



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

**TESIS**

**Propuesta de un plan de mantenimiento para  
mejorar la gestión de equipos de acarreo en una  
minera peruana**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
INDUSTRIAL**

**Autor**

**Bach. Jimenez Jimenez Jorge Michael**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8234-9051>

**Asesor(a)**

**Ing. Vásquez Coronado Manuel Humberto**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4573-3868>

**Línea de Investigación**

**Tecnología e innovación en el desarrollo de la construcción y la  
industria en un contexto de sostenibilidad**

**Sub línea de Investigación**

**Gestión y sostenibilidad en las dinámicas empresariales de industrias y  
organizaciones**

**Pimentel – Perú**

**2024**

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA  
GESTIÓN DE EQUIPOS DE ACARREO EN UNA MINERA PERUANA**

**Aprobación del jurado**

---

MG. JOSE MANUEL ARMAS ZAVALA

**Presidente del Jurado de Tesis**

---

MG. MANUEL ALBERTO ARRASCUE BECERRA

**Secretario del Jurado de Tesis**

---

MG. JOSE ARTURO RODRIGUEZ KONG

**Vocal del Jurado de Tesis**

**Declaración Jurada de Originalidad**

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, es Jorge Michael Jimenez Jimenez; del Programa de Estudios de **Ingeniería Industrial** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA  
GESTIÓN DE EQUIPOS DE ACARREO EN UNA MINERA PERUANA**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

Jimenez Jimenez Jorge Michael	DNI:43207006	
-------------------------------	--------------	---

Pimentel, 18 de noviembre de 2024

# TURNIT~3.DOC

-  Convocatoria Octubre 24
-  My Files
-  Universidad Señor de Sipan

## Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::26396389650564

Fecha de entrega  
7 oct 2024, 3:12 p.m. GMT-5

Fecha de descarga  
3 feb 2025, 7:01 p.m. GMT-5

Nombre de archivo  
TURNIT~3.DOC

Tamaño de archivo  
4.4 MB

73 Páginas

15,063 Palabras

83,073 Caracteres



Página 2 of 83 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::26396389650564

## 19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 14%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## **Dedicatoria**

A Dios, por la vida y darme las fuerzas para continuar siempre afrontando todos los retos y desafíos en mi vida personal, así como lo profesional.

A mis padres, Porfirio y Luztenia, por haberme brindado su apoyo en todo momento, a mi esposa Mónica por su comprensión y ser mi apoyo para salir adelante. Mi hermano Jhon por enseñarme y darme las fuerzas para crecer profesionalmente.

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres, Porfirio Jiménez Castillo y Luztenia Jiménez Peña, por poner su total confianza en mí y en mis metas trazadas durante mis años de estudios en la Universidad Señor de Sipán

Agradezco a mi hermano, Jhon Ricardo, por su confianza en mis habilidades y en fortalecer mis debilidades que gracias a ello he podido superar los obstáculos que se me presentaban a lo largo de la carrera.

## Índice General

Declaración Jurada de Originalidad.....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice De Tablas.....	viii
Resumen .....	xii
Abstract .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Hipótesis.....	19
1.4. Objetivos .....	20
1.5. Teorías relacionadas al tema .....	20
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	32
2.1. Tipo y diseño de investigación .....	32
2.2. Variables, operacionalización.....	32
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	35
2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ...	36
2.5. Procedimientos de análisis de datos.....	37
2.6. Criterios éticos.....	38
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1. Resultados .....	39
3.2. Discusión.....	93
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	96
4.1. Conclusiones.....	96

4.2. Recomendaciones.....	97
REFERENCIAS .....	98
ANEXOS.....	103

## Índice De Tablas

Tabla 1. Matriz de operacionalización.....	33
Tabla 2. Criterios de exclusión y selección. ....	36
Tabla 3. Disponibilidad del equipo de acarreo SC406.....	39
Tabla 4. Disponibilidad del equipo de acarreo SC407 .....	39
Tabla 5. Disponibilidad del equipo de acarreo SC408 .....	39
Tabla 6. Disponibilidad del equipo de acarreo SC610 .....	40
Tabla 7. Disponibilidad del equipo de acarreo SC611 .....	40
Tabla 8. Disponibilidad del equipo de acarreo SC612 .....	40
Tabla 9. Disponibilidad del equipo de acarreo SC613 .....	40
Tabla 10. Disponibilidad del equipo de acarreo SC614 .....	40
Tabla 11. Confiabilidad del equipo de acarreo SC406.....	42
Tabla 12. Confiabilidad del equipo de acarreo SC407.....	42
Tabla 13. Confiabilidad del equipo de acarreo SC408.....	42
Tabla 14. Confiabilidad del equipo de acarreo SC610.....	42
Tabla 15. Confiabilidad del equipo de acarreo SC611.....	42
Tabla 16. Confiabilidad del equipo de acarreo SC612.....	43
Tabla 17. Confiabilidad del equipo de acarreo SC613.....	43
Tabla 18. Confiabilidad del equipo de acarreo SC614.....	43
Tabla 19. Descripción de abreviaturas.....	44
Tabla 20. Puntuación final de criticidad. ....	44
Tabla 21. Criterios de criticidad.....	45
Tabla 22. Descripción de abreviaturas de equipos. ....	45
Tabla 23. Análisis de criticidad de equipos de acarreo.....	45
Tabla 24. Matriz de Vester.....	46
Tabla 25. Matriz de ponderación.....	47
Tabla 26. Rendimiento del equipo de acarreo SC611. ....	49

Tabla 27.Rendimiento del equipo de acarreo SC610. ....	49
Tabla 28.Rendimiento del equipo de acarreo SC614 .....	50
Tabla 29.Rendimiento del equipo de acarreo SC406. ....	50
Tabla 30.Rendimiento del equipo de acarreo SC613. ....	50
Tabla 31.Rendimiento del equipo de acarreo SC612. ....	50
Tabla 32.Rendimiento del equipo de acarreo SC407. ....	50
Tabla 33.Rendimiento del equipo de acarreo SC408. ....	51
Tabla 33.Consumo del equipo de acarreo SC611. ....	53
Tabla 34.Consumo del equipo de acarreo SC610 .....	53
Tabla 35.Consumo del equipo de acarreo SC614. ....	53
Tabla 36.Consumo del equipo de acarreo SC406 .....	53
Tabla 37.Consumo del equipo de acarreo SC613. ....	53
Tabla 38.Consumo del equipo de acarreo SC612. ....	54
Tabla 39.Consumo del equipo de acarreo SC407 .....	54
Tabla 40.Consumo del equipo de acarreo SC408. ....	54
Tabla 41.Cronograma de cumplimiento. ....	58
Tabla 42. Objetivos de mantenimiento.....	60
Tabla 43.Codificación de equipos de acarreo. ....	63
Tabla 44. Ficha técnica de R1600H. ....	64
Tabla 45. Ficha técnica de R1600H. ....	65
Tabla 46. Ficha técnica de R1600H. ....	66
Tabla 47.Ficha técnica de R1600H. ....	67
Tabla 48. Actividades de mantenimiento. ....	68
Tabla 49, Frecuencia de mantenimiento para equipos de acarreo. ....	72
Tabla 50. Plan de capacitaciones en mantenimiento. ....	76
Tabla 51. Mejora proyectada. ....	80
Tabla 52.Resumen de la inversión.....	81

Tabla 53. Beneficios proyectados. .... 83

## Índice De Figuras

Figura 1. Fases de la gestión de mantenimiento. ....	21
Figura 2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	23
Figura 3. Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo. ....	24
Figura 4. Implementación del mantenimiento preventivo.....	25
Figura 5. Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo. ....	26
Figura 6. Procedimientos de investigación. ....	38
Figura 7. Diagrama de Ishikawa. ....	46
Figura 8. Diagrama de Pareto. ....	48
Figura 9. Árbol de fallas. ....	62
Figura 10. Flujograma de mantenimiento. ....	75
Figura 11. Resumen de inversión ....	82

# PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE EQUIPOS DE ACARREO EN UNA MINERA PERUANA

Jorge Michael Jimenez Jimenez

## Resumen

El presente estudio tiene como finalidad proponer un plan de mantenimiento para mejorar la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana. Para ello, el método es de tipo aplicado, diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Los resultados fueron los siguientes: gracias al diagrama de Pareto se terminó el impacto de las causas raíz en el problema. Así mismo, se determinó que la disponibilidad asciende a: SC610 (86%), SC611 (88%), SC612 (92%), SC613 (92%) y SC614 (88%). Por otro lado, al analizar el rendimiento, se determinó los siguientes valores: SC611 (59.9%), SC610 (58.3%), SC614 (60.7%), SC613 (57.9%), SC612 (59.9%). Se concluye que, la propuesta del plan de mantenimiento tiene una inversión total de S/329,522.56 soles obteniendo un VAN S/ 332,932.49 soles, un TIR de 38% y un costo beneficio de 1.04 soles.

**Palabras Clave:** Disponibilidad, Gestión de equipos, Equipos de acarreo, Kpi, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Rendimiento.

## **PROPOSAL FOR A MAINTENANCE PLAN TO IMPROVE THE MANAGEMENT OF HAULING EQUIPMENT IN A PERUVIAN MINING**

### **Abstract**

The purpose of this study is to propose a maintenance plan to improve the management of hauling equipment in a Peruvian mining company. To do so, the method is applied, non-experimental design and quantitative approach. The results were the following: thanks to the Pareto chart, the impact of the root causes on the problem was concluded. Likewise, it was determined that the availability amounts to: SC610 (86%), SC611 (88%), SC612 (92%), SC613 (92%) and SC614 (88%). On the other hand, when analyzing the performance, the following values were determined: SC611 (59.9%), SC610 (58.3%), SC614 (60.7%), SC613 (57.9%), SC612 (59.9%). It is concluded that the maintenance plan proposal has a total investment of S/329,522.56 soles, obtaining a NPV of S/332,932.49 soles, an IRR of 38% and a cost benefit of 1.04 soles.

**Keywords:** Availability, Machine management, hauling machine, Kpi, Maintenance focused on reliability, Performance.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Según Cutifani [1], la minería impulsa el 45% de la actividad económica global, incluyendo ventas directas de materias primas minerales y el crucial respaldo a otras industrias. Esta contribución abarca aproximadamente el 10% de la actividad económica mundial derivada de la minería de productos básicos, canteras y petróleo. Además, al considerar pagos a industrias de servicios y apoyo directo, la contribución económica del sector minero se eleva a más del 20%. La influencia de productos mineros en la capacidad productiva de diversas industrias, desde fertilizantes hasta combustibles y materiales para la construcción, eleva la contribución global de la industria minera a un 45%.

En el contexto de la economía peruana, la minería desempeña un papel crucial, siendo la principal fuente de ingresos y experimentando una mejora económica en la última década, según el Ministerio de Economía y Finanzas [2]. A medida que las empresas mineras buscan optimizar sus operaciones mediante inversiones en la expansión de plantas concentradoras y la mejora de tecnologías de acarreo, surge la necesidad de abordar los costos asociados con esta actividad, representando aproximadamente el 40% de los costos totales en la industria minera. En este contexto, la selección, operación y mantenimiento eficientes de los equipos de acarreo se revelan como elementos clave para el control de costos. La profundización de las operaciones mineras subterráneas o a tajo abierto genera incertidumbre en la productividad, instando a la implementación de programas de optimización y reducción de costos.

En Cajamarca, se ha observado un notable incremento en el número de empresas que utilizan equipos de transporte, lo que pone de manifiesto la importancia vital del proceso de mantenimiento. Dado que el mantenimiento, en especial en la gran minería, representa una parte considerable del presupuesto empresarial, las empresas deben estar preparadas

para evitar fallos no controlados de los equipos. La necesidad de gestionar este proceso de manera estratégica se enfatiza, ya que un plan estructurado eficiente puede prevenir paradas no programadas, accidentes y el aumento presupuestal asociadas con equipos de gran envergadura. A pesar de las averías recurrentes, se observa una falta de medidas preventivas oportunas.

La empresa minera en estudio enfrenta desafíos significativos con su flota de máquinas y equipos, los cuales exhiben diversas fallas, las cuales destacan el desgaste prematuro de componentes, ya sea rodamientos, engranajes y correas, desgaste excesivo de los frenos, falta de mantenimiento preventivo que contribuye al deterioro general y problemas en el suministro de combustible que afectan el rendimiento del motor. Lo mencionado hace que el área de mantenimiento presente inconvenientes los cuales impactan directamente en las operaciones de acarreo y extracción de minerales. Estos problemas se traducen en paradas no planificadas de los equipos, las cuales podrían prevenirse mediante la implementación de un plan de mantenimiento integral. Este plan debería abarcar desde mantenimientos preventivos y correctivos hasta estrategias predictivas y la realización de overhauls para equipos con un horómetro significativo. La ineficiente utilización de la flota de acarreo tiene consecuencias directas en el cumplimiento del plan de minado, generando una baja en la producción y un aumento de los costos asociados.

En el contexto de la problemática abordada, es crucial comprender los antecedentes que conlleva al estudio de la presente investigación, como el ámbito internacional, Estupiñán y Cordero [3] destacó como obtenido el plantear un plan de mantenimiento basado RCM para mejorar la eficiencia y reducir los costos en una empresa minera chilena. La metodología aplicada se basa en utilizar la metodología FMECA (análisis de modo de falla, efecto y confiabilidad) para identificar las fallas potenciales, evaluar su impacto y priorizar las acciones de mantenimiento. Los resultados indican que la implementación del plan de mantenimiento tiene un impacto positivo en la confiabilidad del equipo, respecto de la disponibilidad, se obtiene una mejora, pasando del 83,25%, al 87,28%, además se estima una mejora en el

tiempo en probabilidad de falla al 50% y otros parámetros de confiabilidad. Concluye que este enfoque puede aplicarse a otros equipos principales de la planta, contribuyendo a una disminución general de gastos por mantenimiento y una mejora sustancial en la disponibilidad de la planta.

Riveros [4] tuvo como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a las líneas de cintas transportadoras en la planta de conducción. Como parte de la metodología, se registró cada detención, considerando elementos como el equipo en detención, tiempo empleado, descripción de la falla y mano de obra. Se categorizaron las fallas y componentes, para luego aplicar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Como resultados, la disponibilidad mensual, calculada mediante MTBF y MTTR, mostró valores superiores al umbral mínimo del 85% en todos los meses. Concluye que el análisis de AMEF reveló que el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) de 125, además la importancia de tener registros de fallas se destaca como fundamental para organizar mantenimientos óptimos.

Arce y Castro [5] tuvieron como objetivo analizar y abordar la disminución de la disponibilidad del equipo ST-14 N°15, identificando sus modos de falla más críticos y proponiendo acciones correctivas para optimizar la confiabilidad y eficiencia operativa. La metodología implica calcular la disponibilidad de cada Scooptram, seguido de un AMFEC para establecer acciones recomendadas y prioridades. Los resultados muestran que las fallas en la bomba de transmisión, pernos cortados de cardan, baja presión de transmisión y transmisión quebrada tienen un NPR superior a 5, considerándose de alta prioridad, con un aumento del 21% en la disponibilidad del equipo, proyectando una producción de aproximadamente 146.580 toneladas de mineral. Concluye que la implementación del nuevo plan de mantenimiento ha permitido anticipar y abordar las fallas críticas, contribuyendo a la eficiencia operativa y económica de Minera Carola.

Semykina, Zagorodnii, & Novikov [6] tuvo como objetivo analizar la efectividad del

sistema de mantenimiento y reparación de los vehículos de transporte de canteras en plantas mineras. La metodología implica un análisis del sistema de mantenimiento y reparación existente en las plantas mineras y de procesamiento. Se identifican las principales deficiencias en la organización del sistema actual. El estudio revela que la restauración de elementos desgastados debería organizarse a nivel de producción a gran escala, ya que al distribuir la intensidad laboral de los trabajos resulta en que del tiempo total toma: reparación un 7%, ajuste de trabajo 17% y el reemplazo de piezas 60%. El análisis de las direcciones de desarrollo de los sistemas de mantenimiento y reparación lleva a la conclusión de que la restauración de piezas desempeña un papel crucial.

Rihi et. Al. [7] tuvo como objetivo abordar la eficiencia y reducción de costos en comparación con los enfoques tradicionales de mantenimiento. Se propone una metodología basada en mantenimiento predictivo utilizando un modelo impulsado por datos. La metodología abarca la adquisición y monitoreo de datos hasta las mejores prácticas para integrar algoritmos de aprendizaje. Como resultados, se logró una mejora en la eficiencia del mantenimiento con una disminución del 15% en los tiempos de inactividad debido a fallas imprevistas, además, la identificación de fallas aumentó en un 20%, contribuyendo a una reducción del 10% en los costos asociados a mantenimientos no planificados. En conclusión, la disminución de los tiempos de inactividad y la reducción de costos validan la eficacia de la metodología propuesta.

Ahora bien, de manera nacional, lo señala López y Rojas [8] tuvieron como objetivo analizar el impacto de las métricas de desempeño en la optimización del transporte de minerales. La metodología adoptada fue de nivel explicativo y se implementó mediante el uso de fichas de observación, así como la data referente al mantenimiento y operación. Los resultados revelaron un aumento en la disponibilidad mecánica, pasando del 76.71% al 87.68%. En consecuencia, la utilización de los volquetes también experimentó un incremento, pasando del 79.03% al 84.37%. La confiabilidad aumentó a 84.90%. Esto condujo a una optimización del número de transporte mensuales, con un cumplimiento promedio del 128%,

superando la meta programada. Concluye que un mayor % en las métricas se traduce en una mayor cantidad de transporte de mineral, lo cual destaca que el empleo de estas métricas impacta positivamente en el transporte de mineral.

Namay y Quispe [9] tuvieron como objetivo aumentar la disponibilidad de los equipos evitando cualquier tipo de paradas. La metodología empleada se basa en un enfoque observacional. Se determinaron indicadores clave como TPEF, TPPR, confiabilidad y mantenibilidad. Los resultados del estudio indican que el TPPR mejoró en un 8.05%, la mantenibilidad de la flota en un 23.15%, de igual manera la TPEF en un 31.02% y la confiabilidad en un 13.28%. La disponibilidad subió en un 4.12%, y la efectividad global del equipo OEE de la Flota aumentó en un 8.49%.

Valverde [10] tuvieron como objetivo aumentar indicadores como la confiabilidad y mantenibilidad de equipos de maquinaria pesada para mejorar la productividad. Como parte de la metodología, la investigación es no experimental de tipo descriptivo. Los resultados indican que la flota de tipo “perforación” evidenciaron resultados significativos, incrementando su empleo efectivo al igual que los equipos de carguío en más del 40%, y los equipos de acarreo poseen utilizaciones efectivas ideales de más del 50%. Concluye que, referente a las fallas que impactan en la baja confiabilidad de la flota, son de tipo mecánica, hidráulica y estructural.

Chura [11] tuvo como objetivo que la empresa minera sea más competitiva mediante PVHA, la minimización de tiempos de espera y costos. Como parte de la metodología, se diseñó un Plan de Control que buscaba reducir las paradas innecesarias, implementar medidas correctivas, plan de capacitaciones y mejorar las condiciones de trabajo. Tras la realización del estudio, se obtuvo una disponibilidad de los equipos del 86,5%. Además, el tiempo total de inactividad por fallo (MTTR) fue de 6,8%, mientras que el tiempo total de funcionamiento por fallo (MTBME) fue de 42,2%. Esto significa que, por cada fallo, los equipos estuvieron inactivos el 6,8% del tiempo, pero funcionaron el 42,2% del tiempo. Con estos

resultados, se alcanzó el objetivo de disponibilidad (87,9%) con una eficiencia del 72,9%.

Rivero [12] tuvo como objetivo mejorar la gestión del área de mantenimiento en la minería, con un enfoque en las operaciones de mina, para garantizar la disponibilidad física y confiabilidad de los equipos de acarreo de mineral. La metodología se centró en identificar oportunidades de mejora en el proceso de mantenimiento, buscando la mejora de la disponibilidad física de los equipos. Como resultado de las acciones implementadas, se logró una reducción en los tiempos de parada de los camiones de acarreo de mineral. Esta mejora contribuyó a aumentar la disponibilidad física de los equipos, alcanzando niveles del 90%, lo que impactó positivamente en la capacidad de producción. En conclusión, la implementación de planes de acción en el área de mantenimiento mina ha fortalecido la gestión y ha contribuido a la mejora de la competitividad y la sostenibilidad económica de la empresa minera.

A partir de lo mencionado, la propuesta en cuestión representa un esfuerzo significativo para superar las limitaciones intrínsecas a la operación de equipos de acarreo en la minería peruana. Su objetivo central es desarrollar un plan de mantenimiento integral que no solo atienda las necesidades específicas de estos equipos, sino que también impulse la eficiencia, reduciendo tiempos de inactividad no planificados y prolongando la vida útil de los activos.

La implementación de la variable independiente, como se propone en esta investigación, se justifica económicamente al contribuir a la eficiencia operativa y a la reducción de costos, lo que directamente impacta en la rentabilidad de las empresas mineras y, por ende, en la estabilidad económica del país. En cuanto a la justificación práctica, la aplicación de estrategias bien estructuradas no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también optimiza la utilización de recursos, lo que es esencial en un entorno empresarial competitivo. Desde un punto de vista metodológico, la propuesta se fundamenta en un enfoque sistemático y metódico que busca entender las causas, potencialidades y

probabilidades de ocurrencia de problemas, la cual también aborda la capacitación continua del personal, asegurando la implementación efectiva de las estrategias propuestas. En términos ambientales, la reducción de tiempos de inactividad y la optimización de operaciones contribuyen a la disminución de impactos ambientales negativos, como derrames de sustancias tóxicas y emisiones innecesarias, por ende, la sostenibilidad ambiental se convierte en un componente integral, ya que un mantenimiento eficiente y estructurado ayuda a preservar los recursos naturales, minimizando la huella ecológica de las operaciones mineras.

La importancia de esta investigación es reconocer que el mantenimiento no es simplemente correctivo, sino una estrategia proactiva que contribuye significativamente a la viabilidad económica y ambiental de la operación minera. La integración de tecnologías avanzadas, la identificación precisa de necesidades de mantenimiento y la capacitación continua del personal son elementos clave para lograr un cambio significativo en la gestión de equipos de acarreo en esta realidad minera específica.

La investigación contribuye al desarrollo de mejores prácticas en el mantenimiento de equipos de acarreo, ofreciendo un enfoque integral que puede ser aplicado a otras operaciones mineras. La ejecución de este estudio es crucial para enfrentar los desafíos actuales de la industria, y su impacto se refleja en una gestión más eficiente, en la prolongación de la vida útil de los activos y en la consecuente mejora de la rentabilidad económica.

