



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**“PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE
CARGADORES FRONTALES DE LA EMPRESA
IMPALA TERMINALS PERU SAC LIMA 2025”**

Trabajo de suficiencia profesional para optar al título
profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Andy William Culqui Trujillo

Asesor:


Mg. Ing. Margeo Javier Chuman Lopez

<https://orcid.org/0000-0002-4038-7591>

Lima - Perú

2025

Informe de Similitud

 Page 2 of 83 - Integrity Overview Submission ID (mch): 1:5270476382




18% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 8 words)

Top Sources

- 16%  Internet sources
- 6%  Publications
- 10%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, pilar fundamental a lo largo de mi formación profesional y personal. A mis padres, por inculcarme desde temprana edad los valores del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia; a mi esposa, por su compañía incondicional y fortaleza en los momentos más exigentes de este camino, y a mi hijo, quien con su sola existencia me impulsa a seguir creciendo como profesional y ser humano. Cada logro alcanzado refleja el respaldo silencioso y constante que siempre me han brindado.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de este trabajo. A mi familia, por ser mi soporte emocional en todo momento; a mis colegas y compañeros de Impala Terminals Perú S.A.C., por compartir su experiencia, colaboración y compromiso con la mejora continua, lo cual ha sido clave para el desarrollo de esta implementación. También agradezco a mis docentes y asesores de la Universidad Privada del Norte, quienes, con su guía académica y exigencia profesional, contribuyeron a consolidar mis competencias. Este logro representa el resultado de años de esfuerzo, aprendizaje y convicción por hacer mejor las cosas.

Tabla de contenido

Índice de tablas	6
Índice de Figuras.....	7
Índice de ecuaciones	8
RESUMEN EJECUTIVO.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	14
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	18
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	31
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS	71
ANEXOS	74

Índice de tablas

Tabla 1 Registros de datos de los equipos de Impala Terminals Perú SAC.....	32
Tabla 2 Registro técnico de cargadores frontales con distribución según criticidad (Julio – Diciembre 2023).....	33
Tabla 3 Impacto económico de la baja disponibilidad	34
Tabla 4 Matriz de priorización de causas raíz	36
Tabla 5 Evaluación de herramienta de solución.....	38
Tabla 6 Programa de Capacitación Técnica – Implementación del RCM	57
Tabla 7 Resumen de indicadores de disponibilidad después de la implementación del RCM	63
Tabla 8 Resultados del impacto económico antes vs después del RCM.....	63
Tabla 9 Costos de la implementación del RCM.....	65
Tabla 10 Flujo de cajas económico	66

Índice de Figuras

Figura 1 Disponibilidad de la maquinaria de Impala Terminals entre Julio- Diciembre 2023	31
Figura 2 Diagrama de ishikawa con las causas que generan la baja disponibilidad.....	36
Figura 3 Diagrama de Pareto con las causas priorizadas.....	38
Figura 4 Cronograma de implementación del RCM	41
Figura 5 Análisis de criticidad realizado a los cargadores frontales	43
Figura 6 AMEF ejecutado en los cargadores frontales.....	45
Figura 7 Registro firmado del Programa Semanal de Mantenimiento Preventivo ejecutado en cargadores frontales - Semana del 25 al 30 de marzo de 2024 (equipo CF-966H-02)	47
Figura 8 Evidencia del mantenimiento preventivo ejecutado por el técnico.....	48
Figura 9 Formato de Inspección Mensual Técnica aplicado al cargador CF-966H-02 – Abril 2025.....	50
Figura 10 Evidencia fotográfica de la inspección técnica mensual realizada al cargador frontal CF-966H-02	51
Figura 11 Orden de trabajo del cargador frontal CF-966H-02 ejecutado el 26/04/2024	53
Figura 12 Evidencia del informe de fallas.....	55
Figura 13 Registro de participación de una capacitación	58
Figura 14 Ejecución práctica de capacitación en campo – taller de revisión operativa y visual de equipos.	59
Figura 15 Comparativo de la disponibilidad antes y después del RCM en los 7 cargadores frontales (julio – diciembre 2023 vs julio – diciembre 2024)	60
Figura 16 Comparativo de indicadores de mantenimiento antes y después del RCM en cargadores frontales (julio – diciembre 2023 vs julio – diciembre 2024).....	62

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Fórmula de disponibilidad	16
Ecuación 2 Fórmula del indicador MTBF	16
Ecuación 3 Fórmula del indicador MTTR.....	16

RESUMEN EJECUTIVO

La presente experiencia profesional se desarrolló en la empresa Impala Terminals Perú SAC, dedicada a la recepción, almacenamiento y embarque de concentrado de minerales. Durante el periodo de julio a diciembre del 2023, se identificó una baja disponibilidad operativa de los cargadores frontales (89.21%), valor inferior al estándar del sector (95%), lo cual generó impactos negativos en la continuidad operativa y pérdidas económicas estimadas en S/. 163.162. Frente a este problema, se implementó el modelo de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), desarrolló herramientas como el Análisis de Criticidad, el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), inspecciones técnicas, plan preventivo, capacitaciones al personal y formatos de control. Gracias a esta implementación, entre marzo y junio del 2024, se logró mejorar la disponibilidad de los equipos a un 96.26%, reducir el número de fallas y horas de reparación, y alcanzar un beneficio económico acumulado de S/. 114.858. Las competencias profesionales aplicadas incluyen liderazgo, análisis de datos, mejora continua, trabajo en equipo y capacidad de diagnóstico técnico. Este proyecto permitió optimizar la gestión de mantenimiento y evidencia la importancia de aplicar modelos confiables para mejorar la eficiencia operativa en entornos industriales exigentes.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Contextualizar la experiencia profesional

El presente trabajo de suficiencia profesional se centra en la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los cargadores frontales en la empresa Impala Terminals Perú S.A.C., dedicada a la recepción, almacenamiento y transporte de concentrados minerales. La eficiencia operativa de estos equipos es fundamental para garantizar la continuidad y productividad de la empresa en el sector logístico y minero, donde la gestión adecuada del mantenimiento es clave para minimizar tiempos de inactividad y optimizar recursos. Cabe resaltar la experiencia profesional inicio en Impala Terminals Perú S.A.C. en el año 2006 como operador de cargador frontal, desarrollando funciones vinculadas al traslado de materiales en operaciones logísticas. Gracias al desempeño y compromiso con la mejora continua, ascendió al cargo de asistente de supervisión de operaciones en 2024, cargo desde el cual participa activamente en el control y monitoreo de los procesos de recepción, almacenamiento, mezcla, despacho y embarque de concentrados minerales. Esta trayectoria ha permitido adquirir un conocimiento integral de la operación, fortalecer sus competencias analíticas y técnicas, y contribuir en la toma de decisiones estratégicas orientadas a mejorar la eficiencia y confiabilidad de los procesos logísticos

La empresa Impala Terminals Perú SAC, ubicada en un entorno altamente competitivo y regulado por estrictos estándares del sector logístico y minero, enfrenta el constante desafío de garantizar la eficiencia operativa y confiabilidad de su flota vehicular pesada, elemento clave para cumplir con las exigencias de sus clientes y los lineamientos normativos vigentes. Dentro de sus principales actividades, destaca el traslado y manipulación de concentrado de minerales, proceso crítico en el cual la disponibilidad de los cargadores frontales juega un rol esencial para asegurar la continuidad de las

operaciones logísticas. Durante el periodo julio a diciembre de 2023, se evidenció una disponibilidad operativa de apenas 89.21% en su flota de 7 cargadores frontales, cifra por debajo del estándar mínimo del sector, estimado en 95%. Esta baja disponibilidad generó impactos operativos significativos, afectando directamente la productividad, la eficiencia de las maniobras logísticas y los niveles de servicio comprometidos con los clientes. Como consecuencia, se estimó un impacto económico total de S/ 163,162, originado por tres factores principales: pérdida por inactividad debido al tiempo en que los cargadores estuvieron fuera de operación, aumento de los costos de mantenimiento correctivo al no priorizarse estrategias preventivas o predictivas, e incremento en el pago de horas extras para compensar los retrasos y garantizar la continuidad operativa.

En este contexto, la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se presenta como una estrategia clave para optimizar la gestión del mantenimiento de los cargadores frontales. Este enfoque permite identificar y priorizar los modos de falla más críticos, evaluar sus impactos en la operación y definir estrategias de mantenimiento óptimas que reduzcan la ocurrencia de fallas inesperadas y aumenten la disponibilidad operativa de los equipos. Aplicando esta metodología, se busca mejorar los indicadores de mantenimiento, tales como MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas), MTTR (Tiempo Medio para Reparar) y disponibilidad, con el propósito de alcanzar el estándar del 95% requerido en la industria.

Este trabajo desarrolla un análisis detallado del estado actual del mantenimiento en la empresa, identificando los puntos críticos de falla en los cargadores frontales mediante un Análisis de Criticidad y un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF). Posteriormente, se lleva a cabo la implementación del RCM, estableciendo un plan de mantenimiento optimizado basado en estrategias preventivas, predictivas y proactivas. Finalmente, el estudio evalúa el impacto de la implementación en la disponibilidad de los

equipos, demostrando cómo la aplicación de esta metodología contribuye al desarrollo profesional del autor y aporta una solución efectiva a una problemática real dentro del sector logístico y minero.

1.2. Descripción de la Empresa

Datos generales de la empresa: Impala Terminals Perú S.A.C., identificada con el RUC 20506377600, constituida el 22 de abril de 2003, iniciando sus actividades el 2 de mayo de 2003. Su domicilio fiscal se encuentra en la Avenida Contralmirante Mora N° 472, Callao, Provincia Constitucional del Callao, Perú. Impala Terminals es una compañía global de almacenamiento y logística especializada en el transporte y almacenamiento de metales, minerales y carbón.

Objetivo de la empresa: El objetivo principal de Impala Terminals es facilitar el comercio mundial de materias primas, ofreciendo a productores y consumidores un acceso fiable y eficiente a los mercados internacionales.

Alcance: Impala Terminals opera una red global de terminales y activos logísticos que incluyen puertos, terminales interiores, almacenes, barcazas, trenes y camiones. Estas instalaciones están estratégicamente ubicadas en áreas clave de producción y consumo, permitiendo a la empresa ofrecer soluciones logísticas multimodales que integran transporte por agua, carretera y ferrocarril.

Valores de la Empresa: Los valores corporativos de Impala Terminals son:

- Pasión por el cliente: Compromiso con la satisfacción y éxito de los clientes.
- Honestidad: Actuar con integridad y transparencia en todas las operaciones.
- Responsabilidad: Asumir la responsabilidad de las acciones y decisiones.
- Creatividad: Fomentar la innovación y la búsqueda de soluciones eficientes.
- Solidaridad y Trabajo en equipo: Promover la colaboración y el apoyo mutuo entre los empleados.

Misión de la empresa: La misión de Impala Terminals es brindar soluciones logísticas integrales a la industria minera, generando valor a través de su experiencia y tecnología de vanguardia. La empresa emplea en sus procesos los más altos estándares de seguridad, medio ambiente y calidad, con un alto sentido de responsabilidad social.

Visión de la Empresa: La visión de Impala Terminals es ser una empresa de clase mundial, líder en servicios logísticos integrales y el mejor socio estratégico de la industria minera, facilitando el acceso a los mercados internacionales.

