes de los equipos					
Conoce el tipo de acción para atender cada falla					
Conoce las consecuencias de cada falla en el equipo					
Conoce las consecuencias de cada falla en la operatividad de la empresa					

##### 2) Determinación de necesidades de capacitación

Con base a lo indicado en la tabla 19, las necesidades de capacitación del personal de mantenimiento en la empresa minera deben centrarse más el fortalecimiento de las prácticas, visto que la valoración promedio en el aspecto de práctica de los

dies técnicos fue 1.8, por debajo del 3.7 obtenido en conocimientos. Además, la valoración general se ubicó en 5.7, que de una escala total de 10, implica que se requiere de un programa de capacitación en mantenimiento basado en RCM nivel medio.

Tabla 19. Valoración del perfil de los técnicos

Indicadores	Empleados										Total	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Prácticas											88	1.8
Deja registro del cumplimiento de sus labores al finalizar la jornada	2	3	2	2	2	2	1	2	1	2	19	1.9
Reporta las condiciones de los equipo	3	3	2	2	2	1	1	2	2	2	20	2.0
Reporta las incidencias que inciden sobre el mantenimiento y limpieza de equipos	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	19	1.9
Asegura que los implementos y repuestos a su cargo sean utilizados de manera correcta	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	1.1
Verifica las condiciones y estado de los equipos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	19	1.9
Conocimientos											184	3.7
Conoce las fallas que se pueden presentar en los componentes de los equipos	4	3	4	5	4	4	3	4	4	4	39	3.9
Conoce la periodicidad de las fallas que se pueden presentar en los componentes de los equipos	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	39	3.9
Conoce el tipo de acción para atender cada falla	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	39	3.9
Conoce las consecuencias de cada falla en el equipo	4	3	3	4	4	4	3	4	4	3	36	3.6
Conoce las consecuencias de cada falla en la operatividad de la empresa	2	3	3	4	4	3	3	3	3	3	31	3.1
Total general												5.4

### 3) Contratación de empresa consultora

Se ha decidido contratar la empresa consultora que frecuentemente dicta los cursos en la empresa minera, especificando claramente la necesidad definida previamente.

### 4) Desarrollo de las jornadas de capacitación

En la tabla 20 se presenta el programa de capacitación, el cual se estima en dos jornadas de ocho horas.

Tabla 20. Programa de capacitación

Desarrollo	Cantidad de horas
Jornada 1	8 horas
Parte 1	
Método AMEF	4 horas
Planeamiento preventivo	
Planeamiento correctivo	
Parte 2	
Empleo de EPP	4 horas
Manipulación de instrumentos y repuestos	
Jornada 2	8 horas
Parte 1	
Evaluación de equipos	4 horas
Detección de fallas	
Registro de fallas	
Labor de mantenimiento por falla	
Parte 2	
Seguimiento de fallas	4 horas
Seguimiento del plan	

## 2.. Aplicación de manera periódica del método AMEF para la identificación de fallas y de nivel de criticidad

Siguiendo la hoja de resumen de las fallas más importantes de la tabla 21 y el plan de acción de la tabla 22. En este caso, debe asegurarse la metodología AMEF desarrollada en las secciones precedentes.

Tabla 21. Hoja resumen de fallas

Descripción	Componente	Cod	Funciones	Cod	Falla funcional	Cod	Modos de falla	Nivel de criticidad
Montacargas	Llanta	1	Encargado del soporte el peso de vehículo y de transferir tracción	A	El montacarga avanza con cierto desbalance, generando un traqueteo a lo interno de la cabina	1	Rotura	Alto
						2	Neumático desinflado	
						3	Desgaste	
	Filtros	2	Encargado de protección del motor contra el polvo y la suciedad y de la reducción la fricción entre componentes del motor	A	El montacarga presenta problemas de encendido por falta de combustible. También, su activación es lenta a causa de la suciedad o por problemas de lubricación	1	Falta combustible	Moderado
						2	Suciedad	
						3	Falta de lubricación	
	Cadena	3	Encargada de que el vehículo pueda las horquillas y volverlas a poner su lugar	A	La elongación en la cadena es exageradamente larga como consecuencia del constante uso, lo cual genera desgaste o presenta corrosión	1	Elongación anormal	Crítico
						2	Presencia anormal de óxido	
						3	Desgaste	

Tabla 22. Acciones de mantenimiento

Componente	Actividad	Acción a realizar	Materiales	Herramientas	Frecuencia	Operario	Condiciones de máquina	Duración del trabajo (en minutos)	Tipo de mantenimiento
Llanta	Verificación de la precisión de la llanta e identificación de cortes	Verificar	EPP Informe de inspección de llantas y frenos	Válvula Manómetro	Mensual	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	60	Preventivo
	Sustitución de llantas	Cambiar	EPP Nueva llanta	Conos Gato Llave de tubo	Cada 8 meses	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	200	Preventivo
Filtro	Verificación de la cantidad requerida de combustible	Verificar	EPP Combustible	-	Semanal	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	30	Preventivo
	Limpieza de los filtros y extracción de partículas de polvo y minera	Limpiar	EPP Filtro	Aspirador Desengrasante Trapo industrial	Bimestral	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	120	Preventivo
	Verificación de la cantidad requerida de lubricante	Verificar	EPP Líquido lubricante	Embudo	Bimestral	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	60	Preventivo
Cadena	Verificación y ajuste de la elongación de la cadena	Verificar y ajustar	EPP Informe de inspección de eléctrico	Llaves de apriete	Cuatrimestral	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	60	Preventivo
	Limpieza del óxido y lubricación de la cadena	Limpiar	EPP Limpiador Alcohol Lubricante	Trapo industrial Mechero	Cuatrimestral	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	90	Preventivo
	Cambio de la cadena	Cambiar	EPP Cadena	Llaves Destornillador	Semestral	Técnico mecánico	Vehículo paralizado	75	Preventivo

### 3.- Implementación de un programa de adquisición de materiales y repuestos

#### 5) Evaluación de proveedores

En la tabla 23 se presentan los criterios para evaluar los proveedores de la empresa, los cuales se han resumido en seis, que serán evaluados con una escala del 1 al 5, donde un 1 indica que el proveedor tiene un bajo desempeño y 5 un refleja un óptimo desempeño. De esta manera, el total máximo de valoración también es 5.

Tabla 23. Criterios para evaluar proveedores

Criterios	Peso	Evaluación	Total
Calidad de suministros	30%		
Disponibilidad	20%		
Fiabilidad del plazo de entrega	15%		
Flexibilidad del proveedor	15%		
Fiabilidad de la información	10%		
Competitividad en precios	10%		
Total			

#### 6) Selección de proveedor

En la tabla 24 se presenta la valoración de los tres proveedores principales de la empresa minera, donde se aprecia que la empresa A sustentada en calidad y disponibilidad es la que obtuvo la mayor calificación con 4.2, a pesar que su competitividad en precios es la más baja. Seguidamente, se tienen a las empresas B con 3.7 y la empresa C con 3.5.

Tabla 24. Comparación de proveedores existentes

Criterios	Peso	Empresa A		Empresa B		Empresa C	
		Evaluación	Total	Evaluación	Total	Evaluación	Total
Calidad de suministros	30%	4	1.2	3	0.9	3	0.9
Disponibilidad	20%	4	0.8	4	0.8	5	1.0
Fiabilidad del plazo de entrega	15%	5	0.8	4	0.6	3	0.5
Flexibilidad del proveedor	15%	4	0.6	3	0.5	3	0.5
Fiabilidad de la información	10%	5	0.5	4	0.4	3	0.3
Competitividad en precios	10%	3	0.3	5	0.5	4	0.4
Total			4.2		3.7		3.5

7) Identificación de necesidades de materiales y repuestos

En la tabla 25 se presenta el plan de compras de un año en cuanto a materiales y repuestos.

8) Compra de materiales y repuestos

En esta fase se contrata con el proveedor, la compra de los materiales y repuestos contemplados.



Tabla 25. Plan de compras de materiales y equipos

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Materiales</b>													
EPP	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Llantas	16	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0
Combustible	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	0
Filtro	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
Líquido lubricante	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
Alcohol	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
Cadena	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Instrumentos</b>													
Válvula	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Manómetro	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Conos	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Gato	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Llave de tubo	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Aspirador	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Desengrasante	16	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
Trapo industrial	16	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
Embudo	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Llaves de apriete	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
Mechero	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Destornillador	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0

#### 4.- Diseño de una propuesta de seguimiento de la eficacia del monitoreo

##### 9) Definición de los parámetros de seguimiento

Se han definido como elementos de valoración la fecha contemplada de la acción de mantenimiento, la cantidad de materiales empleados y el tiempo de duración para observar si se presenta alguna desviación en lo planificado. En la tabla 26 se presenta el seguimiento de estos indicadores en una matriz.