## **1.2. Formulación del problema**

Frente a la problemática mencionada surge la interrogante: ¿Cómo la propuesta de un plan de mantenimiento mejora la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana?

## **1.3. Hipótesis**

### **Hipótesis Nula (H0)**

La propuesta de un plan de mantenimiento no mejora la gestión de equipos de acarreo

en una minera peruana.

### **Hipótesis Alternativa (H1)**

La propuesta de un plan de mantenimiento mejora la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

- Diseñar un plan de mantenimiento para mejorar la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana.

### **Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación inicial del área de mantenimiento y la gestión de equipos de acarreo de una empresa minera peruana.
- Establecer los procedimientos para el diseño del plan de mantenimiento en una empresa minera peruana.
- Evaluar la viabilidad económica de la propuesta del plan de mantenimiento para una empresa minera peruana.

## **1.5. Teorías relacionadas al tema**

### **Mantenimiento**

Pérez [13] explica que el mantenimiento señala una serie de actividades aplicadas por personal capacitado. Estas acciones tienen como objetivo mantener los equipos, máquinas, componentes e instalaciones de un proceso industrial en condiciones óptimas para que funcionen correctamente, de acuerdo con sus especificaciones originales. La gestión del mantenimiento tiene como objetivo cumplir con los indicadores de desempeño establecidos por la organización y lograr sus metas operativas y administrativas.

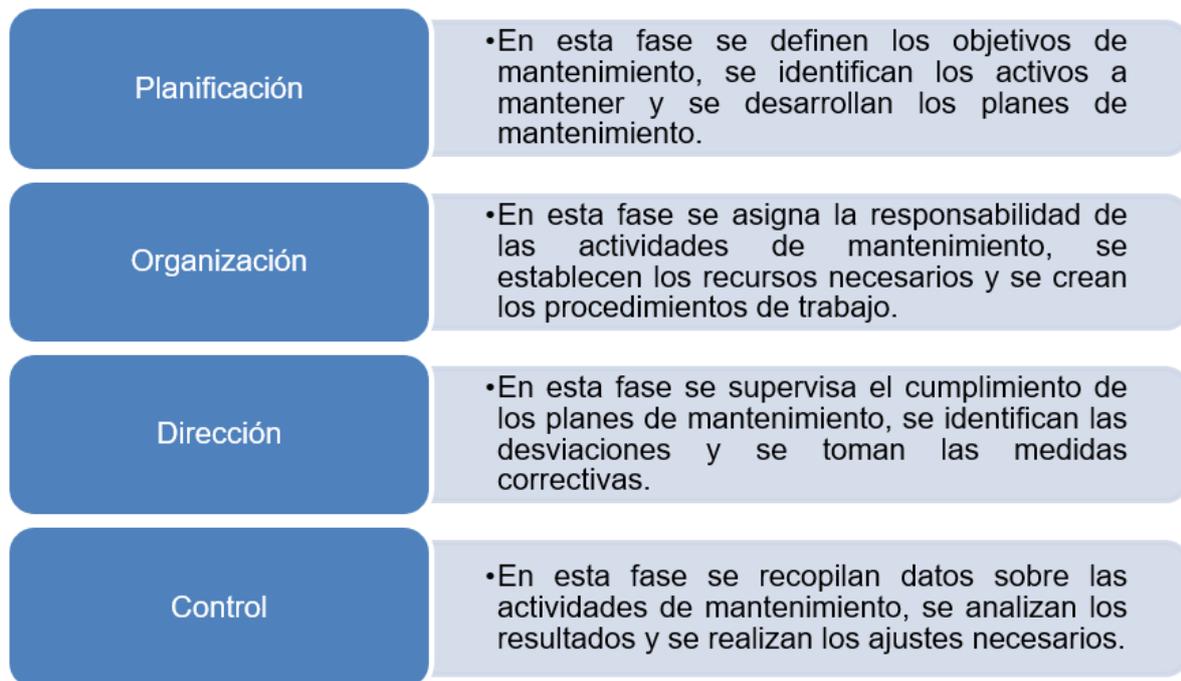
## Gestión de mantenimiento

Proceso sistemático en el cual, se tiene como actividades principales el planificar, organizar, dirigir y controlar las tareas relacionadas al mantenimiento de los activos de una empresa. El objetivo de la gestión de mantenimiento es garantizar que los activos estén disponibles y en buen estado para su uso, de manera que se pueda cumplir con los objetivos de producción, calidad, seguridad y medio ambiente de la empresa [14].

### Fases de la gestión de mantenimiento

Según el autor Zumaeta [15], las fases que se contemplan en la gestión de mantenimiento son:

Figura 1. Fases de la gestión de mantenimiento.



*Nota.* Tomado de Zumaeta [15].

En resumen, la gestión de mantenimiento es una actividad compleja que requiere una planificación y una organización cuidadosas. Una buena gestión de mantenimiento puede ayudar a las empresas a mejorar su eficiencia, su productividad y su rentabilidad.

## **Plan de mantenimiento**

Es un documento que describe las actividades de mantenimiento que se realizarán en un activo o grupo de activos. El objetivo es garantizar que los activos estén disponibles y en buen estado para su uso, de manera que se pueda cumplir con los objetivos de producción, calidad, seguridad y medio ambiente de la empresa [16].

### **Elementos del plan de mantenimiento**

Los principales elementos para la elaboración de un plan de mantenimiento, según el autor Urquiza [16], son los siguientes:

- a) **Objetivos de mantenimiento:** Los objetivos de mantenimiento deben ser claros y medibles.
- b) **Actividades de mantenimiento:** Las actividades de mantenimiento deben estar claramente definidas y documentadas.
- c) **Cronograma de mantenimiento:** El cronograma de mantenimiento debe indicar cuándo se realizarán las actividades de mantenimiento.
- d) **Responsabilidades:** Las responsabilidades de las actividades de mantenimiento deben estar claramente definidas.
- e) **Recursos:** Los recursos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento deben estar claramente identificados.

### **Mantenimiento centrado en confiabilidad**

Es altamente eficaz en la identificación de causas, problemas, etc. que generan los fallos en los equipos. Es un enfoque proactivo del mantenimiento que busca garantizar que los equipos funcionen correctamente, evitando fallos y paradas inesperadas. Para ello, se realiza un análisis de los modos de falla, sus causas y consecuencias, para definir las acciones de mantenimiento necesarias para prevenirlas [17].

Su objetivo es garantizar que los equipos funcionen correctamente, evitando fallos y paradas inesperadas. Para ello, se analizan las causas fundamentales de los fallos de los

equipos, con el objetivo de identificar las acciones de mantenimiento necesarias para prevenirlos.

Figura 2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad



Nota. Obtenido de Moubray [17].

### **Mantenimiento correctivo**

Se aplica cuando una máquina se detiene debido a una falla, con el objetivo de restaurar su operatividad de manera rápida y con el menor impacto en la productividad. El mantenimiento correctivo es una estrategia de mantenimiento que se utiliza cuando no se pueden implementar otros tipos de mantenimiento, como el preventivo o el predictivo. Este tipo de mantenimiento se centra en corregir las fallas que ya se han producido, y es importante identificar las causas de la falla para tomar medidas adecuadas. Sin embargo, el mantenimiento correctivo no programado puede llevar a reparaciones superficiales debido a la falta de repuestos, tiempo o personal, generando problemas potenciales a largo plazo. Aunque el mantenimiento correctivo tiene la ventaja de una rápida respuesta a las fallas y costos de implementación más bajos, presenta desventajas como paradas no planificadas y posibles consecuencias a largo plazo debido a reparaciones superficiales y falta de anticipación [13].

Figura 3. Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Prolongar la vida útil de los equipos por medio de reparaciones de componentes o piezas y corregir las fallas.	La avería o falla puede aparecer en el momento más inoportuno.
Es imposible determinar la falla.	Las averías o fallas no detectadas a tiempo pueden ocasionar daños más complejos e irreparables en los equipos.
No genera gastos fijos.	Alto inventario de repuestos.
Sin programar ni prever ninguna actividad.	La producción se vuelve impredecible y poco fiable.
Solo se gasta dinero, cuando está claro que se necesita hacerlo.	Se asumen inseguridades económicas, que pueden ser muy relevantes.
A menor plazo se ofrece un buen resultado económico.	Se disminuye la vida útil de los equipos. No hay un diagnóstico confiable de las causas que provocan las fallas, pues se desconoce por qué falló. Por ello, la falla se puede repetir una y otra vez.
Hay sistemas, máquinas y equipos en los que el mantenimiento preventivo no tiene ningún efecto, como los dispositivos electrónicos.	Hay tareas o actividades que siempre son rentables, como la limpieza, lubricación, revisión. Determinados equipos necesitan continuamente ajustes y seguimiento.

Nota. Obtenido de Pérez [13].

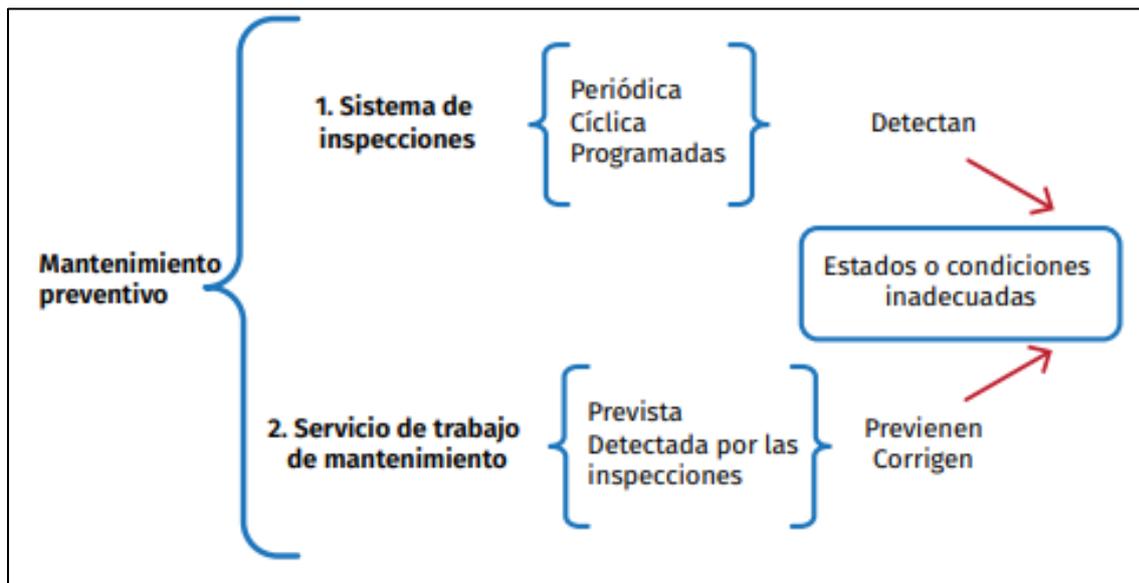
### Mantenimiento preventivo

Se basa en la ejecución de labores planificadas en intervalos específicos con el propósito de asegurar que los equipos empresariales cumplan con sus funciones eficientemente. Estas acciones, que incluyen cambios, reemplazos, restauraciones e inspecciones, se llevan a cabo según periodos de tiempo o uso. Los objetivos primordiales son mejorar tanto la disponibilidad de los equipos como la confiabilidad, siendo la disponibilidad la probabilidad de que funcionen cuando se necesitan y la confiabilidad la probabilidad de operar en cualquier momento necesario [18].

Además, se puede dividir en tres categorías: Cobertura: El porcentaje de equipos críticos que cuentan con un programa de mantenimiento preventivo. Ejecución: El porcentaje de rutinas de mantenimiento preventivo que se completaron según lo programado.

Repeticiones: El número de acciones de mantenimiento solicitadas que se originaron en rutinas de mantenimiento preventivo. La aplicación de un plan de MP sigue fases como la planificación, que detalla las actividades, personal, equipos y tiempo; la programación, que define el día, hora y lugar de las actividades; la ejecución, que implica realizar los trabajos; y el control, que verifica y valida los trabajos ejecutados

Figura 4. Implementación del mantenimiento preventivo



Nota. Obtenido de Portillo et al. [18].

### Etapas para implementar un plan de mantenimiento preventivo

- Etapa de planificación: Se detallan las actividades a llevar a cabo, se especifica el personal involucrado, se identifican los equipos y herramientas necesarios, y se estima el tiempo aproximado requerido.
- Etapa de programación: Se establece el día, la hora y el lugar donde se llevarán a cabo las actividades planificadas con antelación.
- Etapa de ejecución: Se llevan a cabo las tareas según lo previamente definido en la planificación.
- Etapa de control: Se realiza la verificación y validación de las labores ejecutadas,

asegurando la conformidad con los lineamientos establecidos.

Figura 5. Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Disminuye las anomalías o fallas y los tiempos muertos (aumentando la disponibilidad de las máquinas, equipos e instalaciones).	Todo programa que se inicia genera un incremento en los costos.
Aumenta la vida útil de las máquinas, equipos, componentes e instalaciones.	
Hay una mejora efectiva en el uso de los recursos.	Para iniciar se necesita de tiempo extra en el trabajo del personal de mantenimiento.
Se disminuyen o se reducen, los niveles de inventarios de repuestos.	Búsqueda de la información, como manuales, historial, fichas técnicas, repuestos, inventarios, reparaciones, etc. Actualizar información, generación de procedimientos, instructivos.
Hay un ahorro económico a largo y mediano plazo.	
Elaboración de planes de mantenimiento.	
Se definen indicadores de gestión o de desempeño.	Tiempo para transferir la información recolectada.
Se documentan procedimientos, instructivos. Se mantiene actualizada la información.	

Nota. Obtenido de Portillo et al. [18].

Así mismo, se contemplan las siguientes dimensiones de dicha variable:

### **Disponibilidad**

Se refiere a la capacidad y rapidez con la que estos equipos están listos y operativos para desempeñar sus funciones en el proceso minero. Se trata de una medida crucial de la eficiencia y accesibilidad de los equipos, asegurando que puedan llevar a cabo tareas de acarreo sin enfrentar interrupciones no planificadas. Las métricas de disponibilidad, como el MTBF y el MTTR, son indicadores clave que cuantifican este rendimiento Chávez, et al. [19].

De esta manera, se contempla la siguiente fórmula:

$$\text{Disponibilidad (D)} = \frac{\text{MTBF}}{(\text{MTBF} + \text{MTTR})}$$

### **MTTR (Tiempo Medio de Reparación)**

Es una medida esencial en la gestión de mantenimiento, indicando el tiempo promedio necesario para reparar un equipo tras una falla. Este indicador se calcula dividiendo el tiempo total de inactividad causado por fallas entre el número total de fallas. Un MTTR más bajo refleja una reparación más eficiente, contribuyendo a minimizar el tiempo de inactividad y mejorar la disponibilidad operativa de los equipos. En el contexto de la gestión de equipos de acarreo, el MTTR se utiliza junto con otras métricas, como el MTBF, para evaluar y optimizar el rendimiento y la eficacia general del equipo de una planta minera Espinoza, et al. [20].

De esta manera, se contempla la siguiente fórmula:

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

### **MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)**

Es una medida de la confiabilidad de un sistema o componente, que representa el tiempo promedio que transcurre entre dos fallas en un mismo sistema. Las empresas pueden utilizar el MTBF para planificar contingencias que requieran la reparación de equipos clave. Al conocer estos datos, las empresas pueden tomar decisiones acertadas para mejorar la productividad y la eficiencia Espinoza, et al. [20].

De esta manera, se contempla la siguiente fórmula:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas Operativas}}{\text{Número de fallas}}$$

### **Confiabilidad**

Es la probabilidad de que un equipo funcione correctamente durante un período de tiempo determinado. Se mide como la inversa de la tasa de fallos. Es importante para las

empresas porque puede afectar a la productividad, a los costes y a la seguridad. La confiabilidad de equipos se ve afectada por una serie de factores, entre los que se incluyen: El diseño del equipo. El diseño del equipo debe ser robusto para que sea capaz de soportar las condiciones de trabajo a las que estará sometido; La calidad de los componentes. Los componentes de alta calidad suelen ser más fiables que los componentes de baja calidad; El mantenimiento. El mantenimiento adecuado puede ayudar a prevenir fallos en los equipos; y, Las condiciones de trabajo. Las condiciones de trabajo, como el terreno, el clima y la carga de trabajo, pueden afectar a la confiabilidad del equipo Aranda y Linares [21].

De esta manera, se contempla la siguiente fórmula:

$$\text{Confiabilidad} = e^{(-\lambda t)}$$

En donde:

$\lambda$  = (lambda) es la tasa de fallas del sistema, normalmente expresada como fallas por unidad de tiempo.

t = es el periodo de tiempo para el que se calcula la confiabilidad.

e = es la base del logaritmo natural (aproximadamente 2,718).

$$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de fallas}}{\text{Tiempo total de funcionamiento}}$$

Criticidad de equipos

Este indicador determina el grado de importancia de un equipo para un proceso o sistema. Se puede medir de diversas formas, pero en general se refiere al impacto que tendría un fallo del equipo en el proceso o sistema. La criticidad de equipos es importante para las empresas porque puede ayudar a priorizar los recursos para el mantenimiento y la reparación de equipos. Los equipos críticos deben recibir una atención prioritaria para evitar fallos que puedan interrumpir el proceso o sistema Andrade y Ramos [22].

De esta manera, se contempla la siguiente fórmula:

Nivel de criticidad=Frecuencia de fallos\*consecuencias de los eventos de fallo

## **Planificación**

La planificación se define como un proceso esencial en la dirección empresarial, con el propósito de alcanzar metas y mejorar la productividad industrial al minimizar paradas imprevistas y programadas. Se describe como el proceso que establece los grandes objetivos de una organización y las políticas que guiarán la adquisición y disposición de recursos para alcanzar esos objetivos. Este enfoque debe aplicarse en todos los niveles jerárquicos de la organización y se considera un instrumento formal para fijar bases cuantitativas, capacitar a los colaboradores y agilizar el logro de metas. Al planificar, es esencial definir el tiempo, la sección a planificar, y considerar la precisión, exactitud, flexibilidad, lógica, facilidad de ejecución, y la participación y compromiso de todos los niveles directivos, desde la alta dirección hasta el nivel operativo [13].

Por otro lado, al abordar la variable dependiente, **Gestión De Equipos De Acarreo**, según Figueroa [23] la gestión de equipos de acarreo engloba las estrategias y prácticas empleadas para administrar eficientemente las flotas de vehículos de carga en sectores como la minería y la construcción. Incluye aspectos como la planificación de rutas y horarios, la implementación de programas de mantenimiento preventivo, la utilización de tecnologías de monitoreo en tiempo real, la capacitación del personal y la optimización de los procesos para garantizar un transporte de materiales eficiente. Esta gestión se centra en la maximización de la utilización de los equipos, la reducción de tiempos de inactividad no planificados, la garantía de la seguridad en la operación, y la implementación de tecnologías avanzadas para recopilar y analizar datos que faciliten la toma de decisiones informada. En esencia, busca asegurar que los vehículos de acarreo funcionen de manera óptima, cumpliendo con las demandas operativas y contribuyendo a la eficacia y rentabilidad de las operaciones industriales.

## **Caterpillar R1600G y R1600H**

La Caterpillar R1600G representa un estándar de excelencia en cargadoras, diseñada

específicamente para la minería subterránea. Con una capacidad de carga significativa y un motor diésel potente, esta máquina ofrece un rendimiento eficiente en entornos exigentes. Su construcción robusta y diseño compacto permiten la maniobrabilidad en espacios estrechos, como túneles y galerías. Su transmisión automática facilita la operación, proporcionando un rendimiento constante en diversas condiciones de trabajo [24].

La Caterpillar R1600H es una cargadora subterránea robusta y eficiente fabricada por Caterpillar Inc. Diseñada para operaciones en entornos de minería subterránea, ofrece una capacidad de carga nominal de alrededor de 10,200 kg y está equipada con un motor diésel potente. Su construcción compacta facilita la maniobrabilidad en espacios confinados, como túneles y galerías estrechas. Con un enfoque en la durabilidad y el rendimiento, la Caterpillar R1600H se destaca como una opción confiable para las demandas de la minería subterránea [24].

La Caterpillar R1600H y la Caterpillar R1600G son cargadoras subterráneas diseñadas para aplicaciones mineras, y aunque comparten similitudes, presentan diferencias específicas. Estas pueden incluir variaciones en las especificaciones del motor, como la potencia y eficiencia del combustible, así como en la capacidad de carga nominal. Además, las características de seguridad, el tren de fuerza, la tecnología y la ergonomía de la cabina pueden diferir entre los modelos.

Así mismo, se contemplan las siguientes dimensiones de dicha variable:

### **Rendimiento de equipos**

Es la medida de la eficiencia con la que los equipos realizan sus tareas. Se refiere a la cantidad de trabajo realizado en un período de tiempo determinado. En los equipos de acarreo, el rendimiento se utiliza para medir el transporte de materiales. Estos equipos suelen ser camiones mineros, pero también pueden ser otros tipos de vehículos, como cargadores frontales o excavadoras. El rendimiento de equipos de acarreo es importante para las empresas mineras porque puede ayudar a reducir los costes, mejorar el servicio al cliente y

aumentar la rentabilidad [25]. De esta manera, se contempla la siguiente fórmula, según el autor Ramos y Salomón [26] :

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad de material}}{\text{tiempo operativo}}$$

### **Consumo de equipos**

Es la cantidad de recursos que se utilizan para operar un equipo. Estos recursos pueden ser energéticos, materiales o humanos. Es decir, es el consumo específico de los equipos mineros que se utilizan para transportar materiales. Estos equipos suelen ser camiones mineros [25]. De esta manera, se contempla la siguiente fórmula, según los autores Barbosa y Betancur [27]:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Cantidad de material}}{\text{Cantidad de combustible empleado}}$$

## **II. MATERIALES Y MÉTODO**

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

La investigación es de tipo aplicada, ya que de acuerdo con lo señalado por el autor Arispe, et al. [28] señala que, se centra en la resolución de problemas prácticos y la aplicación de conocimientos en situaciones concretas, en este caso, se está proponiendo un plan de mantenimiento para mejorar la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana. En ese sentido, la investigación busca resolver problemas específicos. En este contexto, la investigación se centra en una minera peruana en particular y se busca proponer un plan de mantenimiento específico para sus equipos de acarreo. Al estudiar este caso específico, se espera obtener conocimientos detallados y aplicables a situaciones similares en la industria minera.

Así mismo, la investigación es no experimental, debido a que el investigador no manipula a las variables de estudio, ni infiere en su contexto [29]. El presente estudio, al ser una propuesta, se considera de naturaleza no experimental, ya que su objetivo es responder a la pregunta de investigación. Esto permitirá que el área correspondiente de la empresa pueda ejecutar el proyecto de acuerdo con su conveniencia, limitaciones y facilidades.

