

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

**Propuesta de mantenimiento basado a la criticidad para
mejorar la disponibilidad de los camiones grúa en la
Empresa Velzar Ingeniero EIRL**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por
Brian Alberto Chaupin Huari

 [0009-0004-7755-106X](https://orcid.org/0009-0004-7755-106X)

Asesor
MSc. Zoila Luisa Córdova Hernández

 [0009-0006-4514-5635](https://orcid.org/0009-0006-4514-5635)

LIMA – PERÚ
2025

| | |
|------------------------------|--|
| Citar/How to cite | Chaupin Huari [1] |
| Referencia/Reference | [1] B. Chaupin Huari, " <i>Propuesta de mantenimiento basado a la criticidad para mejorar la disponibilidad de los camiones grúa en la Empresa Velzar Ingeniero EIRL</i> " [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025. |
| Estilo/Style: IEEE (2020) | |

| | |
|--------------------------------|---|
| Citar/How to cite | (Chaupin, 2025) |
| Referencia/Reference | Chaupin, B. (2025). <i>Propuesta de mantenimiento basado a la criticidad para mejorar la disponibilidad de los camiones grúa en la Empresa Velzar Ingeniero EIRL</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI. |
| Estilo/Style: APA (7ma ed.) | |

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por darme la fuerza y la
perseverancia para alcanzar esta meta.

Agradecimientos

A Dios, por darme la fuerza y sabiduría para completar este camino. A mi familia, por su apoyo incondicional y por ser mi mayor fuente de motivación. A mi novia, por su paciencia y aliento en cada etapa de este proceso. A mi asesora de tesis, por su guía y orientación invaluable, que han sido fundamentales para la culminación de este trabajo y a todos los que, de alguna manera, contribuyeron a este logro, con su tiempo, consejos o palabras de aliento.

“El educador es el hombre que hace que las cosas difíciles
parezcan fáciles”

Ralph Waldo Emerson

Contenido

| | |
|---|-----|
| Dedicatoria | iii |
| Agradecimientos | iv |
| Resumen | x |
| Abstract | xi |
| Prólogo | xii |
| CAPITULO I Introducción | 1 |
| 1.1. Antecedentes de la investigación | 1 |
| 1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio | 2 |
| 1.3. Formulación del Problema | 3 |
| 1.3.1. Problema Principal..... | 3 |
| 1.3.2. Problemas Secundarios..... | 3 |
| 1.4. Justificación e importancia | 3 |
| 1.5. Objetivos..... | 4 |
| 1.5.1. Objetivo General..... | 4 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos | 4 |
| 1.6. Hipótesis..... | 4 |
| 1.6.1. Hipótesis General | 4 |
| 1.6.2. Hipótesis Específicas..... | 4 |
| 1.7. Variables y Operacionalización de Variables | 5 |
| 1.7.1. Variables | 5 |
| 1.7.2. Operacionalización de variables | 5 |
| 1.8. Metodología de la investigación | 8 |
| 1.8.1. Unidades de análisis..... | 8 |
| 1.8.2. Tipo, enfoque y nivel de investigación | 8 |
| 1.8.3. Diseño de la investigación | 9 |
| 1.8.4. Fuentes de información | 9 |
| 1.8.5. Población y muestra | 9 |
| 1.8.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 10 |
| 1.8.7. Análisis y procesamiento de datos..... | 10 |
| CAPÍTULO II Marco Teórico y Marco Conceptual | 11 |
| 2.1. Bases Teóricas | 11 |
| 2.1.1. Mantenimiento | 11 |
| 2.1.2. Mantenimiento preventivo..... | 13 |
| 2.1.3. Mantenimiento Correctivo | 14 |
| 2.1.4. Mantenimiento Predictivo..... | 14 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.1.5. | Mantenimiento Proactivo | 14 |
| 2.1.6. | Estrategias | 15 |
| 2.1.7. | Camión grúa..... | 15 |
| 2.1.8. | Criticidad | 17 |
| 2.2. | Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos | 17 |
| CAPITULO III Desarrollo del trabajo de investigación | | 21 |
| 3.1. | La empresa..... | 21 |
| 3.2. | Diagnostico | 22 |
| 3.2.1. | Estado Actual de los Camiones Grúa | 22 |
| 3.2.2. | Tipos de Fallas Comunes y Mantenimiento Realizado..... | 22 |
| 3.2.3. | Procedimiento y Problemas Asociados:..... | 23 |
| 3.2.4. | Consecuencias del Enfoque Actual | 24 |
| 3.2.5. | Evaluación de la criticidad de los equipos..... | 24 |
| 3.3. | Diseño del Plan de mantenimiento preventivo | 35 |
| 3.3.1. | Objetivo del Plan de mantenimiento | 35 |
| 3.3.2. | Frecuencia de Mantenimiento..... | 35 |
| 3.3.3. | Actividades de Mantenimiento Preventivo. | 40 |
| 3.3.4. | Asignación de Recursos | 42 |
| 3.3.5. | Asignación de tiempo para el mantenimiento..... | 43 |
| CAPÍTULO IV Discusión de Resultados..... | | 45 |
| 4.1. | Introducción | 45 |
| 4.2. | Análisis cuantitativo..... | 45 |
| 4.3. | Beneficio técnico y/o económico esperado de la Mejora..... | 46 |
| 4.4. | Relación Beneficio/Costo | 46 |
| 4.5. | Discusión de Resultados..... | 48 |
| CONCLUSIONES | | 50 |
| RECOMENDACIONES..... | | 52 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 53 |
| ANEXOS..... | | 57 |

Listado de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Concepto de Mantenimiento..... | 12 |
| Figura 2 Mantenimiento Proactivo..... | 14 |
| Figura 3 Camión grúa..... | 16 |
| Figura 4 Camión Grúa Scania 410 | 16 |
| Figura 5 Camión Grúa MERCEDES BENZ | 16 |
| Figura 6 Diagrama de Pareto | 34 |
| Figura 7 Componentes de la grúa de un camión grúa..... | 38 |

Listado de Tablas

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1 | Operacionalización de la variable independiente (X)..... | 6 |
| Tabla 2 | Operacionalización de la Variable dependiente (Y)..... | 7 |
| Tabla 3 | Cálculo del MTBF y MTTR..... | 25 |
| Tabla 4 | Calculo y análisis de la disponibilidad e indisponibilidad | 26 |
| Tabla 5 | Cálculo de la Confiabilidad | 27 |
| Tabla 6 | Cálculo de la Mantenibilidad..... | 28 |
| Tabla 7 | Indisponibilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad..... | 30 |
| Tabla 8 | Criticidad de los equipos..... | 31 |
| Tabla 9 | Rango de criticidad | 32 |
| Tabla 10 | Matriz de criticidad cuantitativa | 32 |
| Tabla 11 | Matriz de criticidad cualitativa. | 32 |
| Tabla 12 | Jerarquización de criticidad..... | 33 |
| Tabla 13 | Equipos con mayor indisponibilidad y criticidad..... | 34 |
| Tabla 14 | Diagrama De Pareto..... | 35 |
| Tabla 15 | Equipos con mayor indisponibilidad y criticidad..... | 36 |
| Tabla 16 | Intervalo entre fallas del grupo 01..... | 37 |
| Tabla 17 | Intervalo entre fallas del grupo 02..... | 38 |
| Tabla 18 | Intervalo entre fallas del grupo 03..... | 39 |
| Tabla 19 | Frecuencia de mantenimiento..... | 40 |
| Tabla 20 | Actividades de mantenimiento..... | 41 |
| Tabla 21 | Tiempos para el mantenimiento | 44 |

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, para optimizar la disponibilidad de los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL. Se trata de una de las empresas de alquiler de camiones grúa, con más de 20 años de experiencia y como tal enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad de estos equipos, lo cual afecta su rentabilidad. Entre las causas identificadas de las interrupciones en la disponibilidad, se encuentran fallas eléctricas, neumáticos reventados, documentación vencida, paradas programadas para mantenimiento y problemas climatológicos. Dado que la empresa factura por horas de servicio con los equipos operativos al 100%, es crucial abordar estas problemáticas para evitar consecuencias como ingresos bajos, penalidades contractuales y pérdida de contratos. El diseño del plan de mantenimiento se ha basado en la criticidad de los equipos. Se ha enfocado en la optimización de la disponibilidad, priorizando los equipos con mayor nivel de indisponibilidad y estableciendo un programa de intervenciones periódicas. Se jerarquiza la criticidad de los equipos, clasificándolos en tres grupos, de acuerdo a los tiempos en el que falla cada uno a fin de establecer intervalos de mantenimiento eficientes. Como resultado se espera lograr reducir los tiempos de inactividad de los equipos a solo 4 horas por mantenimiento por cada equipo y alcanzar una mejora significativa en la disponibilidad de los camiones grúa de la empresa.

Palabras clave: Plan de mantenimiento, Preventivo, Criticidad, Confiabilidad, Disponibilidad,

Abstract

This research aims to design a preventive maintenance plan, based on criticality, to optimize the availability of crane trucks at VELZAR INGENIERO EIRL. This company, a crane truck rental company with over 20 years of experience, faces challenges related to the availability of this equipment, which affects its profitability. Among the identified causes of interruptions in availability are electrical failures, flat tires, expired documentation, scheduled maintenance shutdowns, and weather problems. Since the company bills by service hours with its equipment fully operational, it is crucial to address these issues to avoid consequences such as low revenue, contractual penalties, and contract loss. The maintenance plan was designed based on the criticality of the equipment. It focused on optimizing availability, prioritizing equipment with the highest level of unavailability and establishing a periodic intervention schedule. The equipment's criticality is prioritized, classifying it into three groups based on the failure rate, in order to establish efficient maintenance intervals. The result is expected to reduce equipment downtime to just four hours per maintenance per unit and achieve a significant improvement in the availability of the company's crane trucks.

Keywords: Maintenance plan, Preventive, Criticality, Reliability, Availability,

Prólogo

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, para optimizar la disponibilidad de los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL. Para tal efecto, el trabajo se lo ha dividido en cinco capítulos que se mencionan a continuación:

En el primer capítulo se mencionan los antecedentes de la investigación, Formulación del Problema, Justificación, Objetivos, Hipótesis, Operacionalización de Variables, Metodología de la investigación.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico utilizado, que tiene como puntos Bases Teóricas: Mantenimiento, las funciones del mantenimiento, tipos de mantenimiento, Estrategias de mantenimiento, Camión grúa, Criticidad

En el tercer capítulo se describe en forma detallada el desarrollo del Trabajo de Investigación, la Metodología de mantenimiento centrado en la criticidad. El diagnóstico: el Plan de acción de la Mejora propuesta, La propuesta de mejora. Diseño del Plan de mantenimiento preventivo el Proceso de mantenimiento.

En el cuarto capítulo se presenta la discusión de resultados, se elabora un análisis cuantitativo y el beneficio técnico y/o económico esperado de la mejora.

Para culminar finalizando con las Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos.

CAPITULO I

Introducción

1.1. Antecedentes de la investigación

Nivel Nacional

(Moreno Osorio, 2021) en su tesis cuyo objetivo principal fue incrementar la disponibilidad de la flota alquilada de montacargas en la operación de Kimberly Clark. Empleando como herramientas de estudio, una auditoria cualitativa al área de servicios y un diagrama de Ishikawa a la operación específica de la empresa materia de investigación, con el fin de identificar fortalezas y puntos de mejora; siendo así la gestión de repuestos la categoría detectada con mayores problemas. Entre sus conclusiones se observó un aumento en la disponibilidad operativa de 2.7% en promedio, lo que causa que, al ser una flota de 72 equipos, este incremento equivale a una reducción aproximada de 60 días de inoperatividad.

(Zavaleta Vera & García.Edwin, 2021) en su tesis cuyo objetivo principal fue establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para incrementar la disponibilidad de la maquinaria pesada. El diseño de su tesis fue del tipo pre experimental – correlacional, en donde la población estuvo constituida por las 40 maquinarias de la empresa JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L, y la muestra la conformaron las 7 maquinarias pesadas de línea amarilla. Entre los resultados obtenidos que se obtuvieron: los indicadores iniciales dieron 81% de disponibilidad y 77% de confiabilidad. Llegando a concluir que, gracias a la implementación del plan de mantenimiento preventivo, la disponibilidad se incrementó en un 10% y la confiabilidad en 14%.

Nivel Internacional

(Jaimes Martinez & Lopez Ortega, 2020) en su tesis cuyo objetivo principal fue el de diseñar un plan de mantenimiento preventivo que permita mejorar la cadena de producción de la empresa YILCOQUE S.A.S. Su nivel de investigación fue de carácter descriptivo, estableciendo un sistema de información para el desarrollo óptimo del

mantenimiento y realizar el análisis de criticidad para cada una de las 3 áreas de la compañía establecidas en la ciudad de Cúcuta. La ejecución de la evaluación del mantenimiento de la empresa basados en la norma COVENIN 2500-93, dio como resultados que las condiciones actuales de cada área no son las recomendadas para garantizar su buen funcionamiento, llegando a la conclusión de que se debe aplicar el diseño del plan de mantenimiento realizado en su trabajo.