##### 10) Evaluación del plan de seguimiento

En la tabla 27 se detallan las labores a realizar, las cuales serán medidas con el indicador de cumplimiento

$$\frac{N^{\circ} \text{ de total de acciones realizadas}}{N^{\circ} \text{ total de acciones programadas}} * 100$$

Tabla 26. Parámetros de seguimiento

Componente	Actividad	Fecha			Material			Duración		
		Programada	Ejecutada	Desviación	Programado	Empleado	Desviación	Programado	Realizado	Desviación
Llanta	Verificación de la precisión de la llanta e identificación de cortes									
	Sustitución de llantas									
Filtro	Verificación de la cantidad requerida de combustible									
	Limpieza de los filtros y extracción de partículas de polvo y minera									
	Verificación de la cantidad requerida de lubricante									
Cadena	Verificación y ajuste de la elongación de la cadena									
	Limpieza del óxido y lubricación de la cadena									
	Cambio de la cadena									

Tabla 27. Seguimiento del plan de inspección

Componente	Actividad	Mes												Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Llanta	Verificación de la precisión de la llanta e identificación de cortes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
	Sustitución de llantas	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Filtro	Verificación de la cantidad requerida de combustible	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48
	Limpieza de los filtros y extracción de partículas de polvo y minera	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6
	Verificación de la cantidad requerida de lubricante	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6
Cadena	Verificación y ajuste de la elongación de la cadena	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	Limpieza del óxido y lubricación de la cadena	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	Cambio de la cadena	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2

### 4.3. Realizar el análisis de las mejoras en la disponibilidad de los equipos de Izaje de la empresa minera posterior a la implementación del plan

#### 4.3.1. Resultados generales del postest

En la tabla 28, se aprecia que durante los tres meses evaluados luego de la implementación se generaron 34 fallas, que representan 46 fallas menos en comparación con el pretest (una reducción del 57.50%). Estas fallas se clasifican en 26.5% en el montacarga DP150NM2 y DP150NM4 y 23.5% para cada uno de los montacargas DP150NM1 y DP150NM3. De igual modo, se observa que el 23.5% se ubicaron en las luces, el 20.6% en los filtros y llantas y, finalmente, el 17.6% en la cadena y circulina.

Tabla 28. Diagnóstico de la disponibilidad de los montacargas - postest

Descripción	Montacarga				Total por falla	%
	DP150NM1	DP150NM2	DP150NM3	DP150NM4		
Luces	2	3	2	1	8	23.5%
Llanta	1	2	1	3	7	20.6%
Filtros	2	1	2	2	7	20.6%
Circulina	2	2	1	1	6	17.6%
Cadena	1	1	2	2	6	17.6%
Total por montacarga	8	9	8	9	34	100.0%
%	23.5%	26.5%	23.5%	26.5%	100.0%	

#### 4.3.2. Disponibilidad

Como se aprecia en la tabla 29, la disponibilidad de los montacargas de la empresa minera luego de la implementación se encuentra por encima del 90% que era la meta inicial de la empresa, con un promedio de 91.2%; de hecho, durante el periodo evaluado esta variable aumentó en 7.1%, al pasar de 88.0% a 95.1%. Debe destacarse que, con la elaboración del plan, la meta prevista fue actualizada a 95%, lo cual solo se logró en la última semana bajo análisis.

También esa tabla se aprecia que la cantidad de fallas promedio en la semana fue de 4.4 durante el periodo, inferior en 2.3 a lo registrado previa la implementación (34.5% menos). Por su parte, el tiempo total de falla se ubicó en 28.2 horas/semana, que representa el 10% de las horas programadas, estimadas en 280 horas/semana;

esto refleja una caída del 8% en comparación con el pretest.

Con base a estos valores el tiempo promedio de fallas de los cuatro montacargas se estima en 28.2 horas/semana, destacándose que el mismo se elevó en 37.3%, durante el periodo al pasar de 56.0 horas/semana a 93.3 horas/semana. Por su parte, el tiempo medio para reparar se ubicó en promedio en 6.3 horas/semana, reduciéndose en 2.7% al pasar de 7.7 a 4.8.

Tabla 29. Diagnóstico de la disponibilidad de los montacargas - postest

Semana	Número de fallas detectadas (N)	Tiempo programado de operatividad (A) (horas/semana)	Tiempo total de falla (B) (horas/semana)	Tiempo		Disponibilidad
				promedio de fallas TMEF = (A)/(N)	para reparar TMPR = (B)/(N)	
1	5	280	38.3	56.0	7.7	88.0
2	5	280	42.3	56.0	8.5	86.9
3	5	280	41.5	56.0	8.3	87.1
4	5	280	40.5	56.0	8.1	87.4
5	5	280	28.0	56.0	5.6	90.9
6	4	280	22.1	70.0	5.5	92.7
7	4	280	22.3	70.0	5.6	92.6
8	5	280	24.0	56.0	4.8	92.1
9	4	280	23.0	70.0	5.8	92.4
10	5	280	22.1	56.0	4.4	92.7
11	3	280	20.0	93.3	6.7	93.3
12	3	280	14.5	93.3	4.8	95.1
Promedio	4.4	280	28.2	65.7	6.3	91.2

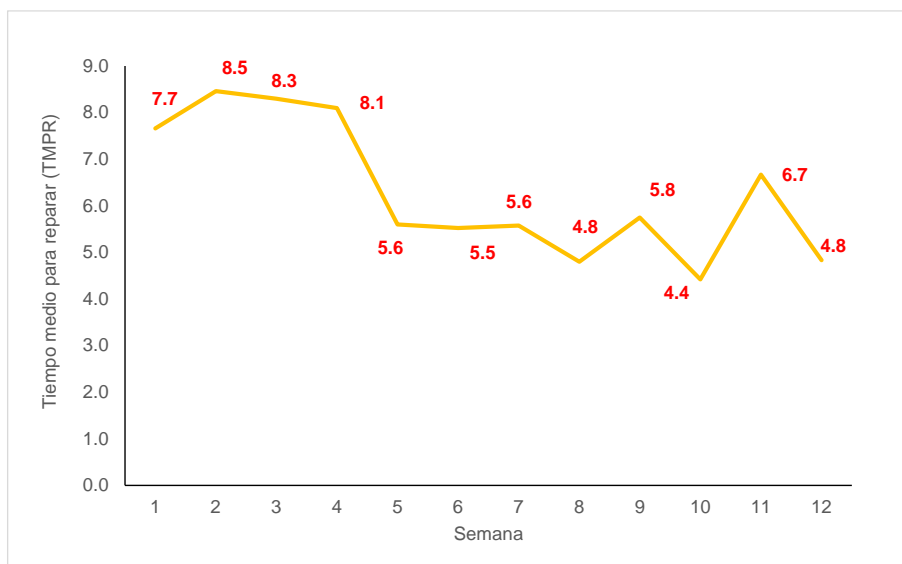
En la figura 8, se observa el comportamiento del tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa en el postest, observándose una tendencia creciente, al pasar de 56.0 horas/semana a 93.3 horas/semana, lo que refleja que el tiempo en el cual se presentan fallas en los montacargas se ha ampliado; es decir, la frecuencia de las fallas se ha reducido.

Figura 8. Tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa - postest



En la figura 9, se observa el comportamiento del tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa luego de la implementación, observándose una tendencia decreciente al pasar de 7.7 horas/semana a 4.8 horas/semana, lo cual evidencia que las horas dedicadas a la reparación de los montacargas se ha reducido en promedio.

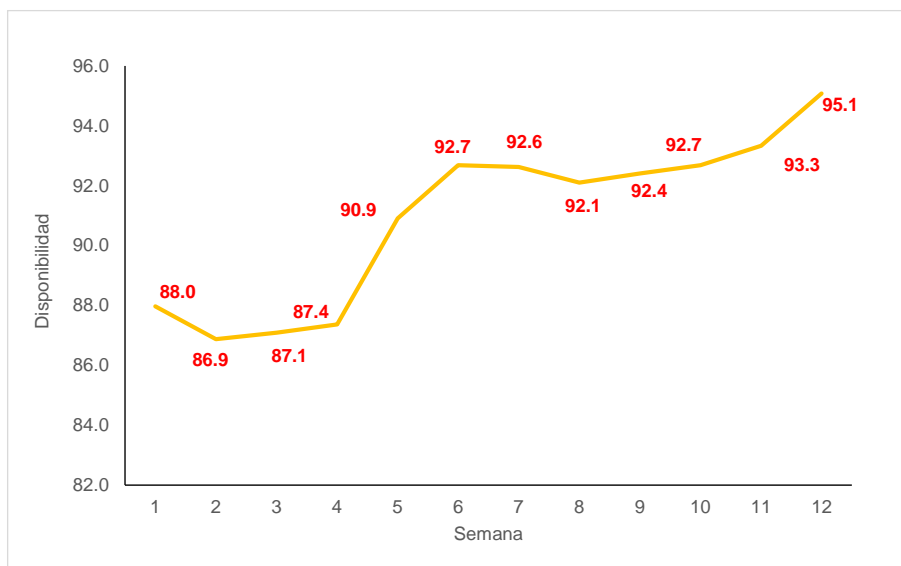
Figura 9. Tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa - postest



En la figura 10, se observa el comportamiento de la disponibilidad de los montacargas de la empresa luego de la implementación, observándose una

tendencia creciente, al pasar de 88.0% a 95.1%, denotando una mayor disposición para su uso y favoreciendo a la continuación de la productividad de la mina.

Figura 10. Disponibilidad de los montacargas de la empresa - pretest



#### 4.3.3. Comparación entre pretest y postest

Al comparar los resultados entre el pretest y postest, se detalla en la tabla 30, que el tiempo promedio de fallas se incrementó de 43.84 horas/semana a 65.72 horas/semana, reflejando que la implementación ha permitido extender el tiempo de recurrencia de las fallas de los montacargas; las cuales, en la actualidad, son menos frecuentes.