Por otro lado, respecto al enfoque es de tipo cuantitativo ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para probar hipótesis y establecer patrones de comportamiento [30]. En ese sentido, para el presente estudio el enfoque cuantitativo se justifica debido a que el estudio busca analizar y cuantificar variables relacionadas con la gestión de equipos de acarreo, como indicadores de mantenimiento, disponibilidad de equipos, entre otros. Al utilizar datos numéricos y mediciones, este enfoque permite realizar un análisis objetivo y riguroso de la situación actual de la empresa minera, para proponer un plan de mantenimiento que mejore la gestión de los equipos de acarreo.

### **2.2. Variables, operacionalización**

Tabla 1.Matriz de operacionalización.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
<b>Variable independiente:</b> Plan de mantenimiento	Capacidad de un sistema de mantenimiento para minimizar los tiempos de inactividad y maximizar la disponibilidad de los equipos de los equipos [30].	El plan de mantenimiento se va a medir mediante las dimensiones disponibilidad, confiabilidad y criticidad de los equipos de acarreo en la empresa minera.	Disponibilidad	Disponibilidad (D) = $MTBF / (MTBF + MTTR)$	-	Guía de análisis documental	%	Numérica	Razón
			Confiabilidad	Confiabilidad= $e^{(-\lambda t)}$	-	Guía de análisis documental	%	Numérica	Razón
			Criticidad	Nivel de criticidad de equipos= Frecuencia de fallos (FF) * Consecuencias de los eventos de fallo (C)	-	Guía de análisis documental	%	Numérica	Razón
<b>Variable dependiente:</b>	Capacidad de los equipos de acarreo para llevar a cabo	La gestión de mantenimiento permite cuantificar el	Rendimiento	Rendimiento= Cantidad de material / tiempo operativo	-	Guía de análisis documental	%	Numérica	Razón

Gestión de equipos de acarreo	<p>sus funciones de manera óptima y continua, minimizando los tiempos de inactividad no planificados y maximizando la productividad (Carrillo y Ojeda, [25]).</p>	<p>rendimiento y consumo de los equipos de acarreo en la empresa minera.</p>	Consumo	<p>Consumo= Cantidad de material / cantidad de combustible utilizado</p>	-	Guía de análisis documental	%	Numérica	Razón
-------------------------------	---	--	---------	--	---	-----------------------------	---	----------	-------

Fuente: Elaboración propia.

## **2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección**

### **Población de Estudio**

La población por su parte, según los autores Arias y Covinos [31] señalan que se refiere al conjunto completo de elementos o casos que comparten las características específicas que se investiga. En el presente estudio, la población son todos los equipos de acarreo (8), los cuales se caracterizan por tener una capacidad de carga de 6 y 10 tn.

### **Muestra**

La muestra, de acuerdo con los autores Arias y Covinos [31] es un subconjunto representativo de la población de estudio que seleccionas para realizar tus observaciones y recopilar datos. Es así como, en el presente estudio se ha considerado como muestra a 5 equipos de acarreo, los cuales tienen una capacidad de carga de 10 tn, debido a que estos presentan una criticidad media y alta.

### **Muestreo**

Como muestreo se ha utilizado un muestreo probabilístico de tipo estratificado. Este enfoque de muestreo implica dividir la población en subgrupos o estratos diferenciados, y luego seleccionar de manera aleatoria una muestra de cada uno de esos estratos. Este tipo de muestreo es que permite garantizar que cada subgrupo de la población esté adecuadamente representado en la muestra final [32]. Para el presente estudio, se ha utilizado un muestreo no probabilístico por conveniencia, en el que se seleccionaron 5 equipos de acarreo con una capacidad de carga de 10 toneladas, debido a que estos presentan una criticidad media y alta. Este tipo de muestreo se justifica, ya que al enfocarse en los equipos con mayor criticidad, se puede realizar un análisis más significativo y detallado de los patrones de fallo y los requerimientos de mantenimiento más relevantes para la minera, lo cual es fundamental para el desarrollo de la propuesta de plan de mantenimiento.

### **Criterios de Selección**

Referente a los criterios de selección y exclusión se han seleccionado los siguientes:

Tabla 2. Criterios de exclusión y selección.

<p>Criterios de selección</p>	<p>Equipos de acarreo. Equipos de acarreo del área operativa de la mina. Equipos de acarreo con una capacidad de carga de 10 tn. Nivel de criticidad: Medio - alto.</p>
<p>Criterios de exclusión</p>	<p>Equipos o máquinas de otras operaciones diferentes al acarreo. Equipos de acarreo con una capacidad menor a 10 tn. Equipos o máquinas pertenecientes a otras áreas de la mina. Nivel de criticidad: Bajo.</p>

Fuente. Elaboración propia.

## 2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos

La técnica utilizada es el análisis documental, el cual contempla un proceso estructurado que permite al investigador recopilar información relevante sobre el objeto de estudio (De la Lama, et al. [33]. En el presente estudio se ha contemplado como técnica al análisis documental, en el cual se analizarán los documentos relacionados al mantenimiento, fallos, paradas, etc. de las máquinas. De esta manera, referente a los instrumentos de investigación, según los autores De Lama, et al. [33] señala que son documentos físicos o virtuales que permiten recopilar información de forma ordenada, sistematizada y categorizada referente al objeto de estudio. Por lo que, en el presente estudio, se ha contemplado como instrumentos a la guía de análisis documental, tanto como para la variable independiente y dependiente, los cuales recopilarán información relevante sobre las dimensiones de dichas variables (ver anexo 2).

## **Validez**

Referente a la validez de instrumentos, en el presente estudio se ha considerado la validación por expertos en el tema. En el cual se someten los instrumentos de investigación al juicio de 3 expertos, quienes, mediante su experiencia y conocimientos en el tema, aseguran que los instrumentos son válidos para recopilar información de las variables abordadas en el presente estudio.

## **Confiabilidad**

Referente a la confiabilidad, es importante señalar que, al considerar como instrumentos de investigación a la guía de análisis documental, debido a la naturaleza de dicho instrumento no es necesario aplicar un análisis estadístico de confiabilidad. Por lo que, los presentes instrumentos detallados en el anexo 2, son sometidos mediante el juicio de 3 expertos para asegurar que recopilan información relevante de las variables y dimensiones abordadas, contemplando criterios como: Claridad, relevancia, entre otros.

## **2.5. Procedimientos de análisis de datos**

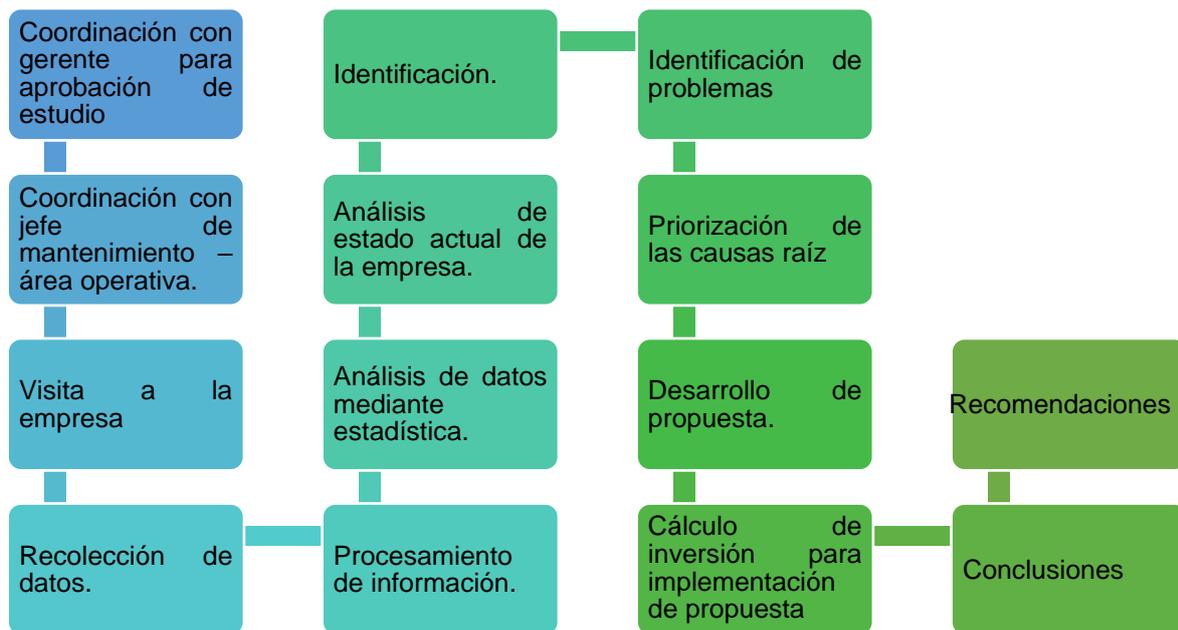
En primer lugar, se solicita la autorización a la empresa minera para que brinde el acceso a la información requerida para el desarrollo de la investigación. Luego se realizará un diagnóstico inicial para las dos variables (plan de mantenimiento y gestión de equipos).

Para analizar los datos recopilados por los instrumentos, se emplea el programa Excel, donde se ejecutarán las tablas y gráficos. Y, para la estadística descriptiva de las variables se aplicará el Programa SPSS, que permite obtener cálculos estadísticos como promedios, máximos, mínimos, rango, entre otros.

Después de realizar el diagnóstico, se diseña el plan de mantenimiento, con la finalidad de mejorar las actividades y el tiempo que toma realizarlo por parte de los trabajadores. Para validar la hipótesis, con la ayuda del programa SPSS, se analiza el comportamiento de los datos mediante una prueba de normalidad para definir la prueba de hipótesis que corresponde; así se podrá conocer la significancia de los datos en la prueba.

El proceso anterior, se detalla a continuación, considerando los siguientes pasos:

Figura 6. Procedimientos de investigación.



Nota. Elaboración propia.

## 2.6. Criterios éticos

Para el desarrollo del presente apartado, se ha respetado el principio de consentimiento informado, en donde se garantiza que todos los participantes, ya sean operadores, personal de mantenimiento u otros involucrados, proporcione su consentimiento informado antes de participar en la investigación. De esta manera, se les ha informado claramente sobre el propósito de la investigación, la naturaleza de su participación y cualquier riesgo potencial. Asimismo, contemplando el principio de confidencialidad de la información recopilada, se ha manejado de manera segura los datos personales o cualquier información sensible de la empresa, publicando de manera anónima y agregada. Por otro lado, se ha contemplado el principio de discriminación asegurando que todos los participantes sean tratados con igualdad y respeto, independientemente de su posición o rol en la empresa minera. Por último, en función al principio de reporte ético en el presente estudio, el autor se compromete a informar y publicar los resultados de manera ética y precisa, evitando la exageración o tergiversación de los hallazgos. Cabe recalcar que, se están respetando las normas de la Universidad Señor de Sipán en cuanto a la redacción de investigaciones.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Diagnosticar la situación inicial del área de mantenimiento y la gestión de equipos de acarreo de una empresa minera peruana.

a) Diagnóstico de la variable independiente: Al abordar a la presente variable, se toman en consideración las siguientes dimensiones:

Disponibilidad: Se ha considerado la siguiente fórmula, aplicando a los 8 equipos de acarreo de 6 y 10 Tn: Disponibilidad (D) =  $MTBF / (MTBF + MTTR)$

De acuerdo con la data recopilada en los meses de octubre, noviembre y diciembre, se obtuvo el siguiente cuadro:

Tabla 3. Disponibilidad del equipo de acarreo SC406.

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	4.3	51.7	92%
noviembre	3.5	52.5	94%
diciembre	3.2	64.0	95%
Total	3.67	55.62	94%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Disponibilidad del equipo de acarreo SC407

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	6.1	49.9	89%
noviembre	4.6	51.4	92%
diciembre	6.0	50.0	89%
Total	5.57	50.43	90%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Disponibilidad del equipo de acarreo SC408

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	8.3	47.7	85%
noviembre	8.1	59.1	88%
diciembre	8.7	58.5	87%
Total	8.38	54.63	87%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Disponibilidad del equipo de acarreo SC610

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	15.4	51.8	77%
noviembre	7.9	59.3	88%
diciembre	3.5	44.5	93%
Total	8.30	51.86	86%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Disponibilidad del equipo de acarreo SC611

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	4.1	63.1	94%
noviembre	12.9	54.3	81%
diciembre	5.8	42.2	88%
Total	7.4	51.93	88%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Disponibilidad del equipo de acarreo SC612

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	4.1	51.9	93%
noviembre	6.5	60.7	90%
diciembre	4.4	51.6	92%
Total	4.95	54.34	92%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Disponibilidad del equipo de acarreo SC613

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	2.4	45.6	95%
noviembre	6.1	49.9	89%
diciembre	4.8	51.2	91%
Total	4.32	48.73	92%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Disponibilidad del equipo de acarreo SC614

Mes	MTTR	MTBF	Disponibilidad
octubre	5.2	50.8	91%
noviembre	12.5	54.7	81%
diciembre	4.2	51.8	93%
Total	6.98	52.31	88%

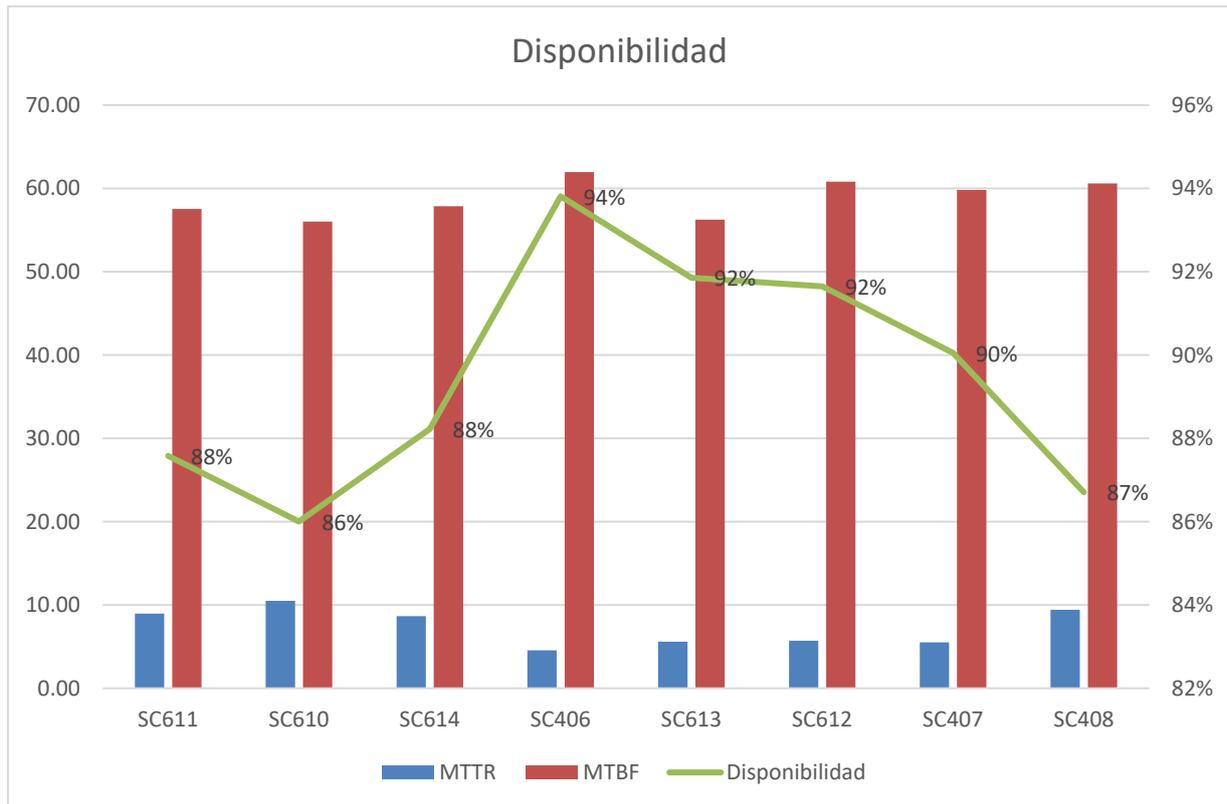
Fuente: Elaboración propia.

Se determina que las máquinas que presentan una buena disponibilidad son SC406 (94%), SC612 (92%) y SC613 (92%). Por el contrario, los equipos de acarreo que presentan

una baja disponibilidad son: SC610 (86%) y SC408 (87%). Esto quiere decir que, en los meses de octubre, noviembre y diciembre, se ha determinado que estos equipos tienen una disponibilidad superior al 86%. Esto implica que están disponibles para operar durante el tiempo planificado, lo cual es muy positivo para el cumplimiento de las tareas y objetivos establecidos.

Estos resultados se pueden visualizar en la siguiente figura:

Figura 7. Disponibilidad de equipos.



Fuente: Elaboración propia.

Confiabilidad: Se ha considerado la siguiente fórmula, aplicando a los 8 equipos de acarreo de 6 y 10 tn:  $Confiabilidad = e^{-\lambda t}$

Ejemplo: Para el equipo de acarreo SC406, en el mes de octubre, se obtuvieron los siguientes datos:

$$Confiabilidad = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = 6 / 310.4 \text{ h} = 0.0193 \text{ (número de fallas / tiempo de funcionamiento)}$$

$$t = 84 \text{ (periodo en el que se calcula la confiabilidad para los próximos 7 días)}$$

$$-\lambda t = -0.0193 \cdot 84 = -1.62$$

$$e^{(-\lambda t)} = 2.71^{-1.62} = \mathbf{20\%}$$

De esta manera, se obtuvo que la confiabilidad, para el equipo de acarreo SC406 en el mes de octubre es del 20%. Estas mismas operaciones, se aplicaron a los equipos de acarreo para evaluar su confiabilidad en el mes de octubre, noviembre y diciembre, tal cual como se muestra a continuación:

Tabla 11. Confiabilidad del equipo de acarreo SC406.

Mes	Confiabilidad
octubre	20%
noviembre	20%
diciembre	27%
Total	22%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Confiabilidad del equipo de acarreo SC407.

Mes	Confiabilidad
octubre	19%
noviembre	20%
diciembre	19%
Total	19%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Confiabilidad del equipo de acarreo SC408.

Mes	Confiabilidad
octubre	17%
noviembre	24%
diciembre	24%
Total	21%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Confiabilidad del equipo de acarreo SC610

Mes	Confiabilidad
octubre	20%
noviembre	24%
diciembre	15%
Total	19%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Confiabilidad del equipo de acarreo SC611

Mes	Confiabilidad
octubre	26%
noviembre	21%

diciembre	14%
Total	20%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Confiabilidad del equipo de acarreo SC612

Mes	Confiabilidad
octubre	20%
noviembre	25%
diciembre	20%
Total	21%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Confiabilidad del equipo de acarreo SC613

Mes	Confiabilidad
octubre	18%
noviembre	21%
diciembre	26%
Total	22%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Confiabilidad del equipo de acarreo SC614

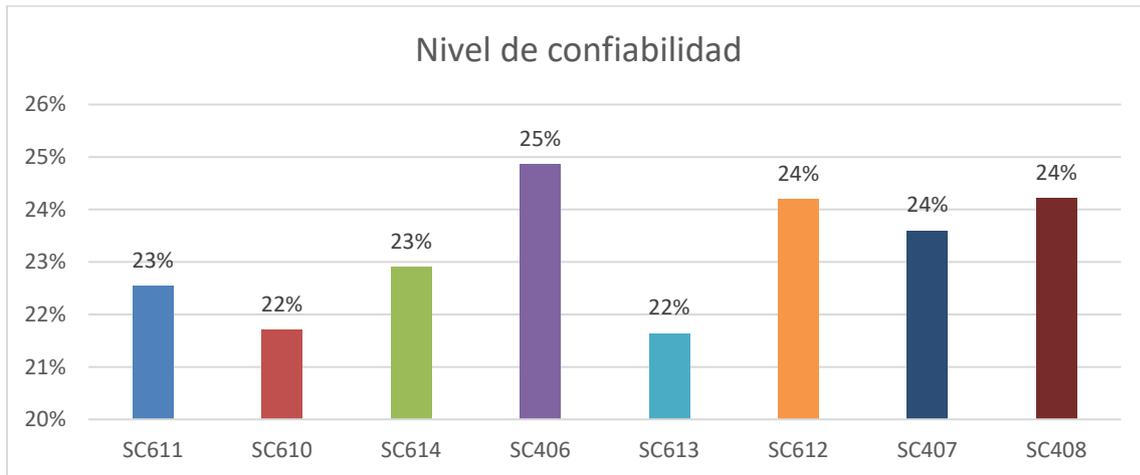
Mes	Confiabilidad
octubre	19%
noviembre	16%
diciembre	26%
Total	20%

Fuente: Elaboración propia.

Se determina que la máquina que presentan una confiabilidad intermedia es SC406 (22%). Por el contrario, las que presentan una baja confiabilidad son SC610 (19%), SC613 (18%) y SC407 (19%). Esto quiere decir que, en los meses de octubre, noviembre y diciembre la confiabilidad de los equipos de acarreo ha sido superior al 20%, lo que indica que existe una baja confiabilidad en los equipos evaluados, lo que implica que hay una alta probabilidad de que no funcionen correctamente cuando se necesita.

En síntesis, estos resultados se pueden visualizar en la siguiente figura:

Figura 8. Nivel de confiabilidad de equipos de acarreo.



Fuente: Elaboración propia.

Criticidad: Se ha considerado la siguiente fórmula, aplicando a los 8 equipos de acarreo de 6 y 10 tn: Nivel de criticidad de equipos= Frecuencia de fallos (FF) \* Consecuencias de los eventos de fallo (C)

Para el análisis de criticidad de equipos, se realizó una valoración, contemplando los siguientes elementos:

Tabla 19. Descripción de abreviaturas.

Descripción	Detalle
FF	Frecuencia de fallos
IO	Factor de impacto en la producción
FO	Factor de flexibilidad operacional
CM	Factor de costos de mantenimiento
SHA	Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente
C	Consecuencias de los eventos de fallo
CTR	Criticidad total de riesgo

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se ha tenido en cuenta los siguientes rangos de criticidad y criterios:

Tabla 20. Puntuación final de criticidad.

Prioridad	Análisis de criticidad	Rango
-----------	------------------------	-------

1	Alta C.	50 - 125
2	Media C.	30 - 49
3	Baja C.	5 - 29

Fuente: Basado en Zumaeta [15].

Tabla 21. Criterios de criticidad.

Criterio - puntuación	Descripción
0	Extremadamente improbable
1	Poco probable
2	Medianamente probable
3	Probable
4	Muy probable

Fuente: Adaptado de Zumaeta [15].