(Crespo Barro & Fernández Valverde, 2020) en su tesis cuyo objetivo principal fue de diseñar un plan de mantenimiento para la flota vehicular de la empresa AGROSAD S.A. para la reducción de costos de mantenimientos realizados en talleres privados. Fue empleado el análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMEFC) análisis que permitió reconocer los modos de falla que presentan un mayor riesgo, para después seleccionar la mejor actividad de mantenimiento. Llegando a la conclusión que la empresa deberá tener un taller de mantenimiento básico para todas las unidades, siendo necesario que el mantenimiento lo realice una persona que cuente con conocimientos sobre el tema, ya que con esto evitará gastos innecesarios por mala práctica al momento de realizar un cambio de aceites o filtros.

1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio

En todo el mundo, las grandes empresas del sector minero y de construcción dependen ampliamente del alquiler de camiones para llevar a cabo diversas operaciones. Este recurso es esencial para el izajes de grandes volúmenes y transportar tonelajes considerables, agilizando operaciones y moviendo objetos pesados. En América Latina, las empresas de alquiler de camiones grúa más exitosas son las que han experimentado un crecimiento significativo en los últimos años.

En el caso específico de Perú, que es el segundo productor mundial de cobre, plata y zinc, y ha experimentado un aumento del 4.2% en el sector de la construcción, por lo que la demanda de camiones grúa es alta. Sin embargo, muchas empresas en Perú enfrentan desafíos relacionados con la disponibilidad de estos equipos, lo cual afecta su rentabilidad. La empresa seleccionada para este estudio, VELZAR INGENIEROS E.I.R.L., con más de

20 años de experiencia en el alquiler de camiones grúa, enfrenta problemas de disponibilidad que impactan negativamente en su competitividad y rentabilidad.

Entre las causas identificadas de las interrupciones en la disponibilidad, se encuentran fallas eléctricas, neumáticos reventados, documentación vencida, paradas programadas para mantenimiento y problemas climatológicos. Dado que la empresa factura por horas de servicio con los equipos operativos al 100%, es crucial abordar estas problemáticas para evitar consecuencias como ingresos bajos, penalidades contractuales y pérdida de contratos.

La investigación pretende proponer un plan de mantenimiento preventivo que anticipe posibles problemas futuros, mejorando de esta manera la continuidad operativa de los equipos y aumentando la rentabilidad de la empresa en sus diversos proyectos.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema Principal

¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, permitirá optimizar la disponibilidad de los camiones grúa, en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL?

1.3.2. Problemas Secundarios

- ¿Cómo Identificar a los equipos que requieren mantenimiento preventivo en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL?
- ¿Cómo hacer para establecer estrategias de mantenimiento para la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL?,
- ¿Cómo proceder para optimizar la disponibilidad de la maquinaria de, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL?

1.4. Justificación e importancia

El mantenimiento preventivo se justifica en razón, de que permite identificar tempranamente las señales de un defecto para minimizar el riesgo de averías no programadas y reducir la necesidad de realizar mantenimiento correctivo. La prevención

contribuye al máximo aprovechamiento de las máquinas; una mayor seguridad en el manejo de las máquinas, en la prolongación de la vida útil de la maquinaria; en la reducción de costos de reparación y la caída de la productividad

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, para optimizar la disponibilidad de los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL

1.5.2. Objetivos Específicos

- Estudiar y analizar el desempeño de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL para Identificación de los equipos que requieren mantenimiento preventivo
- Determinar los parámetros de funcionamiento de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, para establecer estrategias de mantenimiento.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base a la criticidad de criticidad, para la maquinaria de, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, para optimizar su disponibilidad.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, permitiría optimizar la disponibilidad de los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL

1.6.2. Hipótesis Específicas

- El estudio y análisis del desempeño de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL facilitaría la identificación de los equipos que requieren mantenimiento preventivo
- La determinación de los parámetros de funcionamiento de la maquinaria, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL posibilitaría el establecimiento de estrategias de mantenimiento.

- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base a la criticidad de criticidad, para la maquinaria de, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, contribuiría a la optimización de su disponibilidad.

1.7. Variables y Operacionalización de Variables

1.7.1. Variables

Variables

- Variable independiente

VI = X= “Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, para los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL”

- Variable dependiente

VD = Y= “Optimizar la disponibilidad de los camiones grúa de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL”

1.7.2. Operacionalización de variables

Las matrices de operacionalización de las variables se presentaban continuación en las tablas 1 y 2.

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente (X)

| Variable VI = X | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones | Indicadores |
|--|--|---|---|---|
| “Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, para los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL” | <p>La Estrategia es el programa general que se traza para alcanzar los objetivos de una organización y ejecutar así su misión. (Stoner, 1989)</p> <p>La planificación es un proceso de toma de decisiones que permite orientar los resultados disponibles hacia el logro de los objetivos de la organización. (Jiménez, 2006)</p> <p>El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designada (Duffuaa & Raouf, 2010).</p> | <p>“Mantenimiento es el conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o un equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a, las normas de protección integral” (CIED),</p> <p>Para Moubray (1997), el mantenimiento significa “Acciones dirigidas a asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas”</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de equipos 2. Planificación del mantenimiento 3. Programación y asignación de tareas 4. Inspección y lubricación 5. Limpieza y calibración 6. Reemplazo de componentes 7. Documentación y registro 8. Mejora continua 9. Formación y comunicación | <p>Identificación de los equipos que requieren mantenimiento preventivo</p> <p>Plan de mantenimiento que describa las tareas específicas, las frecuencias y los intervalos para cada equipo.</p> <p>Cronograma de mantenimiento que especifique cuándo debe realizarse cada tarea, Frecuencia, equipo, criticidad</p> <p>Inspecciones periódicas del equipo para identificar signos de desgaste, daños o posibles problemas.</p> <p>Limpieza regular del equipo para eliminar contaminantes que afectan al rendimiento. La calibración de controles e instrumentos debe mantener la precisión y confiabilidad.</p> <p>Los componentes con una vida útil limitada, como filtros, correas, sellos y rodamientos, deben reemplazarse como parte del mantenimiento preventivo.</p> <p>Mantener una documentación completa de todas las actividades de mantenimiento preventivo.</p> <p>Analizar los datos de rendimiento del equipo, los registros de mantenimiento y los comentarios de los técnicos para identificar áreas de mejora.</p> <p>Proporcione la formación adecuada a los técnicos de mantenimiento sobre los procedimientos de mantenimiento preventivo, los protocolos de seguridad y los requisitos específicos del equipo. Fomente canales de comunicación abiertos.</p> |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Operacionalización de la Variable dependiente (Y)

| Variable VD = Y | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones | Indicadores |
|--|--|--|--------------------------------------|---|
| “Optimizar la disponibilidad de los camiones grúa de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL” | La disponibilidad “La disponibilidad es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente realice la función prevista cuando sea requerido. Se expresa en porcentaje y tiene en cuenta tanto la confiabilidad como la mantenibilidad del sistema” Moubray (1997), $\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales de funcionamiento planeadas} - \text{Horas en paradas}}{\text{Horas totales de funcionamiento planeadas}}$ | Disponibilidad en el contexto operacional “La función de cualquier equipo, activo o instalación puede definirse de muchas formas, dependiendo exactamente de dónde y cómo se esté usando (el contexto operacional). Como resultado de esto, cualquier intento de formular o revisar las políticas o estrategias de mantenimiento debería comenzar con las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento en su contexto operacional actual.” Moubray (1997), | 1. Eficiencia | Obtención de los mejores resultados posibles con la menor cantidad de recursos posibles. |
| | | | 2. Costes y gastos | Reducir los costos de mantenimiento al mínimo posible |
| | | | 3. Seguridad y cumplimiento | Realizar el trabajo en función de una planificación. Garantizar las condiciones idóneas en el espacio. . |
| | | | 4. Desempeño de los activos | Maximizar el potencial del desempeño de sus activos de producción |
| | | | 5. Tiempo de inactividad | Reducir al máximo el tiempo de inactividad por mantenimiento. |
| | | | 6. Gestión de las órdenes de trabajo | Priorizar, completar y documentar las órdenes de trabajo de mantenimiento de manera oportuna. |
| | | | 7. Gestión del inventario | Tenerse a mano los materiales y las herramientas necesarios para el mantenimiento y la reparación de los equipos, |

Fuente: Elaboración propia

1.8. Metodología de la investigación

1.8.1. Unidades de análisis

Las unidades de análisis de la presente investigación lo conforman los camiones grúa de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL

1.8.2. Tipo, enfoque y nivel de investigación

1. Tipo de investigación

Según. (Ñaupas Paitán, Mejía Mejía, Novoa Ramírez, & Villagomez Páucar, 2013)

la presente investigación, corresponde al tipo de una investigación aplicada o Tecnológica.

El tipo de investigación es aplicado, por cuanto su objetivo fundamental es el de resolver problemas prácticos, teniendo un alcance de generalización limitado.

2. Enfoque de la investigación

Según el enfoque de la investigación es cuantitativa. El enfoque es cuantitativo porque emplea métodos y técnicas cuantitativas; usa la recolección de datos para responder las preguntas de investigación y probar hipótesis empleando la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) p.5.

3. Nivel de investigación

El nivel de la investigación corresponde a un estudio descriptivo correlacional (Ñaupas Paitán, Mejía Mejía, Novoa Ramírez, & Villagomez Páucar, 2013) p. 91-93

Por su nivel de análisis y naturaleza de objetivo: Es descriptivo, porque describe un suceso económico-social en una ubicación de tiempo y de lugar determinado.

Desde una perspectiva cognoscitiva su objetivo es describir y desde la estadística tiene el objetivo de evaluar y tomar en cuenta parámetros.

Se trata de un estudio propositivo en razón de que tiene como finalidad proponer el comportamiento de una variable en función de otra; se propone una relación de causa-efecto.

1.8.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es no experimental y longitudinal. Es no experimental porque realizan el estudio sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) p. 205. Es longitudinal. porque estudia cómo evolucionan o cambian unas determinadas variables (o una sola) en un grupo de individuos (o más). Es decir, estudian dichas variables en diferentes momentos temporales (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) p. 216.

1.8.4. Fuentes de información

Las fuentes de la información son de tipo primaria debido a que proporcionan datos de primera mano, como son los testimonios de los administradores de la estación de servicio y documentos oficiales de la información técnica de la distribución de la estación de servicio.

1.8.5. Población y muestra

1. Población objetivo

La población está constituida por la totalidad de los 15 camiones grúa de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL

2. Muestra

Para la determinación de la muestra se va a optar por el número de camiones grúa de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL que resulten críticos, según la aplicación del Diagrama de Pareto, es decir el 20% de los camiones que originan el 80% de la falta de disponibilidad de las unidades.

1.8.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente trabajo de investigación para la recolección de datos, se han empleado las siguientes técnicas:

- La técnica documental, mediante la búsqueda de información en registros de fallas, consulta de manuales, textos, consulta de normas, revisión de la hoja de histórica de las máquinas.
- La técnica de la observación del funcionamiento y estado operativo de las máquinas y equipos.
- Entrevistas al personal operarios de las máquinas y equipos; a los jefes de producción y de mantenimiento.
- Elaboración de encuestas de opinión al personal involucrado en la producción de la maquinaria, a fin de elaborar la jerarquía de criticidad de las máquinas para priorizar su atención y tratamiento.
- Elaboración del Diagrama de Pareto, para establecer la jerarquía de criticidad de la maquinaria.
- Empleo de la tabla de Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad

1.8.7. Análisis y procesamiento de datos

Se llevó a cabo el análisis y procesamiento de datos utilizando la información recabada de las entrevistas, encuestas y observación del funcionamiento y estado de la maquinaria. Se determinó la jerarquía de criticidad del estado y funcionamiento de los equipos; de los componentes de las máquinas sujetos a mayor desgaste, Las piezas exigidas a mayor esfuerzo de trabajo.

Se cotejaron la capacidad de producción de la maquinaria con parámetros de manuales y catálogos, según el estado de conservación de los equipos, rendimiento, para diseñar estrategias de mantenimiento.

CAPÍTULO II

Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. Mantenimiento

El centro Internacional de educación y desarrollo (CIED), filial de PDVSA (1995) define al mantenimiento como “El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a las normas de protección integral” (INACAP, 2005)

Para (Moubray, 1997), el mantenimiento significaba “Acciones dirigidas a asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas”

El mantenimiento es un conjunto de actividades que deben realizarle a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que éstos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados. (Botero Guerra, 1993) pág. 35.