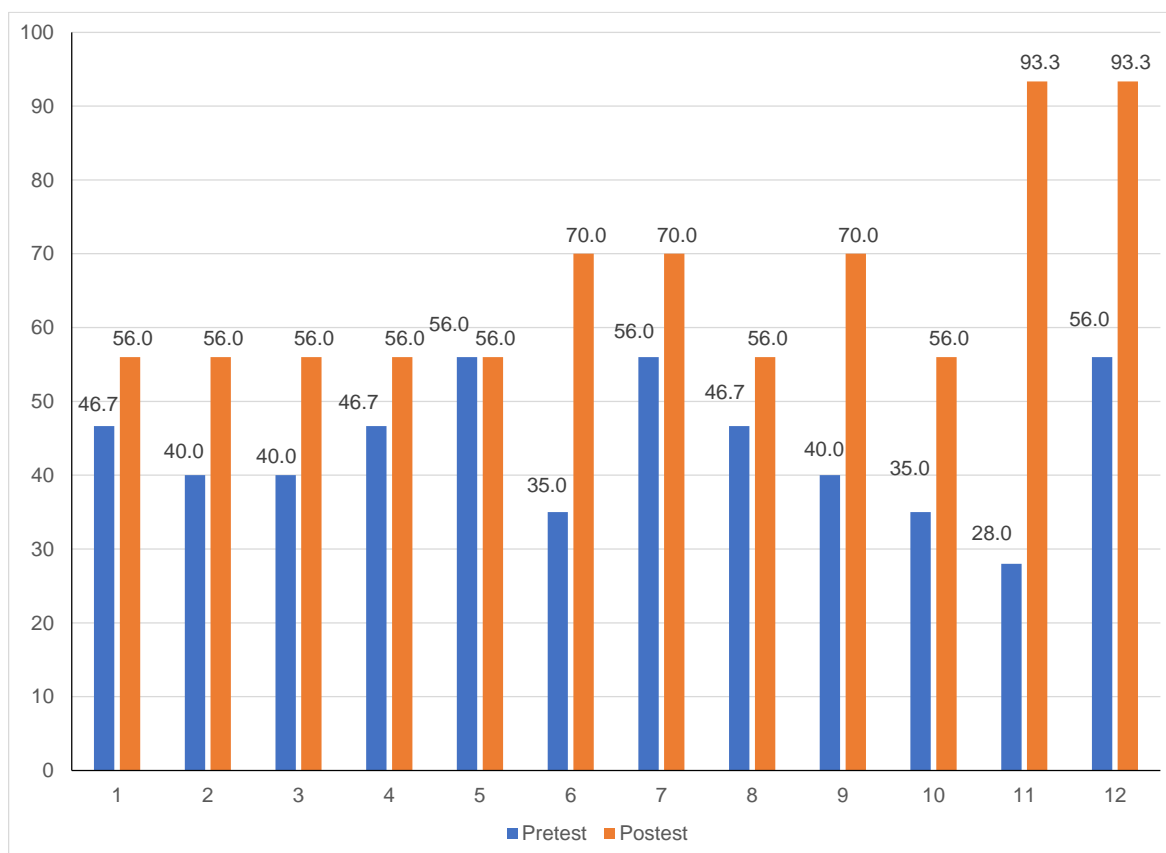
Tabla 30. Comparación del tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa (pretest – postest)

Descripción	Media	N	Desviación estándar	Media sin error estándar
Tiempo promedio de fallas - postest	65.72	12	14.26	4.11
Tiempo promedio de fallas - pretest	43.84	12	9.14	2.64

En la figura 11, se aprecia como el tiempo promedio de fallas en el postest (barra en rojo) se ubica por encima o al menos al mismo nivel que en el pretest (barra en azul).



Figura 11. Comparación del tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa (pretest – postest)



En la tabla 31, se presentan los resultados de la prueba t-Student para constatar si efectivamente la implementación del plan de mantenimiento tuvo efecto en el tiempo promedio de fallas de los montacargas de la empresa minera. Así, se parte de las pruebas estadísticas:

Ho: la implementación de un plan de mantenimiento no mejorará el tiempo promedio de fallas en los equipos de izaje en la empresa minera (**Ho:  $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** ).

Ha: la implementación de un plan de mantenimiento mejorará el tiempo promedio de fallas en los equipos de izaje en la empresa minera (**Ha:  $\mu_{Pa} < \mu_{Pd}$** ).

Regla de decisión:

Si p-valor supera al nivel de significancia fijado de 5% ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ), entonces se acepta **Ho:  $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

Si p-valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% ( $p\text{-valor} > 0.05$ ), entonces se rechaza **Ho:  $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

Tabla 31. Prueba t-Student para comparar el tiempo promedio de fallas de los montacargas antes y después de la implementación

Descripción	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Significación	
				Inferior	Superior			p de un factor	p de dos factores
				TMEF posttest – TMEF pretest	21.88			17.70	5.11

n la tabla 31, se puede observar que el  $p$ -valor de la prueba t-Student antes y después de la implementación del plan de mantenimiento es  $< 0.001$ ; así, siendo inferior al 5% de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se comprueba que la implementación del plan de mantenimiento mejoró el tiempo promedio de fallas en los equipos de izaje en la empresa minera.

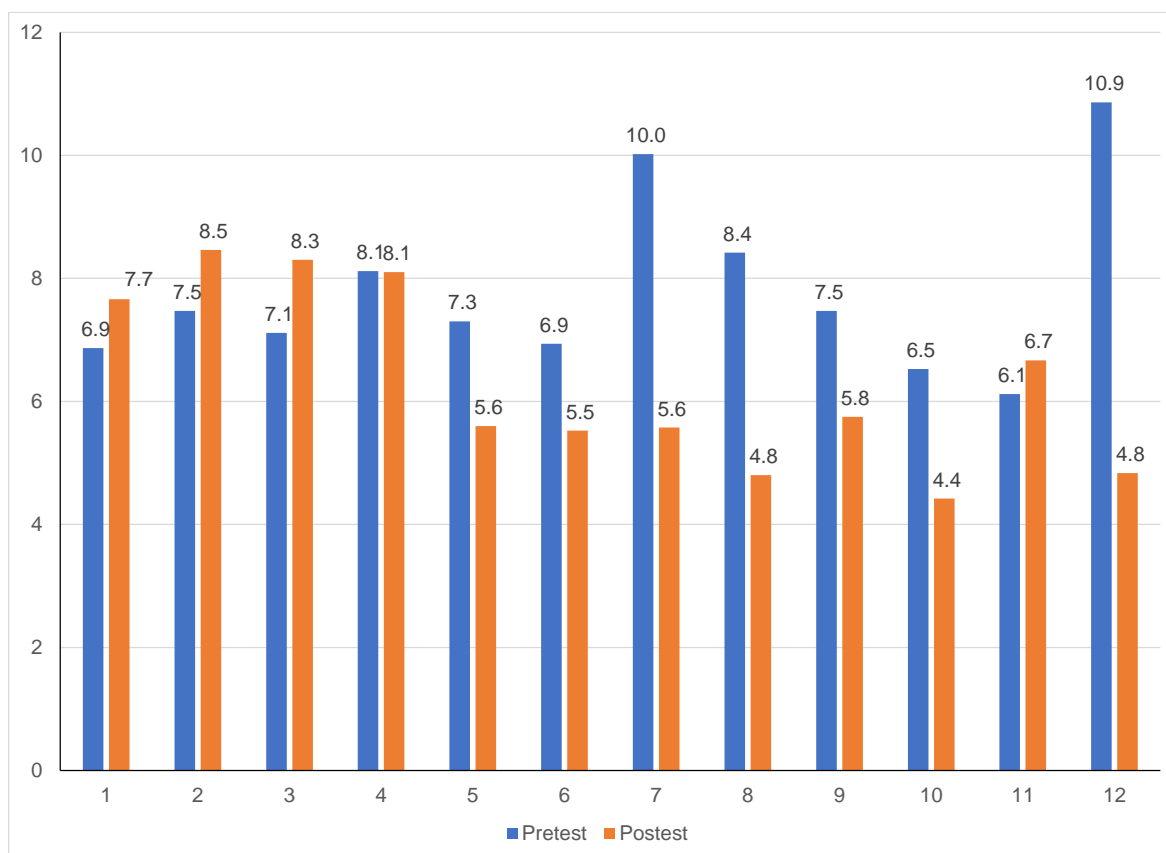
Al comparar los resultados entre el pretest y posttest, se detalla en la tabla 32, que el tiempo medio para reparar se redujo de 7.77 horas/semana a 6.32 horas/semana, reflejando que la implementación ha permitido reducir el tiempo en el que estos equipos de izaje están en reparación.

Tabla 32. Comparación del tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa (pretest – posttest)

Descripción	Media	N	Desviación estándar	Media sin error estándar
Tiempo medio para reparar - posttest	6.32	12	1.48	0.43
Tiempo medio para reparar - pretest	7.77	12	1.41	0.41

En la figura 12, se aprecia como el tiempo medio para reparar en el posttest (barra en rojo) se ubica por debajo o al menos al mismo nivel que en el pretest a partir de la cuarta semana de evaluación (barra en azul).

Figura 12. Comparación del tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa (pretest – postest)



En la tabla 33, se presentan los resultados de la prueba t-Student para constatar si efectivamente la implementación del plan de mantenimiento tuvo efecto en el tiempo medio para reparar de los montacargas de la empresa minera. Así, se parte de las pruebas estadísticas:

Ho: la implementación de un plan de mantenimiento no mejorará el tiempo medio para reparar en los equipos de izaje en la empresa minera (**Ho:  $\mu Pa \geq \mu Pd$** ).

Ha: la implementación de un plan de mantenimiento mejorará el tiempo medio para reparar en los equipos de izaje en la empresa minera (**Ha:  $\mu Pa < \mu Pd$** ).

Regla de decisión:

Si p-valor supera al nivel de significancia fijado de 5% ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ), entonces se acepta **Ho:  $\mu Pa \geq \mu Pd$** .

Si p-valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% ( $p\text{-valor} > 0.05$ ), entonces se rechaza **Ho:  $\mu Pa \geq \mu Pd$** .

Tabla 33. Prueba t-Student para comparar el tiempo medio para reparar de los montacargas antes y después de la implementación

Descripción	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Significación	
				Inferior	Superior			p de un factor	p de dos factores
				TMPR postest – TMPR pretest	-1.45			2.33	0.67

En la tabla 33, se puede observar que el p-valor de la prueba t-Student antes y después de la implementación del plan de mantenimiento es 0.027; así, siendo inferior al 5% de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se comprueba que la implementación del plan de mantenimiento mejoró el tiempo medio para reparar en los equipos de izaje en la empresa minera.