Tabla 22. Descripción de abreviaturas de equipos.

Descripción	Detalle
SC	Scooptram
406 – 408	Numero correlativo de equipos de 4 yardas cúbicas ( 4yd3)
610 - 614	Numero correlativo de equipos de 6 yardas cúbicas ( 6yd3)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 .Análisis de criticidad de equipos de acarreo.

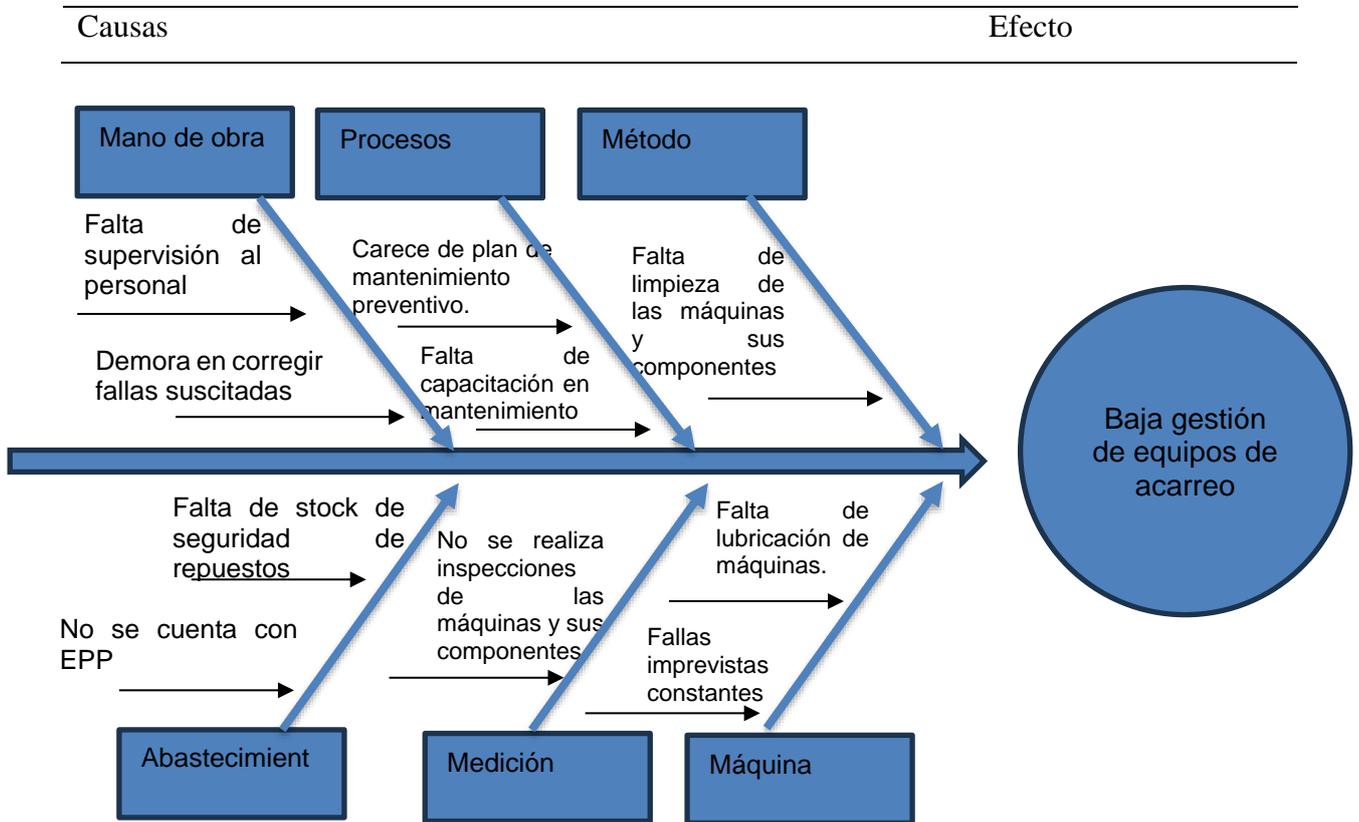
Máquina y/o equipo	SC406	SC407	SC408	SC610	SC611	SC612	SC613	SC614
FF	2	1	1	2	3	4	4	3
IO	1	2	2	4	4	3	4	5
FO	2	2	1	4	3	4	4	4
CM	1	1	1	1	1	1	1	1
SHA	3	2	2	3	3	3	3	3
C = (IOxFO)+CM+SHA	6	7	5	20	16	16	20	24
FF*C	12	7	5	40	48	64	80	72
Criticidad	Baja criticidad	Baja criticidad	Baja criticidad	Semi crítico	Semi crítico	Crítico	Crítico	Crítico

Fuente: Elaboración propia.

Se determina que las máquinas que presentan una media - alta criticidad son: SC610, SC611, SC612, SC613, y SC614.

b) **Determinación del problema:** A continuación, para determinar las causas que generan la baja gestión de equipos de acarreo, se ha elaborado el siguiente diagrama de Ishikawa.

Figura 9. Diagrama de Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente diagrama de Vester, en el cual se determina el nivel de correlación entre las causas raíz, contemplando el siguiente criterio: 0 (no existe correlación), 1 (baja correlación), 2 (alta correlación) y 3 (muy alta correlación) [34].

Tabla 24. Matriz de Vester.

Causas	Cod.	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9	C 10	Total
No se cuenta con EPP	C1	0	1	0	0	2	0	0	1	1	5	
Falta de limpieza de la máquina y sus componentes	C2	3	3	1	2	1	2	3	1	2	18	

No se realizan inspecciones del estado de las máquinas componentes	C3	2	3	4	1	2	1	3	1	1	2	16
Falta de stock de seguridad de repuestos	C4	3	2	1	2	1	1	0	0	1	0	9
Carece de un plan de mantenimiento preventivo	C5	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	24
Falta de supervisión al personal	C6	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	3
Demora en corregir las fallas suscitadas	C7	1	0	1	1	1	0	2	0	0	0	6
Falta de capacitación en mantenimiento	C8	3	2	3	3	3	1	2	3	3	3	23
Falta lubricación de las máquinas	C9	3	1	2	0	0	1	0	1	0	0	8
Fallas imprevistas constantes	C10	3	3	2	3	1	3	1	2	0	0	18

Fuente: Elaboración propia.

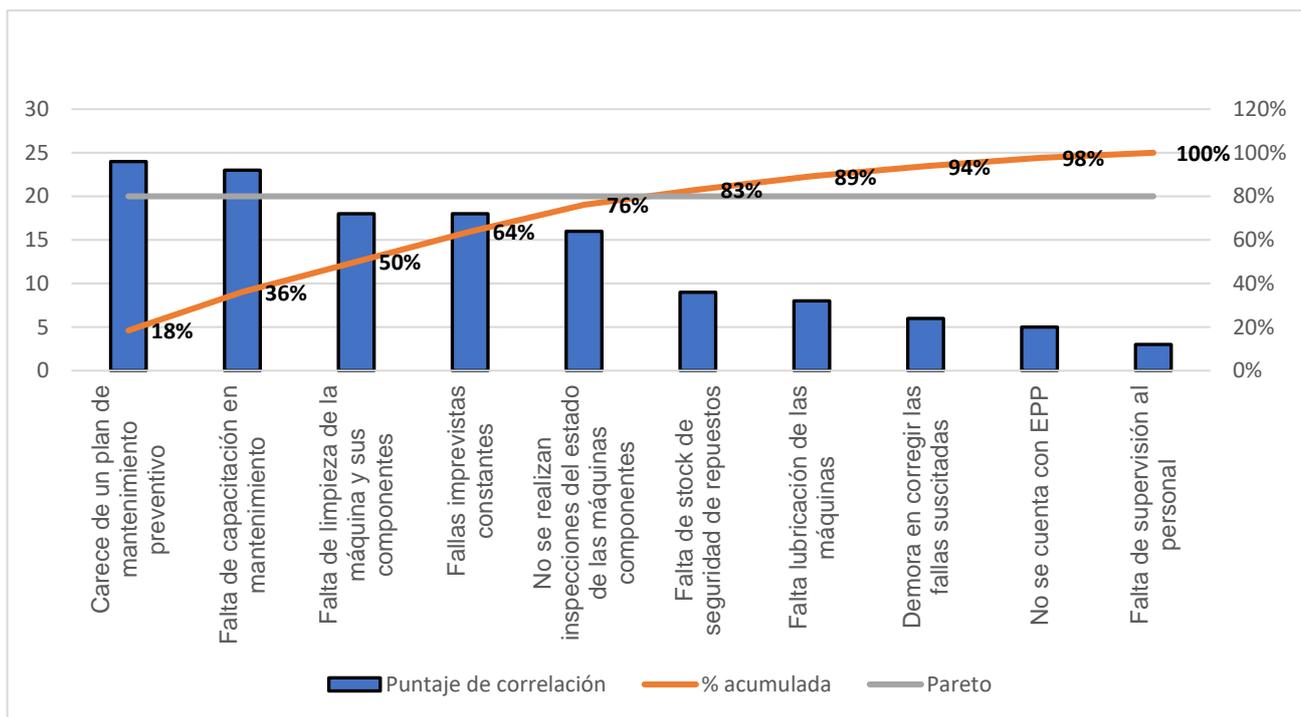
Tabla 25. Matriz de ponderación.

Cod.	Puntaje de correlación	Frecuencia acumulada	%	% acumulada
C5	24	24	18%	18%
C8	23	47	18%	36%
C2	18	65	14%	50%
C10	18	83	14%	64%
C3	16	99	12%	76%
C4	9	108	7%	83%
C9	8	116	6%	89%
C7	6	122	5%	94%
C1	5	127	4%	98%
C6	3	130	2%	100%
Total	130		100%	

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se generó el siguiente diagrama de Pareto:

Figura 10. Diagrama de Pareto.



Fuente: Elaboración propia.

Se determina que el 20% causas que generan el 80% de problemas que impactan en la variable dependiente son: Carece de un plan de mantenimiento preventivo, falta de capacitación en mantenimiento, falta de limpieza de la máquina y sus componentes, fallas imprevistas constantes, y no se realizan inspecciones del estado de las máquinas componentes.

**c) Diagnóstico de la variable dependiente: Al abordar a la presente variable, se toman en consideración las siguientes dimensiones**

Rendimiento: Para ello, se ha empleado la fórmula:  $\text{Rendimiento} = \text{Cantidad de material} / \text{tiempo operativo}$ .

**Ejemplo:** Para el equipo de acarreo SC611, en el mes de octubre, se obtuvieron los siguientes datos:

$$\text{Rendimiento} = \text{Cantidad de material} / \text{tiempo operativo}$$

Cantidad de material transportado: En octubre, de acuerdo a los datos brindados por el jefe de área, se registraron las siguientes toneladas de material transportado:

Semana 1: 48

Semana 2: 52

Semana 3: 48

Semana 4: 43

Total, de material transportado: **191 toneladas.**

Tiempo operativo: En octubre, de acuerdo a los datos brindados por el jefe de área, se registraron las horas trabajadas:

Semana 1: 79.3

Semana 2: 76.9

Semana 3: 82.5

Semana 4: 77.0

Total, de horas trabajadas: **315.7 horas.**

Con estos datos, se reemplazó en la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = 192 \text{ (tn)} / 315.7 \text{ (Hrs).}$$

$$\text{Rendimiento} = 60.8\%$$

De esta manera, se obtuvo que el rendimiento, para el equipo de acarreo SC611 en el mes de octubre es del 60.8%. Esto quiere decir que, por cada hora operativa, se transportó el 60.8% de una tonelada. Estas mismas operaciones, se aplicaron a los equipos de acarreo para evaluar su rendimiento en el mes de octubre, noviembre y diciembre, tal cual como se muestra a continuación:

Tabla 26. Rendimiento del equipo de acarreo SC611.

Mes	Cantidad De Material Transportado ( Tn)	Tiempo Operativo ( Hrs )	Rendimiento
Octubre	192	315.7	60.8%
Noviembre	159	271.4	58.6%
Diciembre	178	295.7	60.2%
Total	529	882.8	59.9%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Rendimiento del equipo de acarreo SC610.

Mes	Cantidad de material transportado ( Tn)	Tiempo operativo Hrs )	Rendimiento
Octubre	150	258.8	57.9%
Noviembre	175	296.7	59.1%
Diciembre	180	311.4	57.8%
Total	505	866.9	58.3%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28.Rendimiento del equipo de acarreo SC614

Mes	Cantidad de material transportado ( Tn)	Tiempo operativo Hrs )	Rendimiento
Octubre	185	304.7	60.7%
Noviembre	166	273.5	60.5%
Diciembre	190	311.1	61.0%
Total	541	889.3	60.7%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29.Rendimiento del equipo de acarreo SC406.

Mes	Cantidad de material transportado ( Tn)	Tiempo operativo Hrs )	Rendimiento
Octubre	147	310.4	47.2%
Noviembre	150	315.2	47.6%
Diciembre	155	320.0	48.4%
Total	452	945.6	47.8%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30.Rendimiento del equipo de acarreo SC613.

Mes	Cantidad de material transportado (Tn)	Tiempo operativo Hrs )	Rendimiento
Octubre	198	319.3	61.9%
Noviembre	180	299.3	60.2%
Diciembre	174	307.3	56.5%
Total	552	925.9	57.9%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31.Rendimiento del equipo de acarreo SC612.

Mes	Cantidad de material transportado ( Tn)	Tiempo operativo Hrs )	Rendimiento
Octubre	170	311.1	53.6%
Noviembre	196	303.3	64.6%
Diciembre	190	309.4	61.4%
Total	556	923.8	59.9%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32.Rendimiento del equipo de acarreo SC407.

Mes	Cantidad de material transportado (Tn)	Tiempo operativo Hrs)	Rendimiento
Octubre	142	299.4	47.5%
Noviembre	143	308.4	46.4%
Diciembre	148	299.9	49.2%
Total	433	907.7	47.7%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Rendimiento del equipo de acarreo SC408.

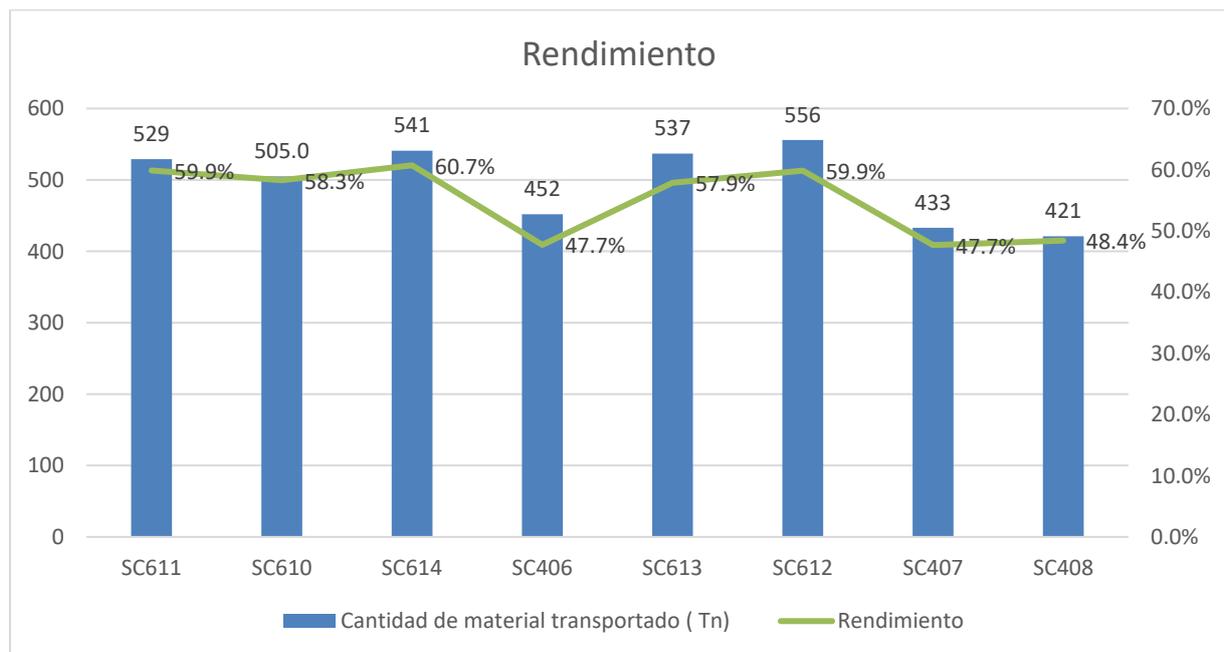
Mes	Cantidad de material transportado (tn)	Tiempo operativo Hrs )	Rendimiento
Octubre	137	286.4	48.1%
Noviembre	141	295.3	48.3%
Diciembre	143	292.3	48.9%
Total	421	874.0	48.2%

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Se determina que, los equipos de acarreo “SC614, SC611 y SC612” han sido los más eficientes, con un rendimiento del 60.7%, 59.9% y 59.9% respectivamente, al optimizar el tiempo disponible para el transporte de materiales. Por el contrario, los equipos de acarreo “SC406 y SC407” han sido los menos eficientes, con un rendimiento del 47.8% y 47.7% respectivamente, al emplear demasiado tiempo para transportar el material solicitado.

En síntesis, estos resultados se pueden visualizar en la siguiente figura:

Figura 11. Rendimiento de equipos de acarreo.



Fuente: Elaboración propia.

Consumo: Para ello, se ha empleado la fórmula: Consumo= Cantidad de material / cantidad de combustible utilizado.

Ejemplo: Para el equipo de acarreo SC611, en el mes de octubre, se obtuvieron los siguientes datos:

Consumo= Cantidad de material (Tn) / cantidad de combustible utilizado (Glns).

Cantidad de material transportado: En octubre, de acuerdo a los datos brindados por el jefe de área, se registraron las siguientes toneladas de material transportado:

Semana 1: 48

Semana 2: 52

Semana 3: 48

Semana 4: 43

Total, de material transportado: **191 toneladas.**

Combustible utilizado: En octubre, de acuerdo a los datos brindados por el jefe de área, se registró:

Semana 1: 608.3

Semana 2: 619.5

Semana 3: 601.5

Semana 4: 565.5

Total, de combustible empleado: **2394.8 galones.**

Con estos datos, se reemplazó en la fórmula:

$$\text{Consumo} = 192 \text{ (Tn)} / 2394.8 \text{ (Glns)}.$$

$$\text{Consumo} = 8.1\%$$

De esta manera, se obtuvo que el consumo, para el equipo de acarreo SC611 en el mes de octubre es del 8.1%. Esto quiere decir que, por cada galón consumido, se transportó el 8.1% de toneladas o que por cada galón de combustible se transportó 0.08 toneladas. Estas mismas operaciones, se aplicaron a los equipos de acarreo para evaluar su consumo en el mes de octubre, noviembre y diciembre, tal cual como se muestra a continuación:

Tabla 34. Consumo del equipo de acarreo SC611.

Mes	Cantidad de material transportado (tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (tn / Gln)
Octubre	192.0	2367.8	8.1%
Noviembre	159.0	2035.5	7.8%
Diciembre	178.0	2217.7	8.0%
Total, Meses	529.0	6621.0	8.0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Consumo del equipo de acarreo SC610

Mes	Cantidad de material transportado (tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (tn / Gln)
Octubre	150.0	1941.0	7.7%
Noviembre	175.0	2000.2	8.7%
Diciembre	180.0	2020.5	8.9%
Total, Meses	505.0	5961.7	8.5%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Consumo del equipo de acarreo SC614.

Mes	Cantidad de material transportado (tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (tns x Gln)
Octubre	185.0	2285.3	8.1%
Noviembre	166.0	2051.3	8.1%
Diciembre	190.0	2333.2	8.1%
Total, Meses	541.0	6669.7	8.1%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Consumo del equipo de acarreo SC406

Mes	Cantidad de material transportado (Tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (Tns / Gln)
Octubre	147.0	2328.0	6.3%
Noviembre	150.0	2364.0	6.3%
Diciembre	155.0	2400.0	6.5%
Total, Meses	452.0	7092.0	6.4%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Consumo del equipo de acarreo SC613.

Mes	Cantidad de material transportado (Tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (Tns / Gln)
Octubre	198,0	2394,8	8.3%
Noviembre	180,0	2244,7	8.0%

Diciembre	174,0	2304,8	7.5%
Total, Meses	552	6944,25	7.9%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Consumo del equipo de acarreo SC612.

Mes	Cantidad de material transportado (Tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (Tns / Gln)
Octubre	170.0	2333.3	7.3%
Noviembre	196.0	2274.7	8.6%
Diciembre	190.0	2320.5	8.2%
Total, Meses	556.0	6928.5	8.0%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Consumo del equipo de acarreo SC407

Mes	Cantidad de material transportado (Tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (Tns / Gln)
Octubre	142.0	2245.5	6.3%
Noviembre	143.0	2313.0	6.2%
Diciembre	148.0	2249.0	6.6%
Total, Meses	433.0	6808.0	6.4%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Consumo del equipo de acarreo SC408.

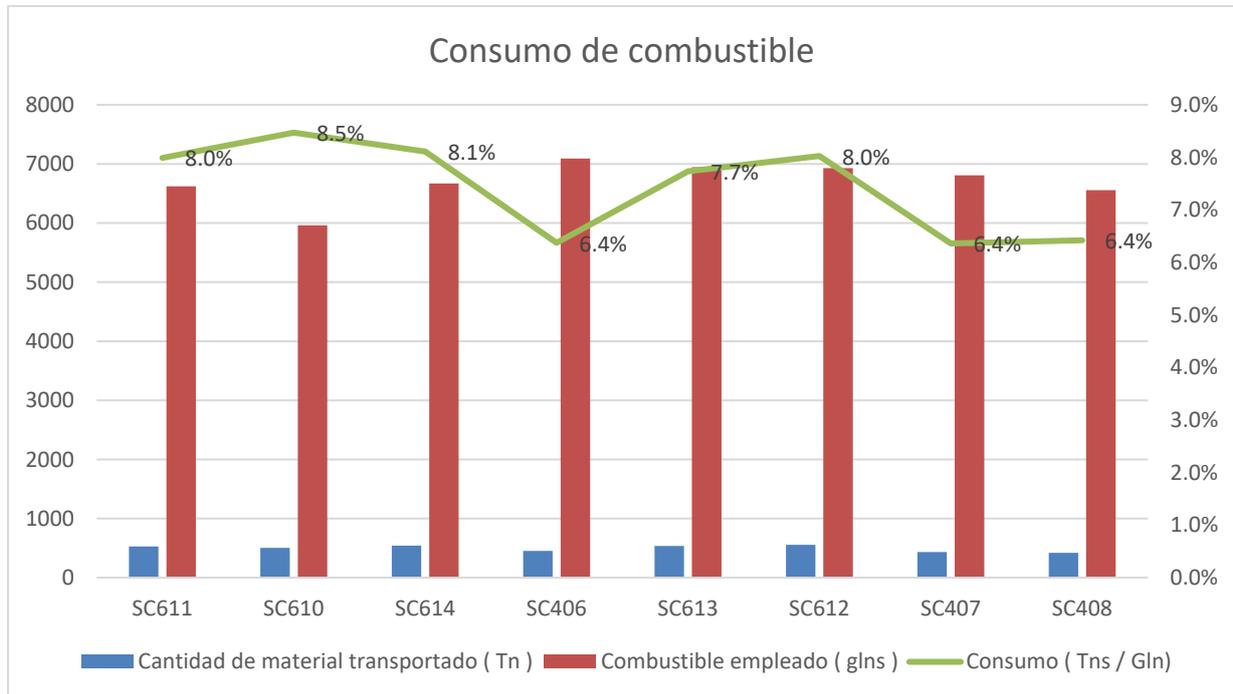
Mes	Cantidad de material transportado (Tn)	Combustible empleado (glns)	Consumo (Tns / Gln)
Octubre	137.0	2148.0	6.4%
Noviembre	141.0	2214.8	6.4%
Diciembre	143.0	2192.0	6.5%
Total, Meses	421.0	6555.0	6.4%

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Se determina que, al analizar la dimensión consumo, se observa que los equipos de acarreo “SC406, SC407 y SC408” fueron los que menos combustible consumieron, con un valor de 6.4% respectivamente. Esto significa que transportaron más material por cada galón de combustible utilizado. Así mismo, el equipo de acarreo “SC610” fue el que mayor combustible consume, con un valor de 8.5%. Esto significa que transporta menos material por cada galón de combustible utilizado.