Servicios: Impala Terminals ofrece una amplia gama de servicios logísticos, incluyendo:

- Recepción y almacenamiento: Manejo seguro y eficiente de metales, concentrados de metales, graneles secos y líquidos, contenedores y mercancías diversas.
- Servicios de valor agregado: Muestreo, análisis, mezcla, carga y descarga de contenedores, despacho de aduanas y estibación.
- Logística multimodal: Integración de transporte por agua, carretera y ferrocarril para optimizar la cadena de suministro desde las áreas de producción hasta los mercados internacionales.
- Gestión segura de mercancías: Implementación de altos estándares de seguridad y sostenibilidad en todas las operaciones para proteger a los empleados, el medio ambiente y las comunidades locales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

A lo largo de la trayectoria laboral en Impala Terminals Perú S.A.C., el autor ha desarrollado un conocimiento práctico sólido en la operación, supervisión y mejora de procesos logísticos vinculados al manejo de cargadores frontales, particularmente en entornos industriales como el del transporte y almacenamiento de concentrados minerales. La experiencia directa con las fallas recurrentes, los tiempos de inactividad y las limitaciones del mantenimiento correctivo permitió identificar la necesidad de implementar metodologías más eficaces, como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Esta vivencia en campo, combinada con la formación académica en Ingeniería Industrial, permitió obtener las competencias necesarias para diseñar y aplicar soluciones técnicas con enfoque preventivo y estratégico, alineadas con los estándares de disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa del sector.

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Variable Mantenimiento centrado en confiabilidad – RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una estrategia de mantenimiento enfocada en garantizar la máxima confiabilidad y disponibilidad de los equipos mediante la identificación de fallas funcionales, el análisis de sus causas y la implementación de estrategias de mantenimiento adecuadas (Montilla, 2019). Asimismo, esta metodología ha sido adoptada en sectores industriales como el minero, manufacturero y energético, debido a su capacidad de optimizar costos y mejorar la productividad

Características del RCM

- Análisis basado en criticidad: Clasifica los equipos y componentes según su importancia en el sistema productivo.

- Enfoque en la confiabilidad: Se centra en aumentar el MTBF y reducir el MTTR.
- Uso del Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMEF): Permite identificar y priorizar los modos de falla más críticos.
- Optimización del mantenimiento preventivo y predictivo: Reduce la dependencia del mantenimiento correctivo.
- Reducción de costos operativos: Minimiza gastos innecesarios en reparaciones y repuestos no planificados.

El proceso de implementación del RCM sigue los siguientes pasos Medrano Márquez et al., 2017):

- Definir funciones del equipo y sus estándares de desempeño.
- Identificar fallas funcionales y modos de falla.
- Evaluar los efectos y consecuencias de las fallas.
- Clasificar las fallas según su impacto en seguridad, operación y costos.
- Establecer estrategias de mantenimiento apropiadas (preventivo, predictivo, correctivo o rediseño).
- Implementar el plan de mantenimiento y monitorear su efectividad.

2.1.2. Variable Disponibilidad

Según Mora et al. (2009) la disponibilidad es un indicador clave en la gestión del mantenimiento y se define como la capacidad de un equipo o sistema para estar operativo cuando se necesita. Es un factor determinante en la eficiencia de los procesos productivos, ya que un alto nivel de disponibilidad garantiza la continuidad de la producción sin interrupciones imprevistas.

Indicador Índice de disponibilidad: Expresa el porcentaje de tiempo que un equipo está disponible para operar en comparación con el tiempo total planificado.

Ecuación 1*Fórmula de disponibilidad*

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

Confiabilidad

Según Montilla (2019) es la probabilidad de que un equipo o sistema funcione sin fallas durante un periodo determinado bajo condiciones de operación establecidas. Una mayor confiabilidad reduce la frecuencia de fallas y mejora la productividad del sistema.

Indicador MTBF (Tiempo medio entre fallos): Representa el tiempo promedio que transcurre entre una falla y otra. Un mayor MTBF indica que el equipo es más confiable y tiene menos interrupciones.

Ecuación 2*Fórmula del indicador MTBF*

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

Mantenibilidad

Dounce (2014) indica que es la facilidad y rapidez con la que un equipo puede ser restaurado a su estado operativo tras una falla. Se relaciona directamente con el tiempo y los recursos necesarios para llevar a cabo las reparaciones.

Indicador MTTR (Tiempo medio entre reparaciones): Definición del indicador: Es el tiempo promedio requerido para reparar un equipo después de una falla. Un menor MTTR indica que el mantenimiento es más eficiente y que las reparaciones se realizan rápidamente.

Ecuación 3*Fórmula del indicador MTTR*

$$MTTR = \frac{\text{Horas de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

2.2. Limitaciones de la investigación

Durante la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en los cargadores frontales de Impala Terminals Perú SAC, se identificaron diversas limitaciones que influyeron en el desarrollo y ejecución del estudio. Una de las principales limitaciones fue el acceso a datos históricos de mantenimiento, ya que en algunos casos la información disponible estaba incompleta o no se registraba de manera estructurada, lo que dificultó el análisis inicial de fallas y la evaluación de la confiabilidad de los equipos. Para mitigar este inconveniente, se realizó un proceso de recolección manual de información y entrevistas con el personal técnico.

Asimismo, la resistencia al cambio por parte del personal de mantenimiento representó un desafío, debido a la adaptación a nuevas metodologías y protocolos de mantenimiento preventivo y predictivo. Para abordar esta limitación, se llevaron a cabo capacitaciones y sesiones de sensibilización, con el fin de garantizar la correcta adopción de las estrategias propuestas. Otro factor que impactó la investigación fue la disponibilidad de recursos y tiempos operativos para la implementación del plan de mantenimiento. Dado que los cargadores frontales se encontraban en operación continua, la programación de las actividades de mantenimiento debió ajustarse a las restricciones del cronograma de producción, lo que en algunos casos generó retrasos en la ejecución de algunas tareas clave del RCM.

En términos tecnológicos, la falta de herramientas avanzadas de monitoreo en tiempo real limitó la precisión del análisis de fallas y la evaluación del impacto del mantenimiento predictivo. Finalmente, la evaluación económica de la implementación del RCM presentó dificultades en la estimación de costos y beneficios a largo plazo, debido a la variabilidad en los costos de repuestos y mano de obra, así como a la fluctuación en los indicadores operativos de la empresa.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Proceso de ingreso a la empresa

Inicié mi trayectoria profesional en Impala Terminals Perú S.A.C. el 1 de julio de 2006 como operador de cargador frontal, desempeñando funciones relacionadas con el manejo y traslado de materiales dentro de las operaciones logísticas de la empresa. Asimismo, en paralelo me forme profesionalmente en Ingeniería Industrial en la Universidad Privada del Norte (UPN). A lo largo de los años gracias a la experiencia adquirida y a mi enfoque en la mejora continua, ascendí al cargo de Asistente de Supervisión de Operaciones a inicios del año 2024, posición que actualmente ocupo. En este rol, he asumido mayores responsabilidades, participando activamente en la toma de decisiones estratégicas orientadas a optimizar la eficiencia de los procesos operativos, garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad, seguridad, medio ambiente y salud ocupacional.

Posteriormente, mi labor se centró en brindar soporte a las actividades operativas vinculadas con la recepción, almacenamiento, mezcla, despacho y embarque de concentrados minerales, asegurando el cumplimiento de los procedimientos establecidos. Esta experiencia me permitió adquirir un conocimiento profundo de los procesos logísticos y operacionales, fortaleciendo mis competencias técnicas y analíticas para una gestión eficiente de las operaciones. Dentro de mis funciones actuales, asisto al ingeniero supervisor en el control y monitoreo de los procesos logísticos y operativos, asegurando que las actividades relacionadas con el manejo de concentrados minerales.

3.2. Realidad Problemática

A nivel internacional, la industria minera enfrenta desafíos significativos relacionados con la disponibilidad y eficiencia de sus equipos críticos, como los cargadores frontales. Bautista et al. (2022) indica que la explotación intensiva y

prolongada de estos equipos conduce al desgaste y deterioro de sus componentes, lo que puede resultar en averías frecuentes y tiempos de inactividad no planificados. Estas interrupciones afectan negativamente la productividad y rentabilidad de las operaciones mineras, incrementando los costos operativos y reduciendo la competitividad en el mercado global (Bentes et al., 2024)

En el contexto peruano, la minería es un pilar fundamental de la economía nacional; sin embargo, las empresas mineras locales también enfrentan problemas relacionados con la baja disponibilidad de maquinaria pesada. Estudios recientes indican que la producción minera peruana no ha logrado recuperar sus niveles prepandemia, en parte debido a la conflictividad social en el sector y a la tendencia al agotamiento de algunas unidades productivas (Bbvaresearch, 2022). Además, la falta de implementación de estrategias de mantenimiento adecuadas ha resultado en una disminución de la eficiencia operativa y en un aumento de los costos asociados a paradas no programadas (Fathurohman y Triyono, 2020).

La aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en empresas dedicadas a la minería es crucial para garantizar una alta disponibilidad de los equipos, permitiendo así el cumplimiento de los objetivos de producción y la minimización de interrupciones operativas (Andrade y Herrera, 2021). El RCM se enfoca en identificar y gestionar de manera proactiva los modos de falla potenciales, estableciendo planes de mantenimiento que priorizan la confiabilidad y eficiencia de los activos críticos. Esta metodología no solo mejora la disponibilidad de los equipos, sino que también optimiza los recursos y reduce los costos operativos a largo plazo (Yupanqui Apolinario et al., 2024).

La baja disponibilidad de cargadores frontales en operaciones mineras representa un desafío significativo, ya que estos equipos son esenciales para el movimiento y

transporte de materiales dentro de las minas (Bautista et al., 2022). Asimismo, las interrupciones en su operatividad pueden generar cuellos de botella en la producción, afectando directamente los niveles de output y la eficiencia general de la operación. Implementar estrategias de mantenimiento basadas en la confiabilidad se ha demostrado efectivo para incrementar la disponibilidad y prolongar la vida útil de estos equipos, asegurando así una operación más continua y rentable (Jiménez Meza, 2021).

En este contexto, identifiqué una problemática recurrente en la empresa: la baja disponibilidad de los cargadores frontales, equipos críticos para la continuidad operativa. A lo largo de mi experiencia, observé que los tiempos de inactividad por fallas mecánicas afectaban significativamente la productividad, generando retrasos operativos y sobrecostos asociados al mantenimiento correctivo. Motivado por mi formación profesional y mi interés en la optimización de procesos, propuse e implementé el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para la flota de cargadores frontales. Esta iniciativa surgió como una estrategia orientada a transformar la gestión del mantenimiento, pasando de un enfoque reactivo a uno proactivo, basado en la confiabilidad operativa. La implementación del RCM permitió identificar fallas críticas, optimizar los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, y reducir considerablemente los tiempos de inactividad. Como resultado, se logró una mejora significativa en la disponibilidad de los equipos y en la eficiencia general de las operaciones.

3.3. Antecedentes

3.3.1. Antecedentes internacionales

Ropero y Lucas (2023) en su artículo cuyo objetivo fue mejorar la seguridad y confiabilidad de los camiones mediante la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). El problema fue el rediseño del elemento mecánico de las

unidades VSH-2, identificando la frecuencia de falla y los costos asociados al mantenimiento correctivo y preventivo. Como parte del RCM aplicado, se utilizó el Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA), con datos históricos extraídos del software SAP, complementados con la experiencia del equipo de mantenimiento del campo Tibú. Los principales resultados indicaron que el rediseño del elemento mecánico VSH-2, reemplazando el sistema de mangueras por tuberías de acero inoxidable 316, incrementó significativamente la confiabilidad del sistema de extracción de crudo. Se evidenció que la frecuencia de fallas debido a fugas externas del medio auxiliar en la manguera del Manifold al acumulador de nitrógeno se incrementó de 11,900 h a 92,000 h, lo que representa una mejora del 90% en confiabilidad.