Ventajas:

- Da mayor tiempo de vida útil de los equipos.
- Ayuda a mantener los equipos en buen estado
- Previenen posibles problemas antes de que ocurriesen o de la misma manera después de estos.
- Aplicar conocimientos de los tipos de mantenimiento.
- Contar con personal capacitado, nos brindara un buen trabajo.
- Minimizar los costos de producción.
- Mayor productividad por parte de los equipos.
- Capacitar a los operadores de dar un mantenimiento autónomo a sus equipos.
- Solucionan fallas operativas.
- Repara los equipos dañados.

Desventajas:

- Si no realizan un buen trabajo terminar por dañar o empeorar aún más el equipo.
- No contar con los conocimientos básicos de los tipos de mantenimiento.
- Conexiones mal realizadas.
- Recursos insuficientes.
- Puede de existir un conflicto entre un dispositivo o equipo.
- Conflicto entre dos equipos.
- Disminuir las horas de trabajo de los equipos.
- Personal operativo no capacitado en el mantenimiento autónomo que deberían de aplicar a sus equipos

Figura 1

Concepto de Mantenimiento



Tipos de Mantenimiento

Tras conseguir una comprensión sólida del concepto general de mantenimiento y su relevancia, el siguiente segmento de nuestro marco teórico se enfoca en profundizar en la clasificación de los tipos de mantenimiento y sus elementos clave para optimizar la eficiencia operativa y la longevidad de los equipos.

2.1.2. Mantenimiento preventivo

1. Concepto

El mantenimiento preventivo es el mantenimiento destinado a la conservación de equipos o instalaciones, mediante el ejercicio de revisiones y reparaciones que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, El mantenimiento puede hacerse priorizando equipos críticos, o tal vez iniciando por una línea o departamento. En el mejor de los casos sería tomar toda la planta (Anzola, 2015)

El mantenimiento preventivo es una herramienta que está orientada al trabajo industrial, y que está dirigida al soporte de las actividades de producción y en general a todas las instalaciones empresarias (máquinas de producción, unidades de transporte, entre otros). (Unal 2010, citado en (Hernández Cotrina, 2023), p.18)

2. Objetivo del mantenimiento preventivo:

Tiene como objetivo, garantizar el funcionamiento regular de las instalaciones y servicios. Evitar el envejecimiento prematuro de los equipos que forman parte de las instalaciones. Además de ello, conseguir ambos objetivos a un costo razonable. Permite adquirir experiencia en la identificación de las causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc. (Anzola, 2015)

3. Alcance

La ejecución del plan de mantenimiento anual de mantenimiento busca asegurar la disponibilidad de los objetos de mantenimiento para permitir su continuidad operativa y la del sistema productivo al cual pertenece. Es el signo visible del mantenimiento y contempla un conjunto de actividades que permiten llevar con éxito las actividades previamente programadas, además aquellas no programadas que son necesarias para corregir fallas imprevistas u otros problemas. (Anzola, 2015)

2.1.3. Mantenimiento Correctivo

Es un tipo de mantenimiento que se basa en arreglar las averías conforme van surgiendo, es decir que no requiere ninguna planificación sólo requiere ir atendiendo día a día las averías que necesitan ser reparadas dentro del proceso de producción (Hernández Cotrina, 2023), pp.26-27)

2.1.4. Mantenimiento Predictivo

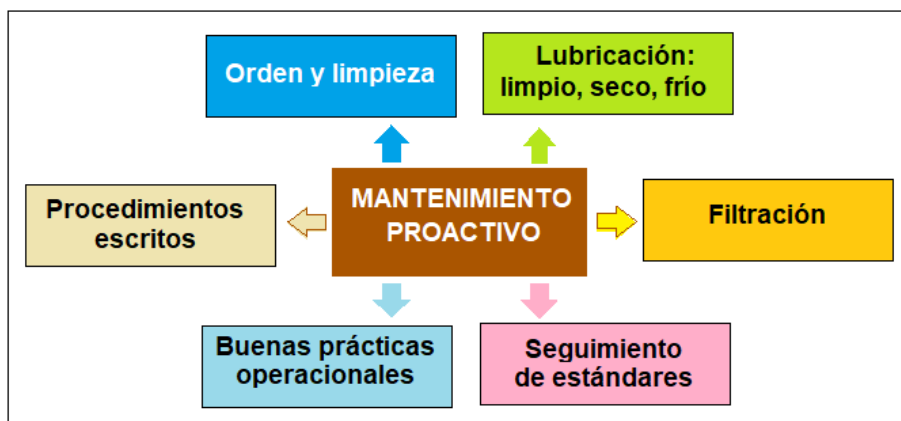
Según el autor Garrido menciona que conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento necesario identifica variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos (2002, p. 17, citado en (Cáceres Sanchez, 2022), p.18.

2.1.5. Mantenimiento Proactivo

Es una técnica enfocada en la identificación y de corrección de las causas que originan las fallas en los equipos, instalaciones industriales o componentes, esta técnica implementa soluciones que atacan las causas de los problemas no los efectos.

Figura 2

Mantenimiento Proactivo



Fuente: (Predictiva 21)

El mantenimiento proactivo entonces busca mejorar las tareas cotidianas y esenciales de la empresa. Identificando como, cuando y donde se originan las fallas para combatirla desde su origen. Los cuidados de los activos industriales son la clave del desempeño, estadísticamente una gran cantidad de fallas tienen su origen en labores previas del mantenimiento y en su operación inadecuada de las maquinarias, en este sentido mantener y operar proactivamente un activo asegura la eliminación de un porcentaje de problemas, en resumen, realiza mantenimiento de precisión.

2.1.6. Estrategias

Las estrategias, por su parte, son decisiones que deben tomarse entre alternativas, referidas éstas a los problemas que se desean resolver, con la finalidad de orientar las acciones individuales o colectivas a la consecución de las metas y objetivos trazados, o en su caso, la orientación definitiva de éstos: las decisiones. A las estrategias se les llama comúnmente plan de planes, debido a que cada estrategia demanda que se precisen las líneas de acción inherentes (puntos críticos como algunos autores sugieren), contenidas y/o necesarias para que ellas puedan cumplirse. (Kauffman González, 2018)

2.1.7. Camión grúa

Un camión grúa es aquel que lleva incorporado en su chasis una grúa, que se utiliza para cargar y descargar mercancías en el propio camión, o para desplazar dichas mercancías dentro del radio de acción de la grúa. Con la incorporación de una grúa en el camión se consigue una mayor independencia a la hora de la carga y descarga del material transportado, no dependiendo de maquinaria auxiliar como carretillas elevadoras (Bravo Jimenez & Castro Utria, 2012).

Figura 3
Camión grúa



Figura 4
Camión Grúa Scania 410



Figura 5
Camión Grúa MERCEDES BENZ



2.1.8. Criticidad

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación (Romero Carranza, 2013)

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Análisis RCM

Con el análisis RCM se busca evaluar la criticidad en cuanto a las fallas de equipos, mejorando la confiabilidad operacional y funcional de estos equipos e implementando prioridades en cuanto a los mantenimientos, inspecciones, ajustes, validaciones y calibraciones (Atencia Montes & Mieles Tamayo, 2022).

2.2. Marco Conceptual: Definición de términos o conceptos

- **Inspección:** actividades que se realizan en el mantenimiento preventivo, usando rutas definidas con cierta periodicidad y corta duración en el momento de revisar el equipo, máquina, donde normalmente se utilizan instrumentos de medición o los sentidos del ser humano, para verificar el buen funcionamiento del equipo, sin provocar que esto genere pararlo.

- **Disponibilidad**

La disponibilidad es un indicador de mantenimiento que nos brinda de manera porcentual la probabilidad de que un equipo bajo unas condiciones específicas y estables realice sus funciones operativas satisfactoriamente en el momento en que se requiera (Moreno Panduro, 2021), pág. 14.

Fórmula :

$$D_t = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- **Confiabilidad**

Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema realizará una función requerida sin falla, bajo condiciones de operación previamente indicadas, por un periodo de tiempo especificado.

Probabilidad: de que un producto o las partes de una máquina funcionen adecuadamente durante un tiempo especificado y en las condiciones establecidas por el diseño. Función requerida: Esto se debe definir para cada subsistema, sistema, equipo y máquina. (Vásquez, 2019, citado en (Estrada Jara, 2021), pág. 18.

Fórmula:

$$R_t = e^{-\lambda * t}$$

Dónde:

- R: confiabilidad de una máquina
- e: exponencial (2.71828)
- λ : tasa de fallas;
- $\lambda = \frac{1}{MTBF}$

- **Tiempo medio entre fallas (MTBF)**

Este indicador hace referencia al tiempo promedio donde un equipo o máquina realiza sus labores a su mejor rendimiento sin que pueda presentar alguna falla en cualquier modo que se le asigne de trabajo.

Se calcula de la siguiente manera: (Zavaleta Vera & De la Cruz Garcia, 2021), p. 27).

$$MTBF = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Nº de fallas}}$$

- **Mantenibilidad**

Mantenibilidad es definida por (Moreno Panduro, 2021) como la capacidad (o probabilidad si hablamos en términos estadísticos), bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de

tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados. (pág. 18)

- La ecuación clásica de la Mantenibilidad es:

Donde:

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu t)} \quad \mu = 1/MTTR$$

- **Tiempo Promedio de Mantenimiento (MTTR)**

Según (Sierra Fernandez, 2023) menciona que el MTTR, o Tiempo Medio de Reparación, refleja el tiempo promedio necesario para corregir una avería y restablecer el funcionamiento normal de un equipo. También conocido como Tiempo Medio de Mantenimiento Correctivo, este indicador es fundamental para evaluar la eficiencia en la solución de problemas y la prontitud en la restauración operativa.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$$

- **Registro de Mantenimiento (OT)**

Los registros de mantenimiento son las OT (Ordenes de Trabajo) para cada grúa, la cual contiene el personal encargado, piezas refaccionadas, horas hombre empleados en la reparación y la identificación de la grúa que se está reparando (Caceres Sanchez & Huamán Alfaro, 2022) p.62.

- **Frecuencia de registros**

Un aspecto muy importante para lograr una buena programación de Mantenimiento Preventivo es la fijación de las frecuencias de inspección, lo cual influye preponderantemente en los costos y economías del programa. La decisión de cuan a menudo inspeccionar es fundamentalmente un asunto experimental; la tendencia inicial es la inspección excesiva, la cual aumenta innecesariamente los costos y puede involucrar más tiempo ocioso de producción que un paro de emergencia. Sin

embargo, la subinspección produce más paros y descomposturas cuyos costos son mucho mayores que los ahorros en inspecciones. Se necesita por lo tanto un equilibrio óptimo para lograr buenos resultados (Julca Chavez, 2006), p. 23.

- **Cumplimiento del plan de mantenimiento**

Este indicador permite evaluar tanto el subproceso de planificación de mantenimiento, cuanto al subproceso de mantenimiento preventivo. Este cumplimiento se obtiene de la relación de las tareas de mantenimiento ejecutadas

Cumplimiento Plan de Mantenimiento

$$= \frac{\text{Ordenes de mantenimiento Ejecutadas}}{\text{Ordenes de mantenimiento Planificadas}} * 100$$

frente a las programadas y que han sido registradas en el sistema, solo se ha evaluado ejecución, no se incluye si fue realizada dentro o fuera de plazo (Ecurra Ramirez, 2020) p.65.

- **Costos de Mantenimiento**

Se refiere cuando la empresa tiene que proteger la inversión de sus activos y esto hace que busque a cada instante mejoras que influyan en el tiempo de vida útil de sus activos, para poder conseguirlo tiene que existir una administración (almacenar y compra de repuestos eléctricos, mecánicos y electrónicos, etc.), estos tipos de administración hacen que disminuya su utilidad y se le llama costos de mantenimiento (Galar et al, 2015, citado en Zavaleta y De la Cruz, 2021, p.28).

CAPITULO III

Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. La empresa

VELZAR INGENIERO EIRL es una empresa con sede en Lima, dedicada a prestar servicios de alquiler de camiones grúa para obras electromecánicas y civiles en el ámbito nacional. Su objetivo es ofrecer soluciones logísticas eficientes y seguras para el traslado y manejo de cargas pesadas en proyectos de construcción e infraestructura.

Cuenta con una flota de camiones grúa de diversas capacidades, adecuadas para realizar tareas complejas en terrenos difíciles y espacios reducidos. La empresa está orientada a satisfacer las necesidades específicas de sus clientes, brindando una atención personalizada y adaptada a los requerimientos de cada obra.

La empresa se distingue por su enfoque en la responsabilidad, garantizando que todos sus servicios se realicen bajo los más altos estándares de seguridad y calidad. La satisfacción del cliente es una prioridad, por lo que VELZAR INGENIERO EIRL se asegura de mantener relaciones sólidas y de confianza con sus clientes a lo largo del tiempo, lo que la convierte en una opción confiable en el sector.

Además, cuenta con un equipo de profesionales altamente capacitados y con amplia experiencia en el manejo de camiones grúa y la ejecución de proyectos logísticos complejos. El personal recibe formación continua en áreas clave como seguridad, operación de equipos pesado, asegurando que cada tarea se ejecute con eficiencia, seguridad y cumplimiento de los más altos estándares de calidad.