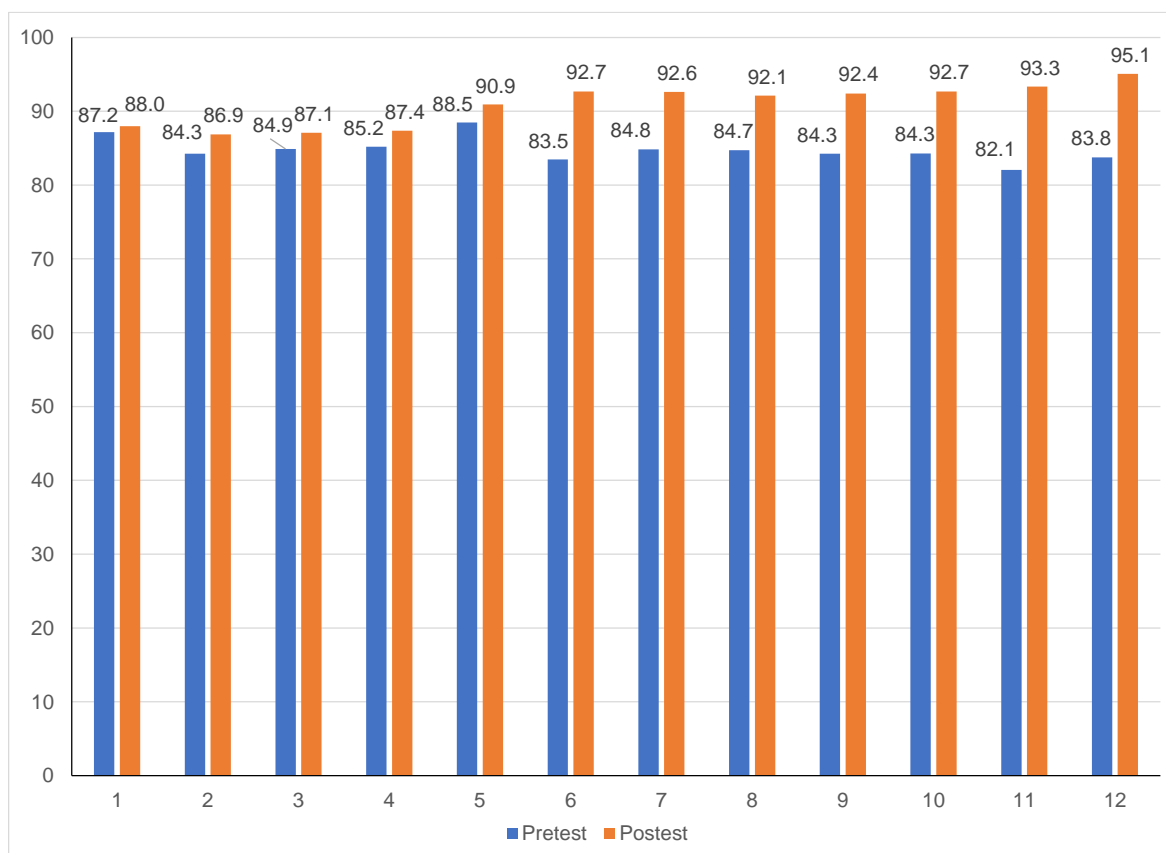
Al comparar los resultados entre el pretest y postest, se detalla en la tabla 34, que la disponibilidad se incrementó de 84.80% a 90.93%, reflejando que la implementación ha permitido mejorar el tiempo de desempeño de estos equipos de izaje, logrando una mejor disposición para su uso con fines productivos.

Tabla 34. Comparación de la disponibilidad para reparar de los montacargas de la empresa (pretest – postest)

Descripción	Media	N	Desviación estándar	Media sin error estándar
Disponibilidad - postest	90.93	12	2.82	0.81
Disponibilidad – pretest	84.80	12	1.66	0.48

En la figura 13, se aprecia como la disponibilidad en el postest (barra en rojo) se ubica por encima del nivel obtenido en el pretest (barra en azul).

Figura 13. Comparación de la disponibilidad de los montacargas de la empresa (pretest – posttest)



En la tabla 35, se presentan los resultados de la prueba t-Student para constatar si efectivamente la implementación del plan de mantenimiento tuvo efecto en la disponibilidad de los montacargas de la empresa minera. Así, se parte de las pruebas estadísticas:

Ho: la implementación de un plan de mantenimiento no mejorará la disponibilidad en los equipos de izaje en la empresa minera (**Ho:  $\mu Pa \geq \mu Pd$** ).

Ha: la implementación de un plan de mantenimiento mejorará la disponibilidad en los equipos de izaje en la empresa minera (**Ha:  $\mu Pa < \mu Pd$** ).

Regla de decisión:

Si p-valor supera al nivel de significancia fijado de 5% ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ), entonces se acepta **Ho:  $\mu Pa \geq \mu Pd$** .

Si p-valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% ( $p\text{-valor} > 0.05$ ), entonces se rechaza **Ho:  $\mu Pa \geq \mu Pd$** .

Tabla 35. Prueba t-Student para comparar la disponibilidad antes y después de la implementación

Descripción	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Significación	
				Inferior	Superior			p de un factor	p de dos factores
				Disponibilidad posttest – Disponibilidad pretest	6.13			3.83	1.10

En la tabla 35, se puede observar que el p-valor de la prueba t-Student antes y después de la implementación del plan de mantenimiento es < 0.001; así, siendo inferior al 5% de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se comprueba que la implementación del plan de mantenimiento mejoró la disponibilidad en los equipos de izaje en la empresa minera.

#### 4.4. Determinar la viabilidad económica del plan de mantenimiento en la empresa minera

##### 4.4.1. Determinación de la inversión inicial

En la tabla 36, se detallan los costos unitarios, cantidad y total de materiales y equipos previstos para la ejecución del plan. Como se aprecia, el costo total de adquisición de materiales y equipos se ubicó en S/. 18,681.0, de los cuales S/. 13,312.0 correspondieron a materiales (EPP, llantas, combustible, filtro, líquido lubricante, alcohol y cadena) y S/. 5,369.0 en equipos (válvula, manómetro, conos, gato, llave de tubo, aspirador, desengrasante, trapo industrial, embudo, llaves de apriete, mechero y destornillador).

Tabla 36. Determinación de costos de materiales y equipos

Descripción	Costo unitario (S/.)	Cantidad	Total (S/.)
<b>Materiales</b>			
EPP	170.0	10.0	1,700.0
Llantas	330.0	16.0	5,280.0
Combustible	18.0	280.0	5,040.0
Filtro	25.0	4.0	100.0
Líquido lubricante	45.0	4.0	180.0
Alcohol	35.0	4.0	140.0
Cadena	218.0	4.0	872.0
Total materiales (S/.)			13,312.0
<b>Equipos</b>			
Válvula	185.0	1.0	185.0
Manómetro	160.0	1.0	160.0
Conos	30.0	4.0	120.0
Gato	250.0	4.0	1,000.0
Llave de tubo	200.0	4.0	800.0
Aspirador	110.0	4.0	440.0
Desengrasante	65.0	16.0	1,040.0
Trapo industrial	6.0	16.0	96.0
Embudo	25.0	4.0	100.0
Llaves de apriete	120.0	8.0	960.0
Mechero	80.0	4.0	320.0
Destornillador	37.0	4.0	148.0
Total, equipos (S/.)			5,369.0
Total, materiales y equipos (S/.)			18,681.0

En la tabla 37, se presenta el costo del plan de capacitación que, considerando las 16 horas a un costo por hora de S/. 120.0, se ubican en un total de S/. 1,920.0.

Tabla 37. Determinación de costos de capacitación

Descripción	Costo por hora (S/.)	Cantidad horas	Total (S/.)
Capacitación	120.0	16.0	1,920.0
Total, capacitación (S/.)			1,920.0

Basado en los resultados anteriores, en la tabla 38 se identifica el monto de la inversión inicial de S/. 20,601.0, el cual se distribuye en 90.7% para materiales y equipos y 9.3% para capacitación.