Liu et al. (2024) en su artículo tuvo el objetivo fue diseñar un plan de mantenimiento preventivo (MP) efectivo para reducir las altas tasas de fallas en equipos mecánicos con estructuras complejas y numerosas partes móviles, evitando así tiempos de inactividad prolongados y pérdidas económicas significativas. Para ello, se aplicó el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) con el propósito de identificar las partes clave que requieren mantenimiento preventivo y desarrollar modelos optimizados para mejorar la eficiencia del plan de mantenimiento. Como parte del RCM, se analizaron datos históricos de mantenimiento y fallas para determinar la distribución de la vida útil y las funciones de efecto del mantenimiento, cuantificando la incertidumbre causada por la asimetría de los datos. Se propusieron dos modelos de optimización de MP: uno orientado a minimizar los costos y otro a maximizar la disponibilidad operativa. Los resultados demostraron la validez de estos modelos mediante la aplicación en un componente de una máquina de fabricación de neumáticos, que consta de seis partes. La estrategia de maximización de la disponibilidad mostró valores superiores a 0,99 en dos de las partes analizadas, mientras que el modelo de minimización de costos logró reducir

los costos totales por unidad de tiempo a menos de 5,69 en las cuatro partes restantes, evidenciando la eficacia del enfoque propuesto para mejorar la disponibilidad y reducir los costos de mantenimiento.

Silva et al. (2023) cuyo objetivo fue analizar las principales causas que afectan el rendimiento de los indicadores de desempeño del mantenimiento de camiones, enfocándose en medir los impactos causados por la ineficiencia del mantenimiento preventivo. Para ello, se recolectaron datos de 118 camiones en 2022, priorizando la flota CAT 797F, la cual presentó una baja adherencia al mantenimiento programado, lo que generó una pérdida de producción de 5.086.957, una indisponibilidad total de 9.722,88 horas y 3.870 fallas registradas. Se identificaron acciones alineadas con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), tales como la evaluación del cumplimiento del mantenimiento preventivo, la propuesta de dos requisitos de evaluación para mejorar la planificación y ejecución del mantenimiento, y el análisis de fallas y su impacto en la disponibilidad de la flota. Se encontró que, de los 783 mantenimientos preventivos programados, solo 607 fueron ejecutados correctamente, lo que ocasionó un incremento de 819 fallas adicionales y una reducción en la disponibilidad operativa de 8.16%.

Nurcahyo et al. (2023) en su artículo tuvo el objetivo de evaluar el desempeño de las máquinas de generación de energía (MPL) en el contexto de la infraestructura de oficina mediante un análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenimiento (RAM). Para ello, se aplicó el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) donde los resultados indicaron que MPL1 presentó la condición más óptima con una disponibilidad del 93,48%, mientras que MPL2 y MPL3 mostraron valores menores de 82,19% y 70,55%, respectivamente. Se concluyó que es necesario mejorar el desempeño del mantenimiento, especialmente en la disponibilidad de MPL2 y MPL3, además de evaluar los procedimientos de mantenimiento preventivo existentes.

Moniri y Sattarvand (2023) en su artículo tuvo el objetivo de mejorar la predicción de fallas en sistemas complejos como los camiones volquete de minería. Como parte del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), donde los resultados indicaron que la confiabilidad de los camiones volquete se redujo al 50% después de 40 horas de operación, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de mantenimiento preventivo para mejorar el rendimiento del sistema y garantizar la seguridad de las operaciones.

3.3.2. Antecedentes nacionales

Yupanqui et al. (2024) en su artículo tuvo el objetivo de implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones CL 120 Freightliner de la empresa J & J Transportes y Soluciones Integrales S.A.C. La investigación se llevó a cabo en el área de mantenimiento de la empresa, responsable de una flota de 10 tractocamiones de la marca Freightliner. La implementación del RCM permitió una mejora significativa en la gestión del mantenimiento donde se aplicó el AMEF, con el propósito de identificar los puntos críticos asociados a las fallas más recurrentes. Como resultado, el indicador MTBF aumentó de 16.81 horas en 2019 a 35.16 horas en 2022, mientras que el MTTR se redujo de 3.91 horas en 2019 a 2.69 horas en 2022. Además, la implementación del RCM incrementó la disponibilidad operativa de los tractocamiones hasta un 93%, permitiendo una mayor eficiencia en la prestación de servicios.

Vidaurre et al. (2022) en su artículo tuvo el objetivo de mejorar la disponibilidad de la maquinaria en una industria de polímeros mediante la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), debido a que muchas MYPE manufactureras carecen de planes de mantenimiento programados, lo que genera paradas no programadas y reducción en la capacidad productiva. El RCM aplicado incluyó la

recopilación de datos sobre fallas, la identificación de modos de falla y la implementación de un plan de mantenimiento basado en el análisis de criticidad. Se aplicó a las máquinas picadora, trituradora y extrusora, estableciendo mantenimientos preventivos y correctivos optimizados. Los resultados demostraron un incremento en la disponibilidad promedio de 91.66% en las máquinas críticas evaluadas y la línea dos de peletizado, permitiendo una operación más eficiente, reducción de costos de mantenimiento y optimización de los tiempos de producción.

Cruz et al. (2023) en su artículo tuvo el objetivo de proponer una gestión de mantenimiento basada en la fiabilidad para reducir las fallas en la maquinaria de la línea de pollo de engorde de una empresa avícola. Para ello, se aplicó el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) a través de técnicas de gestión de mantenimiento como el análisis de criticidad de máquinas o procesos, el árbol de fallas y el Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF). Como resultado, la implementación del plan de mantenimiento permitió reducir las fallas en un 66%, lo que incrementó la disponibilidad operativa de la maquinaria del 86% al 96%. Asimismo, en el AMEF, el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) disminuyó en un 65%, evidenciando una mejora significativa en la gestión del mantenimiento.

Ramos (2023) en su estudio tuvo el objetivo de aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en un activo físico de maquinaria pesada en la empresa de construcción civil ROFER SAC, con el fin de mejorar su disponibilidad operativa. Para ello, se inició con la evaluación del nivel de criticidad de los activos mediante la información histórica del área de mantenimiento entre julio 2020 y julio 2021, identificando que el Cargador Frontal L120G presentaba alta criticidad. Como resultado aumentó del 91,8% al 94,4% la disponibilidad, lo que demuestra el impacto positivo del RCM en la empresa, permitiendo una mayor eficiencia operativa y

asegurando el buen estado de los activos para cumplir con los requerimientos de la construcción.

Palomino y Ramírez (2023) en estudio tuvo el objetivo de mejorar la disponibilidad mecánica de los cargadores frontales de bajo perfil en una empresa minera mediante la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Para ello, se analizaron las fallas de los sistemas principales del equipo (motor diésel, transmisión, sistema hidráulico y sistema eléctrico) y se implementaron estrategias de mantenimiento basadas en el análisis del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) y el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMEF). El RCM aplicado incluyó la identificación de fallas funcionales, modos de falla y efectos, permitiendo la optimización de planes de mantenimiento mediante la reducción del tiempo medio para reparar (MTTR) y el incremento del tiempo medio entre fallas (MTBF). Como resultado, la disponibilidad mecánica de los cargadores frontales aumentó del 85% al 91%, se logró una reducción del 13% en el MTTR, y un incremento del 33% en el MTBF.

3.4. Justificación

3.4.1. Justificación Teórica

La presente investigación se fundamenta en los principios del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el cual es una metodología ampliamente utilizada en la gestión del mantenimiento industrial para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos. El RCM permite identificar las fallas funcionales y sus causas, estableciendo estrategias de mantenimiento adecuadas para maximizar la eficiencia operativa. Teóricamente, esta investigación contribuye al conocimiento sobre la aplicación del RCM en cargadores frontales, equipos esenciales en la industria logística y portuaria. Además, fortalece la literatura existente al evaluar el impacto del

mantenimiento preventivo y correctivo en la reducción del Tiempo Medio para Reparar (MTTR) y el aumento del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), indicadores clave en la confiabilidad de los activos.

3.4.2. Justificación Práctica

Desde una perspectiva práctica, la implementación del RCM en los cargadores frontales de Impala Terminals Perú SAC busca mejorar la disponibilidad operativa, reduciendo los tiempos de inactividad no programada y optimizando los costos de mantenimiento. Al aplicar esta metodología, la empresa podrá mejorar la gestión de sus equipos, minimizar fallas recurrentes y garantizar un funcionamiento más eficiente, lo que impactará directamente en la continuidad de las operaciones y en la productividad general.

3.4.3. Justificación Metodológica

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se basa en un enfoque cuantitativo y aplicado, utilizando el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMEF) y el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para evaluar y priorizar los problemas en los cargadores frontales. Se empleará un diseño experimental y comparativo, en el cual se analizarán los indicadores de mantenimiento antes y después de la implementación del RCM para medir su impacto en la disponibilidad de los equipos. Además, se recurrirá a herramientas de análisis de datos históricos y simulación de escenarios para validar la efectividad del plan de mantenimiento propuesto.

3.5. Planteamiento del problema

La empresa Impala Terminals Perú S.A.C., especializada en la recepción, almacenamiento y transporte de concentrados minerales, presenta una problemática operativa significativa relacionada con la baja disponibilidad de sus cargadores frontales,

equipos esenciales para la continuidad de las operaciones logísticas. Durante el periodo julio a diciembre de 2023, se evidenció un nivel de disponibilidad de 89.21 %, inferior al estándar mínimo del sector, fijado en 95 %, lo que generó consecuencias directas en términos de pérdidas económicas, afectación de la eficiencia operativa y compromisos incumplidos con los clientes.

En este contexto, surge la interrogante central sobre cómo la implementación del programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) puede contribuir a mejorar la disponibilidad de los cargadores frontales en Impala Terminals Perú S.A.C. Para abordar esta problemática, se plantea como primer aspecto específico el análisis del estado actual del mantenimiento, identificando las principales fallas funcionales y su impacto sobre los indicadores operativos, particularmente en la disponibilidad, el MTBF y el MTTR. Este diagnóstico resulta fundamental para determinar los vacíos existentes en la gestión del mantenimiento y justificar la necesidad de adoptar un enfoque metodológico más robusto.

En segundo lugar, se plantea el desafío de estructurar e implementar adecuadamente el RCM, lo cual involucra el desarrollo de actividades técnicas como el análisis de criticidad, la elaboración del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), la capacitación del personal técnico-operativo, el diseño del plan de mantenimiento preventivo y la aplicación de herramientas de control. Estas acciones permiten garantizar una transición ordenada desde un esquema correctivo hacia un enfoque predictivo y preventivo.

En tercer término, se requiere demostrar cómo la aplicación del RCM incide en el incremento de la disponibilidad operativa de los equipos, generando mejoras sustanciales en la continuidad de las actividades logísticas, la eficiencia del uso de recursos y la reducción de tiempos de parada no planificada. Este objetivo apunta a validar

empíricamente la efectividad del RCM como herramienta de optimización técnica en entornos industriales exigentes.

Finalmente, se plantea evaluar la viabilidad económica de la implementación del RCM, contrastando los costos de ejecución con los beneficios generados a partir de la reducción de fallas, la disminución de horas de reparación y la mitigación de pérdidas operativas. Este análisis permitirá establecer el retorno de inversión y la sostenibilidad de la estrategia adoptada, garantizando que la mejora técnica esté acompañada de una justificación financiera coherente.