Tiene la capacidad de operar en todo el territorio peruano, brindando soluciones logísticas a diversas obras de gran envergadura, tanto en el sector civil como electromecánico. La empresa se adapta a las necesidades de cada proyecto, asegurando la disponibilidad y efectividad de sus camiones grúa en cualquier región del país.

3.2. Diagnostico

3.2.1. Estado Actual de los Camiones Grúa

- Número de camiones grúa: La empresa cuenta con 15 camiones grúa operativos en diversas obras electromecánicas y civiles a nivel nacional.
- Condiciones operativas: Los camiones grúa enfrentan condiciones exigentes, lo que genera un desgaste significativo en los equipos. Los problemas de mantenimiento ocurren con frecuencia, aproximadamente una vez al mes, lo que impacta la disponibilidad de los camiones y, por ende, la productividad de la empresa.

3.2.2. Tipos de Fallas Comunes y Mantenimiento Realizado

- Fallos hidráulicos: Las fugas de aceite hidráulico son comunes en las cañerías de las extensiones y en las cañerías de los estabilizadores. Estas fugas, además de causar pérdidas económicas, son un riesgo para el medio ambiente, ya que en las minas está estrictamente prohibido que haya derrames de aceite hidráulico o grasa debido a las normativas ambientales.
- Fallos eléctricos: Las averías eléctricas también ocurren con frecuencia, afectando el funcionamiento de los sistemas eléctricos del camión.
- Desgaste de llantas: Las llantas se desgastan rápidamente debido a las condiciones de trabajo, llegando incluso a reventarse. Este daño no solo es peligroso, sino que también requiere una intervención urgente, afectando la operatividad del camión. En muchas minas, el desgaste de las llantas es un factor crítico, ya que se permite un límite específico de desgaste de la cocada (un componente clave de las llantas). Si esta cocada está demasiado desgastada, el camión debe ser puesto fuera de operación hasta que se realice el reemplazo.
- Daños en las almohadillas de las extensiones de la grúa: Las almohadillas que soportan las extensiones de la grúa se desgastan debido al uso constante y deben reemplazarse cuando están excesivamente deterioradas.

- Cambio de filtros y engrase de componentes: Se realiza el cambio de filtros y el engrase de las extensiones y estabilizadores para asegurar el buen funcionamiento del equipo.
- Reemplazo de focos: Los focos quemados son reemplazados para mantener la visibilidad y seguridad durante las operaciones.
- Cambio de tapabarros: El reemplazo de tapabarros se lleva a cabo para proteger el equipo de los elementos del entorno de trabajo.

3.2.3. Procedimiento y Problemas Asociados:

- Mantenimiento reactivo: La mayoría de los mantenimientos se realizan de forma reactiva, lo que genera interrupciones en las operaciones de los camiones. Para realizar los mantenimientos, los camiones deben ser bajados de la mina, lo que causa un impacto económico y operativo significativo.
- Impacto de las fugas de aceite: Las fugas de aceite hidráulico son un problema crítico, ya que no solo generan pérdidas económicas, sino que también violan las normativas ambientales estrictas en las minas. Las fugas deben ser atendidas de inmediato para evitar sanciones o impactos negativos en el medio ambiente.
- Impacto económico y operativo: Los mantenimientos reactivos no solo interrumpen el flujo de trabajo, sino que también causan pérdidas económicas debido a la reducción de horas productivas y al costo de repuestos de emergencia. El tiempo de inactividad de los camiones es un factor clave en la caída de la productividad de la empresa.
- Disponibilidad de repuestos: Los repuestos originales de fábrica se utilizan para garantizar el rendimiento y la durabilidad de los camiones grúa. Sin embargo, en situaciones urgentes, se recurre a repuestos alternativos debido a la necesidad de actuar rápidamente, lo que puede comprometer la fiabilidad y la vida útil de los camiones.
- Capacitación del personal: Aunque el personal tiene la capacitación necesaria para enfrentar los problemas, la falta de un plan de mantenimiento preventivo bien

estructurado limita su capacidad para intervenir antes de que ocurran las fallas, especialmente en lo que respecta a la prevención de fugas de aceite y grasa.

3.2.4. Consecuencias del Enfoque Actual

- El mantenimiento reactivo y la gestión inadecuada de las fugas de aceite hidráulico y grasa han resultado en un bajo nivel de disponibilidad de los camiones, afectando el cumplimiento de plazos y generando costos adicionales por el tiempo de inactividad. Además, este enfoque de mantenimiento genera riesgos de incumplimiento de las normativas ambientales, lo que podría traer consecuencias legales o económicas para la empresa.
- La falta de un plan de mantenimiento preventivo estructurado y basado en la criticidad de los equipos limita la capacidad de la empresa para optimizar la disponibilidad de los camiones grúa y mejorar la eficiencia operativa.

3.2.5. Evaluación de la criticidad de los equipos

Previamente a proponer un plan de mantenimiento, se recopiló la información de los 15 camiones grúa de la empresa Velzar en el último año (enero- diciembre).

La información de la empresa se obtuvo de una base de datos en Excel en el cual se registra cada una de las paradas de los equipos, causas, y tiempo que demoró en volver a estar operativo. Con esta informa

Cada camión grúa tiene un contrato de trabajos por horas, por lo cual cuentan con un horómetro. Este horómetro les permite registrar las horas trabajadas y paradas por cada equipo, asimismo el tiempo de jornal de cada camión es diferente ya que trabajan en diferentes frentes de trabajo minero; esto hace que cada equipo cuente con su propia disponibilidad de acuerdo a los parámetros de sus horas trabajadas.

Después de analizar cada uno de los eventos que sufrían los camiones se encontró que la empresa solo realizaba mantenimientos correctivos lo cual no permitía que los equipos tengan una disponibilidad óptima.

Tabla 3

Cálculo del MTBF y MTTR.

| EQUIPO | Horas Totales | Número de fallas | Horas totales entre fallas | Horas totales de Reparación | MTBF | MTTR |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 2575.9 | 10 | 2501.9 | 74 | 250.2 | 7.4 |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 2315 | 6 | 2286.7 | 28.3 | 381.1 | 4.7 |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 1738.1 | 11 | 1586.5 | 151.6 | 144.2 | 13.8 |
| Camión grúa VOLVO | 2222.1 | 15 | 2026 | 196.1 | 135.1 | 13.1 |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 1949.1 | 12 | 1758.6 | 190.5 | 146.6 | 15.9 |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 2732.3 | 9 | 2664.7 | 67.6 | 296.1 | 7.5 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2016 | 3134.5 | 8 | 3085.4 | 49.1 | 385.7 | 6.1 |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 1262 | 6 | 1194.6 | 67.4 | 199.1 | 11.2 |
| Camión grúa HINO FM 700 | 1938.9 | 11 | 1731.9 | 207 | 157.4 | 18.8 |
| Camión grúa SCANIA P310 | 1440.3 | 10 | 1336.4 | 103.9 | 133.6 | 10.4 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2017 | 2337.6 | 11 | 2170.4 | 167.2 | 197.3 | 15.2 |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 2074.4 | 10 | 1991.4 | 83 | 199.1 | 8.3 |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 1842.6 | 8 | 1776.3 | 66.3 | 222.0 | 8.3 |
| CAMION GRUA SCANIA P410 XT 2018 | 1672.4 | 7 | 1583.8 | 88.6 | 226.3 | 12.7 |
| Camión grúa HINO FM 500 2016 | 2642.4 | 10 | 2516 | 126.4 | 251.6 | 12.6 |

Fuente: Elaboración propia

Explicación:

Esta tabla muestra la recopilación de datos muestra el número de fallas por cada equipo durante todo el año, además al dividir las horas totales entre fallas entre el número de fallas obtenemos el MTBF y si al dividir las horas totales de reparación podemos calcular el MTTR.

Tabla 4

Cálculo y análisis de la disponibilidad e indisponibilidad

| EQUIPO | Horas Totales | Número de fallas | MTBF | MTTR | $\lambda = 1/\text{MTBF}$ | $\mu = 1/\text{MTTR}$ | Disponibilidad (%) | Indisponibilidad |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-------|------|---------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 2575.9 | 10 | 250.2 | 7.4 | 0.0040 | 0.1351 | 97% | 3% |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 2315 | 6 | 381.1 | 4.7 | 0.0026 | 0.2120 | 99% | 1% |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 1738.1 | 11 | 144.2 | 13.8 | 0.0069 | 0.0726 | 91% | 9% |
| Camión grúa VOLVO | 2222.1 | 15 | 135.1 | 13.1 | 0.0074 | 0.0765 | 91% | 9% |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 1949.1 | 12 | 146.6 | 15.9 | 0.0068 | 0.0630 | 90% | 10% |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 2732.3 | 9 | 296.1 | 7.5 | 0.0034 | 0.1331 | 98% | 2% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2016 | 3134.5 | 8 | 385.7 | 6.1 | 0.0026 | 0.1629 | 98% | 2% |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 1262 | 6 | 199.1 | 11.2 | 0.0050 | 0.0890 | 95% | 5% |
| Camión grúa HINO FM 700 | 1938.9 | 11 | 157.4 | 18.8 | 0.0064 | 0.0531 | 89% | 11% |
| Camión grúa SCANIA P310 | 1440.3 | 10 | 133.6 | 10.4 | 0.0075 | 0.0962 | 93% | 7% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2017 | 2337.6 | 11 | 197.3 | 15.2 | 0.0051 | 0.0658 | 93% | 7% |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 2074.4 | 10 | 199.1 | 8.3 | 0.0050 | 0.1205 | 96% | 4% |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 1842.6 | 8 | 222.0 | 8.3 | 0.0045 | 0.1207 | 96% | 4% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2018 | 1672.4 | 7 | 226.3 | 12.7 | 0.0044 | 0.0790 | 95% | 5% |
| Camión grúa HINO FM 500 2016 | 2642.4 | 10 | 251.6 | 12.6 | 0.0040 | 0.0791 | 95% | 5% |

Fuente: Elaboración propia

Explicación:

Esta tabla nos permite calcular y analizar la disponibilidad y la indisponibilidad de cada uno de los equipos, ya que los equipos más críticos son aquellos en el cual la indisponibilidad es más alta.

Podemos notar que el equipo CAMION GRUA HINO FM 500 2018, CAMION GRUA VOLVO, CAMION GRUA VOLKSWAGEN 3L390 y CAMION GRUA HINO FM 700 cuenta con una indisponibilidad del 9%, 9%, 10% y 11%, esto quiere decir que sus tiempos de mantenimiento son muy prolongados a causa de los incidentes imprevistos durante su funcionamiento y la falta de una programación de inspecciones y mantenimiento.

Tabla 5

Cálculo de la Confiabilidad

| EQUIPO | Horas Totales | Número de fallas | MTBF | Jornal promedio (hr) | Tiempo esperado de no falla (1 mes) | $\lambda = 1/\text{MTBF}$ | Confiabilidad (Rt) |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 2575.9 | 10 | 250.2 | 7.16 | 214.7 | 0.0040 | 42.4% |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 2315 | 6 | 381.1 | 6.43 | 192.9 | 0.0026 | 60.3% |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 1738.1 | 11 | 144.2 | 4.83 | 144.8 | 0.0069 | 36.6% |
| Camión grúa VOLVO | 2222.1 | 15 | 135.1 | 6.17 | 185.2 | 0.0074 | 25.4% |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 1949.1 | 12 | 146.6 | 5.41 | 162.4 | 0.0068 | 33.0% |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 2732.3 | 9 | 296.1 | 7.59 | 227.7 | 0.0034 | 46.3% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2016 | 3134.5 | 8 | 385.7 | 8.71 | 261.2 | 0.0026 | 50.8% |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 1262 | 6 | 199.1 | 3.51 | 105.2 | 0.0050 | 59.0% |
| CAMION GRUA HINO FM 700 | 1938.9 | 11 | 157.4 | 5.39 | 161.6 | 0.0064 | 35.8% |
| Camión grúa SCANIA P310 | 1440.3 | 10 | 133.6 | 4.00 | 120.0 | 0.0075 | 40.7% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2017 | 2337.6 | 11 | 197.3 | 6.49 | 194.8 | 0.0051 | 37.3% |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 2074.4 | 10 | 199.1 | 5.76 | 172.9 | 0.0050 | 42.0% |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 1842.6 | 8 | 222.0 | 5.12 | 153.6 | 0.0045 | 50.1% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2018 | 1672.4 | 7 | 226.3 | 4.65 | 139.4 | 0.0044 | 54.0% |
| Camión grúa HINO FM 500 2016 | 2642.4 | 10 | 251.6 | 7.34 | 220.2 | 0.0040 | 41.7% |

Fuente: Elaboración propia

Explicación:

En esta tabla vemos el resultado al cálculo de la confiabilidad, indicador importante que va de la mano con la disponibilidad. Podemos ver también que el jornal promedio se calculó considerando 360 días laborales, esto con el fin de poder establecer el tiempo

mínimo esperado para que cada uno de los equipos no fallen. Para esta investigación se estableció 1 mes laboral.