En síntesis, estos resultados se pueden visualizar en la siguiente figura:

Figura 12. Consumo de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.2. Establecer los procedimientos para el diseño del plan de mantenimiento para una empresa minera peruana**

**Objetivo:** El objetivo del plan de mantenimiento es mejorar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos de acarreo, reduciendo las fallas, los costos y los tiempos de reparación, y aumentando la vida útil y el rendimiento de estos.

**Alcance:** El plan de mantenimiento abarca los 8 equipos de acarreo de 6 y 10 toneladas que operan en la mina, los cuales presentan problemas de relacionados a la falta de mantenimiento preventivo.

**Responsable:** El responsable del plan de mantenimiento es el jefe de mantenimiento de la empresa minera.

**Fases:** Se contemplan las siguientes fases:

#### **I. Planificación**

- Se definirán los objetivos del mantenimiento.
- Se identificarán los activos a mantener.
- Se realizará una detallada determinación de fallas en equipos mediante un árbol de problemas, identificando las causas y los efectos de estas, así como las oportunidades de mejora. Así mismo, se desarrollarán los planes de mantenimiento que incluyen la codificación y fichas técnicas de máquinas, la determinación de tareas de mantenimiento, la frecuencia de mantenimiento, el proceso de mantenimiento y el plan de capacitaciones.

#### **II. Organización**

- Se asignará la responsabilidad de las actividades de mantenimiento.
- Se establecerán los recursos necesarios para cada actividad de mantenimiento
- Se realizará el árbol de problemas.
- Se realizará la codificación y fichas técnicas de máquinas,
- La determinación de tareas de mantenimiento
- La frecuencia de mantenimiento

- El proceso de mantenimiento
- El plan de capacitaciones.

### **III. Dirección**

- Se supervisará el cumplimiento de los planes de mantenimiento, creando formatos de control.

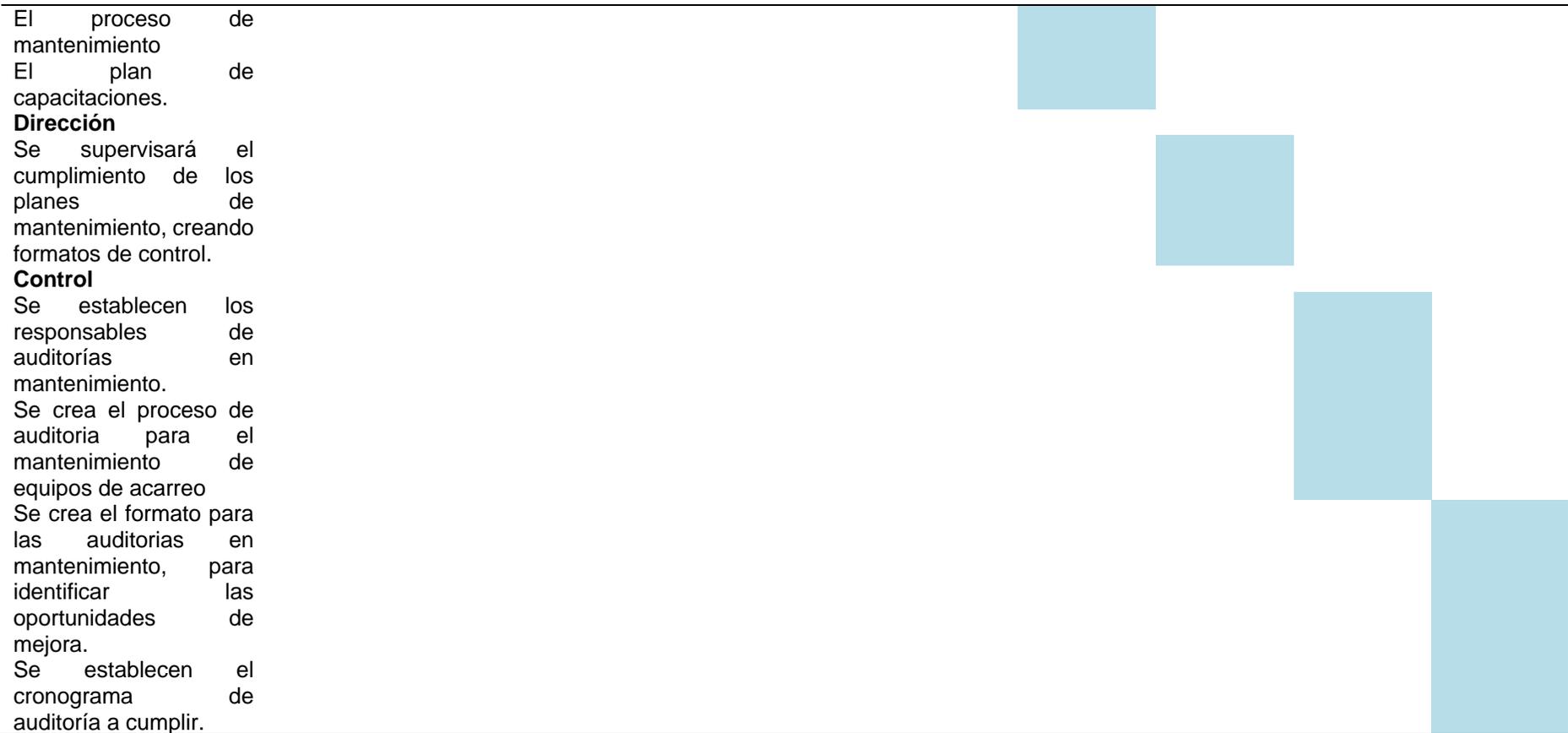
### **IV. Control**

- Se establecen los responsables de auditorías en mantenimiento.
- Se crea el proceso de auditoría para el mantenimiento de equipos de acarreo
- Se crea el formato para las auditorías en mantenimiento, para identificar las oportunidades de mejora.
- Se establece el cronograma de auditoría a cumplir.

Cronograma de cumplimiento: A continuación, se contempla el siguiente cronograma de cumplimiento:

Tabla 42. Cronograma de cumplimiento.

Actividades	Mes 1				Mes 2			
	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4
<b>Planificación</b>								
Se definirán los objetivos del mantenimiento.	■							
Se identificarán los activos a mantener.	■							
Se realizará un árbol de problemas, codificación y fichas técnicas de máquinas, la determinación de tareas de mantenimiento, la frecuencia de mantenimiento, el proceso de mantenimiento y el plan de capacitaciones.		■						
<b>Organización</b>								
Se asignará la responsabilidad de las actividades de mantenimiento.			■					
Se establecerán los recursos necesarios para cada actividad de mantenimiento			■					
Se realizará la codificación y fichas técnicas de máquinas,				■	■			
La determinación de tareas de mantenimiento					■			
La frecuencia de mantenimiento						■		



Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo:

**I. Planificación: A continuación, se dará respuesta a los siguientes puntos**

a) Se definirán los objetivos del mantenimiento.

Tabla 43. Objetivos de mantenimiento.

Detalle	Objetivo	Actual	Mejorado
Mejorar la disponibilidad	Aumentar en 6% la disponibilidad, basado en el autor López y Rojas [8].	89%	95%
Mejorar la confiabilidad	Aumentar la confiabilidad en un 20%, Arce y Castro [5].	20%	24%
Mejorar las capacitaciones	Brindar capacitaciones mínimo 2 vez al mes, considerando el contexto de la empresa.	0	2

Fuente: Elaboración propia.

b) Se identificarán los activos a mantener: Los equipos de acarreo que se van a aplicar el presente diseño de plan de mantenimiento, son a los 5 equipos de acarreo.

c) Se realizará un árbol de problemas, codificación y fichas técnicas de máquinas, la determinación de tareas de mantenimiento, la frecuencia de mantenimiento, el proceso de mantenimiento y el plan de capacitaciones: Para lograr el correcto mantenimiento de los equipos, se realizarán los diversos análisis correspondientes bajo la supervisión del jefe de área. Así, se podrán crear los procesos, formatos, etc. adecuados para cada caso. De esta manera, contemplando el cronograma anterior, en la etapa de “organización” se desarrollarán a detalle.

## **II. Organización: A continuación, se dará respuesta a los siguientes puntos**

a) Se asignará la responsabilidad de las actividades de mantenimiento: La asignación de responsabilidades de las actividades de mantenimiento es un paso importante para garantizar que estas se realicen de manera efectiva y eficiente.

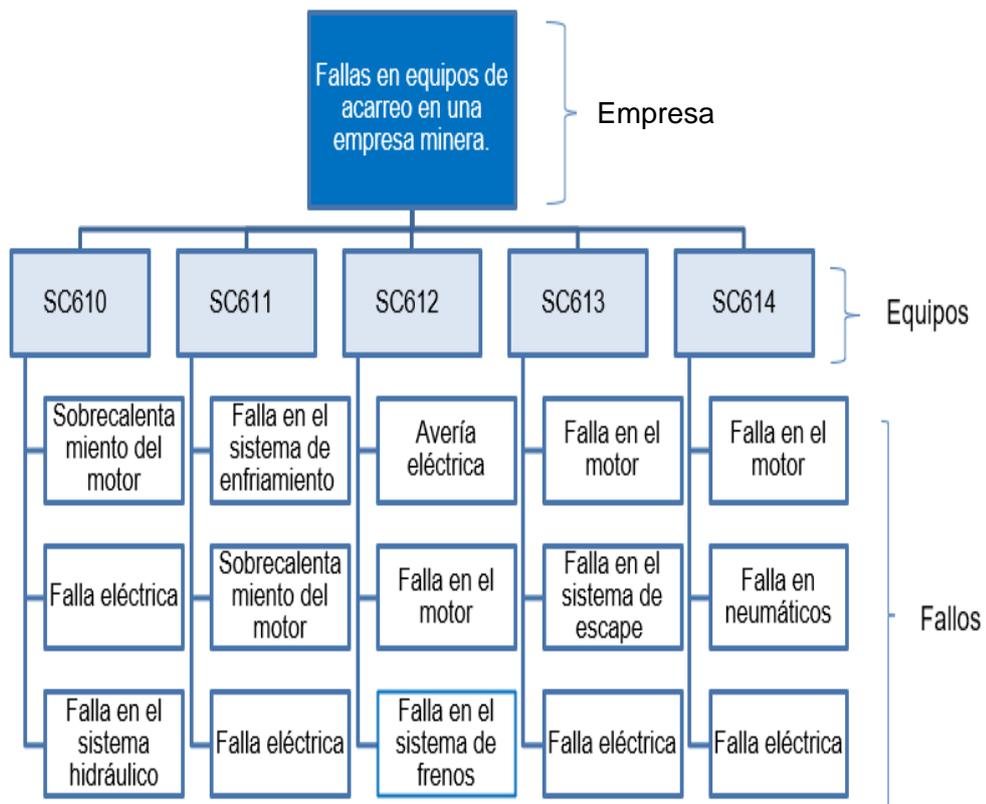
- ✓ Planificar, organizar, dirigir y controlar las actividades de mantenimiento de la empresa. Esto incluye la definición de los objetivos del mantenimiento, la identificación de los activos a mantener, la asignación de responsabilidades, el establecimiento de recursos y la creación de procedimientos de trabajo.
- ✓ Garantizar que las actividades de mantenimiento se realicen de manera segura, eficiente y efectiva. Esto incluye la implementación de medidas de seguridad, el uso de técnicas y herramientas adecuadas, y la capacitación del personal de mantenimiento.
- ✓ Colaborar con otros departamentos de la empresa, como producción, ingeniería y finanzas. Esto es importante para garantizar que las actividades de mantenimiento se alineen con los objetivos generales de la empresa.
- ✓ Supervisar el rendimiento del equipo de mantenimiento y tomar las medidas necesarias para mejorarlo. Esto incluye la evaluación del desempeño del personal, la identificación de oportunidades de mejora y la implementación de acciones correctivas.

b) Se establecerán los recursos necesarios para cada actividad de mantenimiento: El establecimiento de los recursos necesarios para cada actividad de mantenimiento es un paso importante para garantizar que estas se puedan realizar de manera efectiva. Los recursos necesarios pueden incluir:

1. Personal calificado: Se considera a todos los trabajadores del área de producción.

2. Herramientas y equipos: Se deben considerar lubricantes, útiles de aseo, herramientas de ajuste, entre otros.
  3. Tiempo: La empresa debe hacer cumplir el cronograma de mantenimiento para sus máquinas. Se sugiere que el mantenimiento se realice al menos una vez al mes esto según las horas trabajadas y que realicen la limpieza de sus equipos cada vez que terminen su jornada laboral.
- c) Se realizará un árbol de problemas: A continuación, se presenta el siguiente árbol de problemas, para determinar las fallas en las máquinas críticas:

Figura 13.Árbol de fallas.



Nota. Elaboración propia.

- d) Se realizará la codificación y fichas técnicas de máquinas:

Tabla 44.Codificación de equipos de acarreo.

Código	Máquina	Ubicación	Funciones
SC614	Equipo de acarreo 10 toneladas		
SC613	Equipo de acarreo 10 toneladas		
SC612	Equipo de acarreo 10 toneladas		
SC611	Equipo de acarreo 10 toneladas	Área operativa	Transporte de materiales
SC610	Equipo de acarreo 10 toneladas		
SC408	Equipo de acarreo 6 toneladas		
SC407	Equipo de acarreo 6 toneladas		
SC406	Equipo de acarreo 6 toneladas		

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se obtienen los siguientes beneficios:

- ✓ Eficiencia en la gestión: La codificación de equipos de acarreo permite tener un sistema organizado y estructurado para identificar y rastrear cada equipo de manera única. Esto facilita la gestión y el seguimiento de los equipos, lo que a su vez contribuye a una mejor planificación de las tareas de acarreo y transporte en la mina.
- ✓ Mantenimiento adecuado: La codificación de equipos de acarreo también es útil para el mantenimiento adecuado de los equipos en la mina. Al asignar un código único a cada equipo, se puede llevar a cabo un registro detallado de las actividades de mantenimiento realizadas, como inspecciones, reparaciones y reemplazos de componentes.
- ✓ Seguridad y control: La codificación de equipos de acarreo también puede tener un impacto positivo en la seguridad de la mina. Al tener una identificación única para cada equipo, se puede llevar un registro de las inspecciones de seguridad realizadas, las capacitaciones recibidas por los operadores y cualquier incidente o accidente relacionado con los equipos.

Así mismo, se han elaborado las siguientes fichas técnicas:

Tabla 45. Ficha técnica de R1600H.

EMPRESA MINERA			Nº: 1/1
<b>Datos Generales - Ficha Técnica Del Equipo De Acarreo SC614</b>			
Elaborado por	Ednar Molero		
Supervisado por	Jorge Jiménez	Fecha:	01/11/2023
Máquina - equipo	Scooptram	Ubicación:	Taller Truck Shop
Fabricante	Caterpillar		
Modelo	R1600H		
<b>Datos históricos</b>			
Fecha de compra:			
Fecha del último mantenimiento	22 / 10 /2023		
Observaciones y/o recomendaciones	Se recomienda realizar los mantenimientos programados, en las horas pactadas y entregar el equipo lavado		
<b>Características generales (Cucharon en piso)</b>			
Peso	30150 kg	Alto	2.42 mts
Largo	10.23 mts	Ancho	2.72 mts
<b>Funciones técnicas y recomendaciones del fabricante</b>			
Principales funciones			
Acarreo Mineral	Transporte de Mineral		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Ficha técnica de R1600H.

EMPRESA MINERA			Nº: 1/1
<b>Datos Generales - Ficha Técnica Del Equipo De Acarreo SC613</b>			
Elaborado por	Ednar Molero		
Supervisado por	Jorge Jiménez	Fecha:	01/11/2023
Máquina - equipo	Scooptram	Ubicación:	Taller Truck Shop
Fabricante	Caterpillar		
Modelo	R1600H		
<b>Datos históricos</b>			
Fecha de compra:			
Fecha del último mantenimiento	06 / 10 /2023		
Observaciones - recomendaciones	Se recomienda realizar los mantenimientos programados, en las horas pactadas y entregar el equipo lavado		
<b>Características generales (Cucharon en piso)</b>			
Peso	30150 kg	Alto	2.42 mts
Largo	10.23 mts	Ancho	2.72 mts
<b>Funciones técnicas y recomendaciones del fabricante</b>			
Principales funciones			
Acarreo Mineral	Transporte de Mineral		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Ficha técnica de R1600H.

EMPRESA MINERA		Nº: 1/1	
<b>Datos Generales - Ficha Técnica Del Equipo De Acarreo SC612</b>			
Elaborado por	Ednar Molero		
Supervisado por	Jorge Jiménez	Fecha:	01/11/2023
Máquina - equipo	Scooptram	Ubicación:	Taller Truck Shop
Fabricante	Caterpillar		
Modelo	R1600H		
<b>Datos históricos</b>			
Fecha de compra:			
Fecha del último mantenimiento	10 / 10 /2023		
Observaciones - recomendaciones	Se recomienda realizar los mantenimientos programados, en las horas pactadas y entregar el equipo lavado		
<b>Características generales (Cucharón en piso)</b>			
Peso	30150 kg	Alto	2.42 mts
Largo	10.23 mts	Ancho	2.72 mts
<b>Funciones técnicas y recomendaciones del fabricante</b>			
Principales funciones			
Acarreo Mineral	Transporte de Mineral		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48.Ficha técnica de R1600H.

EMPRESA MINERA			Nº: 1/1
<b>Datos Generales - Ficha Técnica Del Equipo De Acarreo SC611</b>			
Elaborado por	Ednar Molero		
Supervisado por	Jorge Jiménez	Fecha:	01/11/2023
Máquina - equipo	Scooptram	Ubicación:	Taller Truck Shop
Fabricante	Caterpillar		
Modelo	R1600H		
<b>Datos históricos</b>			
Fecha de compra:			
Fecha del último mantenimiento	31 / 10 /2023		
Observaciones - recomendaciones	Se recomienda realizar los mantenimientos programados, en las horas pactadas y entregar el equipo lavado		
<b>Características generales (Cucharón en piso )</b>			
Peso	30150 kg	Alto	2.42 mts
Largo	10.23 mts	Ancho	2.72 mts
<b>Funciones técnicas y recomendaciones del fabricante</b>			
Principales funciones			
Acarreo Mineral	Transporte de Mineral		

Fuente: Elaboración propia.

- e) La determinación de tareas de mantenimiento: En la siguiente tabla, se presentan las siguientes actividades de mantenimiento para los equipos de acarreo:

Tabla 49. Actividades de mantenimiento.

Empresa minera	
Actividad	Mantenimiento
Responsable	Jefe de mantenimiento
Área	Operativa – transporte de materiales
Equipos y/o máquinas	Equipos de acarreo
Detalle	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Asegurarse que el equipo de acarreo esté apagado y que no haya ninguna persona dentro de la cabina: Esta actividad implica verificar que el equipo de acarreo se encuentre apagado y que no haya ninguna persona dentro de la cabina antes de realizar cualquier tarea. Esto es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores y prevenir accidentes.</li> <li>2. Limpiar el área de trabajo, para asegurar que no haya ningún material que pueda generar daño al equipo de acarreo: Antes de comenzar las labores de acarreo, es necesario limpiar el área de trabajo para eliminar cualquier objeto o material que pueda causar daños al equipo. Esto incluye retirar escombros, piedras sueltas u otros elementos que puedan interferir con el funcionamiento adecuado del equipo.</li> <li>3. Limpiar la máquina con agua y desengrasante, para eliminar la tierra, residuos sólidos, entre otros: Es importante mantener el equipo de acarreo limpio para garantizar su buen funcionamiento y prolongar su vida útil. Esta actividad implica utilizar agua y detergente para eliminar la suciedad, la tierra y otros residuos sólidos que puedan acumularse en la máquina durante su uso.</li> <li>4. Usar destornilladores para aflojar y apretar donde corresponda: Esta actividad implica utilizar destornilladores u otras herramientas adecuadas para aflojar o apretar tornillos, tuercas u otros elementos de fijación en el equipo de acarreo. Esto se realiza para asegurar que todas las partes estén correctamente ajustadas y evitar posibles fallas o desprendimientos durante su funcionamiento.</li> </ol>	

5. Inspeccionar el estado de los neumáticos, verificar la presión y el desgaste, y reemplazarlos si es necesario: En esta actividad se examina el estado de los neumáticos del equipo de acarreo. Se verifique la presión de los neumáticos y se inspeccione el desgaste de la banda de rodadura. Si los neumáticos presentan desgaste excesivo o daños, se procede a su reemplazo para garantizar un agarre y seguridad adecuados durante la operación.
6. Revisar el nivel y la calidad del aceite del motor, la transmisión, el diferencial y los ejes, y cambiarlos según el intervalo recomendado: Esta actividad implica verificar los niveles de aceite en diferentes componentes del equipo de acarreo, como el motor, la transmisión, el diferencial y los ejes. Además, se evalúa la calidad del aceite y se realiza el cambio según el intervalo recomendado por el fabricante para mantener un funcionamiento adecuado y prolongar la vida útil de los componentes.
7. Comprobar el funcionamiento del sistema de frenos, ajustar el juego de las zapatas y sustituir las pastillas si están gastadas: En esta actividad se verifica el correcto funcionamiento del sistema de frenos del equipo de acarreo. Se ajusta el juego de las zapatas para garantizar un frenado adecuado y se reemplazan las pastillas si se encuentran gastadas o desgastadas, evitando así posibles fallas en el sistema de frenado.
8. Verificar el estado de las correas, poleas, tensores y alternadores, y reemplazarlos si presentan daños o roturas: Esta actividad implica inspeccionar el estado de las correas, poleas, tensores y alternadores en el equipo de acarreo. Se busca cualquier signo de desgaste, daños o roturas en estos componentes y, en caso de ser necesario, se procede a su reemplazo para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema de transmisión y carga eléctrica.
9. Chequear el estado de las baterías, los cables, los fusibles y los interruptores, y limpiar o cambiar los componentes defectuosos: En esta actividad se verifica el estado de las baterías, los cables, los fusibles y los interruptores eléctricos del equipo de acarreo. Se busca cualquier signo de corrosión, daños o mal funcionamiento en estos componentes y se realiza la limpieza o el reemplazo de los elementos defectuosos para asegurar un suministro eléctrico adecuado y evitar posibles problemas de funcionamiento.