3.6. Objetivos

3.6.1. Objetivo General

Implementar un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad de los cargadores frontales en Impala Terminals Perú SAC,

3.6.2. Objetivos Específicos

Analizar el estado actual del mantenimiento de los cargadores frontales, identificando las principales fallas funcionales y su impacto en la disponibilidad operativa.

Realizar la implementación del RCM en los cargadores frontales

Incrementar la disponibilidad operativa de los cargadores frontales hasta alcanzar niveles óptimos que garanticen la continuidad y eficiencia de las operaciones.

Realizar la evaluación económica de la implementación del RCM.

3.7. Procedimiento

Se efectuó un diagnóstico integral del estado actual del mantenimiento de los cargadores frontales en la empresa Impala Terminals Perú S.A.C. Esta etapa contempló el monitoreo de siete unidades durante el periodo julio a diciembre de 2023, recopilándose

datos técnicos relevantes como horas de operación, número de fallas, horas de reparación, MTBF, MTTR y nivel de disponibilidad. Dentro de los equipos evaluados, los cargadores frontales evidenciaron una situación crítica, alcanzando una disponibilidad de apenas 89.21 %, valor por debajo del estándar mínimo del sector (95 %). Como parte del análisis, se elaboró un estudio de criticidad que permitió identificar los equipos con mayor impacto en la operación y vulnerabilidad técnica. Asimismo, se aplicaron herramientas como el diagrama de Pareto y el diagrama de Ishikawa para representar gráficamente las principales causas raíz asociadas a dicha baja disponibilidad. Este diagnóstico evidenció un impacto económico estimado en S/.180,620, atribuible a inactividad operativa, mantenimiento correctivo y horas extras.

La segunda etapa correspondió a la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Las actividades iniciaron con una reunión de planificación y el levantamiento de información técnica de los cargadores frontales. Posteriormente, se desarrolló el análisis de criticidad por código de maquinaria, seguido del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), con el cual se identificaron y priorizaron los modos de falla más críticos según su severidad, frecuencia y dificultad de detección. Con base en estos insumos, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo RCM estructurado por frecuencias (diaria, semanal y mensual), considerando las tareas específicas por componente, responsables asignados y acciones correctivas estandarizadas. Además, se elaboraron y validaron diversos formatos técnicos operativos como órdenes de trabajo, reportes de fallas, checklists de inspección y registros de mantenimiento, todo ello orientado a garantizar la ejecución sistemática de las intervenciones.

En la tercera etapa, se ejecutó el programa de mantenimiento preventivo basado en el plan RCM, abarcando el periodo comprendido entre marzo y junio de 2024. Durante este tiempo, se dio seguimiento continuo a los principales indicadores técnicos: MTBF,

MTTR y disponibilidad. Adicionalmente, se llevaron a cabo capacitaciones presenciales dirigidas al personal técnico y operadores, orientadas a reforzar la correcta aplicación del RCM y el uso adecuado de los formatos establecidos. Como resultado de estas acciones, se observó una mejora significativa en los indicadores: la disponibilidad promedio se incrementó de 89.21 % a 96.26 %, el MTBF pasó de 43.64 a 81.07 h/falla y el MTTR se redujo de 5.28 a 3.15 h/falla. Estos resultados reflejan el impacto positivo de la metodología en la confiabilidad operativa y en la reducción de fallas no planificadas.

Finalmente, se abordó la evaluación económica de la implementación del RCM, correspondiente al cuarto objetivo. Se compararon los costos operativos antes y después de la intervención, identificando beneficios económicos en tres áreas clave: ahorro por menor inactividad (S/.80,020), reducción de costos correctivos (S/.28,958) y disminución del pago de horas extras (S/.5,880), lo que representó un beneficio total de S/.114,858. Además, se realizó un análisis de flujo de caja a tres periodos semestrales, aplicando indicadores financieros como VAN (S/.149,571.84), TIR (72.1 %), B/C (1.19) y un periodo de recuperación de 0.84 años. Estos resultados validaron la viabilidad técnica y económica del RCM, consolidándolo como una estrategia sostenible, escalable y replicable dentro del sector logístico e industrial.

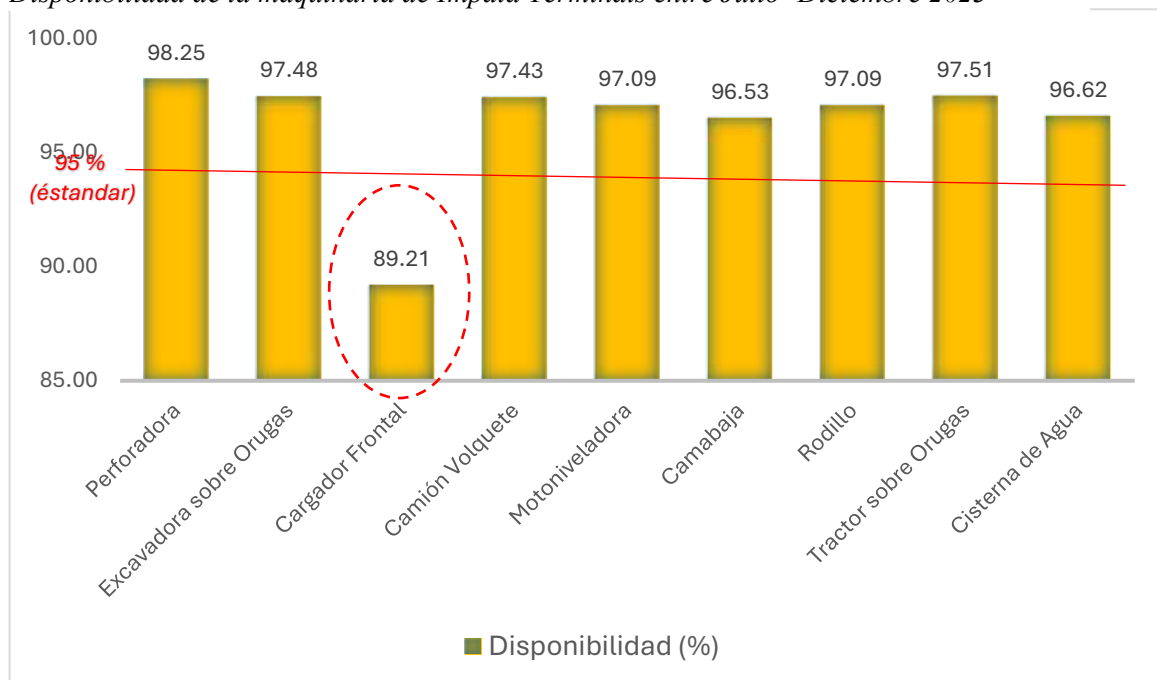
CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Objetivo 1: Analizar el estado actual del mantenimiento de los cargadores frontales, identificando las principales fallas funcionales y su impacto en la disponibilidad operativa.

Disponibilidad de la maquinaria de Impala Terminals Perú SAC

Figura 1

Disponibilidad de la maquinaria de Impala Terminals entre Julio- Diciembre 2023



La Figura muestra el registro de disponibilidad (%) de la maquinaria de Impala Terminals durante el periodo julio a diciembre de 2023, donde se evidencia que la mayoría de los equipos supera el estándar mínimo de disponibilidad del 95%, con valores que oscilan entre 96.53% y 98.25%, destacando la eficiencia operativa de las perforadoras, excavadoras, motoniveladoras, camiones volquete y otros equipos. Sin embargo, el caso crítico lo representan los cargadores frontales, que alcanzaron una disponibilidad de solo 89.21%, valor significativamente por debajo del estándar establecido. Esta situación los convierte en el principal cuello de botella en la cadena operativa, afectando la continuidad

de las labores logísticas, especialmente en el traslado de concentrado de minerales.

Tabla 1

Registros de datos de los equipos de Impala Terminals Perú SAC

Tipo	Modelo	Cantidad	Horas de Operación	Nro de Fallas	Horas de Reparación	MTBF (h/falla)	MTTR (h/falla)	Disponibilidad (%)
Perforadora	D245S	3	1800.36	15	32	120.02	2.13	98.25
Excavadora sobre Orugas	374FL,390FL	4	2400.74	20	62	120.04	3.10	97.48
Cargador Frontal	336T, L150H, 966H	7	10342.82	237	1251.2	43.64	5.28	89.21
Camión Volquete	FMX 8X4R	6	3600.14	30	95	120.00	3.17	97.43
Motoniveladora	14H, 140K	4	2400.17	20	72	120.01	3.60	97.09
Camabaja	Actros 3344K	1	612.45	10	22	61.25	2.20	96.53
Rodillo	CS56	1	600.36	5	18	120.07	3.60	97.09
Tractor Orugas	sobre D8t	3	1800.74	17	46	105.93	2.71	97.51
Cisterna Agua	de Actros 3336K_CA	1	600.32	5	21	120.06	4.20	96.62

La Tabla muestra los datos técnicos correspondientes a cada uno de los equipos que forman parte de la flota de Impala Terminals Perú SAC, específicamente los valores de Horas de Operación, Número de Fallas, Horas de Reparación, MTBF (h/falla), MTTR (h/falla) y Disponibilidad (%) registrados durante el periodo julio a diciembre de 2023. En dicha tabla se evidencia que, si bien la mayoría de equipos mantiene indicadores óptimos de confiabilidad y eficiencia con disponibilidades superiores al 95%, el equipo crítico son los cargadores frontales, los cuales presentan una disponibilidad de apenas 89.21%, el mayor número de fallas (237) y la mayor cantidad de horas de reparación (1251.2 h). Este resultado contrasta con los demás activos que muestran adecuados niveles de mantenimiento, lo cual refleja que los cargadores frontales requieren una intervención prioritaria en su gestión de mantenimiento.

4.1.1. Disponibilidad de los cargadores frontales

Tabla 2

Registro técnico de cargadores frontales con distribución según criticidad (Julio – Diciembre 2023)

Código	Modelo	Horas de Operación	Nro. de Fallas	Horas de Reparación	MTBF (h/falla)	MTTR (h/falla)	Disp. (%)
CF-336T-01	336T	1450	28	150	51.79	5.36	90.63
CF-336T-02	336T	1300	24	130	54.17	5.42	90.91
CF-L150H-01	L150H	1800	38	200	47.37	5.26	90.00
CF-L150H-02	L150H	1700	35	190	48.57	5.43	89.95
CF-L150H-03	L150H	1650	33	180	50.00	5.45	90.16
CF-966H-01	966H	1300	42	220	30.95	5.24	85.53
CF-966H-02	966H	1142.82	37	181.2	30.89	4.90	86.31
Total		10342.82	237	1251.2	43.64	5.28	89.21

La Tabla muestra el comportamiento técnico de cada uno de los siete cargadores frontales que conforman la flota de Impala Terminals Perú SAC durante el periodo julio – diciembre de 2023. A través de esta tabla se puede evidenciar que cada unidad presenta condiciones operativas distintas, siendo algunas más críticas que otras en función de su uso, frecuencia de fallas y desempeño general. Esta diferenciación permite identificar oportunidades de mejora específicas y diseñar estrategias de mantenimiento orientadas a cada equipo.

El indicador MTBF muestra el promedio de horas que transcurren entre cada falla. Valores como los del CF-966H-01 (30.95 h) y CF-966H-02 (30.89 h) son considerablemente bajos, indicando una alta frecuencia de fallas, lo cual representa un riesgo operativo. En contraste, el CF-336T-02 muestra un MTBF de 54.17 h, lo que revela un comportamiento más confiable frente a los demás equipos.

En cuanto al MTTR los valores oscilan entre 4.90 h y 5.45 h, siendo ligeramente

altos para maquinaria de uso continuo. Aunque las diferencias entre unidades no son extremas, cualquier reducción en el MTTR puede contribuir directamente a una mejora en la disponibilidad general. Esto refleja la importancia de contar con personal técnico capacitado, procedimientos claros y un buen sistema de gestión de repuestos.