Tabla 38. Determinación de la inversión inicial

Descripción	Total (S/.)	%
Materiales y equipos	18,681.0	90.7%
Capacitación	1,920.0	9.3%
Total, general	20,601.0	100.00%

#### 4.4.2. Proyección de gastos de materiales y equipos

En la tabla 39 se presenta la proyección de gastos de materiales y equipos, considerando las reposiciones necesarias para la ejecución del plan y, destacándose, que se ha considerado un stock mínimo de un mes, conforme se desprende de los objetivos del plan. Estos montos varían conforme a la periodicidad de cada labor de mantenimiento, descrita en el plan y su monto total es S/. 71,181.0



Tabla 39. Proyección de gastos de materiales y equipos

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Materiales												
EPP	-	-	-	-	-	1,700.0	-	-	-	-	-	-
Llantas	-	-	-	-	-	-	5,280.0	-	-	-	-	-
Combustible	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	5,040.0	-
Filtro	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0
Líquido lubricante	-	180.0	-	180.0	-	180.0	-	180.0	-	180.0	-	180.0
Alcohol	-	140.0	-	140.0	-	140.0	-	140.0	-	140.0	-	140.0
Cadena	-	-	-	-	-	872.0	-	-	-	-	-	-
Total materiales (S/.)	5,040.0	5,460.0	5,040.0	5,460.0	5,040.0	8,032.0	10,320.0	5,460.0	5,040.0	5,460.0	5,040.0	420.0
Equipos												
Válvula	-	-	-	-	-	185.0	-	-	-	-	-	-
Manómetro	-	-	-	-	-	160.0	-	-	-	-	-	-
Conos	-	-	-	-	-	120.0	-	-	-	-	-	-
Gato	-	-	-	-	-	1,000.0	-	-	-	-	-	-
Llave de tubo	-	-	-	-	-	800.0	-	-	-	-	-	-
Aspirador	-	-	-	-	-	440.0	-	-	-	-	-	-
Desengrasante	-	-	-	-	-	1,040.0	-	-	-	-	-	-
Trapo industrial	-	-	-	-	-	96.0	-	-	-	-	-	-
Embudo	-	-	-	-	-	100.0	-	-	-	-	-	-
Llaves de apriete	-	-	-	-	-	960.0	-	-	-	-	-	-
Mechero	-	-	-	-	-	320.0	-	-	-	-	-	-
Destornillador	-	-	-	-	-	148.0	-	-	-	-	-	-
Total equipos (S/.)	-	-	-	-	-	5,369.0	-	-	-	-	-	-
Total mensual (S/.)	5,040.0	5,460.0	5,040.0	5,460.0	5,040.0	13,401.0	10,320.0	5,460.0	5,040.0	5,460.0	5,040.0	420.0

#### **4.4.3. Proyección de gastos de mano de obra**

En la tabla 40 se presenta la proyección de gastos de mano de obra, considerando inicialmente la cantidad de horas que se requiere para atender cada montacarga (en total en un año es 70.7 horas) y el costo por hora, el cual la empresa ha fijado en S/. 11.4. Así, al acumular todos los flujos el gasto de mano de obra anual es S/. 3,212.1 distribuidos mensualmente como se aprecia en la referida tabla.

Tabla 40. Proyección de gastos de mano de obra

Mes		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Llanta	Verificación de la precisión de la llanta e identificación de cortes (horas)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Sustitución de llantas (horas)	3.3	-	-	-	-	-	-	3.3	-	-	-	-
Filtro	Verificación de la cantidad requerida de combustible (horas)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Limpieza de los filtros y extracción de partículas de polvo y minera (horas)	-	2.0	-	2.0	-	2.0	-	2.0	-	2.0	-	2.0
	Verificación de la cantidad requerida de lubricante (horas)	-	1.0	-	1.0	-	1.0	-	1.0	-	1.0	-	1.0
Cadena	Verificación y ajuste de la elongación de la cadena (horas)	-	-	-	1.0	-	-	-	1.0	-	-	-	1.0
	Limpieza del óxido y lubricación de la cadena (horas)	-	-	-	1.5	-	-	-	1.5	-	-	-	1.5
	Cambio de la cadena (horas)	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	1.3
Cantidad de horas		6.3	6.0	3.0	8.5	3.0	7.3	3.0	11.8	3.0	6.0	3.0	9.8
Costo por hora (S/.)		11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
Costo de mano de obra por montacarga (S/.)		72.0	68.2	34.1	96.6	34.1	82.4	34.1	134.5	34.1	68.2	34.1	110.8
Costo de mano obra total (S/.)		287.9	272.7	136.4	386.4	136.4	329.5	136.4	537.9	136.4	272.7	136.4	443.2

#### **4.4.4. Proyección de ingresos**

En la tabla 41 se presenta la proyección de ingresos, para lo cual se ha determinado el ahorro en horas de falla por semana, que consiste en obtener la diferencia de las horas de falla en el pretest y en el postest de los cuatro montacargas, luego se multiplicó por cuatro para obtener el total mensual. Además, se consideró que cada montacarga tiene una productividad de 0.68 m<sup>3</sup>/hora del mineral de cobra que transporta, lo cual generó la producción en m<sup>3</sup> que fue convertida a kg, con la tasa 8.96 m<sup>3</sup>/kg. Esto se multiplicó por el precio internacional del cobre de S/. 17.85, generando los ingresos descritos en la tabla, que totalizan S/. 115,716.9 al año.

Tabla 41. Proyección de ingresos

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ahorro en horas de fallas (semana)	2.90	10.00	8.30	8.20	8.50	33.40	27.80	26.50	29.30	30.10	41.20	39.80
Ahorro en horas de fallas (mes)	11.60	40.00	33.20	32.80	34.00	133.60	111.20	106.00	117.20	120.40	164.80	159.20
Productividad del montacarga (m3/hora)	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Producción (m3)	7.89	27.20	22.58	22.30	23.12	90.85	75.62	72.08	79.70	81.87	112.06	108.26
Producción (kg)	70.68	243.71	202.28	199.84	207.16	814.00	677.52	645.84	714.08	733.57	1,004.09	969.97
Precio del cobre (S/. por kg)	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85	17.85
Ingresos (S/.)	1,261. 6	4,350.2 6	3,610.7 2	3,567.2 1	3,697.7 2	14,529.8 7	12,093.7 2	11,528.1 9	12,746.2 6	13,094.2 8	17,923.0 7	17,314.0 3

#### **4.4.5. Flujo de caja proyectado y valoración económica del plan**

En la tabla 42 se presenta el flujo de caja proyectado del plan durante un año y expresado en meses, el cual genera una pérdida en el primer mes de S/. 4,066.3 y al cierre del año, se alcanza una utilidad positiva de S/. 16,450.8; así la utilidad acumulada anual es de S/. 41,323.8, observándose que es a partir del sexto mes cuando se aprecian las ganancias. Además, considerando una tasa de descuento (TEA) de 16.00% (tasa activa promedio de una institución bancaria) que expresada en su equivalente mensual (TEM) es 1.24%, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/. 14,642.3 ( $VAN > 0$ ), con lo cual se puede admitir que el proyecto es rentable. Esto también se aprecia al comparar la Tasa Interna de Retorno (TIR) mensual de 5.51% con la TEM de 1.24% ( $TIR > TEM$ ), con lo cual se evidencia que su rentabilidad es mayor al costo de capital fijado por la empresa. En términos de la Relación Beneficio – Costo (B/C) se aprecia que el valor de 2.0, refleja que por cada S/. 1.0 invertido en el plan, la empresa obtiene una ganancia de S/. 2.0.

Tabla 42. Flujo de caja proyectado y valoración económica del plan

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión inicial (S/.)	20,601.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingresos (S/.)		1,261.6	4,350.3	3,610.7	3,567.2	3,697.7	14,529.9	12,093.7	11,528.2	12,746.3	13,094.3	17,923.1	17,314.0
Gastos (S/.)		5,327.9	5,732.7	5,176.4	5,846.4	5,176.4	13,730.5	10,456.4	5,997.9	5,176.4	5,732.7	5,176.4	863.2
Gasto en materiales y equipos (S/.)		5,040.0	5,460.0	5,040.0	5,460.0	5,040.0	13,401.0	10,320.0	5,460.0	5,040.0	5,460.0	5,040.0	420.0
Gasto en mano de obra (S/.)		287.9	272.7	136.4	386.4	136.4	329.5	136.4	537.9	136.4	272.7	136.4	443.2
Flujo de caja económico (S/.)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20,601.0	4,066.3	1,382.5	1,565.6	2,279.2	1,478.6	799.3	1,637.4	5,530.3	7,569.9	7,361.6	12,746.7	16,450.8

	14,642.
VAN	3
TIR	5.51%
B/C	2.0
TEA	16.00%
TEM	1.24%

## V. DISCUSIÓN

En la presente sección son descritos los resultados de la investigación, que en esta ocasión van a ser contrastados con las fundamentaciones teóricas y los antecedentes elegidos en la realización del trabajo. Primeramente, se determinó mediante aplicación de la prueba t- Student que la implementación de un plan de mantenimiento puede conllevar a mejorar la disponibilidad de los equipos de Izaje en una empresa minera, al obtenerse un  $p$ -valor  $< 0.001$ . Al respecto, Age et al. (2022) consideran que las actividades de mantenimiento están dirigidas a conservar las condiciones y el valor de un activo, y donde dicho valor incluye la confiabilidad, disponibilidad y productividad de estos. Asimismo, Díaz-Concepción et al. (2016) argumentaron que el objetivo principal de la filosofía de mantenimiento RCM radica en la realización de un mantenimiento prioritario a los componentes que son distinguidos como críticos para que se lleve a cabo un adecuado funcionamiento de los equipos o sistemas.

Estos resultados son similares a los encontrados por Sarigül (2022), en un estudio de casos sobre la aplicación de un plan de mantenimiento y su incidencia en la disponibilidad y mantenibilidad de camiones que operan en una mina de carbón a cielo abierto en Turquía, demostrando por medio de algunas simulaciones que la implementación de un plan de mantenimiento correctivo e inspección regular con un factor de restauración de 0.25, puede brindar un nivel de disponibilidad de 67% en los vehiculos, lo cual es un nivel aceptable dentro de análisis efectuado. De igual forma, Patil et al. (2022) corroboraron en una investigación realizada en la India que la adopción de una metodología RCM puede contribuir a elevar la disponibilidad de un sistema de calderas de vapor perteneciente a una empresa textil en un 0.16%. Por su parte, Hardt et al. (2021) en un estudio de casos pudieron determinar que la aplicación de una metodología basada en mantenimiento preventivo bajo conceptos de la industria 4.0 conllevaron a una disminución en la cantidad de anomalías en los equipos, y a su vez generaron una disminución de la fuerza laboral y una gestión más eficaz al presentar procesos parcialmente automatizados.

En el contexto nacional, Choque (2022) llegó a la conclusión de que la implementación de plan de mantenimiento RCM puede generar una mejora en el



nivel disponibilidad de los vehículos de acarreo de la Minera Veta Dorada, en tanto que en el estudio de tipo aplicado elaborado por Chero (2019) se demostró que la puesta en marcha de un sistema de mantenimiento permite la optimización de la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación subterránea (Trackless) de la empresa Gestión Minera Integral SAC.