10. Controlar el funcionamiento del sistema de enfriamiento, revisar el nivel y la calidad del líquido refrigerante, y limpiar el radiador y el ventilador: En esta actividad se evalúa el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento del equipo de acarreo. Se verifica el nivel y la calidad del líquido refrigerante, y se realiza la limpieza del radiador y el ventilador para evitar el sobrecalentamiento del motor y garantizar un enfriamiento adecuado durante la operación.
11. Evaluar el funcionamiento del sistema hidráulico, revisar el nivel y la calidad del fluido, y reparar las fugas o los daños en las mangueras, bombas y cilindros: Esta actividad implica verificar el funcionamiento adecuado del sistema hidráulico del equipo de acarreo. Se inspecciona el nivel y la calidad del fluido hidráulico, y se realizan reparaciones en caso de fugas o daños en las mangueras, bombas y cilindros para garantizar un rendimiento óptimo.
12. Verificar el estado de los rodamientos, los engranajes, las cadenas y las coronas, y lubricarlos o reemplazarlos si presentan desgaste o ruido: En esta actividad se examina el estado de los rodamientos, engranajes, cadenas y coronas del equipo de acarreo. Se lubrican o reemplazan estos componentes si muestran signos de desgaste o ruido, asegurando un funcionamiento suave y eficiente.
13. Comprobar el funcionamiento del sistema eléctrico, revisar el voltaje y la corriente, y calibrar los sensores, los indicadores y los medidores: Esta actividad implica verificar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico del equipo de acarreo. Se revisa el voltaje y la corriente, y se calibran los sensores, indicadores y medidores para garantizar un suministro eléctrico adecuado y un monitoreo preciso.
14. Inspeccionar el estado de la carrocería, la cabina, el parabrisas y los espejos, y reparar o cambiar las piezas abolladas, rotas o rajadas: En esta actividad se examina el estado de la carrocería, la cabina, el parabrisas y los espejos del equipo de acarreo. Se realizarán reparaciones o reemplazos de las piezas que presenten abolladuras, roturas o rajaduras para mantener la integridad estructural y la visibilidad adecuada.
15. Revisar el funcionamiento del sistema de iluminación, verificar el estado de las luces, los faros y las señales, y reemplazar las bombillas fundidas o los focos dañados: Esta actividad

implica verificar el correcto funcionamiento del sistema de iluminación del equipo de acarreo. Se inspecciona el estado de las luces, faros y señales, y se reemplazan las bombillas fundidas o los focos dañados para garantizar una iluminación adecuada durante la operación.

16. Chequear el funcionamiento del sistema de seguridad, verificar el estado de los cinturones, los airbags y las alarmas, y activarlos o cambiarlos si no funcionan correctamente: En esta actividad se verifica el correcto funcionamiento del sistema de seguridad del equipo de acarreo. Se inspecciona el estado de los cinturones, airbags y alarmas, y se activan o reemplazan si no funcionan correctamente para garantizar la protección de los operadores.
17. Controlar el funcionamiento del sistema de comunicación, verificar el estado de las radios, los teléfonos y los GPS, y sincronizarlos o reemplazarlos si presentan fallas o interferencias: Esta actividad implica verificar el correcto funcionamiento del sistema de comunicación del equipo de acarreo. Se inspecciona el estado de las radios, teléfonos y GPS, y se sincronizan o reemplazan si presentan fallas o interferencias para mantener una comunicación efectiva.
18. Examinar el estado de la carga, verificar el peso, la distribución y la sujeción, y ajustarlos o cambiarlos si exceden los límites o comprometen la estabilidad: En esta actividad el operario examina el estado de la carga en el equipo de acarreo. Se verifica el peso, la distribución y la sujeción, y se ajusta o cambia si excede los límites o compromete la estabilidad durante la operación.
19. Realizar pruebas de funcionamiento, verificar el rendimiento, el consumo y las emisiones, y registrar los datos y las observaciones: Esta actividad implica realizar pruebas de funcionamiento en el equipo de acarreo para determinar que las actividades anteriores han generado un impacto positivo en el equipo de acarreo.

*Nota.* Elaboración propia.

f) La frecuencia de mantenimiento

Tabla 50, Frecuencia de mantenimiento para equipos de acarreo.

Empresa minera																																																
Responsable																																																
Área		Operativa																																														
Actividad		Mantenimiento a equipos de acarreo																																														
Detalle	Meses																																															
	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4				
Mantenimiento																																																

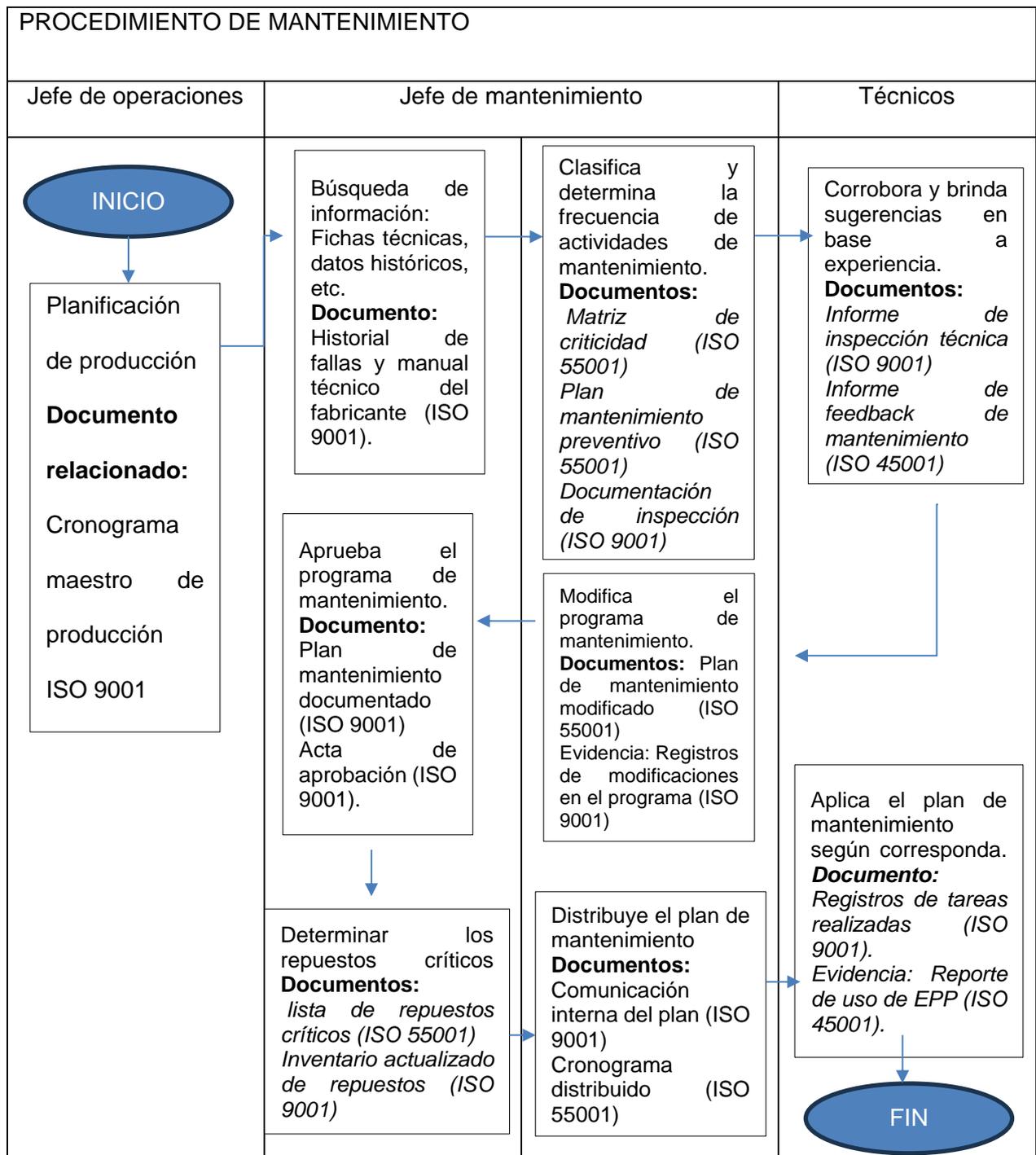
Fuente: Elaboración propia.

- g) El proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad:
1. Planificación de la producción: El jefe de operaciones es el encargado de señalar los objetivos que el área de operaciones tiene que alcanzar, tales como el volumen de producción, la calidad del mineral, el cumplimiento del plan de minado, entre otros. De esta manera, se preparan los equipos de acarreo para su respectivo uso, asignando las rutas, los turnos, las cargas y los tiempos de operación.
  2. Análisis de la data histórica de equipos: Se busca los manuales, catálogos, fichas técnicas, etc. de los equipos de acarreo, para que se pueda determinar el estado de los equipos, su vida útil, su rendimiento, su consumo, sus especificaciones técnicas, sus modos de falla, sus intervalos de mantenimiento, entre otros datos relevantes.
  3. Determinación de las tareas o actividades de mantenimiento: El jefe de mantenimiento, en base al análisis de la data histórica de los equipos, define las tareas o actividades de mantenimiento que se deben realizar para cada equipo o sistema, según el tipo de mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo, etc.), la prioridad, la complejidad, la duración, los recursos, los repuestos, las herramientas, los procedimientos, las normas de seguridad, etc.
  4. Clasificación y determinación de la frecuencia de las actividades de mantenimiento: El jefe de mantenimiento, en base a los criterios de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad, clasifica las actividades de mantenimiento según su importancia y urgencia, y determina la frecuencia con la que se deben realizar, según el horómetro, el calendario, las condiciones de operación, los indicadores de desempeño, los reportes de fallas, etc.
  5. Modificación de actividades y frecuencia de mantenimiento: El jefe de mantenimiento, junto con los técnicos de mantenimiento, realiza un seguimiento y una evaluación de las actividades y la frecuencia de mantenimiento, y propone

- modificaciones o mejoras según los resultados obtenidos, las lecciones aprendidas, las sugerencias del personal, los cambios en las condiciones de operación, etc.
6. Modificación de plan de mantenimiento: El jefe de mantenimiento, en base a las modificaciones o mejoras propuestas, actualiza el plan de mantenimiento, incorporando las nuevas actividades, frecuencias, recursos, procedimientos, normas, etc. que se requieren para optimizar el mantenimiento de los equipos de acarreo.
  7. Aprobación de plan de mantenimiento: El jefe de mantenimiento, una vez que ha modificado el plan de mantenimiento, lo presenta al jefe de operaciones y al gerente de la empresa minera, para que lo aprueben y lo validen, asegurándose de que cumple con los objetivos, los estándares, los requisitos, los presupuestos, los plazos, etc. establecidos.
  8. Determinación de repuestos para mantenimiento: El jefe de mantenimiento es el encargado de calcular los costos de mantenimiento para asegurar que la inversión sea rentable y eficiente, y de determinar los repuestos que se necesitan para cada actividad de mantenimiento, según el tipo, la cantidad, la calidad, el proveedor, el precio, el tiempo de entrega, el almacenamiento, el inventario, etc.
  9. Distribución de plan de mantenimiento: El jefe de mantenimiento, una vez que ha aprobado el plan de mantenimiento, lo distribuye entre el personal de mantenimiento, asignando las responsabilidades, las tareas, los recursos, los plazos, etc. que corresponden a cada técnico o equipo de trabajo, y asegurándose de que lo comprenden y lo aplican correctamente.
  10. Aplicación de plan de mantenimiento: Los técnicos de mantenimiento, siguiendo las instrucciones del jefe de mantenimiento, ejecutan el plan de mantenimiento, realizando las actividades, frecuencias, recursos, procedimientos, normas, etc. que se han establecido para cada equipo o sistema de acarreo, y reportando los

avances, los resultados, los problemas, las soluciones, las recomendaciones, etc. que se generan durante el proceso.

Figura 14. Flujograma de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

h) El plan de capacitaciones

Tabla 51. Plan de capacitaciones en mantenimiento.

Tema	Objetivo	Resultados	Recursos	Dirigido	Responsable	Duración	Otros
Introducción al RCM	Conocer los conceptos básicos, los beneficios y los principios del RCM	Los participantes comprenden la importancia y el alcance del RCM para la gestión del mantenimiento	Presentación, material didáctico, ejemplos	Técnicos de mantenimiento, jefes de mantenimiento, operarios.	Instructor	2 horas	Evaluación inicial
Tipos de mantenimiento (preventivo y correctivo)	Diferenciar y aplicar los tipos de mantenimiento preventivo y correctivo según las características y condiciones de los equipos y sistemas de acarreo	Los participantes distinguen entre el mantenimiento preventivo y el correctivo, y realizan las actividades correspondientes a cada uno según el plan de mantenimiento	Presentación, material didáctico, ejemplos, casos	Técnicos de mantenimiento, operarios.	Instructor, jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento	4 horas	Evaluación
Uso de herramientas y /o materiales de mantenimiento	Conocer y utilizar adecuadamente las herramientas y los materiales necesarios para realizar las actividades de mantenimiento	Los participantes identifican, seleccionan, manipulan y almacenan las herramientas y los materiales de mantenimiento según su tipo, función, calidad y seguridad	Herramientas, materiales, manual, guía	Técnicos de mantenimiento.	Instructor, jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento	4 horas	Práctica
Análisis de la criticidad de los activos	Identificar y evaluar la criticidad de los equipos y sistemas	Los participantes aplican criterios y herramientas para	Hojas de trabajo, matriz de criticidad, software	Jefes de mantenimiento, supervisores.	Instructor, jefe de mantenimiento	4 horas	Trabajo en equipo

	de acarreo según el riesgo y las consecuencias de sus fallas	priorizar los activos según su criticidad					
Selección de estrategias de mantenimiento	Seleccionar las estrategias de mantenimiento más adecuadas para prevenir o mitigar cada modo de falla	Los participantes eligen entre las opciones de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo, etc. según el nivel de riesgo y la criticidad de cada modo de falla	Hojas de trabajo, árbol de decisión, software	Jefes de mantenimiento, supervisores.	Instructor, jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento	8 horas	Trabajo en equipo
Implementación de las estrategias de mantenimiento	Asignar las tareas, los recursos, los responsables y los plazos para ejecutar las estrategias de mantenimiento seleccionadas	Los participantes elaboran un plan de mantenimiento para cada activo crítico, especificando las actividades, frecuencias, recursos, procedimientos, normas, etc.	Hojas de trabajo, cronograma, software	Jefes de mantenimiento, técnicos.	Instructor, jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento	8 horas	Trabajo en equipo
Monitoreo y evaluación de los resultados del RCM	Medir los indicadores de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos y sistemas de acarreo	Los participantes aplican herramientas de control y análisis para verificar el cumplimiento de los objetivos y estándares del RCM	Hojas de trabajo, software, sensores, reportes	Técnicos, jefes de mantenimiento.	Instructor, jefe y técnicos de mant.	4 horas	Evaluación final
Beneficios del mantenimiento	Reconocer y valorar los beneficios del mantenimiento para la empresa minera, los equipos de acarreo y el personal	Los participantes enumeran y explican los beneficios del mantenimiento en términos de seguridad, calidad, productividad,	Presentación, material didáctico, ejemplos, testimonios	Técnicos de mantenimiento, operarios.	Instructor, jefe y técnicos de mant.	2 horas	Reflexión

---

		rentabilidad, competitividad, etc.				
Uso de EPP en mantenimiento	Conocer y utilizar correctamente los equipos de protección personal (EPP) para realizar las actividades de mantenimiento con seguridad	Los participantes identifican, seleccionan, usan y cuidan los EPP adecuados para cada actividad de mantenimiento según el riesgo, la normativa y las recomendaciones	EPP, manual, guía, video	Instructor, jefe de mantenimiento, técnicos de mantenimiento	2 horas	Práctica

---

Fuente: Elaboración propia.

El plan de capacitaciones contribuye a mejorar las habilidades y destrezas de los operarios para manipular correctamente de los equipos de acarreo en la empresa minera. Al capacitarlos, se les brinda los conocimientos, las herramientas y las técnicas necesarias para identificar, prevenir y solucionar las fallas que afectan el funcionamiento de los equipos y sistemas de acarreo. De esta manera, se logra mejorar la confiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad de los activos de la empresa minera.

De esta manera, se proyecta tener la siguiente mejora:

Tabla 52. Mejora proyectada.

MAQUINA	Diagnóstico					Mejora proyectada (20%)				
	Cantidad de material transportado ( Tn )	Combustible empleado ( glns )	Tiempo operativo Hrs )	Consumo ( Tns / Gln)	Rendi miento	Cantidad de material transportado ( Tn )	Combustible empleado ( glns )	Tiempo operativo Hrs )	Consumo ( Tns / Gln)	Rendi miento
SC611	529	6621.0	882.8	8.0%	59.9%	661.25	6620.7	882.8	10.0%	74.9%
SC610	505	5961.8	866.9	8.5%	58.3%	631.25	5961.5	866.9	10.6%	72.8%
SC614	541	6669.7	889.3	8.1%	60.7%	676.25	6669.5	889.3	10.1%	76.0%
SC613	537	6944.3	925.9	7.7%	57.9%	695	6944.0	925.9	10.0%	75.1%
SC612	556	6928.5	923.8	8.0%	59.9%	695	6928.3	923.8	10.0%	75.2%
PROMEDIO	533.6	6625.1	897.74	8.1%	59.3%	671.75	6624.8	897.7	10.2%	74.8%

Fuente: Elaboración propia.

Considerando 2 meses de implementación, se espera lograr una mejora del 25% en la cantidad transportada y el combustible empleado. Estos resultados se alinean con el estudio realizado por los autores Arce y Castro [5], quienes proyectaron un aumento superior al 20% en su investigación. Por lo tanto, estos hallazgos respaldan la viabilidad de la propuesta y sugieren que es posible alcanzar mejoras significativas en el rendimiento de los equipos de acarreo. De esta manera, se determina que se logró mejorar el consumo a 10.2%, esto quiere decir que, por cada galón de combustible empleado la empresa transporta en promedio 10.2% toneladas de material. Así mismo, por cada hora operativa, en promedio los equipos de acarreo transportan 74.8% de cada tonelada.

### 3.1.3. Evaluar la viabilidad económica de la propuesta del plan de mantenimiento para una empresa minera peruana.

Para determinar la viabilidad económica, se aplicará el indicador del costo beneficio, el cual indica la relación entre los costos y los beneficios esperados de un proyecto. Este indicador es utilizado para evaluar si un proyecto es rentable y poder aplicarlo en un corto tiempo.

De esta manera, este indicador permite decidir sobre la viabilidad de un proyecto. Al analizar los costos y beneficios de manera cuantitativa, se puede evaluar si los beneficios esperados justifican los costos incurridos. Esto es importante para asegurar que los recursos se asignen de manera eficiente y se maximice el retorno de la inversión.

Inversión: Es importante determinar los costos de inversión de forma detallada puesto que aseguran que estos puedan cubrir lo necesario para la inversión del presente proyecto. En el anexo 3, se encuentra detallados los costos por capacitación, mano de obra, herramientas o equipos de mantenimiento, insumos, costos indirectos de mantenimiento y otros costos.

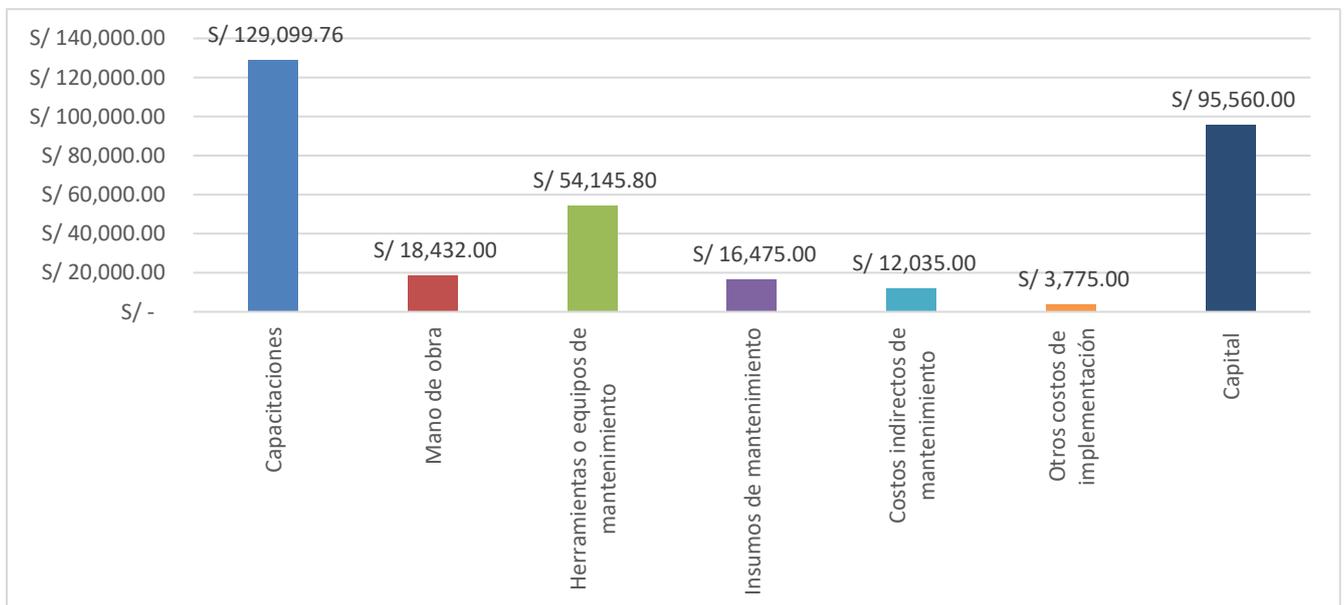
Tabla 53. Resumen de la inversión.