Ejemplo: El CAMION GRUA SCANIA P410 B8X4 2014 tiene un jornal de 7.16 horas, esto nos permite establecer que en un mes trabajaría $7.16 \text{ horas} \times 30 = 214.8$ horas aproximadamente. Entonces la confiabilidad fue calculada tomando en cuenta que el equipo no debe fallar antes de las 214.8 horas, es decir, la probabilidad de que el equipo no falle antes del mes de trabajo.

Tabla 6

Cálculo de la Mantenibilidad

| EQUIPO | Número de fallas | Horas totales de Reparación | MTTR | Tiempo esperado por mantenimiento | $\mu = 1/\text{MTTR}$ | Mantenibilidad |
|-----------------------------------|------------------|-----------------------------|------|-----------------------------------|-----------------------|----------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 10 | 74 | 7.4 | 4.0 | 0.1351 | 41.76% |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 6 | 28.3 | 4.7 | 4.0 | 0.2120 | 57.18% |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 11 | 151.6 | 13.8 | 4.0 | 0.0726 | 25.19% |
| Camión grúa VOLVO | 15 | 196.1 | 13.1 | 4.0 | 0.0765 | 26.36% |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 12 | 190.5 | 15.9 | 4.0 | 0.0630 | 22.27% |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 9 | 67.6 | 7.5 | 4.0 | 0.1331 | 41.29% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2016 | 8 | 49.1 | 6.1 | 4.0 | 0.1629 | 47.89% |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 6 | 67.4 | 11.2 | 4.0 | 0.0890 | 29.96% |
| Camión grúa HINO FM 700 | 11 | 207 | 18.8 | 4.0 | 0.0531 | 19.15% |
| Camión grúa SCANIA P310 | 10 | 103.9 | 10.4 | 4.0 | 0.0962 | 31.95% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2017 | 11 | 167.2 | 15.2 | 4.0 | 0.0658 | 23.14% |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 10 | 83 | 8.3 | 4.0 | 0.1205 | 38.24% |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 8 | 66.3 | 8.3 | 4.0 | 0.1207 | 38.29% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2018 | 7 | 88.6 | 12.7 | 4.0 | 0.0790 | 27.10% |
| Camión grúa HINO FM 500 2016 | 10 | 126.4 | 12.6 | 4.0 | 0.0791 | 27.13% |

Fuente: Elaboración propia

Explicación:

Similar a la tabla de confiabilidad, para la mantenibilidad también se estableció un tiempo esperado para realizar cada mantenimiento, este tiempo se determinó considerando que cada mantenimiento preventivo que realizaremos no durará más de 4 horas, fundamentado en la experiencia de los técnicos que han realizado mantenimiento preventivo en otras entidades.

Entonces la mantenibilidad calculada es la probabilidad de que el equipo pueda ser reparado en un máximo de 4 horas. Asimismo, tal como podemos observar el MTTR de algunos equipos supera por mucho del tiempo esperado por mantenimiento, por lo cual su mantenibilidad es muy baja.

Luego de analizar las tablas 3, 4, 5 y 6 notamos que los equipos que tienen mayor indisponibilidad son los que tienen menor mantenibilidad.

Es decir, los equipos antes de la implementación del plan de mantenimiento tienen los siguientes indicadores.

Tabla 7*Indisponibilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad*

| EQUIPO | Indisponibilidad | Confiabilidad (Rt) | Mantenibilidad |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 3% | 42.4% | 41.76% |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 1% | 60.3% | 57.18% |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 9% | 36.6% | 25.19% |
| Camión grúa VOLVO | 9% | 25.4% | 26.36% |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 10% | 33.0% | 22.27% |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 2% | 46.3% | 41.29% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2016 | 2% | 50.8% | 47.89% |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 5% | 59.0% | 29.96% |
| Camión grúa HINO FM 700 | 11% | 35.8% | 19.15% |
| Camión grúa SCANIA P310 | 7% | 40.7% | 31.95% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2017 | 7% | 37.3% | 23.14% |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 4% | 42.0% | 38.24% |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 4% | 50.1% | 38.29% |
| Camión grúa SCANIA P410 XT 2018 | 5% | 54.0% | 27.10% |
| Camión grúa HINO FM 500 2016 | 5% | 41.7% | 27.13% |

Fuente: Elaboración propia

Hallando la criticidad:

Usando el Anexo N°2 se recopiló los parámetros para analizar la criticidad, obteniendo la siguiente tabla de resultados para los equipos.

Tabla 8*Criticidad de los equipos*

| EQUIPO | F | MTTR | IP | CR | IA | ISST | ISC | CONSECUENCIA | CRITICIDAD TOTAL |
|-----------------------------------|---|------|-----|----|----|------|-----|--------------|------------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 6 | 2 | 0.5 | 5 | 10 | 0 | 15 | 31 | 186 |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 6 | 2 | 0.3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20.6 | 123.6 |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 8 | 6 | 0.8 | 20 | 10 | 5 | 30 | 69.8 | 558.4 |
| Camión grúa VOLVO | 8 | 4 | 0.3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 21.2 | 169.6 |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 8 | 4 | 0.8 | 10 | 5 | 5 | 15 | 38.2 | 305.6 |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 6 | 2 | 0.3 | 5 | 5 | 0 | 5 | 15.6 | 93.6 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 6 | 2 | 0.3 | 5 | 5 | 0 | 5 | 15.6 | 93.6 |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 6 | 4 | 0.5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 27 | 162 |
| Camión grúa HINO FM 700 | 8 | 4 | 0.8 | 10 | 5 | 5 | 15 | 38.2 | 305.6 |
| Camión grúa SCANIA P310 | 6 | 4 | 0.5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 27 | 162 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 8 | 4 | 0.5 | 5 | 5 | 0 | 15 | 27 | 216 |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 6 | 4 | 0.5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 22 | 132 |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 6 | 4 | 0.3 | 5 | 0 | 0 | 5 | 11.2 | 67.2 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 6 | 4 | 0.5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 17 | 102 |
| Camión grúa HINO FM 500 | 6 | 4 | 0.5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 12 | 72 |

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

- F: Frecuencia de falla
- MTTR: Tiempo promedio para reparar la falla
- IP: Impacto sobre la producción
- CR: Costos de reparación
- IA: Impacto ambiental
- ISST: Impacto en seguridad y salud en el trabajo.
- ISC: Impacto en la satisfacción del cliente

$$\text{CONSECUENCIA} = (\text{MTTR} \times \text{IP}) + \text{CR} + \text{IA} + \text{ISST} + \text{ISC}$$

$$\text{CRITICIDAD TOTAL} = \text{CONSECUENCIA} \times \text{FRECUENCIA}$$

Jerarquización de Criticidad:

Para esta empresa se ha establecido un rango de criticidad permitida:

Tabla 9

Rango de criticidad

| RANGO DE CRITICIDAD | NIVEL DE CRITICIDAD | |
|---------------------|---------------------|---|
| < 0 ; 100] | Baja | B |
| < 100 ; 210] | Media | M |
| < 210 ; 550] | Alta | A |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Matriz de criticidad cuantitativa

| | | CONSECUENCIA | | | | |
|------------|----|--------------|-----|-----|-----|-----|
| | | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| FRECUENCIA | 10 | 150 | 250 | 350 | 450 | 550 |
| | 8 | 120 | 200 | 280 | 360 | 440 |
| | 6 | 90 | 150 | 210 | 270 | 330 |
| | 4 | 60 | 100 | 140 | 180 | 220 |
| | 2 | 30 | 50 | 70 | 90 | 110 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Matriz de criticidad cualitativa.

| | | CONSECUENCIA | | | | |
|------------|----|--------------|----|----|----|----|
| | | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| FRECUENCIA | 10 | M | A | A | A | A |
| | 8 | M | M | A | A | A |
| | 6 | B | M | M | A | A |
| | 4 | B | B | M | M | M |
| | 2 | B | B | B | B | M |

Fuente: Elaboración propia

Y con ayuda de la matriz de criticidad se ha podido establecer en qué nivel de criticidad se encuentra cada equipo antes de la implementación del plan de mantenimiento, quedando de la siguiente manera:

Tabla 12

Jerarquización de criticidad

| EQUIPO | F | CONSECUENCIA | CRITICIDAD TOTAL | JERARQUIZACION |
|-----------------------------------|---|--------------|------------------|------------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 6 | 31 | 186 | Media criticidad |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 6 | 20.6 | 123.6 | Media criticidad |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 8 | 69.8 | 558.4 | Alta criticidad |
| Camión grúa VOLVO | 8 | 21.2 | 169.6 | Media criticidad |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 8 | 38.2 | 305.6 | Alta criticidad |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 6 | 15.6 | 93.6 | Baja criticidad |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 6 | 15.6 | 93.6 | Baja criticidad |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 6 | 27 | 162 | Media criticidad |
| Camión grúa HINO FM 700 | 8 | 38.2 | 305.6 | Alta criticidad |
| Camión grúa SCANIA P310 | 6 | 27 | 162 | Media criticidad |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 8 | 27 | 216 | Media criticidad |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 6 | 22 | 132 | Media criticidad |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 6 | 11.2 | 67.2 | Baja criticidad |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 6 | 17 | 102 | Media criticidad |
| Camión grúa HINO FM 500 | 6 | 12 | 72 | Baja criticidad |

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar, tanto en la tabla 7 como en la tabla 11, los equipos que tienen más alta indisponibilidad son aquellos que tienen alta criticidad. Por lo cual nos enfocaremos en estos 3 equipos para la implementación del plan de mantenimiento, ya que sus indisponibilidades generan más impacto en el trabajo y así poder disminuir la indisponibilidad y en consecuencia optimizar la disponibilidad.

Tabla 13

Equipos con mayor indisponibilidad y criticidad.

| EQUIPO | F | CONSECUENCIA | CRITICIDAD TOTAL | JERARQUIZACION | INDISPONIBILIDAD |
|--------------------------------|---|--------------|------------------|-----------------|------------------|
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 8 | 69.8 | 558.4 | Alta criticidad | 9% |
| Camión grúa VOLKSWAGEN N 3L390 | 8 | 38.2 | 305.6 | Alta criticidad | 10% |
| Camión grúa HINO FM 700 | 8 | 38.2 | 305.6 | Alta criticidad | 11% |

Fuente: Elaboración propia

Jerarquización de Criticidad empleando el Diagrama de Pareto:

Para la aplicación del Diagrama de Pareto, y establecer una jerarquía de criticidad de los camiones grúa, se van a emplear los datos obtenidos en la Tabla 8 *Criticidad de los equipos*. Del diagrama de Pareto, con lo que, podemos identificar el 20% de unidades-problema que originan el 80% de problemas en la gestión del mantenimiento