Finalmente, al observar la Disponibilidad (%), se confirma que ninguno de los cargadores alcanza el estándar mínimo aceptable de 95%. La disponibilidad más baja se encuentra en el CF-966H-01 (85.53%) y CF-966H-02 (86.31%), siendo estos los equipos más críticos. Solo los modelos 336T y algunos L150H logran superar el 90%, pero aún son insuficientes. El promedio general de la flota es de 89.21%, lo cual no solo compromete la continuidad operativa, sino que también genera pérdidas económicas,

4.1.2. Impacto Económico (pérdidas)

Tabla 3

Impacto económico de la baja disponibilidad

Tipo de Pérdida	Detalle	Datos de cálculo	Perdida inicial
Pérdida por inactividad (cargadores detenidos)	Horas de inactividad	1251.20	
	Costo por hora	S/ 100	S/.125,120
Aumento de costos de mantenimiento correctivo	Incremento en costos de repuestos y reparaciones urgentes	Repuestos adicionales por desgaste prematuro	S/46,500
Aumento del costo de horas extras	Pago de horas extras para compensar la baja disponibilidad	75	S/9,000
	Costo por hora de operador de montacarga	S/ 120	
Total de Pérdidas Económicas			S/ 180,620

La tabla muestra un impacto económico total de S/ 180,620 debido a la baja disponibilidad de los cargadores frontales, lo que ha generado pérdidas en tres categorías principales: pérdida por inactividad, aumento de costos de mantenimiento correctivo y aumento del costo de extras. Estos factores han afectado significativamente la rentabilidad de la empresa, reflejando la necesidad de optimizar la gestión del

mantenimiento para reducir costos.

Pérdida por Inactividad: La mayor parte de las pérdidas (66% del total) proviene de la inactividad de los cargadores, acumulando 1251.20 horas de inactividad con un costo por hora de S/. 100. Esto significa que los equipos estuvieron fuera de operación durante un tiempo considerable, afectando la productividad y retrasando las operaciones. Esta situación podría haber generado incumplimientos en la entrega de materiales y afectada la cadena de suministro de la empresa.

Aumento de costos de mantenimiento correctivo: El incremento en costos de repuestos y reparaciones urgentes representa S/. 46.500, equivalente al 28,5% del impacto total. Esto sugiere que la baja disponibilidad está asociada a un uso excesivo del mantenimiento correctivo, lo que implica que los equipos no están recibiendo mantenimiento preventivo adecuado.

Aumento del costo de horas extras: Para compensar la baja disponibilidad, la empresa incurrió en 75 horas extras de trabajo, con un costo de S/. 120 por hora de operador de montacarga, lo que generó un costo adicional de S/. 9.000. Esto refleja la necesidad de mantener las operaciones activas a pesar de la indisponibilidad de los equipos, lo que implica un gasto adicional en mano de obra para suplir la falta de equipos en funcionamiento.

4.1.3. Identificación de causas raíz

El Diagrama de Ishikawa muestra las principales causas raíz que contribuyen a la baja disponibilidad del 89.21% en los cargadores frontales de Impala Terminals Perú SAC, categorizándolas en método, mano de obra, materiales, medición, medio ambiente y maquinaria. Dentro del método, la falta de mantenimiento preventivo y procedimientos ineficientes de inspección afectan la operatividad. En mano de obra, la falta de capacitación y desconocimiento de protocolos generan fallas en la ejecución del

mantenimiento. Respecto a los materiales, los retrasos en la disponibilidad de repuestos y el uso de insumos de baja calidad provocan un desgaste prematuro en los componentes. En medición, los errores en procedimientos y el uso inadecuado de instrumentos dificultan la detección de problemas a tiempo. Por otro lado, el medio ambiente, con condiciones operativas extremas como altas temperaturas y terrenos irregulares, acelera el deterioro de los equipos. Finalmente, en maquinaria, las fallas en los sistemas hidráulicos y eléctricos, ocasionadas por sobrecarga.

Figura 2

Diagrama de ishikawa con las causas que generan la baja disponibilidad



Tabla 4

Matriz de priorización de causas raíz

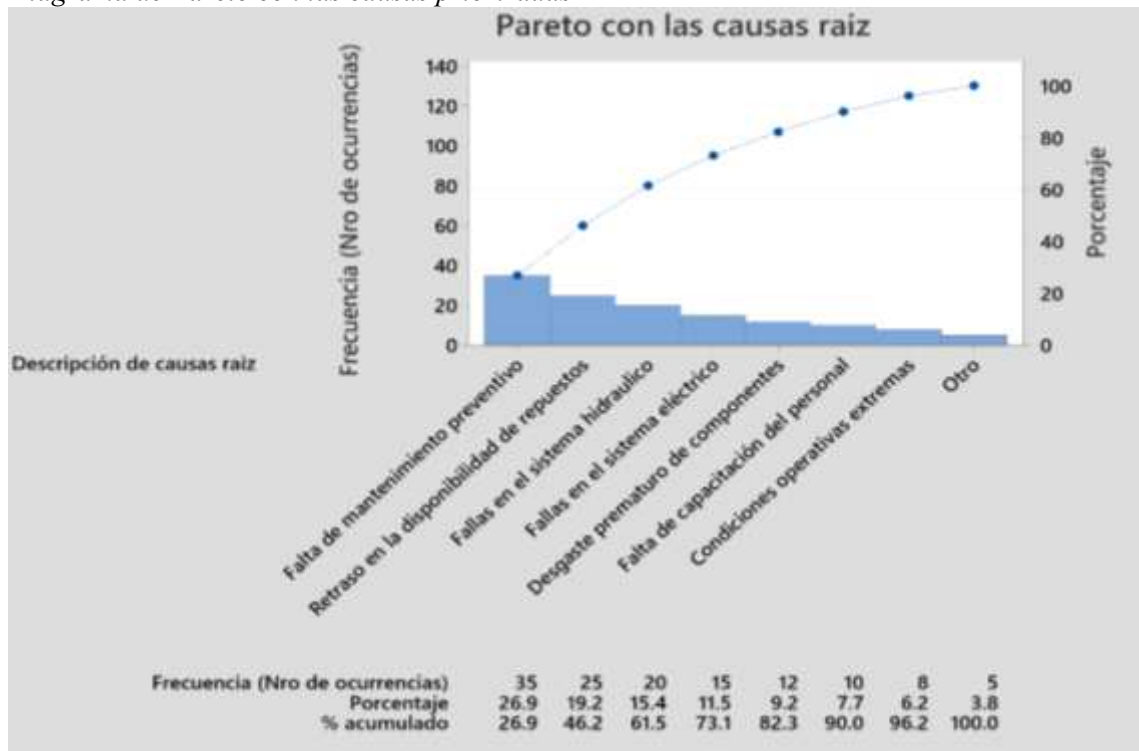
Nro.	Descripción de causas raíz	Frecuencia (Nro de ocurrencias)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Clasificación 80-20
1	Falta de mantenimiento preventivo	35	26.9%	26.9%	Crítico (20%)
2	Retraso en la disponibilidad de repuestos	25	19.2%	46.2%	Crítico (20%)
3	Fallas en el sistema hidráulico	20	15.4%	61.5%	Crítico (20%)
4	Fallas en el sistema eléctrico	15	11.5%	73.1%	Crítico (20%)
5	Desgaste prematuro de componentes	12	9.2%	82.3%	Menor (80%)
6	Falta de capacitación del personal	10	7.7%	90.0%	Menor (80%)
7	Condiciones operativas extremas	8	6.2%	96.2%	Menor (80%)
8	Errores en procedimientos de mantenimiento	5	3.8%	100.0%	Menor (80%)
	Total	130			

El Diagrama de Pareto presentado en la Figura 3 permite identificar las principales causas que afectan la baja disponibilidad de los cargadores frontales en Impala Terminals Perú SAC , evidenciando que el 73.1% del problema se debe a cuatro factores clave: falta de mantenimiento preventivo, retraso en la disponibilidad de repuestos, fallas en el sistema hidráulico y fallas en el sistema eléctrico.

Las causas, al representar más de dos tercios de la problemática total, deben ser priorizadas en la estrategia de mantenimiento, ya que su reducción tendría un impacto significativo en la disponibilidad operativa. La línea de porcentaje acumulado confirma el principio de Pareto (80/20), demostrando que un número reducido de factores genera la mayor parte de las fallas. La optimización del mantenimiento preventivo, la mejora en la gestión de repuestos y la implementación de técnicas predictivas permitirían minimizar estas fallas recurrentes, mejorando así la eficiencia y reducción.

Figura 3

Diagrama de Pareto con las causas priorizadas



4.1.4. Matriz de selección de herramientas

Tabla 5

Evaluación de herramienta de solución

Criterio de Evaluación	Peso (%)	Mantenimiento Predictivo		Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)		Mantenimiento Productivo Total (TPM)		Mantenimiento Correctivo	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Procesos (25%)	25%	6	1.5	8	2	6	1.5	3	0.75
Costos (20%)	20%	5	1	8	1.6	5	1	3	0.6
Infraestructura (15%)	15%	5	0.75	9	1.35	5	0.75	3	0.45
Capacitación (15%)	15%	6	0.9	8	1.2	3	0.45	4	0.6
Políticas (10%)	10%	5	0.5	9	0.9	5	0.5	3	0.3
Tiempo (15%)	15%	5	0.75	9	1.35	3	0.45	5	0.75
Total	100%		5.4		8.4		4.65		3.45

La matriz de selección de herramientas presentada en la Tabla evalúa diferentes estrategias de mantenimiento para determinar la opción más adecuada en función de seis criterios clave: procesos, costos, infraestructura, capacitación, políticas y tiempo. Según la evaluación, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) obtuvo la mayor puntuación total (8.4 puntos), destacándose en procesos (2 puntos), costos (1.6 puntos) e infraestructura (1.35 puntos), lo que indica su capacidad para mejorar la eficiencia operativa, optimizar costos y aprovechar mejor la infraestructura existente.

El Mantenimiento Predictivo obtuvo 5.4 puntos, mostrando un rendimiento moderado en la mayoría de los criterios, especialmente en procesos y tiempo. Por otro lado, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) alcanzó 4.65 puntos, reflejando una menor eficacia en comparación con RCM, debido a su enfoque más orientado a la mejora continua que a la confiabilidad del equipo. Finalmente, el Mantenimiento Correctivo obtuvo la puntuación más baja (3.45 puntos), evidenciando su ineficiencia en términos de costos y tiempo, ya que implica una mayor cantidad de fallas inesperadas y tiempos de inactividad. En conclusión, la evaluación confirma que la implementación de RCM es la opción óptima, ya que ofrece mejores resultados en términos de confiabilidad, reducción de costos y optimización del tiempo de operación, asegurando una mayor disponibilidad de los cargadores frontales en la empresa.