Otro resultado que se desprende del estudio parte del hecho de que al proceder al diagnóstico inicial se evidenció que la disponibilidad de los montacargas de la empresa minera durante los tres meses evaluados registró un valor promedio de 84.9%, lo que resultó menor al valor previsto del 90%. Ante este particular Nova et al. (2020) advierten que realizar de un modo inadecuado las actividades de mantenimiento puede provocar graves consecuencias para la calidad del producto, la disponibilidad de los equipos y la competitividad de la organización. De esta manera, Choque (2022) en su estudio efectuado en una empresa minera en el Perú comprueba una situación similar donde el nivel disponibilidad de los equipos de acarreo sufrieron una disminución de 16% entre los años 2017 y 2020 al pasar de 96.00% a 80.39%, en tanto que en otros estudios nacionales como los presentados por Macedo y López (2020) y Miranda (2019) las valoraciones iniciales de los niveles de disponibilidad también se mostraban como un tanto baja ante los valores que se tenían previstos.

No obstante, estos resultados discrepan de los obtenidos por Sarigül (2022) en su estudio realizado en una flota de vehículos pertenecientes a una mina en Turquía, puesto que se constató que dichos camiones estaban sobre-mantenidos, lo que significaba que las políticas de mantenimiento preventivos debían disminuirse ligeramente si la intención se orientaba a incrementar la disponibilidad de estos. Ante estos hallazgos, Zhao et al. (2022) ya advierten que las actividades de mantenimiento pueden verse afectadas por errores humanos, mala calidad de los repuestos, insuficiencia en los tiempos de mantenimiento y otros aspectos, que obstaculizan el funcionamiento normal de los equipos y maquinarias, y en esta oportunidad se tiene que paradójicamente Sarigül (2022) comprobó que la intensificación de un plan de mantenimiento preventivo ha redundado en menores niveles de disponibilidad y eficiencia en estas maquinarias.

En otro orden de ideas, del estudio se visualiza la estructuración de un plan de mantenimiento basado en RCM, cuyos propósitos más importantes consistían en lograr la capacitación del personal técnico en mantenimiento basado en RCM, mantener stocks de repuestos y materiales, elevar la disponibilidad de los equipos, y supervisar permanentemente las actividades de dicho plan. En tal sentido, Díaz-Concepción et al. (2016) han indicado que dentro de los aspectos que sustentan la estrategia RCM están la capacitación del equipo de trabajo, delimitación de sistemas, funciones y condiciones operacionales, establecimiento y diferenciación de la criticidad, análisis de la causa raíz, entre otras acciones. Asimismo, Xia et al. (2023) plantean que la planificación del mantenimiento es una actividad enfocada a subsanar daños o advertir sobre fallas inminentes en equipos o un sistema en específico, lo que va a incidir positivamente en la operatividad normal de las operaciones de los equipos, así como en la optimización de la confiabilidad y disponibilidad de los mismos.

En tanto que, Singh et al. (2022) y Pelantová (2022) dan cuenta de que existen otras metodologías como el TPM que al igual que el RCM se orientan a elevar el nivel de eficacia en las entidades, así como el rendimiento de los equipos, la disponibilidad y productividad. Al respecto, consideran que es fundamental la participación activa de todos los colaboradores que se desempeñan en las distintas organizaciones.

Bajo este contexto, Patil et al. (2022) logra implementar un plan de mantenimiento basada en la metodología RCM que se convirtió en un procedimiento de gestión de riesgos y confiabilidad para optimizar el mantenimiento preventivo en una empresa textil instalada en la India. Por otro lado, Zakikhani et al. (2020) diseñaron con éxito un procedimiento de planificación de mantenimiento basado en la confiabilidad y centrado en la disponibilidad para evitar la corrosión externa de las tuberías de transmisión de gas en los Estados Unidos.

A nivel nacional, Canahua (2021) diseñó una metodología de mantenimiento productivo total – TPM con la intención de optimizar la eficacia global del equipo – OEE y la disponibilidad en la producción de repuestos para equipos del sector minero en la empresa Frecep SAC, al igual que lo hicieron Maicedo y Lopez (2020),

Miranda (2019) y Chero (2019) en sus diferentes estudios donde únicamente se enfocaron a emplear la metodología RCM para identificar las condiciones y modos de fallas en equipos, y así mejorar los niveles de disponibilidad en equipos y sistemas.

Seguidamente, de la presente investigación se determina que posterior a la implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM el nivel de disponibilidad promedio de los montacargas de la empresa minera se ubicó en 91.2%, lo cual resultó superior al 84.9% que se determinó en una evaluación inicial. Estos hallazgos confirman lo indicado por Angeles y Kumral (2020), al señalar que los equipos constituyen un activo primordial para las empresas mineras, de manera que la realización adecuada de una política de mantenimiento puede conducir a un mejor desempeño, por lo que se entiende que las actividades de mantenimiento tienen una incidencia directa sobre la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y sistemas.

Dentro de los antecedentes que concuerdan con estos resultados se tienen al trabajo presentado por Zakikhani et al. (2020) al evidenciar que el empleo de una metodología sustentada en la disponibilidad y los costos puede contribuir a maximizar los niveles de disponibilidad en las tuberías de transmisión de gas en los Estados Unidos. De igual forma, en la investigación realizada por Sarigül (2022) se observa que la implementación de un plan de mantenimiento conlleva a niveles aceptables de disponibilidad de equipos.

En el ámbito nacional, Canahua (2021) presentó una metodología de mantenimiento productivo total – TPM con el que se obtuvieron mayores niveles de disponibilidad en los equipos para el sector minero, mientras que en los estudios de Choque (2022), Macedo y López (2020) y Miranda (2019), se emplearon planes de mantenimiento basados en RCM los cuales permitieron incrementar los niveles de disponibilidad en diferentes equipos y maquinarias.

En última instancia, al realizar la valoración económica-financiera de la propuesta de plan de mantenimiento basada en RCM se constató la factibilidad económica de la misma, al obtener un VAN > 0, y un TIR mensual > TEM mensual. Ante estas consideraciones, Adenuga et al. (2022) plantea que la metodología basada en RCM

ofrece ciertos beneficios como la ayuda que presta en la identificación de equipos que requieren mantenimiento preventivo/programado y, aunado a ello promueve la práctica del mantenimiento predictivo y basado en la condición, por lo que es fundamental conseguir los recursos para implementar tal instrumento. Age et al. (2022), plantean que las tareas de mantenimiento pueden suponer un conflicto con las actividades productivas de una entidad, y es que si bien es cierto el mantenimiento preventivo puede hacer más lenta la degradación del equipo, y disminuir la necesidad de llevar a cabo acciones correctivas complejas y costosas, puede afectar la disponibilidad de los equipos.

Ante este particular Age et al. (2022) argumentaron que en lo referente a las empresas mineras se debe entender que a medida que la producción sufre un incremento, las mismas requieren de equipos óptimos que les pueda garantizar la maximización de los beneficios económicos, afrontar los desafíos que entraña la competencia global, y el mantenimiento de la confiabilidad, por lo que es esencial que puedan contar con los recursos suficientes para llevar a cabo estas iniciativas. Cabe destacar, que en trabajos como el realizado por Zakikhani et al. (2020) se justifica la inversión de recursos económicos para implementar un plan de mantenimiento basado en RCM puesto que ayudan a incrementar sustancialmente la disponibilidad de los equipos, mientras que a nivel nacional Canahua (2020) corrobora que la implementación de un plan de esta naturaleza puede generar ahorros por el orden de los S/. 590,353.55, propiciado en buena medida por la disminución en la cantidad de operario y las demoras por actividades de mantenimiento correctivo.

## VI. CONCLUSIONES

- 1) En lo concerniente al objetivo general de la investigación, se determinó que la implementación de un plan de mantenimiento puede conllevar a mejorar la disponibilidad de los equipos de Izaje en una empresa minera, ya que en la aplicación de la prueba t-Student se demostró que el nivel de significancia obtenido antes y después de la implementación del plan de mantenimiento resultó ser  $p$ -valor  $< 0.001$ .
- 2) En relación al primer objetivo específico, se determinó en el diagnóstico inicial que la disponibilidad de los montacargas de la empresa minera durante los tres meses evaluados presentó un valor promedio de 84.9%, lo que resultó ser inferior al valor previsto del 90%. En tal sentido, se evidenció que este indicador experimentó una disminución en el periodo al pasar de 87.2% a 83.8%, mientras que la cantidad de fallas promedio fue de 6.7 durante el periodo, y en última instancia se observó que el tiempo total de falla se ubicó en 50.4 horas/semana, que constituyó el 18% de las horas programadas, estimadas en 280 horas/semana.
- 3) Teniendo en consideración al segundo objetivo específico, se procedió a la aplicación del Método AMEF, el cual permitió identificar las fallas más frecuentes en los cinco componentes de los montacargas, vale decir; luces, llantas, filtros, circulina y cadena. En base a estos aspectos se propuso un plan de mantenimiento basado en RCM, cuyos objetivos principales estuvieron orientados a la capacitación de al menos el 95% del personal técnico en mantenimiento basado en RCM, mantener stocks de repuestos y materiales de al menos un mes, elevar la disponibilidad de los equipos a por lo menos 95% y ejecutar el 100% de las acciones programadas.
- 4) Con respecto al tercer objetivo específico, se comprobó que luego de la implementación de la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM la disponibilidad de los montacargas de la empresa minera mejoró notoriamente, ya que el nivel de disponibilidad promedio alcanzó un valor de 91.2%, lo que significó un incremento de este indicador en el periodo evaluado de un 7.1%, al pasar de 88.0% a 95.1%.
- 5) Por último, en el cuatro objetivo específico, se comprobó la viabilidad

económica de la propuesta del plan de mantenimiento basado en RCM al obtenerse un (VAN) positivo de S/. 14,642.3 ( $VAN > 0$ ), mientras que el TIR mensual resultó superior al TEM mensual, con valores de 5.51% y 1.24% respectivamente ( $TIR > TEM$ ), significando que la rentabilidad del proyecto es superior al costo de capital establecido por la empresa. En lo correspondiente a la Relación Beneficio – Costo (B/C), se constató que el valor de 2.0, va a indicar que por cada S/. 1.0 invertido en el plan, la entidad logra obtener una ganancia de S/. 2.0.