Figura 6

Diagrama de Pareto

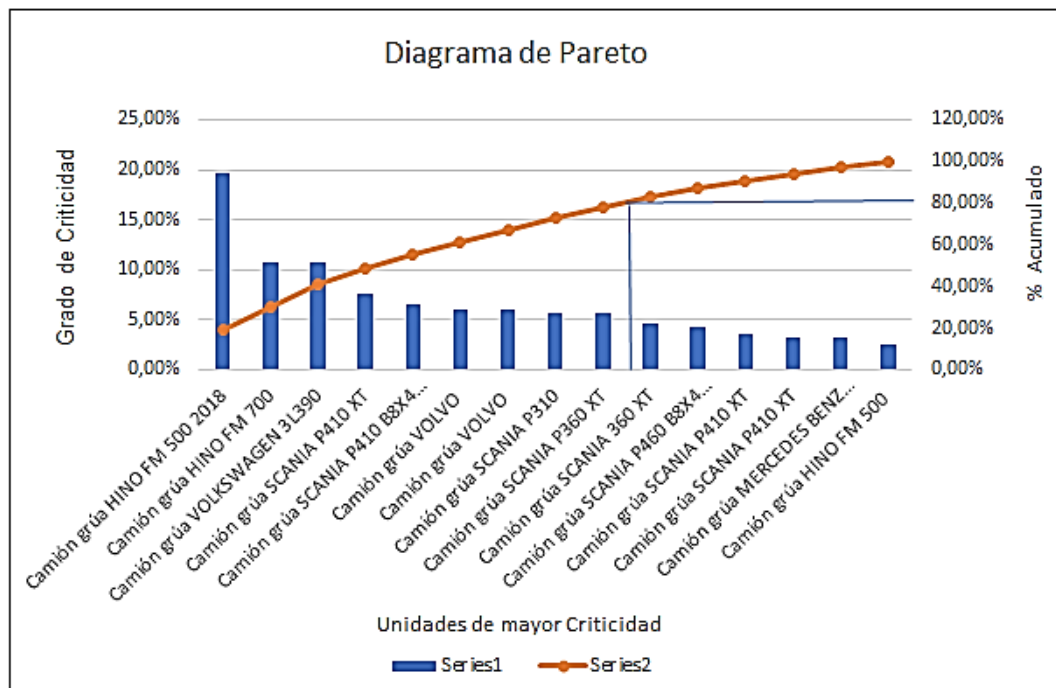


Tabla 14*Diagrama De Pareto*

| CRITICIDAD DE LOS COMPONENTES DE LOS CAMIONES GRÚA | | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------|--------|---------|
| Ítem | Designación | Rango de criticidad | % | % Acum. |
| 1 | Camión grúa HINO FM 500 2018 | 558,4 | 19,58% | 19,58% |
| 2 | Camión grúa HINO FM 700 | 305,6 | 10,72% | 30,30% |
| 3 | Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 305,6 | 10,72% | 41,02% |
| 4 | Camión grúa SCANIA P410 XT | 216,0 | 7,57% | 48,59% |
| 5 | Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 186,0 | 6,52% | 55,11% |
| 6 | Camión grúa VOLVO | 169,6 | 5,95% | 61,06% |
| 7 | Camión grúa VOLVO | 169,6 | 5,95% | 67,01% |
| 8 | Camión grúa SCANIA P310 | 162,0 | 5,68% | 72,69% |
| 9 | Camión grúa SCANIA P360 XT | 162,0 | 5,68% | 78,37% |
| 10 | Camión grúa SCANIA 360 XT | 132,0 | 4,63% | 83,00% |
| 11 | Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 123,6 | 4,33% | 87,33% |
| 12 | Camión grúa SCANIA P410 XT | 102,0 | 3,58% | 90,91% |
| 13 | Camión grúa SCANIA P410 XT | 93,6 | 3,28% | 94,19% |
| 14 | Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 93,6 | 3,28% | 97,48% |
| 15 | Camión grúa HINO FM 500 | 72,0 | 2,52% | 100,00% |

Fuente: Elaboración propia

3.3. Diseño del Plan de mantenimiento preventivo

3.3.1. Objetivo del Plan de mantenimiento

Con el diseño de este plan de mantenimiento, basado en la criticidad de los equipos, se logrará reducir los tiempos de inactividad a solo 4 horas por mantenimiento de cada equipo. Esto permitirá aumentar la disponibilidad operativa de los equipos durante los próximos 12 meses, con un impacto especialmente positivo en aquellos equipos que poseen alta criticidad.

3.3.2. Frecuencia de Mantenimiento

Basado en la jerarquización de criticidad de la tabla 11 y con ayuda del jornal promedio establecido en la tabla 5, calcularemos el número de días promedio en el que cada equipo falla, aproximándolo al inmediato superior.

Tabla 15

Equipos con mayor indisponibilidad y criticidad.

| EQUIPO | MTBF | Jornal promedio (hr) | Jerarquización | Intervalo entre fallas (días) |
|-----------------------------------|-------|----------------------|------------------|-------------------------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | 250.2 | 7.16 | Media criticidad | 35 |
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | 381.1 | 6.43 | Media criticidad | Media criticidad |
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | 144.2 | 4.83 | Alta criticidad | 30 |
| Camión grúa VOLVO | 135.1 | 6.17 | Media criticidad | 22 |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | 146.6 | 5.41 | Alta criticidad | 28 |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | 296.1 | 7.59 | Baja criticidad | 40 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 385.7 | 8.71 | Baja criticidad | 45 |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | 199.1 | 3.51 | Media criticidad | 57 |
| Camión grúa HINO FM 700 | 157.4 | 5.39 | Alta criticidad | 30 |
| Camión grúa SCANIA P310 | 133.6 | 4.00 | Media criticidad | 34 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 197.3 | 6.49 | Media criticidad | 31 |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | 199.1 | 5.76 | Media criticidad | 35 |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | 222.0 | 5.12 | Baja criticidad | 44 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | 226.3 | 4.65 | Media criticidad | 49 |
| Camión grúa HINO FM 500 | 251.6 | 7.34 | Baja criticidad | 35 |

Fuente: Elaboración propia

De esta manera podemos establecer a los equipos en 3 grupos de acuerdo a los tiempos en el que falla cada uno.

Grupo 01: Equipos de alta criticidad (fallan antes de los 30 días de trabajo)

Tabla 16

Intervalo entre fallas del grupo 01.

| EQUIPO | JERARQUIZACIÓN | INTERVALO ENTRE FALLAS (días) |
|------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Camión grúa HINO FM 500 2018 | Alta criticidad | 30 |
| Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | Alta criticidad | 28 |
| Camión grúa HINO FM 700 | Alta criticidad | 30 |

Fuente: Elaboración propia

Este grupo está compuesto por equipos que presentan una alta criticidad, con intervalos iguales o menores a 30 días. Dada su importancia dentro de las operaciones, cualquier falla en estos activos podría generar interrupciones significativas, costos elevados y riesgos operacionales.

Para minimizar estos impactos, se requiere un mantenimiento más frecuente y riguroso, orientado a la prevención de fallos inesperados. La estrategia de mantenimiento en este caso debe priorizar intervenciones programadas de corta periodicidad, el uso de inspecciones predictivas y, en algunos casos, la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para anticipar posibles averías.

Luego al analizar los tiempos de falla de los equipos de media y baja criticidad y notar que presentan superposición, se optó por agruparlos en dos subconjuntos adicionales al de alta criticidad. La clasificación se realizó en función de la dispersión de los datos y la necesidad de establecer intervalos de mantenimiento eficientes.

Grupo 02: Equipos de Media y Baja criticidad (fallan entre los 30 - 40 días de trabajo)

Tabla 17

Intervalo entre fallas del grupo 02.

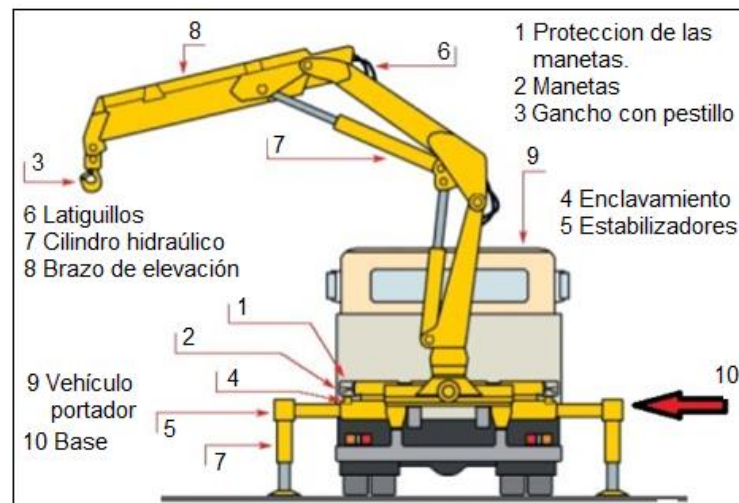
| EQUIPO | JERARQUIZACIÓN | INTERVALO ENTRE FALLAS (DÍAS) |
|-----------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | Media criticidad | 35 |
| Camión grúa VOLVO | Media criticidad | 22 |
| Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | Baja criticidad | 40 |
| Camión grúa SCANIA P310 | Media criticidad | 34 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | Media criticidad | 31 |
| Camión grúa SCANIA 360 XT | Media criticidad | 35 |
| Camión grúa HINO FM 500 | Baja criticidad | 35 |

Fuente: Elaboración propia

Este grupo agrupa equipos con intervalos de falla entre 30 y 40 días, independientemente de su clasificación de criticidad. La razón de esta agrupación es la superposición en los tiempos de falla entre equipos de media y baja criticidad, lo que dificulta establecer una división clara. Al considerar un solo grupo, se optimiza la planificación de mantenimiento, evitando intervalos innecesariamente cortos para equipos de baja criticidad o excesivamente largos para los de media criticidad

Figura 7

Componentes de la grúa de un camión grúa



Grupo 03: Equipos de Media y Baja criticidad que fallan entre los 40 - 60 días de trabajo.

Tabla 18

Intervalo entre fallas del grupo 03.

| EQUIPO | JERARQUIZACIÓN | INTERVALO ENTRE FALLAS (días) |
|-----------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | Media criticidad | 60 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | Baja criticidad | 45 |
| Camión grúa SCANIA P360 XT | Media criticidad | 57 |
| Camión grúa VOLVO FMX 2016 | Baja criticidad | 44 |
| Camión grúa SCANIA P410 XT | Media criticidad | 49 |

Fuente: Elaboración propia

Este grupo está conformado por equipos cuya frecuencia de falla es superior a 40 días, lo que indica un menor desgaste y una menor necesidad de intervenciones constantes en comparación con los equipos del Grupo 2. La diferencia clave con este grupo radica en que, aunque algunos equipos sean de media criticidad, sus tiempos de falla prolongados permiten que el mantenimiento se programe con menor frecuencia, sin comprometer la disponibilidad operativa.

La clasificación en esta categoría busca optimizar los recursos de mantenimiento, asegurando que las intervenciones se realicen en intervalos adecuados, evitando tanto mantenimientos innecesarios como riesgos por fallas inesperadas.

Ya que tenemos el tiempo en el que falla cada equipo, estableceremos que los mantenimientos se realicen al 90% del tiempo de falla estimado en días. Esto nos permite anticiparnos a las fallas con un margen de seguridad adecuado. Programar el mantenimiento demasiado pronto (por ejemplo, al 70%) generaría costos innecesarios por intervenciones prematuras, mientras que hacerlo demasiado tarde (95-98%) aumentaría el riesgo de fallas inesperadas y costos correctivos. El 90% representa un punto óptimo, maximizando la disponibilidad del equipo sin comprometer su confiabilidad ni incurrir en

gastos excesivos. Obteniendo así las frecuencias que usaremos para implementar el plan de mantenimiento por equipo:

Tabla 19

Frecuencia de mantenimiento.

| ITEM | EQUIPO | JERARQUIZACIÓN | FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO |
|----------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------|
| GRUPO 01 | Camión grúa HINO FM 500 2018 | Alta criticidad | 27 |
| | Camión grúa VOLKSWAGEN 3L390 | Alta criticidad | 25 |
| | Camión grúa HINO FM 700 | Alta criticidad | 27 |
| GRUPO 02 | Camión grúa SCANIA P410 B8X4 2014 | Media criticidad | 32 |
| | Camión grúa VOLVO | Media criticidad | 20 |
| | Camión grúa MERCEDES BENZ ACTROS | Baja criticidad | 36 |
| | Camión grúa SCANIA P310 | Media criticidad | 31 |
| | Camión grúa SCANIA P410 XT | Media criticidad | 28 |
| | Camión grúa SCANIA 360 XT | Media criticidad | 32 |
| | Camión grúa HINO FM 500 | Baja criticidad | 32 |
| GRUPO 03 | Camión grúa SCANIA P460 B8X4 2014 | Media criticidad | 54 |
| | Camión grúa SCANIA P410 XT | Baja criticidad | 41 |
| | Camión grúa SCANIA P360 XT | Media criticidad | 51 |
| | Camión grúa VOLVO FMX 2016 | Baja criticidad | 40 |
| | Camión grúa SCANIA P410 XT | Media criticidad | 44 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Actividades de Mantenimiento Preventivo.

Enfoqué un mantenimiento estructurado que abarca los sistemas mecánico, hidráulico, eléctrico y de seguridad, con acciones programadas que aseguran el rendimiento óptimo de cada componente.

A continuación, se detalla las actividades a realizar, basado en las necesidades específicas del equipo y en buenas prácticas de mantenimiento industrial.