4.2. Objetivo 2: Realizar la implementación del RCM en los cargadores frontales

La implementación del RCM se inició el 1 de marzo de 2024 con la reunión de planificación y conclusiones el 28 de junio de 2024 con la revisión final y cierre del proyecto. Las actividades se desarrollaron en fases bien definidas: planificación, diagnóstico, diseño, ejecución, seguimiento y evaluación final. Durante marzo, se llevaron a cabo tareas clave como el análisis de criticidad, el AMEF y el diseño del plan de mantenimiento preventivo, estableciendo las bases técnicas para la ejecución del

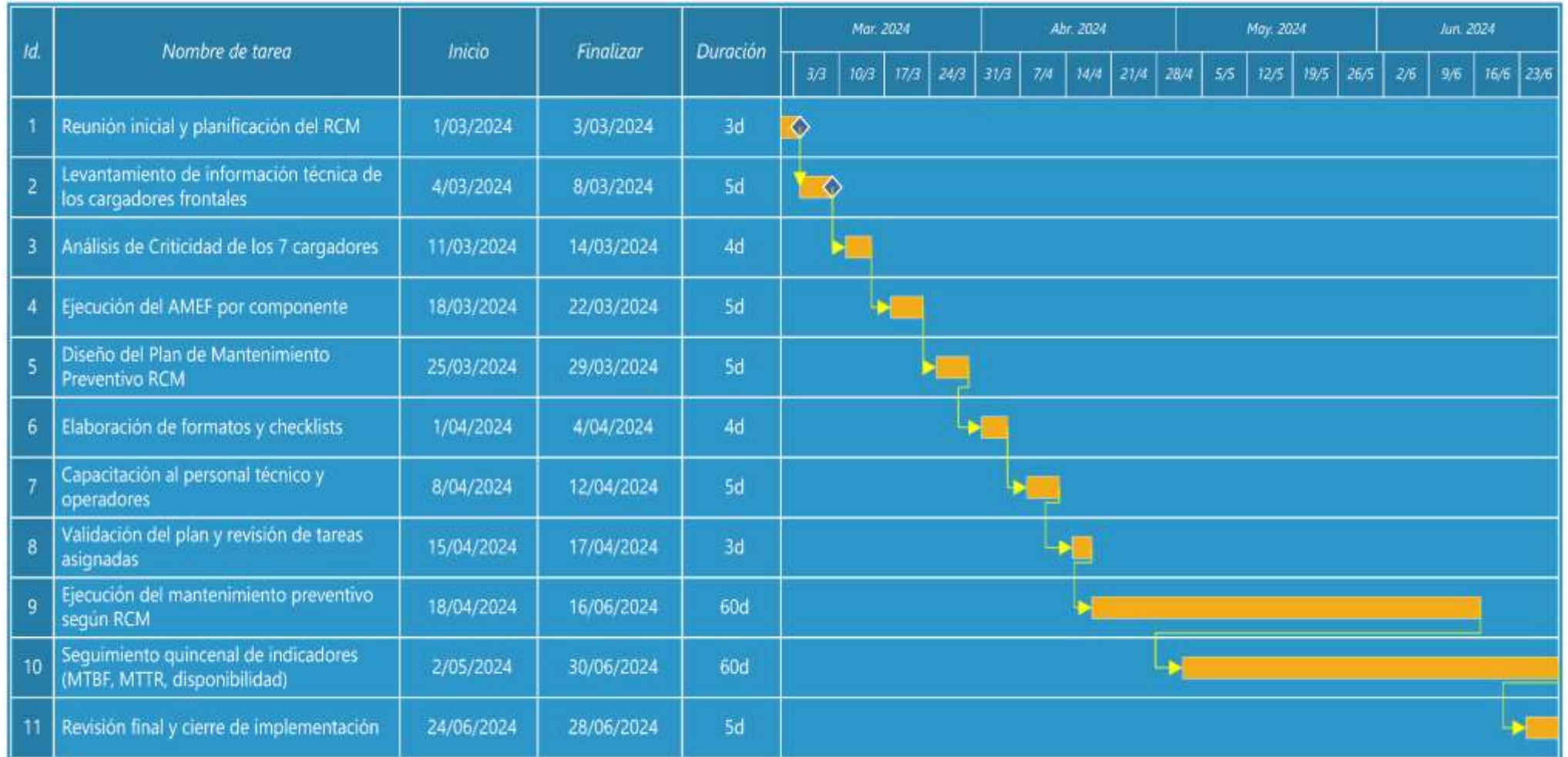
mantenimiento. En abril, se desarrollaron las actividades de diseño de formatos y listas de verificación, así como la capacitación del personal técnico y operadores, asegurando que el equipo involucrado comprendiera y aplicara adecuadamente los lineamientos del RCM.

Posteriormente, se dio inicio a la ejecución del mantenimiento preventivo según el plan RCM, la cual se llevó a cabo entre el 18 de abril y el 16 de junio, con una duración de 60 días. Esta fase fue acompañada por un seguimiento quincenal de los principales indicadores técnicos (MTBF, MTTR y disponibilidad), lo que permitió monitorear los avances y ajustar las acciones cuando fuese necesario. Finalmente, en la última semana de junio, se realizó la revisión integral de resultados y el cierre formal de la implementación, consolidando así un proceso técnico que mejoró la gestión de mantenimiento y la disponibilidad de los cargadores frontales. Además de las actividades técnicas, la implementación del RCM mostró un enfoque integral que involucró activamente a las distintas áreas operativas de la empresa. La participación del personal de mantenimiento y operaciones, fue fundamental para alinear los objetivos del proyecto.

La capacitación no solo abarca aspectos técnicos del mantenimiento, sino también temas vinculados a la seguridad, calidad operativa y buenas prácticas en la gestión de activos. Esto permitió generar un mayor compromiso por parte del equipo, reducir errores humanos y fomentar una cultura preventiva. Asimismo, durante el proceso de implementación se evidenciaron fortalezas como el conocimiento técnico del personal y la disponibilidad de datos históricos, lo que facilitó la elaboración del AMEF y la priorización de fallas.

Figura 4

Cronograma de implementación del RCM



4.2.1. Análisis de criticidad de los Cargadores Frontales

La Figura 5 muestra el resultado del análisis de criticidad aplicado a los siete cargadores frontales de la empresa Impala Terminals Perú SAC, utilizando una matriz de evaluación cuantitativa que considera criterios divididos en tres áreas principales: producción, mantenimiento y seguridad. Cada uno de estos criterios fue desglosado en factores específicos como el porcentaje de operación, influencia sobre el proceso, calidad del producto, horas paradas, frecuencia de fallas, disponibilidad e impacto en la seguridad o el medio ambiente. La evaluación se realizó mediante una escala de valores del 1 al 5, y permitió obtener un puntaje total de criticidad para cada equipo.

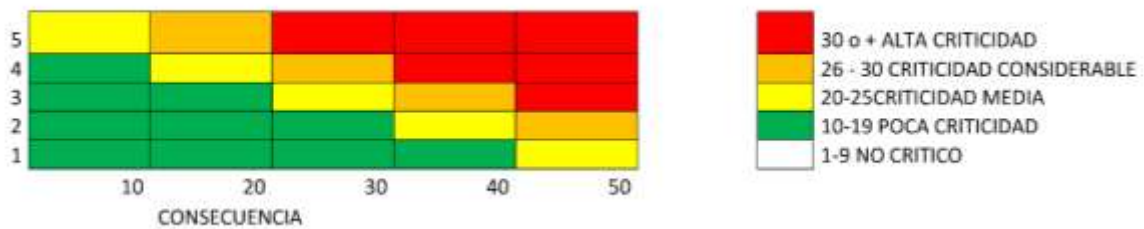
El análisis de criticidad permitió identificar qué cargadores frontales presentan mayor riesgo operativo para la empresa, siendo el CF-966H-02 el de mayor criticidad (34 puntos), clasificado dentro del nivel de alta criticidad, seguido del CF-L150H-01 (29 puntos), y otros equipos como el CF-336T-01 y CF-L150H-03, con valores de 28 puntos, ubicados en el rango de criticidad considerable. Los equipos con menor criticidad relativa, aunque aún significativos, fueron CF-336T-02 (24 puntos) y CF-966H-01 (25 puntos), considerados dentro de criticidad media. Este análisis fue realizado el 11 de marzo de 2024 como parte del proceso técnico de implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

La información mostrada en la Figura 5 evidencia de forma clara la clasificación de los cargadores frontales según su nivel de criticidad, y permite justificar de manera objetiva cuáles deben ser priorizados dentro del plan de mantenimiento preventivo y predictivo. Este resultado servirá como guía para asignar recursos técnicos y económicos de manera eficiente, así como para programar intervenciones dirigidas a mitigar los riesgos operativos, reducir las fallas y optimizar la disponibilidad de los equipos más críticos dentro de la flota.

Figura 5

Análisis de criticidad realizado a los cargadores frontales

			FORMATO ANALISIS DE CRITICIDAD								Versión	Fecha
			CONTROLADO								1	15/04/2024
			REVISADO								RED C	Aprobado
			AD								MATERIA DE CRITICIDAD (CALIFICACION CUANTITATIVA)	
CODIGO	TIPO DE MAQUINARIA	MODELO	PRODUCCION				MANTENIMIENTO			SEGURIDAD	VALOR DE	
			% DE OPERACION	EQUIPO AUXILIAR	INFLUENCIA SOBRE EL PROCESO	INFLUENCIA EN CALIDAD DE PRODUCTO	HORAS PARADAS EN EL MES	PARADAS CORRECTIVAS	DISPONIBILIDAD	INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD O MEDIO AMBIENTE	CRITICIDAD	
CF-336T-01	Cargador Frontal	336T	4	4	4	4	3	3	4	2	28	
CF-336T-02	Cargador Frontal	336T	4	3	3	3	3	3	3	2	24	
CF-L150H-01	Cargador Frontal	L150H	4	3	5	4	4	3	4	2	29	
CF-L150H-02	Cargador Frontal	L150H	4	3	4	3	4	3	4	3	28	
CF-L150H-03	Cargador Frontal	L150H	4	4	4	3	3	3	4	2	27	
CF-966H-01	Cargador Frontal	966H	4	3	3	3	3	3	4	2	25	
CF-966H-02	Cargador Frontal	966H	4	4	4	4	5	5	5	3	34	



4.2.2. Aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF)

La Figura 6 mostró el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) que fue ejecutado el 18 de marzo de 2024 en los cargadores frontales de la empresa Impala Terminals Perú SAC , lo cual permitió identificar, priorizar y clasificar las 25 fallas potenciales más críticas que afectaban la operación de estos equipos. En la matriz se evaluaron tres criterios fundamentales: Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D), a partir de los cuales se calculó el Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Este análisis evidenció que 10 fallas superaron el umbral de $NPR \geq 200$, lo cual indicaba que requerían acciones correctivas inmediatas debido a su alto impacto operativo, de seguridad o de confiabilidad. Entre las fallas más críticas destacaron: la grieta en el cucharón del

cargador CF-336T-01 con un NPR de 360, el reventón repentino en neumáticos del CF-L150H-02 con NPR de 300 y el sobrecalentamiento del motor en el CF-L150H-01 con NPR de 225. Estas situaciones evidenciaban condiciones operativas riesgosas que podrían generar paradas prolongadas, pérdidas económicas y posibles accidentes. Asimismo, otras 15 fallas fueron clasificadas como de riesgo moderado ($100 \leq \text{NPR} < 200$), y por tanto requerían monitoreo continuo y mejora programada, como la vibración excesiva, desgaste irregular de neumáticos y fallos eléctricos menores.

Este AMEF permitió también establecer la trazabilidad por modelo y código de maquinaria, asociando la frecuencia y gravedad de cada modo de falla con un componente específico. El análisis sirvió como base para definir las acciones preventivas y proactivas del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Además de identificar las fallas críticas, el AMEF ejecutado permitió evaluar con objetividad la vulnerabilidad de los componentes clave de cada cargador frontal, asignando prioridades basadas en datos reales del entorno operativo de Impala Terminals. Este enfoque no solo mejoró la toma de decisiones, sino que también optimizó la planificación de recursos, ya que las acciones se enfocaron en los equipos con mayor impacto operativo.