## VII. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda a los niveles directivos de la empresa tomar en cuenta el plan de mantenimiento que se ha diseñado, ya que se ha constatado su factibilidad económica-financiera, y aunado a ello se ha comprobado la incidencia positiva que tendría en la gestión de mantenimiento que está orientada a mejorar los niveles de disponibilidad de los equipos.
- 2) Se recomienda al Gerente General de la empresa realizar una evaluación exhaustiva de las actividades de mantenimiento que se llevan a cabo en la entidad, con la intención de designar a los colaboradores responsables en cada una de las acciones vinculadas al mantenimiento realizado, a efecto de mitigar las fallas y demoras producidas en cada actividad.
- 3) Se recomienda al Gerente General de la empresa promover la concientización dentro de los colaboradores que se desempeñan en las distintas áreas de la misma, esto con la finalidad de elevar el grado de conocimiento sobre la funcionalidad y los beneficios que se desprenden de los planes de mantenimiento basado en RCM y el resto de metodologías destinadas a mejorar el desempeño operativo de las organizaciones.
- 4) Se recomienda a los empleados de la entidad que en el caso de implementarse el plan de mantenimiento basado en RCM deben avocarse a plenitud en la ejecución sistemática de cada una de las fases contempladas, esto en función de obtener resultados satisfactorios en relación a la mejora en el nivel de disponibilidad, disminución en la cantidad de fallas y tiempo de demora en los equipos, así como el resto de situaciones que atentan contra el funcionamiento óptimo de la empresa.
- 5) En última instancia, es fundamental que el nivel gerencial de la entidad pueda realizar reuniones constantes con los directivos, con la intención de gestionar de manera expedita los recursos necesarios para la implementación de un plan de mantenimiento de esta envergadura, esto a sabiendas de las ventajas que se obtendrían de dicha iniciativa.

## REFERENCIAS

*A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining.* **ODEYAR, Prerita, et al. 2022.** 6263, 2022, *Energies*, Vol. 15(17).

*A Review of Sustainable Maintenance Strategies for Single Component and Multicomponent Equipment.* **ZHAO, Jingyi, GAO, Chunhai and TANG, Tao. 2022.** 5, 2022, *Sustainability* , Vol. 14.

*A robust integrated production and preventive maintenance planning model.* **ALIMIAN, Mahyar, SAIDI-MEHRABAD, Mohammad and JABBARZADEH, Armin. 2019.** 2019, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 50, pp. 263-277.

**AGE SAPUTRA, Bhetta, NOVITA SARI, Dian and KHADIJAH, Muthia. 2022.** *Preventive Maintenance of Mining Heavy Equipment in an Indonesian Coal Mining Contracting Company.* 2022.

*An availability-based warranty policy considering preventive maintenance and learning effects.* **SU, Chun y CHENG, Longfei. 2017.** 6, 2017, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, Vol. 232, págs. 576-586.

*Availability forecast of mining equipment.* **DOS SANTOS SILVA, Franco Jefferds, GARCIA VIANA, Helbert Ricardo y AQUINO QUIROZ, André Nasser. 2016.** 4, 2016, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 22, págs. 418-432. 13552511.

*Availability-based reliability-centered maintenance planning for gas transmission pipelines.* **ZAKIKHANI, Kimiya, NASIRI, Fuzhan and ZAYED, Tarek. 2020.** 104105, 2020, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 183, pp. 2-9.

**BBVA RESEARCH. 2023.** *Perú Situación del sector minero 2022.* 2023.

**CHERE CUSTODIO, Percy Jesús. 2019.** *Sistema de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos de perforación subterránea (trackless) de*



*la Empresa Gestión Minera Integral SAC.* Lambayeque : Tesis de Grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.

**CHOQUE ILLACUTIPA, Denis. 2022.** *Implementación de un plan de mantenimiento RCM para mejorar la disponibilidad de vehículos de acarreo en la Minera Veta Dorada SAC, 2021.* Tacna : Tesis de Grado, Universidad Nacional Jorge Basadre, 2022.

*Current Practices for Preventive Maintenance and Expectations for Predictive Maintenance in East-Canadian Mines.* **ROBATTO SIMARD, Simon, GAMACHE, Michel and DOYON-POULIN, Philippe. 2023.** 1, 2023, Vol. 3, pp. 26-53.

*Developing a predictive maintenance model for vessel machinery.* **JARAMILLO JIMENEZ, Veronica, BOUHMALA, Nouredine y HAUGEN GAUSDAL, Anne. 2020.** 4, 2020, Journal of Ocean Engineering and Science, Vol. 5, págs. 358-386.

*Development of Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach.* **PATIL, Suyog S., et al. 2022.** 10073, 2022, Sustainability, Vol. 14.

*Effect of misalignment failures of steel guides on impact responses.* **YAO, Jiannan, et al. 2020.** 104841, 2020, Engineering Failure Analysis, Vol. 118.

*Examining Equipment Condition Monitoring for Predictive.* **NOVA Riantama, Rafif, et al. 2020.** 2020, Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, pp. 3471-3480.

**HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto and MENDOZA TORRES, Christian Paulina. 2018.** *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA.* México : McGraw-Hill, 2018. 9781456260965.

*Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica.* **CANAHUA APAZA, Noemy M. 2021.** 1, Lima : s.n., 2021, Producción y gestión, Vol. 24, pp. 49-76. 18109993.

*Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de*

*transmisión eléctrica.* **DÍAZ-CONCEPCIÓN, Armando, y otros. 2016.** 3, 2016, Ingeniería Mecánica, Vol. 19. 18155944.

*Implementación del mantenimiento productivo total en la empresa Sofi de.* **CORRAL-RAMIREZ, Guadalupe, MUÑOZ LOPEZ, Luis y FLORES-BARRAGAN, Juan. 2018.** 13, 2018, Revista de Negocios & Pymes, Vol. 4, págs. 14-25.

*Implementation of Total Productive Maintenance Approach: Improving Overall Equipment Efficiency of a Metal Industry.* **SINGH, Sukhpret, et al. 2022.** 4, 2022, Inventions, Vol. 7. 24115134.

*Innovative Approach to Preventive Maintenance of Production Equipment Based on a Modified TPM Methodology for Industry 4.0.* **HARDT, Filip, et al. 2021.** 6953, 2021, Applied sciences, Vol. 11.

**MACEDO NIÑA, David Dario and LÓPEZ PALCIOS, Franklin Alberto. 2020.** *Modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en equipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho-Perú, utilizando RCM.* Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2020.

*Maintenance in Marginal Oilfield Production Facilities: A Review.* **ADENUGA, Olawale D., DIEMUODEKE, Ogheneruona E. and KUYE, Ayoade O. 2022.** 4, 2022, World Journal of Engineering and Technology, Vol. 10, pp. 691-713. 23314249.

*Maintenance Management Model under the TPM approach to Reduce Machine Breakdowns in Peruvian Giant Squid Processing SMEs.* **GALLES TORRES, A., et al. 2020.** 012006, 2020, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 796, pp. 18-20.

*Maintenance planning recommendation of complex industrial equipment based on knowledge graph and graph neural network.* **XIA, Ligiao, et al. 2023.** 2023, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 232.

*Maintenance Schedules of Mining HEMM Using an Optimization Framework Model.* **RANJAN SHARMA, Niraj, AGRAWAL, Hermant y MISHRA, Arvind K. 2019.** 3,

2019, Journal Européen des Systèmes Automatis, Vol. 52, págs. 235-242.

**MIRANDA ORNA, Cesar Cristian. 2019.** *DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA ESTRATEGIA RCM PARA UN FILTRO PRENSA DE RELAVE QUE OPERA EN UNA MINA UBICADA A 4800 M.S.N.M.* Lima : UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UTEC, 2019.

*Optimal Inspection and Preventive Maintenance Scheduling of Mining Equipment.* **ÁNGELES, Enzo and KUMRAL, Mustafa. 2020.** 2020, Journal of Failure Analysis and Prevention, Vol. 20, pp. 1408-1416.

*Optimal maintenance management of offshore wind turbines by.* **PEINADO GONZALO, Alfredo, et al. 2022.** 102230, 2022, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 52, pp. 1-10.

**PELANTOVÁ, Vera. 2022.** *Maintenance Management - Current Challenges, New Developments, and Future Directions.* 2022.

*Propuesta de mejora del plan de gestión de mantenimiento basado en RCM y Lean Office en el proceso de inyección de polímeros.* **VALENZUELA FUCHS, Marysabel, et al. 2020.** 37, 2020, Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, pp. 41-51.

*Reliability Modelling of Side Discharge Loader for Availability Estimation and Maintenance Planning in Underground Coal Mines.* **SANKHA, Sankha y DEY, U. K. 2015.** 9, 2015, International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 6. 22295518.

*Reliability, availability and maintainability analysis of a cement plant: a case study.* **CHOUDHARY, Devendra, TRIPATHI, Mayank and SHANKAR, Ravi. 3,** International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 36, pp. 298-313. 0265671X.