RESUMEN	
Descripción	Costo total
Capacitaciones	S/129,099.76
Mano de obra	S/18,432.00
Herramientas o equipos de mantenimiento	S/54,145.80
Insumos de mantenimiento	S/16,475.00
Costos indirectos de mantenimiento	S/12,035.00
Otros costos de implementación	S/3,775.00
Costo de capital	S/95,560.00
<b>Total, de inversión</b>	<b>S/329,522.56</b>

Fuente: Elaboración propia.

La inversión total del proyecto ascendió a S/329,522.56, distribuyéndose en varias categorías clave. La mayor parte, S/129,099.76, se destinó a capacitaciones, asegurando que el personal adquiriera las habilidades necesarias para operar eficientemente. La mano de obra, con un costo de S/18,432.00, cubrió los salarios del personal, mientras que S/54,145.80 se invirtieron en herramientas y equipos de mantenimiento, esenciales para prolongar la vida útil de los activos. Además, se asignaron S/16,475.00 a insumos de mantenimiento y S/12,035.00 a costos indirectos, que incluyen gastos generales necesarios para el funcionamiento del proyecto. También se reservaron S/3,775.00 para otros costos de implementación, y el costo de capital se estableció en S/95,560.00, representando la inversión inicial necesaria. Este desglose refleja un enfoque integral y bien estructurado, orientado a garantizar la sostenibilidad y éxito a largo plazo del proyecto.

Figura 15. Resumen de inversión.



Fuente: Elaboración propia.

Beneficios esperados: Al considerar un periodo de propuesta de implementación de 2 meses, se contempla una proyección de aumento del rendimiento del 25% en la cantidad transportada por los equipos de acarreo. Esto es

congruente o similar con el estudio de los autores Arce y Castro [5], quienes proyectaron un aumento superior al 25% en su estudio, de esta manera, se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 54. Beneficios proyectados.

Fase	Máquina	Diagnóstico	Aumento del 25%			
		Cantidad de material transportado (Tn)	Cantidad de material transportado (Tn) (pronóstico)	Incremento neto	Costo por transporte	Ingresos
Diagnóstico	Octubre	888				
	Noviembre	872				
	Diciembre	718				
Pronóstico	Enero	1676	2095	419.0	S/ 502,800	S/ 762,580
	Febrero	1595	1994	398.7	S/ 478,481	S/ 725,696
	Marzo	1504	1880	376.1	S/ 451,295	S/ 684,464
	Abril	1420	1775	355.0	S/ 426,020	S/ 646,131
	Mayo	1332	1664	332.9	S/ 399,471	S/ 605,865
	Junio	1246	1557	311.5	S/ 373,772	S/ 566,887
	Julio	1158	1448	289.6	S/ 347,506	S/ 527,050
	Agosto	1072	1340	268.0	S/ 321,618	S/ 487,787
	Setiembre	985	1231	246.2	S/ 295,478	S/ 448,141
	Octubre	898	1123	224.6	S/ 269,505	S/ 408,750
	Noviembre	811	1014	202.9	S/ 243,421	S/ 369,189
	Diciembre	725	906	181.2	S/ 217,412	S/ 329,741
	Total		18028	3605.6	S/ 4,326,778	S/ 6,562,281

Fuente: Elaboración propia.

Los ingresos proyectados para el proyecto a lo largo de cinco años muestran una tendencia de crecimiento constante, comenzando con S/ 6,562,280.65 en el primer año y aumentando a S/ 6,694,182.50 en el segundo año, lo que indica un incremento de 2.01%. Este crecimiento se mantiene a lo largo de los años, alcanzando S/ 6,828,735.56 en el tercer año, S/ 6,965,993.15 en el cuarto, y culminando en S/ 7,106,009.61 en el quinto año. Este patrón de ingresos sugiere que el proyecto no solo es sostenible, sino que también tiene el potencial de generar un flujo de ingresos cada vez mayor, lo que refleja una sólida estrategia de crecimiento y una gestión efectiva que podría contribuir significativamente a la rentabilidad a largo plazo, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 55. Ingresos proyectados.

Ingresos proyectados a 5 años con crecimiento del 2.01%					
Valor	Años				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
	S/ 6,562,280.65	S/ 6,694,182.50	S/ 6,828,735.56	S/ 6,965,993.15	S/ 7,106,009.61

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Egresos proyectados.

Egresos proyectados a 5 años con crecimiento del 2.01%					
Valor	Años				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
	S/ 4,326,778.45	S/ 4,413,746.70	S/ 4,502,463.01	S/ 4,592,962.52	S/ 4,685,281.06

Fuente: Elaboración propia.

Gastos: Así mismo, se calcularon los gastos de producción, administración y ventas para el cálculo del flujo de caja, debido a que estos gastos son de suma importancia para la elaboración del flujo de caja económico y evaluar la viabilidad de la inversión (ver anexo 4).

Tabla 57. Gastos de producción a 5 años.

Proyección a 5 Años de gastos de producción con incremento del 2.01%					
Detalle	AÑOS				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Planilla	S/1,218,816.00	S/1,243,314.20	S/1,268,304.82	S/1,293,797.74	S/1,319,803.08
Otros Gastos	S/ 7,800.00	S/7,956.78	S/8,116.71	S/8,279.86	S/8,446.28

TOTAL	S/ 1,226,616.00	S/ 1,251,270.98	S/ 1,276,421.53	S/ 1,302,077.60	S/ 1,328,249.36
-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Gastos de administración a 5 años.

Proyección a 5 Años de gastos de administración con incremento del 2.01%					
Detalle	AÑOS				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Planilla	S/497,664.00	S/497,664.00	S/497,664.00	S/497,664.00	S/497,664.00
Otros gastos de administración	S/12,567.60	S/12,820.21	S/13,077.89	S/13,340.76	S/13,608.91
TOTAL	S/ 510,231.60	S/ 510,484.21	S/ 510,741.89	S/ 511,004.76	S/ 511,272.91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59. Gastos de venta a 5 años.

Proyección a 5 Años de gastos de ventas con incremento del 2.01%					
Detalle	AÑOS				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Planilla	S/290,304.00	S/296,139.11	S/302,091.51	S/308,163.55	S/314,357.63
Otros Gastos	S/ 4,700.00	S/4,794.47	S/4,890.84	S/4,989.14	S/5,089.43
TOTAL	S/295,004.00	S/ 300,933.58	S/ 306,982.35	S/ 313,152.69	S/ 319,447.06

Fuente: Elaboración propia.

Flujo de caja: A continuación, se presenta el flujo de caja económico proyectado a 5 años:

Tabla 60. Flujo de caja económico.

Presupuesto de caja proyectado a 5 años											
CONCEPTO	0	1	2	3	4	5					
<b>INGRESOS</b>											
Total de inversión	S/329,522.56										
Ventas proyectadas	S/	6,562,280.65	S/	6,694,182.50	S/	6,828,735.56	S/	6,965,993.15	S/	7,106,009.61	
Total, ingresos	S/	6,562,280.65	S/	6,694,182.50	S/	6,828,735.56	S/	6,965,993.15	S/	7,106,009.61	
<b>EGRESOS</b>											
Egresos	S/	4,326,778.45	S/	4,413,746.70	S/	4,502,463.01	S/	4,592,962.52	S/	4,685,281.06	
Gastos de producción	S/	1,226,616.00	S/	1,251,270.98	S/	1,276,421.53	S/	1,302,077.60	S/	1,328,249.36	
Gastos de administración	S/	510,231.60	S/	510,484.21	S/	510,741.89	S/	511,004.76	S/	511,272.91	
Gastos de venta	S/	295,004.00	S/	300,933.58	S/	306,982.35	S/	313,152.69	S/	319,447.06	
Total, egresos	S/	6,358,630.05	S/	6,476,435.47	S/	6,596,608.78	S/	6,719,197.57	S/	6,844,250.39	
<b>Utilidad antes de impuestos (UAI)</b>	<b>S/329,522.56</b>	S/	203,650.60	S/	217,747.02	S/	232,126.79	S/	246,795.58	S/	261,759.22
Impuesto a la renta - (29.5%)		S/	60,076.93	S/	64,235.37	S/	68,477.40	S/	72,804.70	S/	77,218.97
<b>Utilidad neta</b>		S/	143,573.67	S/	153,511.65	S/	163,649.38	S/	173,990.88	S/	184,540.25
<b>TOTAL FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>S/329,522.56</b>	<b>S/</b>	<b>143,573.67</b>	<b>S/</b>	<b>153,511.65</b>	<b>S/</b>	<b>163,649.38</b>	<b>S/</b>	<b>173,990.88</b>	<b>S/</b>	<b>184,540.25</b>

Cálculos del VAN	S/ 332,932.49
Costo de Oportunidad	7.2%
Cálculo de la TIR	38%
Cálculo de la ratio Costo/Beneficio	1.04
Payback	2.5

Fuente: Elaboración propia.

La proyección del flujo de caja económico a cinco años revela un panorama favorable para el proyecto, comenzando con un egreso inicial de S/329,522.56 en el primer año, debido a la inversión total. A medida que avanzan los años, se prevé un aumento en los ingresos, comenzando en S/6,562,280.65 y alcanzando S/7,106,009.61 en el quinto año, lo que sugiere un crecimiento sostenido en las ventas. Los egresos también aumentan, pero a un ritmo controlado, con gastos de producción que inician en S/1,226,616.00 y se incrementan gradualmente hasta S/1,328,249.36. Este equilibrio entre ingresos y egresos resulta en utilidades antes de impuestos que crecen de S/203,650.60 en el segundo año a S/261,759.22 en el quinto, después de restar un impuesto a la renta del 29.5%. La utilidad neta, que inicia en S/143,573.67 y culmina en S/184,540.25, refleja un rendimiento saludable del proyecto. Un análisis adicional muestra un Valor Actual Neto (VAN) de S/332,932.49, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 38% y una ratio costo/beneficio de 1.04, indicando que por cada sol invertido se espera un retorno de S/1.04. Además, el período de recuperación de la inversión se estima en 2.5 años, lo que subraya la viabilidad financiera y el potencial de éxito a largo plazo del proyecto.

Análisis de sensibilidad: A continuación, se presenta el análisis de sensibilidad considerando el escenario real, optimista y pesimista:

Escenario real: Para el escenario real, se ha considerado el flujo de caja económico presentado anteriormente (ver Tabla 60) donde se considera un incremento lineal, considerando un aumento en cada año del 2.01% debido a la inflación. En ese sentido, al aplicar los indicadores del VAN, TIR y costo beneficio, se

obtuvo:

Tabla 61. Indicadores económicos.

Cálculos del VAN	S/ 332,932.49
Costo de Oportunidad	7.2%
Cálculo de la TIR	38%
Cálculo de la ratio Costo/Beneficio	1.04
Payback	2.5

Fuente: Elaboración propia.

El análisis financiero del proyecto minero revela un escenario real prometedor, con un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 332,932.49, lo que indica que, al descontar los flujos de efectivo futuros a un costo de oportunidad del 7.2%, la inversión inicial generará un excedente considerable. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 38% destaca la rentabilidad del proyecto, superando significativamente el costo de oportunidad y sugiriendo que los flujos de efectivo proyectados son sólidos y viables. El ratio costo/beneficio de 1.04 implica que por cada sol invertido se espera un retorno de S/1.04, lo que refuerza la viabilidad económica del proyecto. El período de recuperación o payback de 2.5 años sugiere que la inversión inicial se recuperará en un tiempo razonable, ofreciendo seguridad a los inversionistas sobre la liquidez del proyecto. En conjunto, estos indicadores subrayan la robustez del proyecto minero, mostrando un perfil de riesgo relativamente bajo y un potencial atractivo para generar beneficios económicos a largo plazo.

Escenario optimista: Se muestra un panorama optimista, comenzando con una inversión inicial de S/329,522.56 y proyectando ingresos que aumentan de S/6,562,280.65 en el primer año a S/7,106,009.61 en el quinto año. A pesar de los egresos totales que se incrementan de S/6,348,694.46 en el primer año a S/6,833,491.57 en el quinto, la utilidad antes de impuestos (UAI) se transforma de una pérdida inicial a utilidades crecientes que alcanzan S/272,518.04 al final del quinto año. Después de aplicar un impuesto a la renta del 29.5%, la utilidad neta se eleva a S/192,125.22 en el quinto año, reflejando un flujo neto de efectivo positivo que

comienza en el segundo año con S/150,578.26. El Valor Actual Neto (VAN) de S/362,589.19 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 41% indican que el proyecto es altamente rentable, superando el costo de oportunidad del 7.2%. Además, el ratio costo/beneficio de 1.04 sugiere que por cada sol invertido se espera un retorno de S/1.04, mientras que un período de recuperación o payback de 2.4 años resalta la rápida recuperación de la inversión. En conjunto, estos indicadores apuntan a un proyecto minero con un sólido potencial de rentabilidad y un perfil de riesgo atractivo para los inversionistas.

Tabla 62. Flujo de caja - escenario optimista.

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5
<b>INGRESOS</b>						
Total de inversión	S/329,522.56					
Ventas proyectadas		S/6,562,280.65	S/6,694,182.50	S/6,828,735.56	S/6,965,993.15	S/7,106,009.61
Total, ingresos		S/6,562,280.65	S/6,694,182.50	S/6,828,735.56	S/6,965,993.15	S/7,106,009.61
<b>EGRESOS</b>						
Egresos		S/4,326,778.45	S/4,413,746.70	S/4,502,463.01	S/4,592,962.52	S/4,685,281.06
Gastos de producción		S/1,216,680.41	S/1,241,135.69	S/1,266,082.51	S/1,291,530.77	S/1,317,490.54
Gastos de administración		S/510,231.60	S/510,484.21	S/510,741.89	S/511,004.76	S/511,272.91
Gastos de venta		S/295,004.00	S/300,933.58	S/306,982.35	S/313,152.69	S/319,447.06
Total, egresos		S/6,348,694.46	S/6,466,300.18	S/6,586,269.76	S/6,708,650.74	S/6,833,491.57
<b>Utilidad antes de impuestos (UAI)</b>	<b>-S/329,522.56</b>	S/213,586.19	S/227,882.32	S/242,465.80	S/257,342.41	S/272,518.04
Impuesto a la renta - (29.5%)		S/63,007.93	S/67,225.28	S/71,527.41	S/75,916.01	S/80,392.82
<b>Utilidad neta</b>		S/150,578.26	S/160,657.04	S/170,938.39	S/181,426.40	S/192,125.22
<b>TOTAL FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>-S/329,522.56</b>	<b>S/150,578.26</b>	<b>S/160,657.04</b>	<b>S/170,938.39</b>	<b>S/181,426.40</b>	<b>S/192,125.22</b>
Cálculos del VAN	S/ 362,589.19					
Costo de Oportunidad	7.2%					
Cálculo de la TIR	41%					
Cálculo del ratio Costo/Beneficio	1.04					
Payback	2.4					

Fuente: Elaboración propia.

Escenario optimista: A pesar de que se proyectan ingresos iniciales de S/6,562,280.65 que aumentan a S/7,106,009.61 en el quinto año, los egresos totales también crecen, alcanzando S/6,963,792.83, lo que limita la rentabilidad del proyecto. La utilidad antes de impuestos (UAI) muestra una recuperación gradual, comenzando con una pérdida inicial y alcanzando solo S/142,216.78 al final del quinto año, lo que refleja un crecimiento débil en comparación con las expectativas iniciales. Tras aplicar un impuesto a la renta del 29.5%, la utilidad neta, aunque positiva, se eleva a S/100,262.83, lo que resulta insuficiente para compensar la inversión inicial de S/329,522.56. Con un Valor Actual Neto (VAN) de apenas S/3,413.57, la rentabilidad es limitada y apenas supera el costo de oportunidad del 7.2%. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 8% sugiere que los retornos son solo marginalmente atractivos, mientras que un ratio costo/beneficio de 1.02 indica que por cada sol invertido, solo se espera un retorno de S/1.02, lo que no ofrece un incentivo convincente para los inversionistas. Además, un período de recuperación o payback de 4.9 años implica un tiempo prolongado para recuperar la inversión, lo que podría desalentar la financiación y limitar el crecimiento futuro del proyecto. En conjunto, estos factores sugieren un escenario preocupante para la viabilidad financiera del proyecto minero.

Tabla 63. Flujo de caja - escenario pesimista.

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5
<b>INGRESOS</b>						
Total de inversión	S/329,522.56					
Ventas proyectadas		S/6,562,280.65	S/6,694,182.50	S/6,828,735.56	S/6,965,993.15	S/7,106,009.61
Total, ingresos		S/6,562,280.65	S/6,694,182.50	S/6,828,735.56	S/6,965,993.15	S/7,106,009.61
<b>EGRESOS</b>						
Egresos		S/4,326,778.45	S/4,413,746.70	S/4,502,463.01	S/4,592,962.52	S/4,685,281.06
Gastos de producción		S/1,337,011.44	S/1,363,885.37	S/1,391,299.47	S/1,419,264.59	S/1,447,791.80
Gastos de administración		S/510,231.60	S/510,484.21	S/510,741.89	S/511,004.76	S/511,272.91
Gastos de venta		S/295,004.00	S/300,933.58	S/306,982.35	S/313,152.69	S/319,447.06
Total, egresos		S/6,469,025.49	S/6,589,049.86	S/6,711,486.72	S/6,836,384.55	S/6,963,792.83
<b>Utilidad antes de impuestos (UAI)</b>	<b>-S/329,522.56</b>	S/93,255.16	S/105,132.64	S/117,248.85	S/129,608.60	S/142,216.78
Impuesto a la renta - (29.5%)		S/27,510.27	S/31,014.13	S/34,588.41	S/38,234.54	S/41,953.95
<b>Utilidad neta</b>		S/65,744.89	S/74,118.51	S/82,660.44	S/91,374.06	S/100,262.83
<b>TOTAL FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>-S/329,522.56</b>	<b>S/65,744.89</b>	<b>S/74,118.51</b>	<b>S/82,660.44</b>	<b>S/91,374.06</b>	<b>S/100,262.83</b>

Cálculos del VAN	S/ 3,413.57
Costo de Oportunidad	7.2%
Cálculo de la TIR	8%
Cálculo del ratio Costo/Beneficio	1.02
Payback	4.9

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Discusión

Al analizar el objetivo específico 1, se determinó que, de los 8 equipos de acarreo, 3 presentan una alta criticidad y 2 una criticidad media, además al analizar la dimensión disponibilidad se obtuvieron los siguientes valores: SC610 (86%), SC611 (88%), SC612 (92%), SC613 (92%) y SC614 (88%). Por su parte, la confiabilidad asciende a: SC610 (19%), SC611 (20%), SC612 (21%), SC613 (18%) y SC614 (20%). Por otro lado, al analizar el rendimiento, se determinó los siguientes valores: SC611 (59.9%), SC610 (58.3%), SC614 (60.7%), SC613 (57.9%), SC612 (59.9%). Por último, al analizar el consumo, de los equipos de acarreo, se determinó: SC611 (8.0%), SC610 (8.5%), SC614 (8.1%), SC613 (7.9%) y SC612 (8.0%). Estos resultados son similares con los de los autores Estupiñan y Cordero [3], quienes en su estudio determinaron una baja disponibilidad en los equipos de acarreo ascendiendo a 85% en promedio. Por su parte, al analizar la confiabilidad, esta es baja en todos los equipos analizados, debido a que se generan un tiempo medio entre fallas es de 259,1 horas. Por otro lado, Riveros [4] determinó un valor de disponibilidad del 85%. Estos resultados son similares con los del presente estudio, debido a que en ambos estudios comparados, se determina que las causas raíz son la poca frecuencia de mantenimiento la falta de repuestos en mantenimiento, procesos de mantenimiento obsoletos , entre otros. Los cuales fueron determinados mediante la aplicación del diagrama de Pareto.

Para el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento para una empresa minera peruana, se procedió con la elaboración del árbol de problemas, la elaboración del proceso y actividades de mantenimiento, la elaboración de manuales operativos, tiempos de mantenimiento, listas de chequeo, indicadores y cronograma, además se aplicó el análisis de criticidad de equipos, para identificar equipos críticos y desarrollar actividades de mantenimiento específicas. Estos resultados se comparan con los de los autores Arce y Castro [5] quienes en su investigación aplicaron el análisis de criticidad de equipos para identificar equipos críticos y desarrollar actividades de mantenimiento específicas, destacando el proceso de mantenimiento auditorias en mantenimiento, la compra de

herramientas e insumos, entre otros. Por su parte, Wannawiset (2019) utilizó diversas herramientas para el diagnóstico como el análisis FMEA y el diagrama de Pareto para identificar las causas y fallas en las máquinas. De esta manera elaboraron los manuales de procedimientos considerando las recomendaciones de los fabricantes para que se aplique correctamente el mantenimiento a los equipos mineros.

Por otro lado, al evaluar la viabilidad económica del presente estudio, se determinó que la inversión asciende a S/329,522.56 soles, los beneficios o ingresos para el primer año ascienden a S/6,562,280.65 soles y los egresos a S/6,358,630.05 soles. De esta manera, se determinó un VAN S/ 332,932.49 soles, un TIR de 38% y el costo beneficio asciende a 1.04 soles. Estos resultados se comparan con los de los autores López y Rojas [8] quienes determinaron una inversión total de S/.2,760.00 soles, generando un aumento en el transporte de materiales de 1445 viajes/mes hasta llegar a 1649 viajes/mes; aumentando la cantidad de material transportando en Minera Kolpa S.A. De esta manera, el costo beneficio es viable siendo mayor a 1.