Tabla 20

Actividades de mantenimiento.

| ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO | | |
|------------------------------|--|--|
| Área | Actividad | Descripción |
| Mecánica | Cambio de aceite y filtro | Reemplazo de aceite y filtro para garantizar el buen funcionamiento del motor. |
| | Cambio de filtro de combustible | Prevención de obstrucciones en el sistema de inyección. |
| | Cambio de filtro separador de agua | Eliminación de impurezas para evitar daños en el motor. |
| | Cambio de filtro de aire (primario y secundario) | Garantizar la correcta combustión y evitar ingreso de partículas contaminantes. |
| Hidráulica | Inspección y engrase del sistema de grúa | Lubricación de las extensiones y estabilizadores para prevenir desgaste prematuro. |
| | Revisión y ajuste de mangueras hidráulicas | Verificación de fugas en cañerías de extensiones y estabilizadores. |
| | Cambio de aceite hidráulico y filtro de retorno | Sustitución para mantener la eficiencia del sistema hidráulico. |
| | Revisión y ajuste de pernos del motor de giro de la grúa | Prevenir desajustes que generen fugas o fallas en la rotación. |
| Eléctrica | Inspección y cambio de focos | Verificación de luces de trabajo y reemplazo de focos quemados. |
| | Inspección del sistema eléctrico | Revisión de cableado, conexiones y funcionamiento de luces e indicadores. |
| Auxiliar | Medición de cocada de llantas | Evaluar el desgaste y cambiar si es necesario para cumplir normativas. |
| | Cambio de llantas en caso de desgaste crítico | Reemplazo preventivo de llantas en mal estado. |
| | Lavado y engrase general del camión | Eliminación de residuos y suciedad acumulada. |
| | Cambio de tapabarros si presenta desgaste o daño | Mantener la protección contra elementos externos. |
| | Revisión y regulación de frenos | Ajuste del sistema de frenado para garantizar un desempeño óptimo. |
| | Inspección visual del chasis y barandas | Verificación de daños estructurales o corrosión. |
| | Verificación de accesorios (eslingas, grilletes, tacos de polietileno, etc.) | Confirmar la disponibilidad y estado de accesorios de izaje. |

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Asignación de Recursos

Para la correcta implementación del plan de mantenimiento preventivo, es fundamental contar con los recursos adecuados en términos de personal, herramientas, repuestos y materiales. A continuación, se detallaré los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades planificadas:

1. Personal Técnico

El mantenimiento será ejecutado por un equipo de técnicos especializados en las diferentes áreas involucradas:

- Mecánica: Técnicos especializados en motores, filtros y sistemas de combustión. (02 técnicos)
- Hidráulica: Personal capacitado en sistemas de presión, mangueras y bombas hidráulicas. (02 técnicos)
- Eléctrica: Técnicos con conocimientos en cableado, conexiones y sistemas de iluminación. (01 técnico)
- Auxiliar: Personal encargado de inspecciones estructurales y operativas. (02 técnicos)
- Supervisión y Control: Responsable de coordinar y asegurar la correcta ejecución del mantenimiento en el tiempo establecido (01 supervisor)

2. Herramientas y Equipo

Para la ejecución de las actividades de mantenimiento, se requiere contar con las siguientes herramientas y equipos:

- Mecánica: Llaves ajustables, torquímetros, extractores, juego de destornilladores, gato hidráulico.
- Hidráulica: Bombas de engrase, manómetros, herramientas de corte para mangueras, probadores de presión.
- Eléctrica: Equipos de diagnóstico eléctrico, multímetros, pinzas amperimétricas, probadores de continuidad.

- Auxiliar: Equipos de elevación y seguridad (eslingas, grilletes, tacos de polietileno, etc.), equipos de protección personal (EPP), señalización, conos de seguridad, instrumentos de medición para desgaste de llantas, calibración de frenos, presión hidráulica y consumo eléctrico.

3. Repuestos y Materiales

Para garantizar la operatividad de los equipos sin interrupciones, se debe mantener un inventario de repuestos críticos, tales como:

- Filtros: Aceite, combustible, separador de agua y aire.
- Lubricantes y Fluidos: Aceites para motor e hidráulico, grasas especializadas.
- Componentes hidráulicos: Mangueras, conexiones, válvulas.
- Componentes eléctricos: Focos, cables, fusibles, sensores.
- Elementos de seguridad: Llantas de reemplazo, tapabarros, frenos.

4. Gestión de Suministros y Proveedores

- Mantener un inventario actualizado de repuestos críticos para evitar retrasos en las intervenciones.
- Identificar y mantener contacto con proveedores confiables, asegurando tiempos de entrega óptimos.
- Establecer una planificación de compras que permita la reposición oportuna de materiales.
- Implementar un sistema de registro para el control de stock y consumo de repuestos.

3.3.5. Asignación de tiempo para el mantenimiento

De acuerdo a la experiencia obtenida en la empresa y las conversaciones con los técnicos de cada área, se ha diseñado un cronograma optimizado que distribuye estratégicamente las actividades y tiempos de ejecución. Con un equipo conformado por 2 mecánicos, 2 hidráulicos, 1 eléctrico y 2 auxiliares, se garantiza que cada tarea se realice de manera eficiente y coordinada, permitiendo completar todo el mantenimiento en un

máximo de 4 horas. Esta planificación asegura que cada especialista aproveche al máximo su tiempo, optimizando recursos y manteniendo un alto estándar de calidad en el servicio.

Tabla 21

Tiempos para el mantenimiento

| Hora | Actividad | Personal Asignado | Tiempo Estimado |
|--------------------|---|--------------------------------|------------------------|
| 0:00 - 1:00 | Cambio de aceite y filtros (aceite, combustible, separador de agua, aire) | Mecánicos (2) | 60 min |
| | Inspección y engrase del sistema de grúa | Hidráulicos (2) | 60 min |
| | Inspección del sistema eléctrico (focos y cableado) | Eléctrico (1) | 60 min |
| | Medición de cocada de llantas + Verificación de accesorios de izaje | Auxiliares (2) | 60 min |
| 1:00 - 2:00 | Revisión y ajuste de mangueras hidráulicas | Hidráulicos (2) | 30 min |
| | Cambio de focos y revisión de cableado | Eléctrico (1) | 30 min |
| | Cambio de llantas (si es necesario) | Auxiliares (2) + Mecánicos (2) | 60 min |
| 2:00 - 3:00 | Cambio de aceite hidráulico y filtro de retorno | Hidráulicos (2) | 40 min |
| | Lavado y engrase del camión | Auxiliares (2) | 40 min |
| | Revisión y regulación de frenos | Mecánicos (2) | 40 min |
| 3:00 - 4:00 | Revisión y ajuste de pernos del motor de giro | Hidráulicos (2) | 30 min |
| | Cambio de tapabarros (si es necesario) | Auxiliares (2) | 30 min |
| | Inspección visual del chasis y barandas | Mecánicos (2) | 30 min |
| | Verificación de accesorios de izaje | Eléctrico (1) + Auxiliares (2) | 30.min |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

Discusión de Resultados

4.1. Introducción

En este apartado se exponen y examinan las expectativas que surgen tras el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo, fundamentado en la importancia de los camiones grúa pertenecientes a VELZAR INGENIERO EIRL. La finalidad es mejorar la disponibilidad de todas las unidades, subrayando que los mayores beneficios se prevén para aquellos equipos considerados como más críticos.

Se empleará el estudio de criticidad, que es un enfoque que ayuda a determinar la importancia o el orden de prioridad de procesos, sistemas y equipos. Esto genera una organización que apoya la realización de decisiones efectivas y precisas, enfocando los esfuerzos y recursos en los sectores donde es más crucial y/o urgente aumentar la confiabilidad operacional, fundamentada en la situación vigente.

4.2. Análisis cuantitativo

Entre los beneficios técnicos producto de la mejora se puede decir que son los siguientes:

- La disminución de los desperfectos en la maquinaria de la compañía facilita la continuidad en las actividades de producción.
- Ofrece una visión completa de todas las tareas y operaciones de mantenimiento que se llevan a cabo en la maquinaria. Un mantenimiento preventivo organizado y adecuado respalda el funcionamiento eficaz de los procesos productivos de los camiones grúa.
- Con la optimización de las tareas de mantenimiento, se fomenta una buena relación y comunicación entre el departamento de producción y el de mantenimiento de la empresa, así como un uso eficiente de todos los recursos. Esto permite maximizar de manera adecuada y oportuna el trabajo de cada miembro del personal.

- La mejora de los procesos de mantenimiento ayudará a crear enfoques mucho más eficientes y sencillos para llevar a cabo cada uno de sus procedimientos.

4.3. Beneficio técnico y/o económico esperado de la Mejora

Se puede decir que los siguientes beneficios técnicos que se presentan vienen ser producto de la mejora:

- Facilita la incorporación de todas las acciones y tareas de Mantenimiento que se llevan a cabo en los camiones grúa de la compañía. Asimismo, una gestión eficaz y ordenada representa un respaldo significativo para la ejecución de los procesos productivos de los camiones grúa.
- La disminución en la cantidad de fallos de las máquinas permite acortar los tiempos necesarios para completar sus jornadas de producción, ya que se minimizan las interrupciones durante las labores, y ayuda a asegurar que se respeten los plazos establecidos para cada etapa de trabajo.
- La organización y programación de las tareas de mantenimiento precisa un ordenamiento y sistematización que garantice la atención adecuada de cada una de las máquinas, además de realizarlo en el tiempo oportuno.
- La implementación de estrategias mucho más eficientes y organizadas para llevar a cabo cada uno de los procedimientos de mantenimiento, hará que éste sea más productivo.
- Al optimizar los procesos, se establece una excelente conexión y diálogo entre las distintas áreas y utilización de recursos, lo que permitirá un adecuado aprovechamiento de las habilidades de cada trabajador.

4.4. Relación Beneficio/Costo

Análisis del beneficio económico de la propuesta:

El costo de trabajar el desarrollo del plan de mantenimiento, resulta bastante económico, considerando que, con la economía de tiempo perdido por

paralizaciones de la producción por causa de fallos de la maquinaria, se va a reducir significativamente. Al encontrarse en buenas condiciones de operatividad la maquinaria, esta situación incidirá en el mejoramiento de la calidad de la producción y además se reducirá el tiempo de los procesos productivos de la misma maquinaria.

No se puede realizar una evaluación económica precisa y puntual de la mejora, en razón de que no se dispone de datos económicos producto de la aplicación de la presente propuesta, por ser decisión de la empresa su aplicación.

En cuanto a la relación de costo – beneficio es el siguiente:

$$C/B = \frac{\text{Ingresos totales netos}}{\text{Costos totales}}$$

Dado que no se dispone de datos exactos sobre los gastos de producción, no es posible calcular la relación C/B; no obstante, podemos considerar que este indicador podría estar entre 1. 5 y 1. 7. Si se sitúa dentro de esos límites, dado que es superior a 1, podríamos concluir que la compañía se mantendrá rentable en el futuro cercano.

Además, como parte del análisis, podemos afirmar que, por cada sol invertido en la compañía, se espera un retorno de entre 0,5 y 0,7 soles.

4.5. Discusión de Resultados

El objetivo de esta investigación fue diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en la criticidad de los camiones grúa de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL para optimizar su disponibilidad operativa. Los resultados que se esperan de su aplicación, evidenciarán un impacto positivo en la disponibilidad de los equipos de acuerdo al siguiente análisis:

1. El plan de mantenimiento que se presenta en el presente trabajo, muy similar al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) según el *Centro de formación técnica para la industria* (industria, 2021) nos señala las siguientes ventajas:
 - Aumento en la eficiencia. Se enfoca exclusivamente en la administración del sistema, aumentando el rendimiento a través de la eliminación de fallos, incrementando la utilización de los recursos al evitar errores y disminuyendo las razones para el mantenimiento.
 - Disminución de los gastos de mantenimiento al prevenir fallos no deseados antes de que ocurran.
 - Mejoramiento de la eficiencia laboral. Al gestionar el sistema de manera efectiva y reducir cualquier fallo inesperado, se incrementa la satisfacción del cliente y se eleva la confiabilidad.
 - Sustitución de activos. Esta táctica de mantenimiento disminuye la probabilidad de fallos inesperados en maquinarias o activos, ya que asegura el correcto funcionamiento de un activo específico y reduce todas las vías posibles para que ocurran fallos.
2. Se espera que la implementación del plan de mantenimiento preventivo genere una mejora en la disponibilidad de los equipos, cumpliéndose el objetivo general del presente trabajo:

Considerando el hallazgo reportado por (Zavaleta Vera & García.Edwin, 2021) quienes concluyeron que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM incrementó la disponibilidad de la maquinaria pesada

en un 10%. De manera similar, (Moreno Osorio, 2021) evidenció un incremento del 2.7% en la disponibilidad operativa de montacargas tras la aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo. También se evidencio un incremento de la disponibilidad de 58% a 82% para el equipo Caterpillar modelo 772 y del 79% a 90% para el equipo Caterpillar modelo 988H. (Reyes Córdova, 2021) , para un molino de bolas en un 7.1%. De esta manera similar, asumimos que los resultados de la presente investigación mostrarán que la implementación del plan de mantenimiento preventivo generará una mejora en la disponibilidad de los equipos, validando así el cumplimiento del objetivo general.

El resultado del presente trabajo será congruente con lo planteado por (Crespo Barro & Fernandez Valverde, 2020), quienes determinaron que la identificación de los equipos críticos y la aplicación de estrategias específicas de mantenimiento pueden contribuir a la reducción de costos y al aumento de la disponibilidad en flotas vehiculares. Esto respalda la importancia del análisis de criticidad realizado en el presente estudio.