Por otro lado, la ejecución de AMEF brindó una visión integral del estado real de la flota, estableciendo una línea base que sirvió como punto de comparación con los resultados obtenidos tras la implementación del RCM. La identificación de los modos de falla y sus causas, sumado al diagnóstico por modelo y código, permitió generar listas de verificación específicas, establecer frecuencias de inspección y diseñar estrategias de mantenimiento según el nivel de criticidad de cada equipo.

Figura 6

AMEF ejecutado en los cargadores frontales

Formato de Análisis Modal de Fallos y Efectos – AMEF General											<table border="1"> <tr><td>Versión</td><td>Fecha</td></tr> <tr><td>1</td><td>15/04/2024</td></tr> <tr><td>Revisado</td><td>Aprobado</td></tr> <tr><td>RED C</td><td>AD</td></tr> </table>	Versión	Fecha	1	15/04/2024	Revisado	Aprobado	RED C	AD
Versión	Fecha																		
1	15/04/2024																		
Revisado	Aprobado																		
RED C	AD																		
Empresa: Impala Terminals Perú SAC Área: Mantenimiento de Equipos Pesados Equipo Analizado: Cargadores Frontales (Modelos 336T, L150H, 966H) N.º de Equipos: 7 Responsable del Análisis: Andy William Culqui Trujillo Fecha: 18/03/2024 Criterios: Severidad (S): Evalúa el impacto de la falla en la operación, la seguridad y la productividad del equipo. Escala de 1 (mínimo) a 10 (catastrófico). Ocurrencia (O): Mide la frecuencia con la que ocurre la falla. Escala de 1 (rara vez) a 10 (muy frecuente). Detección (D): Evalúa qué tan fácil es detectar la falla antes de que ocurra. Escala de 1 (muy fácil de detectar) a 10 (muy difícil de detectar). NPR (Número de Prioridad de Riesgo): Se obtiene multiplicando S x O x D. Permite priorizar acciones correctivas o preventivas: NPR ≥ 200: Nivel Crítico – requiere acción inmediata. 100 ≤ NPR < 200: Nivel Moderado – requiere mejora programada. NPR < 100: Nivel Bajo – se mantiene bajo observación.																			
N.º	Modelo / Código	Componente	Falla Potencial	Causa de la Falla	Efecto de la Falla	S	O	D	NPR	Estado									
1	CF-966H-02	Sistema hidráulico	Pérdida de presión	Fuga de manguera	Interrupción de la operación	8	6	5	240	Acción Inmediata									
2	CF-336T-01	Sistema eléctrico	Fallo de arranque	Conexiones flojas	Inmovilidad del equipo	7	6	5	210	Acción Inmediata									
3	CF-L150H-01	Motor	Sobrecalentamiento	Bajo nivel de aceite	Parada inmediata del motor	9	5	5	225	Acción Inmediata									
4	CF-L150H-03	Transmisión	Golpes en la caja	Desgaste de engranajes	Pérdida de potencia	8	4	5	160	Requiere Monitoreo									
5	CF-L150H-02	Sistema hidráulico	Movimiento lento del brazo	Filtro obstruido	Pérdida de eficiencia	6	5	6	180	Requiere Monitoreo									
6	CF-966H-01	Freno principal	Baja respuesta	Desgaste de pastillas	Riesgo de accidente	10	4	4	160	Requiere Monitoreo									
7	CF-336T-02	Sistema eléctrico	Cortocircuito	Cableado expuesto	Daño de módulo eléctrico	8	3	6	144	Requiere Monitoreo									
8	CF-L150H-01	Cabina	Vibración excesiva	Soportes dañados	Incomodidad del operador	5	8	6	240	Acción Inmediata									
9	CF-966H-02	Neumáticos	Desgaste irregular	Presión inadecuada	Baja tracción	6	4	5	120	Requiere Monitoreo									
10	CF-L150H-03	Sistema hidráulico	Ruido en bomba	Aire en el sistema	Desgaste acelerado	7	8	5	280	Acción Inmediata									
11	CF-336T-01	Sistema de carga	Grieta en cucharón	Exceso de carga	Parada por reparación	10	6	6	360	Acción Inmediata									
12	CF-336T-02	Motor	Consumo excesivo de combustible	Filtro de aire sucio	Pérdida de eficiencia	6	5	4	120	Requiere Monitoreo									
13	CF-L150H-02	Transmisión	Cambios bruscos	Falta de calibración	Golpes y desgaste	7	4	6	168	Requiere Monitoreo									
14	CF-966H-01	Sistema eléctrico	Fallo de luces	Fusible fundido	Condiciones inseguras	6	4	5	120	Requiere Monitoreo									
15	CF-L150H-03	Dirección	Dirección dura	Falta de fluido hidráulico	Riesgo de accidente	9	6	5	270	Acción Inmediata									
16	CF-966H-02	Estructura	Fisura en chasis	Fatiga del material	Parada prolongada	8	3	5	120	Requiere Monitoreo									
17	CF-966H-01	Cabina	Falla del aire acondicionado	Filtro/fusible	Disconfort del operador	7	6	5	210	Acción Inmediata									
18	CF-336T-02	Sistema hidráulico	Cilindro trabado	Sello dañado	Parada del equipo	8	5	5	200	Acción Inmediata									
19	CF-L150H-02	Freno estacionamiento	No activa	Cable roto	Riesgo de desplazamiento	9	3	4	108	Requiere Monitoreo									
20	CF-L150H-01	Sistema eléctrico	Panel sin encender	Batería agotada	Paro total del sistema	7	7	5	245	Acción Inmediata									
21	CF-966H-01	Sistema hidráulico	Fuga en cilindro dirección	Junta desgastada	Pérdida de control	9	3	5	135	Requiere Monitoreo									
22	CF-336T-02	Sistema de carga	Enganche suelto	Perno flojo	Riesgo de desprendimiento	8	3	5	120	Requiere Monitoreo									
23	CF-L150H-03	Motor	Ruido inusual	Tensión incorrecta de correas	Desgaste de poleas	6	6	7	252	Acción Inmediata									
24	CF-336T-01	Sistema eléctrico	Alarma de motor no funciona	Sensor desconectado	Falla no detectada a tiempo	7	5	6	210	Acción Inmediata									
25	CF-L150H-02	Neumáticos	Reventón repentino	Corte por objeto externo	Accidente o parada inmediata	10	6	5	300	Acción Inmediata									

4.2.3. Plan de Mantenimiento Preventivo RCM

A partir del 25 de marzo de 2024, se ejecutó el programa de mantenimiento preventivo RCM como parte de la implementación formal del plan elaborado previamente, basado en los resultados del análisis de criticidad y el AMEF. Esta fase consistió en la aplicación progresiva de tareas preventivas sistematizadas en los siete cargadores frontales de la flota, a actividades de inspección visual, limpieza, verificación de parámetros operativos, lubricación, revisión de sistemas eléctricos, hidráulicos, neumáticos, motores y controles. Las tareas fueron ejecutadas de forma coordinada entre el personal técnico del área de mantenimiento y los operadores de equipo, con registros documentados mediante listas de verificación estandarizadas.

Durante el desarrollo del programa, cada unidad fue sometida a inspecciones semanales programadas, permitiendo la identificación temprana de condiciones anómalas como fugas menores, desgaste de componentes, variaciones en la presión hidráulica y conexiones flojas. Estos hallazgos fueron registrados y gestionados de forma inmediata, evitando que se transformen en fallas críticas. La ejecución de este programa permitió no solo reducir la cantidad de averías imprevistas, sino también estandarizar los procedimientos de mantenimiento y mejorar la trazabilidad del estado técnico de los equipos.

En la Figura 7, se presenta el formato del programa semanal preventivo firmado y validado por el personal técnico y supervisor de mantenimiento, lo que evidencia el cumplimiento efectivo de las tareas planificadas bajo el enfoque RCM. La documentación fue archivada como parte del sistema de gestión de mantenimiento, sirviendo como base para los seguimientos quincenales de indicadores (MTBF, MTTR y disponibilidad).

Figura 7

Registro firmado del Programa Semanal de Mantenimiento Preventivo ejecutado en cargadores frontales - Semana del 25 al 30 de marzo de 2024 (equipo CF-966H-02)

 Programa Semanal de Mantenimiento Preventivo RCM – Cargadores Frontales						Versión	Fecha
Semana: 17– 22 de junio de 2024 Responsable: Andy William Culqui Trujillo Unidad/Código: CF-966H-02 Técnico asignado: Julio Fernández						1	15/04/2024
						Revisado	Aprobado
						RED D	AE

N.º	Sistema	Actividad	Frecuencia	Responsable	Lista de verificación / Observación	Cumplido (✓)
1	Sistema hidráulico	Se verificó la presión de operación	Semanal	Técnico	180 bar – Dentro del rango	✓
2	Sistema	Se inspeccionaron mangueras y acoples por posibles fugas.	Semanal	Técnico	No se detectaron fugas visibles	✓
3	Sistema eléctrico	Se revisaron terminales, fusibles y conexiones.	Semanal	Técnico	Terminales firmes y limpios; fusibles operativos	✓
4	Sistema eléctrico	Se probó el sistema de luces y arranque.	Diario	Operador	Arranque inmediato; luces en correcto funcionamiento	✓
5	Motor	Se comprobó el nivel y color del aceite	Semanal	Técnico	Nivel adecuado, color ámbar – sin contaminación	✓
6	Motor	Se inspeccionó por presencia de ruidos anómalos	Semanal	Operador	No se detectaron ruidos fuera de lo normal	✓
7	Sistema de frenos	Se evaluó el tiempo de respuesta del pedal.	Semanal	Técnico	Respuesta rápida – sin vibraciones	✓
8	Tren de rodamiento	Se revisó el estado de los neumáticos.	Semanal	Técnico	Presión 120 psi – sin desgaste excesivo	✓
9	Transmisión	Se verificó el nivel de fluido y presencia de fugas.	Semanal	Técnico	Nivel correcto – sin fugas detectadas	✓
10	Cabina/Controles	Se comprobaron los indicadores y sensores	Semanal	Técnico	Todos los indicadores funcionales	✓
11	Estructura general	Se realizó la limpieza general y revisión estructural.	Semanal	Operador	Sin daños ni daños visuales	✓

Observación general:
 Todas las actividades planificadas fueron ejecutadas dentro del plazo establecido. No se reportaron fallas ni anomalías. El equipo mantuvo condiciones operativas óptimas durante la semana evaluada.


Firma del responsable
 Andy William Culqui Trujillo

Por otro lado, en la Figura 8 se observa a un técnico durante la ejecución directa de trabajos de mantenimiento preventivo en uno de los cargadores frontales. La imagen muestra al operador en plena inspección de cabina y controles, utilizando guantes de seguridad, equipo de protección personal (EPP) completo y herramientas necesarias. Esta evidencia gráfica confirma que el programa preventivo fue aplicado rigurosamente en campo, cumpliendo los protocolos de seguridad y los lineamientos establecidos en el plan RCM. La ejecución operativa de estas actividades fortaleció la cultura de mantenimiento en la empresa, alineando la acción técnica con la confiabilidad requerida por las operaciones logísticas de Impala Terminals.

Figura 8

Evidencia del mantenimiento preventivo ejecutado por el técnico



4.2.4. Formatos y herramientas utilizadas

4.2.4.1. Inspección mensual técnica (Revisión detallada por el técnico)

Durante la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en el periodo de marzo a junio del 2025, se realizó a cabo inspecciones técnicas mensuales a todos los cargadores frontales de la empresa Impala Terminals Perú SAC. Estas inspecciones fueron ejecutadas por personal técnico calificado y se enfocaron en los sistemas y componentes críticos definidos previamente en el AMEF y el análisis de criticidad. Las actividades realizadas incluyen la verificación del sistema hidráulico, sistema eléctrico, transmisión, frenos, motor, estructura frontal, entre otros, aplicando procedimientos estandarizados y checklist específicos.