*Reliability, availability and maintainability analysis of the conveyor system in mechanized tunneling. Measurement.* **AHMADI, S., et al. 2019.** 2019, Vol. 145, pp. 756-764. 02632241.

*Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Study of an Ice Cream Industry.*  
**TSAROUHAS, Panagiotis. 2020.** 12, 2020, Applied Sciences, Vol. 10.

**SARIGÜL, Mert. 2022.** *DEVELOPMENT OF RELIABILITY-BASED MAINTENANCE POLICIES.* 2022.

*Sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE.* **ALBARADO BETANCOURT, Edison Javier and SABANDO FIGUABE, Luis Felipe. 2021.** 8, 2021, Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, Vol. 4, pp. 46-77. 27376249.

*Study on Preventive Maintenance Strategies of Filling Equipment Based on Reliability-Centered Maintenance.* **ZENG, Pengfei, SHAO, Weiping and HAO, Yonping. 2021.** 2, 2021, Vol. 28, pp. 689-697. 18486339.

*Una polémica trascendental sobre el mantenimiento Preventivo y Predictivo.*  
**GARCÍA CÓRDOBA, Mario. 2017.** 8, León Guanajuato : s.n., 2017, Revista de Investigaciones Sociales, Vol. 3, pp. 1-11. 24144835.

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de operacionalización

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Plan de mantenimiento	Se caracteriza por la realización de un conjunto de trabajos programados y ejecutados a intervalos específicos, en los cuales se procede a la sustitución o restauración de ciertos componentes, indistintamente del estado en que se encuentre (Robatto et al., 2023).	Las dimensiones seleccionadas del plan comprenden la estructura del mantenimiento, condiciones de los equipos, tareas de mantenimiento, habilidad del personal en la realización de las tareas y evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad	Estructura del mantenimiento (EM)	$EM = \frac{CC}{CT}$ CC = criterios cumplidos CT = criterios no cumplidos	De razón
			Condiciones de los equipos (CE)	$CE = \frac{CC}{CT}$ CC = criterios cumplidos CT = criterios no cumplidos	
			Tareas de mantenimiento (TM)	$TM = \frac{CC}{CT}$	

				<p>CC = criterios cumplidos</p> <p>CT = criterios no cumplidos</p>	
			Habilidad del personal en la realización de las tareas (HPR)	$HPR = \frac{CC}{CT}$ <p>CC = criterios cumplidos</p> <p>CT = criterios no cumplidos</p>	
			Evaluación de fallas y la ingeniería de la confiabilidad (EF)	$EF = \frac{CC}{CT}$ <p>CC = criterios cumplidos</p> <p>CT = criterios no cumplidos</p>	
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala

Disponibilidad	Se define como la probabilidad de que un sistema o equipo pueda estar disponible para ser utilizado en un momento determinado (Su y Cheng, 2017).	Las dimensiones consideradas para esta variable son tiempo promedio de fallas y tiempo de reparación	Tiempo promedio de fallas	$TEMF = \frac{HROP}{NFD}$ <p>HROP: horas de operación</p> <p>NFD: número de fallas detectadas</p>	De razón
			Tiempo de reparación	$TPR = \frac{TTF}{NFD}$ <p>TTF: tiempo total de fallas</p> <p>NFD: número total de fallas</p>	





## VALIDACIÓN DE CONTENIDO DE LA FICHA DE OBSERVACIÓN PARA MEDICIÓN DE DISPONIBILIDAD

INSTRUCCIÓN: A continuación, se le hace llegar el instrumento de recolección de datos (ficha de observación) que permitirá recoger la información en la presente investigación: Implementación de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de izajes en una empresa minera. Por lo que se le solicita que tenga a bien evaluar el instrumento, haciendo, de ser caso, las sugerencias para realizar las correcciones pertinentes. Los criterios de validación de contenido son:

Criterios	Detalle	Calificación
Suficiencia	El ítem pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Claridad	El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Coherencia	El ítem tiene relación lógica con el indicador que está midiendo	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

*Nota.* Criterios adaptados de la propuesta de Escobar y Cuervo (2008).



## MATRIZ DE VALIDACIÓN DE LA FICHA DE OBSERVACIÓN PARA MEDICIÓN DE DISPONIBILIDAD

Definición de la variable: Disponibilidad.


Dimensión	Indicador	Ítem	S u f i c i e n c i a	C l a r i d a d	C o h e r e n c i a	R e l e v a n c i a	Observación
Tiempo medio de fallas (TEMF)	$TEMF = \frac{HROP}{NFD}$	HROP: horas de operación	1	1	1	1	
		NFD: número de fallas detectadas	1	1	1	1	
Tiempo de reparación (TPR)	$TPR = \frac{TTF}{NFD}$	TTF: tiempo total de fallas	1	1	1	1	
		NFD: número total de fallas	1	1	1	1	

Atte.

Juan Miguel, Marquina Barreto.

CIP 142629

## FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Fichas de Observación.
Objetivo del instrumento	Medición de la Disponibilidad.
Nombres y apellidos del experto	Juan Miguel, Marquina Barreto.
Documento de identidad	80322262
Años de experiencia en el área	30 años.
Máximo Grado Académico	Ing. Mecánico.
Nacionalidad	Peruano.
Institución	Universidad Nacional de Trujillo.
Cargo	Supervisar Área de Izajes.
Número telefónico	949391693
Firma	 JUAN MIGUEL MARQUINA BARRETO ING. MECÁNICO CIP 142629
Fecha	12 /07 / 2023

## MATRIZ DE VALIDACIÓN DE LA FICHA DE OBSERVACIÓN PARA MEDICIÓN DE DISPONIBILIDAD

Definición de la variable: Disponibilidad.

Dimensión	Indicador	Ítem	S u f i c i e n c i a	C l a r i d a d	C o h e r e n c i a	R e l e v a n c i a	Observación
Tiempo medio de fallas (TEMF)	$TEMF = \frac{HROP}{NFD}$	HROP: horas de operación	1	1	1	1	
		NFD: número de fallas detectadas	1	1	1	1	
Tiempo de reparación (TPR)	$TPR = \frac{TTF}{NFD}$	TTF: tiempo total de fallas	1	1	1	1	
		NFD: número total de fallas	1	1	1	1	

Atte.

Manuel Victor, Cruz Saldaña.

## FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Fichas de Observación.
Objetivo del instrumento	Medición de la Disponibilidad.
Nombres y apellidos del experto	Manuel Victor, Cruz Saldaña.
Documento de identidad	44017793
Años de experiencia en el área	15 años.
Máximo Grado Académico	Ing. Industrial Colegiado.
Nacionalidad	Peruano.
Institución	Universidad Cesar Vallejo
Cargo	Supervisor Mantenimiento Mina (Minera Boroo)
Número telefónico	962768897
Firma	 Victor Manuel Cruz Saldaña SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO MINA MINERA BORO MISQUICHILCA S.A. MINA LAGUNAS NORTE
Fecha	12 /07 / 2023

## MATRIZ DE VALIDACIÓN DE LA FICHA DE OBSERVACIÓN PARA MEDICIÓN DE DISPONIBILIDAD

Definición de la variable: Disponibilidad.

Dimensión	Indicador	Ítem	S u f i c i e n c i a	C l a r i d a d	C o h e r e n c i a	R e l e v a n c i a	Observación
Tiempo medio de fallas (TEMF)	$TEMF = \frac{HROP}{NFD}$	HROP: horas de operación	1	1	1	1	
		NFD: número de fallas detectadas	1	1	1	1	
Tiempo de reparación (TPR)	$TPR = \frac{TTF}{NFD}$	TTF: tiempo total de fallas	1	1	1	1	
		NFD: número total de fallas	1	1	1	1	

Atte.

Victor Giancarlo, Rosales Rodriguez.

CIP. 311749

**FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO**

Nombre del instrumento	Fichas de Observación.
Objetivo del instrumento	Medición de la Disponibilidad.
Nombres y apellidos del experto	Victor Giancarlo Rosales Rodriguez
Documento de identidad	40465836
Años de experiencia en el área	23 años
Máximo Grado Académico	Ing. Industrial.
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad Privada del Norte.
Cargo	Supervisor de Servicio "" Scania del Perú".
Número telefónico	992264257
Firma	
Fecha	13 /07 / 2023

  
 -----  
**VICTOR GIANCARLO**  
**ROSALES RODRIGUEZ**  
 Ingeniero Industrial  
 CIP Nº 311749



## AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo **Juan Miguel Marquina Barreto**, identificado con DNI: **80322262**, en mi calidad de Ing. Mecánico. del área de **Supervisor del Área de Izajes**. de la empresa **Minera Marcobre S.A.** con R.U.C N° ..... **20508972734**., ubicada en la ciudad de **Marcona – Ica**.

### OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor (a, ita.) ... **Tello Fuentes, Henry Manuel / Tirado Gómez, Ronal Eliceo**..., Identificado(s) con DNI N°: **41242072 / 43576265**, de la ( ) Carrera profesional Ingeniería Industrial, para que utilice la siguiente información de la empresa:

**Minera Marcobre S.A.**;

con la finalidad de que pueda desarrollar su ( ) Informe estadístico, ( ) Trabajo de Investigación, (X) Tesis para optar el Título Profesional.

( X ) Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCV.

( ) Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o

( ) Mencionar el nombre de la empresa.



JUAN MIGUEL MARQUINA BARRETO  
ING. MECÁNICO  
CIP 142629

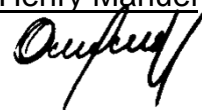
Firma y sello del Representante Legal  
DNI: 80322262

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Tello Fuentes, Henry Manuel

Firma del Estudiante

DNI: 41242072



Ronal Eliceo Tirado Gomez

Firma del Estudiante

DNI: 43576265