CONCLUSIONES

1. Se puede decir que se cumplió con el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base a la criticidad, para optimizar la disponibilidad de los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL. De acuerdo al análisis de otras investigaciones (Ítem 4.5) estimamos que, en una apreciación pesimista, la disponibilidad presentará una mejora de un 7%. Esta mejora va a evidenciar que una gestión eficiente del tiempo de mantenimiento es una condición clave para garantizar la operatividad y continuidad de los equipos en el entorno productivo.
2. El estudio y análisis crítico del desempeño de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, ha permitido identificar los equipos con menor disponibilidad. Y de esta manera diseñar estrategias de mantenimiento a fin de priorizar la atención de los equipos de mayor situación crítica para maximizar la eficiencia operativa.
3. La determinación de los parámetros de funcionamiento de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, ha permitido establecer la estrategia de diseño de un cronograma estructurado de mantenimiento basado en la optimización de tareas y la asignación eficiente de personal. Mediante el estudio de tiempos y movimientos, con una holgura suficiente, estimamos que el tiempo total de actividades de mantenimiento por unidad de máquina, se reduzca a 4 horas, distribuyendo actividades como cambio de aceite, inspección de sistemas hidráulicos y eléctricos, ajuste de frenos y engrase. Esta planificación va a permitir no solo disminuir los tiempos de intervención, sino también mejorar la coordinación entre mecánicos, hidráulicos y auxiliares, evitando demoras y aumentando la efectividad de las tareas realizadas.
4. La priorización de estos equipos de la empresa, dentro de un cronograma específico y detallado, es una estrategia efectiva, alineada con estudios previos que destacan la necesidad de atender primero los activos más críticos para maximizar la eficiencia operativa. La mayor disponibilidad se va a traducir en una reducción de

los tiempos de inactividad y una mejora en la productividad del equipo. Comparado con estudios previos, donde estrategias similares lograron incrementos de hasta el 10%, los resultados obtenidos aseguran la viabilidad y efectividad del modelo aplicado en el presente caso específico.

(Jaimes Martinez & Lopez Ortega, 2020) (Zavaleta Vera & García.Edwin, 2021)

RECOMENDACIONES

1. Con respecto al objetivo general para mantener y seguir mejorando la disponibilidad de los equipos, se recomienda implementar un sistema de monitoreo en tiempo real que permita identificar fallas antes de que ocurran y programar mantenimientos preventivos con mayor precisión. Además, es clave seguir optimizando el cronograma de mantenimiento correctivo mediante la recopilación de datos históricos y la capacitación continua del personal técnico.
2. Con respecto al primer objetivo específico dado que los equipos con menor disponibilidad inicial fueron los que más se beneficiaron del mantenimiento correctivo optimizado, se recomienda realizar una reevaluación periódica de criticidad cada seis meses. Esto permitirá actualizar la priorización de equipos y ajustar el plan de mantenimiento en función de su desempeño real, evitando que los equipos más críticos vuelvan a experimentar una disminución en disponibilidad.
3. Con respecto al segundo objetivo específico para garantizar la eficiencia del cronograma de actividades y seguir reduciendo los tiempos de mantenimiento, se recomienda la implementación de herramientas de gestión digital, como software de planificación de mantenimiento (CMMS). Esto permitirá programar tareas con mayor precisión, asignar recursos de manera óptima y mejorar la comunicación entre el equipo técnico, minimizando aún más los tiempos improductivos.
4. Con respecto al tercer objetivo específico para evaluar de manera más precisa el impacto de la estrategia implementada, se recomienda establecer indicadores clave de desempeño (KPIs) como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR). Además, se sugiere realizar un análisis de costos para medir el retorno de inversión del nuevo plan de mantenimiento y justificar futuras mejoras en la gestión de equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anzola, J. (2015). Mantenimiento preventivo. Obtenido de <https://prezi.com/8rtgf7mbcjmd/mantenimiento-preventivo/>
- Atencia Montes, L. M., & Mieles Tamayo, J. M. (2022). Planteamiento de Activiades y Procedimientos de Mantenimiento en Equipos Biomedicos en Analisis RCM. (U. d. Antioquia, Ed.) *Universidad de Antioquia*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/12efd940-9396-46d3-9f34-b9586cb05810/content
- Botero Guerra, C. (1993). Manual de Mantenimiento. Parte V:Mantenimiento prventivo. *Sena. Sistema de bibliotecas, 47*. Obtenido de <https://doi.org/10.23850/22565035.1188>
- Bravo Jimenez, H., & Castro Utria, L. (2012). Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa INSER SAS. (U. T. BOLÍVAR, Ed.) *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063129.pdf
- Bringas Contreras, J. C. (2020). Propuesta de mejora mediante un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la rentabilidad de la empresa de transportes Aranda S.A.C. (U. P. Norte, Ed.) Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24577/Bringas%20Contreras%20Juan%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- C., B. G. (1993). Manual de Mantenimiento. (S. N. Aprendizaje, Ed.) doi:<https://doi.org/10.23850/22565035.1188>
- Caceres Sanchez, C. K., & Huamán Alfaro, J. (2022). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de las grúas hidráulicas articuladas de la empresa corporación el marvi s.a.c. *Universidad Nacional del Callao*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7109>
- Crespo Barro, P., & Fernandez Valverde, M. (2020). Diseño de un plan de mantenimiento para la flota de vehículos de la enpresa AGROSAD C. LTADA. (U. P. Cuenca, Ed.) Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18705/1/UPS-CT008751.pdf

Duran Carpio, B. C. (2023). mplementacion de un plan de mantenimiento preventivo para mejorrla disponibilidad en una maquina perforadora Geo 3000 de una empresa perforadora en Peru . (U. T. Peru, Ed.) Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/8153/B.Duran_M.Vizcarra_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Escurra Ramirez, P. B. (2020). Aplicación del mantenimiento preventivo como mejora en el proceso de producción de empresas industriales: una revisión sistemática. (U. p. norte, Ed.) *Universidad privada del norte*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/26399>

Estrada Jara, C. E. (2021). Propuesta e implementacion de un progtama de mantenimiento bajo la metodologia RCM para incrementar los niveles de disponibilidad en la flota excavadoras modelo CAT 349D2L en la empresa SERVISAP SRL . (U. T. Perú, Ed.) *Universidad Teconologica del Perú*. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UTPD_544c993d6e3f31ad9f878ed7a4a63d5c/Details

Hernández Cotrina, J. M. (2023). Mantenimiento preventivo de las maquinarias en el Molino Galán EIRL, Guadalupe. . *Revista Ingeniería*, (7), 365. doi:<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v7i19.113>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Mrtodologia de la investigacion*. México D.C.: Mc Graw Hill.

INACAP. (2005). Mantenimiento Operacional. *ENDESA*(0001). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/375277250/Mantenimiento-Operacional#:~:text=Es%20el%20conjunto%20de%20acciones,sistema%20y%2Fo%20equipo%20l>

industria, C. d. (2021). Qué es el mantenimiento centrado en la confiabilidad. *Centro de formacion tecnica para la industria*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/>

Jaimes Martinez, M., & Lopez Ortega, E. (2020). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo y analisis de criticidad para la empresa YILCOQUE S.A.S. (U. F.

- Santander, Ed.) Obtenido de
<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/4404?show=full>
- Jiménez, K. y. (2006). *Planificación y gestión del mantenimiento industrial. Un enfoque estratégico y operativo*. Caracas Venezuela: Panapo.
- Julca Chavez, L. A. (2006). Propuesta de implementación TPM para incrementar la eficiencia total de equipos en el área de Mantenimiento de la Empresa Agroindustrial Virú S.A. *Universidad privada Anterior Orrego*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/8301>
- Kauffman González, S. (2018). ACERCA DE LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y. *i.i.e.s.c.a*. Obtenido de <https://www.uv.mx/iiesca/files/2013/01/planeacion2002-2.pdf>
- Moreno Osorio, D. S. (2021). Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la confiabilidad en una flota de tractores de una empresa minera. (U. C. Vallejo, Ed.) Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/77564>
- Moreno Panduro, E. B. (2021). Diseño e implementación de un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad en una flota de alquiler de equipos de elevación de carga. (U. N. Callao, Ed.) *Universidad Nacional del Callao*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcgclclefindmkaj/https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7335/FIME%20TS%20%20MORENO%20PANDURO%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. (A. LLC, Ed.) Obtenido de <https://es.scribd.com/document/399048691/1-Libro-RCM-J-Moubray-pdf>
- Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagomez Páucar, A. (2013). *Metodología de la investigación Científica - Cualitativa y Redacción de la tesis* (Tercera ed.). Perú: Ediciones de la U.
- Reyes Córdova, J. (2021). Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) de un molino de barras de 10'-8"x16' para reducir costos de mantenimiento de una empresa minera. (U. N. Callao, Ed.) Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7047>
- Romero Carranza, J. L. (2013). Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería*. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5311/fichero/PORTADA.pdf

s.f. (2020). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Sierra Fernandez, C. (2023). Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras. *Universidad Canabria*.

Stoner, J. A. (1989). *Administración*. México: Prentice Hall, Hispanoamericana, S.A.

Zavaleta Vera, A., & García, Edwin, D. I. (2021). Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para incrementar la disponibilidad de las maquinarias pesadas de la empresa Ingenieros Contratistas E.I.R.L. (U. C. Vallejo, Ed.) Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84912?locale-attribute=es>

ANEXOS

| | | |
|---------|---|---|
| ANEXO 1 | Matriz de Consistencia..... | 1 |
| ANEXO 2 | Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad..... | 2 |

ANEXO 1
Matriz de Consistencia

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES |
|---|--|--|---|
| Problema principal <ul style="list-style-type: none"> ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, permitirá optimizar la disponibilidad de los camiones grúa, en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL? | Objetivo principal <ul style="list-style-type: none"> Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, para optimizar la disponibilidad de los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL | Hipótesis principal <ul style="list-style-type: none"> El diseño de un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, permitiría optimizar la disponibilidad de los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL | <u>Variable independiente</u> “Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, en base a la criticidad, para los camiones grúa en la empresa VELZAR INGENIERO EIRL” |
| Problemas secundarios <ol style="list-style-type: none"> ¿Como Identificar a los equipos que requieren mantenimiento preventivo en la empresa estudiar y analizar el desempeño de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL? ¿Cómo hacer para establecer estrategias de mantenimiento para la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL?, ¿Cómo proceder para optimizar la disponibilidad de la maquinaria de, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL? | Objetivo específico <ol style="list-style-type: none"> Estudiar y analizar el desempeño de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL para Identificación de los equipos que requieren mantenimiento preventivo Determinar los parámetros de funcionamiento de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, para establecer estrategias de mantenimiento. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base a la criticidad de criticidad, para la maquinaria de, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, para optimizar su disponibilidad. | Hipótesis secundarias <ol style="list-style-type: none"> El estudio y análisis del desempeño de la maquinaria de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL facilitaría la Identificación de los equipos que requieren mantenimiento preventivo La determinación de los parámetros de funcionamiento de la maquinaria, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL posibilitaría el establecimiento de estrategias de mantenimiento. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en base a la criticidad de criticidad, para la maquinaria de, la empresa VELZAR INGENIERO EIRL, contribuiría a la optimización de su disponibilidad. | <u>Variable Dependiente</u> “Optimizar la disponibilidad de los camiones grúa de la empresa VELZAR INGENIERO EIRL” |

ANEXO 2

Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad

PONDERACIONES DE LOS PARAMETROS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD

| 1. FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla) | Puntaje |
|--|----------------|
| Una vez al año | 2 |
| Entre 2 y 5 veces al año | 4 |
| Entre 6 y 10 veces al año | 6 |
| Entre 11 y 20 veces al año | 8 |
| Más de 20 veces al año | 10 |
| 2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR) | Puntaje |
| Menos de 1 día | 2 |
| Entre 2 y 4 días | 4 |
| Entre 4 y 10 días | 6 |
| Entre 10 y 15 días | 8 |
| Más de 15 días | 10 |
| 3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION (Por el número de fallas al año F) | Puntaje |
| No afecta a la producción | 0,05F |
| 25% de impacto | 0,3F |
| 50% de impacto | 0,5F |
| 75% de impacto | 0,8F |
| La afecta totalmente | 1F |
| 4. COSTOS DE REPARACION | Puntaje |
| Menos de 500 soles | 3 |
| Entre 500 y 3500 soles | 5 |
| Entre 3500 y 8000 soles | 10 |
| Más de 8000 soles | 20 |
| 5. IMPACTO AMBIENTAL | Puntaje |
| No origina ningún impacto ambiental | 0 |
| Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta | 5 |
| Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta | 10 |
| Contaminación ambiental alta, incumpliendo de normas, quejas de la comunidad | 20 |
| 6. IMPACTO EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO | Puntaje |
| No origina heridas ni lesiones | 0 |
| Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes | 5 |
| puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad entre 1 y 30 días | 10 |
| Puede ocasionar lesiones o heridas con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente. | 20 |
| 7. IMPACTO EN LA SATISFACCION DEL CLIENTE (Área de la planta a las cuales se le suministran los servicios industriales) | Puntaje |

PONDERACIONES DE LOS PARAMETROS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD

| | |
|---|----|
| No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta | 0 |
| Puede ocasionar pérdidas económicas hasta 6 SALARIOS MINIMOS | 5 |
| Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 6 y menores de 30 SALARIOS MINIMOS | 15 |
| Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 30 SALARIOS MINIMOS | 30 |