Por último, al abordar el objetivo general, se determinó que la propuesta de implementación del plan de mantenimiento mejora el rendimiento de los equipos de acarreo en un 30%. De esta manera, la empresa logra transportar más cantidad de toneladas de productos hacia los puntos correspondientes. Esto se logró gracias al plan de mantenimiento elaborado en función a las causas raíz que impactan en la variable dependiente, beneficiando a la empresa operativa y económicamente. Estos resultados se contrastan con los de los autores López y Rojas [8], quienes mejoraron la disponibilidad de los equipos de un 76.71% a 87.68%, además la confiabilidad aumentó en 84.9%. Esto condujo a una optimización del número de transporte mensuales, con un cumplimiento promedio del 128%, superando la meta programada. Por su parte los autores Namay y Quispe [9] mejoraron el TPPR en un 8.05%, la mantenibilidad de la flota en un 23.15%, de igual manera la TPEF en un 31.02% y la confiabilidad en un 13.28%. La disponibilidad subió en un 4.12%, y la OEE de la Flota aumentó en un 8.49%. Estos resultados son similares debido a que ambos estudios aplicaron una metodología similar basada en el AMEF, el análisis de criticidad de los equipos y causas

raíz. De esta manera, se aprovecha la inversión de forma eficiente, puesto que el plan de mantenimiento resuelve los problemas reales de las empresas que afectan directamente a los equipos de acarreo. Estos hallazgos demuestran la importancia de implementar planes de mantenimiento preventivo y correctivo que permitan optimizar el rendimiento y la eficiencia de los equipos, así como reducir los costos y los riesgos asociados a las fallas. De esta manera, se contribuye a mejorar la competitividad y la sostenibilidad de las organizaciones que laboran el sector de transporte minero.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Al analizar la situación actual, se determina que las causas raíz que generan el 80% de problemas son: Carece de un plan de mantenimiento preventivo, falta de capacitación en mantenimiento, entre otros. Por otro lado, la disponibilidad asciende a: SC610 (86%), SC611 (88%), SC612 (92%), SC613 (92%) y SC614 (88%). Por otro lado, al analizar el rendimiento, se determinó los siguientes valores: SC611 (59.9%), SC610 (58.3%), SC614 (60.7%), SC613 (57.9%), SC612 (59.9%).

Se diseñó la propuesta de implementación del plan de mantenimiento, el cual estuvo basado en resolver las causas y problemas que se han detectado en los equipos de acarreo, en donde se destaca el diseño de un proceso y actividades de mantenimiento, la elaboración de fichas técnicas, planes de capacitación, entre otros.

Al realizar la validación económica, se determinó que se requiere una inversión total de S/329,522.56 soles, con dicha cantidad la empresa obtendría un valor VAN S/ 332,932.49 soles, un TIR de 38% y el costo beneficio asciende a 1.04 soles. Estos resultados demuestran la viabilidad económica de este estudio al generar el mayor beneficio derivado de la inversión.

## **4.2. Recomendaciones**

Se sugiere realizar un seguimiento y una evaluación periódica de los indicadores de gestión, para identificar las oportunidades de mejora y las acciones correctivas necesarias. Así mismo, es importante emplear otras herramientas de diagnóstico para determinar mayores problemas que puedan impactar en la empresa.

Se recomienda ejecutar la propuesta de implementación del plan de mantenimiento, siguiendo las actividades y los procedimientos establecidos en las fichas técnicas y los planes de capacitación. Además, se recomienda involucrar a todos los actores relacionados con el proceso de mantenimiento, como los operadores, los técnicos, los supervisores y los gerentes, para asegurar el compromiso y la participación de todos. También se recomienda aplicar alguna herramienta de gestión de proyectos, como Microsoft Project, para planificar, organizar y controlar las tareas y los recursos del proyecto.

Se recomienda aprobar la inversión requerida para la implementación del plan de mantenimiento, considerando el beneficio económico que se obtendría a partir de la mejora de la disponibilidad y el rendimiento de los equipos de acarreo. Asimismo, se recomienda realizar un análisis de sensibilidad, para evaluar el impacto de posibles cambios en las variables o los escenarios del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] M. Cutifani, «El 45% de economía mundial está impulsada por el sector minero,» *Minería sostenible de Galicia*, 06 junio 2022.
- [2] Ministerio de Economía y Finanzas, 29 noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/mef>.
- [3] E. Estupiñan y O. Cordero, «Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimizaciónDe la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre,» *Bistua: RevistadelaFacultaddeCienciasBásicas*, pp. 196-204, 2019.
- [4] G. Riveros, «Diseño de un plan de mantenimiento preventivo a cintas transportadoras para optimizar las fallas y su disponibilidad en el proceso minero en mina Chépica,» Universidad de Talca, Curicó, 2021.
- [5] W. Arce y V. Castro, «Propuesta para mejorar el plan de mantenimiento en equipos Scooptram de minera Carola,» Universidad de Atacama, Copiapó, 2022.
- [6] A. Semykina, N. Zagorodnii y A. Novikov, «Study of the effectiveness of the organization of the system of maintenance and repair of quarry transport of mining and processing plants,» *Transportation Research Procedia*, vol. 63, pp. 938-989, 2022.
- [7] Rihi, «Predictive maintenance in mining industry: grinding mill case study,» *Procedia Computer Science 207*, pp. 2483-2492, 2022.
- [8] A. López y C. Rojas, «Optimización del transporte de mineral empleando indicadores de desempeño en la empresa especializada Martínez contratistas e ingeniería S.A. compañía minera Kolpa S.A. Huancavelica – 2020,» Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, 2022.
- [9] D. Namay y E. Ramos, «Diseño de un plan de gestión de mantenimiento de los camiones mineros CAT 793 para incrementar la productividad de acarreo de una empresa minera cajamarquina,» Universidad del Norte, Cajamarca, 2019.

- [10] A. Valverde, «Plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en minera Chinalco Perú S.A.,» Universidad Nacional del Callao, Lima, 2021.
- [11] W. E. Chura Anticona, «Propuesta de un plan de control de utilización para flotas de acarreo de una mina a tajo abierto,» Universidad Continental, Arequipa, 2019.
- [12] F. Rivero, «Proceso de mantenimiento de camiones pesados de acarreo de mineral, para mejorar la disponibilidad en la SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE,» Universidad Alas Peruanas, Lima, 2022.
- [13] F. Pérez, Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial, Bucaramanga, Santander: Ediciones USTA, 2021, pp. 21-57.
- [14] H. Espinoza y J. Armas, «Gestión De Mantenimiento Productivo Total Para Mejorar La Productividad En La Empresa Mb Renting Sa, Lima-2021,» 2022.
- [15] Z. Zumaeta, «Aplicación del método de eficiencia general de equipos para mejorar los indicadores del mantenimiento de los equipos pesados de Promaq Perú SAC,» 2021.
- [16] A. Urquiza, «Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas críticas en la empresa Cynara Perú S.A.C., 2021,» Universidad Continental, 2023.
- [17] J. Moubray, «Mantenimiento centrado en la confiabilidad,» *Aladon*, 2020.
- [18] M. Portillo, V. Castillo y J. De la Riva, «Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas,» *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 12, nº 24, p. 2, 2022.
- [19] M. Chávez, J. Jiménez y M. Cucuri, «Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) del sistema de reinyección de agua de formación,» *evista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, vol. 5, nº 9, 2020.
- [20] M. Espinoza, I. Arana y C. León, «Maintenance management model to increase availably in a metalworking SME applying TPM, SMED and PDCA,» *International*

*Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Developmen, 2022.*

- [21] J. Aranda y G. Linares, «Plan de Mejora en la Gestión de Mantenimiento para Incrementar la Disponibilidad de Maquinaria de una Empresa Agrícola.,» Universidad César Vallejo, Trujillo, 2022.
- [22] R. Andrade y M. Ramos, «Propuesta de la metodología RCM en la gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la Línea de Chancado Primario en una empresa minera,» UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, Lima, 2020.
- [23] J. Figueroa, «Herramienta para la gestión de información de equipos en varias actividades del proyecto de la Retonda,» 2022.
- [24] CATERPILLAR, «Cargadores de carga, acarreo y descarga (LHD) para minería subterránea,» 2023. [En línea]. Available: <https://n9.cl/rnk0v>.
- [25] L. Carrillo y A. Ojeda, «Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional en camiones eléctricos Hitachi EH 5000 de 320T para la compañía minera a cielo abierto Cerrejón,» Colombia, 2021.
- [26] M. Ramos y E. Salomón, «Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua,» Universidad Continental, 2021.
- [27] D. Barbosa y D. Betancur, «Medición Del Consumo De Combustible En Un Bus Articulado De La Empresa Integra S.A. Operadora Del Sistema Integrado De Transporte “Megabús”,» Universidad Tecnológica de Pereira. , 2016.
- [28] C. Arispe, J. Yangali, M. Guerrero, O. Lozada, L. Acuña y C. Arellano, La investigación científica, Primera ed., Universidad Internacional de Ecuador, 2020.
- [29] J. Garcia y P. Sánchez, «Diseño teórico de la investigación: instrucciones metodológicas para el desarrollo de propuestas y proyectos de investigación científica,» *Información Tecnológica*, vol. 31, nº 6, pp. 159-170, 2020.

- [30] A. Mori, «Mejora del plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de unidades en una empresa de alquiler de vehículos,» Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, 2021.
- [31] J. Arias y M. Covinos, Diseño y metodología de investigación, vol. 1, Arequipa, 2021.
- [32] Z. Sánchez, «Investigación aplicada, un enfoque en la tecnología,» 2022.
- [33] P. De la Lama, M. De la Lama y A. De la Lama, «Los instrumentos de la investigación científica. Hacia una plataforma teórica que clarifique y gratifique,» vol. 12, nº 22, pp. 189-202, 2022.
- [34] A. Cruza, B. Campos, C. Alvarado y L. Hernández, «Matriz Vester para la priorización de problemas de segregación socio espacial en ciudades turísticas costeras: caso de estudio Tulum, Quintana Roo, México.,» *Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo*, vol. 1, nº 1, pp. 89-106, 2022.
- [35] M. Gasca, L. Camargo y B. Medina, «Gestión del mantenimiento para la confiabilidad operacional,» *Espacios*, pp. 1-5, 2020.
- [36] Instituto Nacional de Estadística e Informática, «¿Qué es población?,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ine.cl/ine-ciudadano/definiciones-estadisticas/poblacion/que-es-poblacion>.
- [37] R. Monge y M. Yrazábal, «Estrategias del RCM y su influencia en la confiabilidad de los equipos para la tintorería de la Empresa Sur Color Star S.A.,» Universidad Nacional del Callao, 2019.
- [38] S. Wannawiset y S. Tangjitsitcharoen, «Reducción de averías de máquinas de papel mediante FMEA y mejora del mantenimiento preventivo: un estudio de caso,» *ICRAIEM*, vol. 530, nº 1, 2019.
- [39] E. Gomez, «Propuesta de mejora basado en TPM para incrementar la disponibilidad y confiabilidad en máquinas con mayor índice de fallas de una empresa textil,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2023.

- [40] A. Parra, «Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la Confiabilidad (RCM) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato,» Universidad de Antioquia, 2022.
- [41] R. Gallego, «Diseño del plan de mantenimiento preventivo basado en la filosofía RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) para los equipos de la empresa de confecciones Jonley S.A.S.,» Universidad de Antioquía, Medellín, 2019.

## ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Dimensiones de la variable independiente	Método
¿De qué manera la propuesta de un plan de mantenimiento mejora la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana?	Proponer un plan de mantenimiento para mejorar la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana.	Hipótesis Alternativa (H1): La propuesta de un plan de mantenimiento logrará mejorar la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana.	plan de mantenimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disponibilidad</li> <li>2. Confiabilidad</li> <li>3. Criticidad</li> </ol>	Tipo: Aplicada Diseño: No experimental Enfoque: Cuantitativo Nivel: Descriptivo Población: 8 Equipos de acarreo Muestra: 4 Equipos de acarreo - capacidad de carga de 10 Tn.
	Objetivos específicos	La propuesta de un plan de mantenimiento logrará mejorar la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana.	Variable dependiente	Dimensiones de la variable dependiente	
	Diagnosticar la situación inicial del área de mantenimiento y la gestión de equipos de acarreo de una empresa minera peruana.  Diseñar un plan de mantenimiento para una empresa minera peruana.  Evaluar la viabilidad económica de la propuesta del plan de mantenimiento para una empresa minera peruana.	Hipótesis Nula (H0): La propuesta de un plan de mantenimiento no logrará mejorar la gestión de equipos de acarreo en una minera peruana.	Gestión de equipos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rendimiento</li> <li>2. Consumo</li> </ol>	

Anexo 2: Instrumentos de investigación

Guía de análisis de documental de datos - Disponibilidad									
Responsable									
Área									
Fórmula		Disponibilidad (D) = $\frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$					Fecha		
Mes	Semana	Fallas	Tiempo de averías	Tiempo total de reparaciones	Horas operativas	MTTR	MTBF	Disponibilidad	
1	1								
	2								
	3								
	4								
TOTAL									
2	1								
	2								
	3								
	4								
TOTAL									
3	1								
	2								
	3								
	4								
TOTAL									

Guía de análisis de documental de datos - Confiabilidad						
Responsable						
Área						
Fórmula		Confiabilidad = $e^{-\lambda t}$			Fecha	
Mes	Semana	$\lambda$		$e^{-\lambda t}$	t	Confiabilidad
		Fallas	Tiempo total de funcionamiento (h)			
1	1					
	2					
	3					
	4					
TOTAL						
2	1					
	2					
	3					
	4					
TOTAL						
3	1					
	2					
	3					
	4					
TOTAL						

Guía de análisis de documental de datos - Criticidad									
Responsable									
Área									
Fórmula	Nivel de criticidad de equipos= Frecuencia de fallos (FF) * Consecuencias de los eventos de fallo (C)						Fecha		
Mes	Tipo de equipo	Frecuencia de fallos (FF)	Factor de impacto en la producción (IO)	Factor de flexibilidad operacional (FO)	Factor de costos de mantenimiento (CM)	Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)	Consecuencias de los eventos de fallo (C = (IOxFO)+CM+SHA)	Criticidad total de riesgo (CTR)	

Guía de análisis de documental de datos – Rendimiento				
Responsable				
Área				
Fórmula		Rendimiento= Cantidad de material / tiempo operativo		Fecha
Mes	Semana	Cantidad de material transportado	Tiempo operativo	Rendimiento
1	1			
	2			
	3			
	4			
TOTAL				
2	1			
	2			
	3			
	4			
TOTAL				
3	1			
	2			
	3			
	4			
TOTAL				

Guía de análisis de documental de datos – Consumo				
Responsable				
Área				
Fórmula		Consumo= Cantidad de material / cantidad de combustible utilizado	Fecha	
Mes	Semana	Cantidad de material transportado	Combustible empleado	Consumo
1	1			
	2			
	3			
	4			
TOTAL				
2	1			
	2			
	3			
	4			
TOTAL				
3	1			
	2			
	3			
	4			
TOTAL				

### Anexo 3. Inversión

Capacitaciones				
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Cantidad de capacitaciones	Precio por hora	Precio total - implementación (2 meses)
Asesoría en fundamentos del RCM	1	5	S/150.00	S/2,250.00
Capacitador	1	9	S/250.00	S/6,750.00
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>S/400.00</b>	<b>S/9,000.00</b>

Materiales y equipos				
Descripción	Cantidad	unidad	Precio unitario	Precio total - implementación (2 meses)
Laptop	2	unidad	S/6,222.00	S/12,444.00
Computador de escritorio	1	unidad	S/3,999.00	S/3,999.00
Impresora	2	unidad	S/1,474.88	S/2,949.76
Proyector	1	unidad	S/3,726.00	S/100,602.00
Papel bond	2	millar	S/25.00	S/50.00
Lapiceros	10	unidad	S/5.00	S/50.00
Plumones	1	unidad	S/5.00	S/5.00
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>unidad</b>	<b>S/15,456.88</b>	<b>S/120,099.76</b>

Mano de obra				
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Precio por hora	Precio mensual	Precio total - implementación (2 meses)
Jefe de mantenimiento	1	S/18.00	S/3,456.00	S/10,368.00
Supervisor de mantenimiento	1	S/14.00	S/2,688.00	S/8,064.00
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>S/32.00</b>	<b>S/6,144.00</b>	<b>S/18,432.00</b>

Herramientas o equipos de mantenimiento			
Herramienta o equipo	Cantidad	Precio unitario (S/)	Precio total (S/)
Llave fija	20	S/80.00	S/1,600.00
Destornillador plano	20	S/25.00	S/500.00

Alicate universal	20	S/25.00	S/500.00
Martillo de bola	20	S/40.00	S/800.00
Cinzel plano	20	S/25.00	S/500.00
Amoladora angular	8	S/1,200.00	S/9,600.00
Taladro de mano	4	S/1,500.00	S/6,000.00
Soldadora de arco	3	S/2,500.00	S/7,500.00
Compresor de pistón	3	S/2,500.00	S/7,500.00
Gato hidráulico	2	S/800.00	S/1,600.00
Cabrestante eléctrico	2	S/2,300.00	S/4,600.00
Micrómetro exterior	2	S/180.00	S/360.00
Calibre pie de rey	2	S/80.00	S/160.00
Nivel de burbuja	2	S/250.00	S/500.00
Vibrometro	1	S/2,100.00	S/2,100.00
Equipo de sincronización para motores	1	S/3,500.00	S/3,500.00
Equipo de análisis de aceite	1	S/4,200.00	S/4,200.00
Cepillo de alambre	10	S/35.00	S/350.00
Soplador de aire	2	S/1,137.90	S/2,275.80
Total	143	S/22,477.90	S/54,145.80

Insumos de mantenimiento						
Descripción	Cantidad	Precio unitario		Precio total		
Lubricantes	25	S/	285.00	S/	7,125.00	
Paño	50	S/	13.00	S/	650.00	
Desengrasantes	25	S/	95.00	S/	2,375.00	
Anticorrosivos	25	S/	117.00	S/	2,925.00	
Abrasivos	25	S/	100.00	S/	2,500.00	
Limpiador	20	S/	45.00	S/	900.00	
Total	170	S/	655.00	S/	16,475.00	

Costos indirectos de mantenimiento			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Energía eléctrica	3	S/1,500.00	S/4,500.00
Agua	3	S/2,400.00	S/7,200.00
Internet	3	S/335.00	S/335.00
Total	9	S/4,235.00	S/12,035.00

Otros costos de implementación			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Material de escritorio	varios	S/ 1,200.00	S/ 1,200.00
EPP	varios	S/ 4,500.00	S/ 2,500.00

Elaboración de formatos	varios	S/	75.00	S/	75.00
<b>Total</b>	<b>varios</b>	<b>S/</b>	<b>5,775.00</b>	<b>S/</b>	<b>3,775.00</b>

#### Anexo 4. Gastos del estudio

Presupuesto gasto de producción				
Planilla				
Descripción	Cantidad	Precio por hora	Precio mensual	Precio total
Jefe de producción	2	S/18.00	S/6,912.00	S/82,944.00
Supervisor de producción	2	S/16.00	S/6,144.00	S/73,728.00
Operarios	9	S/13.00	S/22,464.00	S/269,568.00
Jefe de logística	1	S/18.00	S/3,456.00	S/41,472.00
Supervisor de logística	2	S/16.00	S/6,144.00	S/73,728.00
Operarios logística	6	S/13.00	S/14,976.00	S/179,712.00
Jefe de almacén	1	S/18.00	S/3,456.00	S/41,472.00
Supervisor de almacén	2	S/16.00	S/6,144.00	S/73,728.00
Operarios de almacén	6	S/13.00	S/14,976.00	S/179,712.00
Jefe de SST	1	S/18.00	S/3,456.00	S/41,472.00
Asistente en SST	5	S/14.00	S/13,440.00	S/161,280.00
<b>TOTAL</b>	<b>37</b>	<b>S/47.00</b>	<b>S/101,568.00</b>	<b>S/1,218,816.00</b>

Otros Gastos				
Descripción	Cantidad	unidad	Precio unitario	Precio total
Estantes	5	unidad	S/800.00	S/4,000.00
Equipos de computo	1	unidad	S/2,500.00	S/2,500.00
Materiales de limpieza	varios	varios	S/800.00	S/ 800.00
Otros	varios	varios	S/500.00	S/ 500.00
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>S/ 4,600.00</b>	<b>S/ 7,800.00</b>

PRESUPUESTO GASTOS ADMINISTRATIVO				
Planilla				
Descripción	Cantidad	Precio por hora	Precio mensual	Precio total
Gerente general	1	S/	25.00	S/ 4,800.00
Contador	1	S/	20.00	S/ 3,840.00
Asistente de contabilidad	1	S/	15.00	S/ 2,880.00
Administrador	2	S/	18.00	S/ 6,912.00
Asistente de operaciones turno am	4	S/	15.00	S/ 11,520.00
Asistente de operaciones turno pm	4	S/	15.00	S/ 11,520.00
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>S/108.00</b>	<b>41,472.00</b>	<b>S/ 497,664.00</b>

Otros gastos de administración

Otros Gastos				
UTILES DE OFICINA	CANTIDAD	Precio unitario	Precio total	Precio anual
Papel Boom	2	S/16.00	S/32.00	S/384.00
Lapiceros	10	S/2.50	S/25.00	S/300.00
Cuadernos anillados de oficina	6	S/10.00	S/60.00	S/720.00
Grapadora	1	S/10.69	S/10.69	S/128.28
Perforador	1	S/12.00	S/12.00	S/144.00
Grapas	2	S/12.00	S/24.00	S/288.00
Estante	1	S/150.00	S/150.00	S/1,800.00
Goma	2	S/2.50	S/5.00	S/60.00
Archivadores	10	S/12.00	S/120.00	S/120.00
Corrector	6	S/2.00	S/12.00	S/144.00
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>	<b>S/229.69</b>	<b>S/450.69</b>	<b>S/4,088.28</b>

UTILES DE LIMPIEZA	CANTIDAD	Precio unitario	Precio total	Precio anual
Lejía 5L	2	11.28	22.56	270.72
Detergente 25kg	2	59.42	118.84	1426.08
Papel toalla (12 unid)	2	29.64	59.28	711.36
Papel higiénico (12 unid)	2	36.65	73.3	879.6
Jabón líquido (1L)	1	19.82	19.82	237.84
contenedor de basura 120 L	1	120	120	1440
Bolsas de basura	100	0.25	25	300
Escoba	3	11.9	35.7	428.4
Recogedor de metal	2	14.89	29.78	357.36
Trapeador giratorio + recurrido + ruedas	3	62.49	187.47	2249.64
Ambientador (Galón)	1	14.86	14.86	178.32
<b>Total</b>	<b>119</b>	<b>381.2</b>	<b>706.61</b>	<b>8479.32</b>

Presupuesto gasto de venta

Planilla				
Descripción	Cantidad	Precio por hora	Precio mensual	Precio total
Jefe de ventas	2	S/18.00	S/6,912.00	S/82,944.00
Personal de ventas	6	S/15.00	S/17,280.00	S/207,360.00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>S/33.00</b>	<b>S/24,192.00</b>	<b>S/290,304.00</b>

Otros Gastos						
Descripción	Cantidad	unidad	Precio unitario	Precio total		
Estantes	2	unidad	S/	800.00	S/	1,600.00
Equipos de computo	2	unidad	S/	1,200.00	S/	2,400.00
Televisor						
Materiales de limpieza	varios	varios	S/	450.00		S/ 450.00
Otros	varios	varios	S/	250.00		S/ 250.00
TOTAL	4	0		S/ 2,700.00		S/ 4,700.00