El objetivo de estas inspecciones fue detectar fallas incipientes, ejecutar ajustes correctivos menores y registrar hallazgos técnicos que sirvieran de base para la mejora continua del plan preventivo. La ejecución rigurosa de estas inspecciones contribuyó a reducir el número de fallas críticas y mejorar los indicadores operativos de la flota, como MTBF, MTTR y disponibilidad. Además, permitió programar con antelación las intervenciones correctivas mayores sin comprometer la continuidad operativa de las unidades.

La siguiente Figura 9 muestra el formato de inspección técnica mensual correspondiente al cargador frontal CF-966H-02 , ejecutado el 25 de abril de 2025 , durante la fase de implementación del RCM. Este formato permitió registrar de forma ordenada las 10 actividades técnicas realizadas, el estado encontrado, las observaciones y las acciones correctivas adoptadas. Se identificaron dos hallazgos menores: una fuga leve en el retorno del sistema hidráulico, que fue reparada al cambiar la abrazadera de conexión, y un botón suelto del aire forzado que fue ajustado de inmediato. Asimismo, se dejó registrada la recomendación de reemplazar la cuchilla

del cucharón en la siguiente parada técnica.


Figura 9

Formato de Inspección Mensual Técnica aplicado al cargador CF-966H-02 – Abril 2025

Impala		Formato de Inspección Mensual Técnica			Versión	Fecha
Área: Mantenimiento de Equipos Pesados Técnico Responsable: Julio Fernández Fecha de Inspección: 25/04/2025 Código de Equipo: CF-966H-02		Modelo: 966H Marca: Caterpillar Ubicación: Patio de Operaciones - Taller de Mantenimiento			1	4/04/2024
					Revisado	Aprobado
					RED 2	AE

N.º	Sistema / Componente	Actividad realizada	Estado Encontrado	Observaciones / Acción Correctiva	Conforme (✓/X)
1	Motor	Verificación de nivel y color de aceite	Normal	Sin contaminación	✓
2	Sistema hidráulico	Inspección de mangueras y cilindros	Fuga leve en retorno	Se cambió la abrazadera de conexión	✓
3	Sistema eléctrico	Revisión de fusibles, luces y cables.	Normal	—	✓
4	Transmisión	Revisión de ruidos anómalos y cambio de marchas.	Leve golpe en reversa	Programar revisión de sensores.	✓
5	Neumáticos / Rodamiento	Revisión de presión y desgaste	Presión OK / desgaste normal	—	✓
6	Cabina y controles	Verificación de palancas, panel y aire acondicionado	Botón de aire forzado flojo	Se ajustó el anclaje	✓
7	Sistema de frenos	Prueba de respuesta del pedal	Normal	—	✓
8	Estructura frontal	Inspección de brazo y cucharón	Desgaste en cuchilla	Se recomendó reemplazo en la próxima parada.	✓
9	Lubricación general	Revisión de puntos de grabado	Normal	Todos los puntos con grasa	✓
10	Sistema eléctrico (batería)	Medición de voltaje	24,1V	Dentro del rango operativo	✓

Observación general:
El equipo se encuentra operativo y en condiciones estables. Se realizaron ajustes menores y se reportaron 2 hallazgos que no comprometen la disponibilidad. Revisión próxima programada para el 25/05/2025.



Firma del responsable
Andy William Culqui Trujillo

La Figura presenta la evidencia tomada durante la implementación del RCM, donde se observa a un técnico de mantenimiento ejecutando una inspección visual detallada en el brazo hidráulico y cucharón del cargador frontal CF-966H-02 . Esta actividad corresponde a una de las tareas programadas en el plan preventivo mensual, marcada en el programa de mantenimiento implementado. La imagen demuestra la aplicación práctica de las capacitaciones realizadas y valida el compromiso del personal con el cumplimiento del plan técnico y los estándares de seguridad operativa.

Figura 10

Evidencia fotográfica de la inspección técnica mensual realizada al cargador frontal



4.2.4.2. Orden de Trabajo (Registro de intervención de mantenimiento)

Durante la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la empresa Impala Terminals Perú SAC, uno de los pilares fundamentales fue la correcta gestión y registro de las intervenciones técnicas mediante el uso de Órdenes de Trabajo (OT) . Estas órdenes fueron diseñadas para documentar de manera estructurada cada actividad preventiva, predictiva o correctiva ejecutada en los cargadores frontales, permitiendo así asegurar la trazabilidad, el cumplimiento del plan y el análisis posterior

de resultados.


Las Órdenes de Trabajo fueron emitidas desde el área de mantenimiento, asignando a cada equipo un código único que permitió el seguimiento individualizado. En estos documentos se consignaron datos como la fecha de intervención, hora de inicio y término, tipo de mantenimiento realizado, así como las actividades ejecutadas, los resultados obtenidos y las acciones correctivas aplicadas en caso fuera necesario. De este modo, cada orden representó un registro oficial de la actividad técnica, constituyéndose en un insumo importante para la evaluación continua del estado operativo de los equipos y la eficiencia del plan RCM.

La Figura 11 presenta la Orden de Trabajo correspondiente a la intervención de mantenimiento preventivo realizada al cargador frontal CF-966H-02 el día 26/04/2024, como parte del plan estructurado bajo el enfoque del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Este documento evidencia la ejecución efectiva de cinco actividades clave orientadas a preservar la disponibilidad y operatividad del equipo. Durante la intervención, que se desarrolló entre las 8:00 am y 11:00 am, se realizaron tareas como la inspección visual del sistema hidráulico, verificación del nivel y color del aceite, revisión de fusibles y cables del sistema eléctrico, medición de voltaje de batería y un chequeo general de puntos críticos. De acuerdo con los resultados, se encontraron condiciones normales en su mayoría, excepto por una ligera sedimentación en el filtro hidráulico, la cual fue corregida mediante la limpieza del componente, sin comprometer la operatividad del equipo. Esta Orden de Trabajo valida el cumplimiento del plan preventivo y demuestra el compromiso del equipo técnico con la detección temprana de fallas, permitiendo tomar acciones correctivas menores antes de que se conviertan en fallas críticas. Asimismo, esta evidencia respalda la eficiencia del plan RCM al garantizar una trazabilidad formal de cada mantenimiento ejecutado, promoviendo una gestión

estructurada del historial técnico de cada unidad.

Figura 11

Orden de trabajo del cargador frontal CF-966H-02 ejecutado el 26/04/2024

Impala  Formato de Orden de Trabajo		Versión	Fecha
Área: Mantenimiento de Equipos Pesados	Fecha de emisión: 26/04/2024	1	4/04/2024
N.º de OT: OT-2025-084	Modelo: 966H	Revisado	Aprobado
Equipo: Cargador Frontal	Ubicación: Patio de Mantenimiento	RED 3	AE
Código de equipo: CF-966H-02	Responsable: Andy Culqui Trujillo		


Detalle de intervención

Tipo de mantenimiento (✓)	Hora de inicio	Hora fin	Fecha de intervención
[✓] Preventivo [] Correctivo [] Predictivo [] Inspección	8:00 a. m.	11:00 a. m.	26/04/2025

Actividades realizadas

Nº	Actividad ejecutada	Resultado / Acción correctiva
1	Inspeccion visual del sistema hidraulico	Se identificó fuga leve en retorno, se reemplazó abrazadera
2	Verificacion del nivel y color del aceite del motor	Nivel dentro del rango, aceite limpio
3	Revisión de fusibles y cables del sistema eléctrico.	Todo conforme, sin hallazgos
4	Medición de voltaje de batería	24,1V, dentro del rango operativo
5	Engrase general de puntos críticos	Todos los puntos lubricados correctamente.

Observación general:
Se realizaron actividades preventivas conforme al plan semanal de mantenimiento. La intervención no comprometió la operación. Se recomienda continuar con la programación preventiva mensual según RCM. No



Firma del responsable
Andy William Culqui Trujillo

4.2.4.3. Reporte de fallas (Formato para registrar síntomas y tiempos)

El informe de fallas fue una herramienta clave durante la ejecución del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la empresa Impala Terminals Perú SAC, ya que permitió registrar de forma sistemática los eventos imprevistos que afectarán la disponibilidad operativa de los cargadores frontales. Su objetivo principal fue proporcionar trazabilidad técnica sobre cada falla ocurrida, identificando los síntomas detectados, el componente afectado, el diagnóstico realizado, el tiempo de parada y la acción correctiva tomada. Esta información fue utilizada para alimentar el historial técnico de cada máquina, así como para retroalimentar los análisis de modos de falla (AMEF) y el plan preventivo.



Durante la fase operativa del RCM, el informe de fallas fue aplicado por el personal técnico y operadores entrenados, quienes documentaron cada incidente técnico en campo. El procedimiento consistió en registrar de inmediato la hora y fecha del evento, el sistema comprometido, los síntomas observados, el diagnóstico técnico, el tiempo de intervención y las acciones correctivas aplicadas. Este formato permitió identificar fallas recurrentes y asociarlas con componentes críticos, optimizando así la toma de decisiones para futuras intervenciones preventivas.

La Figura 12 presentó la evidencia de un informe de fallas reales ejecutado el 19 de abril de 2025 en el cargador frontal CF-966H-01. En dicha intervención, se reportaron tres fallas : una fuga de retorno en el sistema hidráulico, luces del tablero que funcionaban de manera intermitente en el sistema eléctrico, y desgaste total en el cable del freno de estacionamiento. Los diagnósticos fueron confirmados mediante inspección visual y pruebas básicas, generando un total acumulado de 4 horas de parada operativa. Las acciones correctivas incluyen el cambio de manguera, ajuste de terminales y sustitución completa del cable de freno.

Este informe evidencia que las fallas fueron identificadas durante las jornadas de inspección rutinaria técnica, lo cual evitó afectaciones mayores en la operatividad. La sistematización de la información permitió retroalimentar el AMEF, ajustar las tareas del mantenimiento preventivo, y reforzar la cultura de detección temprana de fallas. Además, todas las acciones tomadas fueron registradas y validadas por el responsable técnico, permitiendo consolidar la trazabilidad del equipo en el historial general de mantenimiento. Este documento forma parte de las evidencias clave que demostraron la ejecución del RCM y su impacto positivo en la mejora continua.

Figura 12

Evidencia del informe de fallas

		Formato de Informe de Fallas				<table border="1"> <tr> <td>Versión</td> <td>Fecha</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>4/04/2024</td> </tr> <tr> <td>Revisado</td> <td>Aprobado</td> </tr> <tr> <td>RED 4</td> <td>AF</td> </tr> </table>		Versión	Fecha	1	4/04/2024	Revisado	Aprobado	RED 4	AF
Versión	Fecha														
1	4/04/2024														
Revisado	Aprobado														
RED 4	AF														
Área: Mantenimiento de Equipos Pesados Fecha de Reporte: 19/04/2025 Equipo: Cargador Frontal Código de equipo: CF-966H-01		Marca: Caterpillar Modelo: 966H Ubicación: Patio de Mantenimiento Responsable: Andy Culqui Trujillo													
N°	Fecha/Hora de Falla	Componente afectado	Síntoma reportado	Diagnóstico realizado	Tiempo de Parada	Acción tomada	Estado Actual del Equipo								
1	19/04/2025 - 10:15 am	Sistema hidráulico	Fugas visibles en manguera retorno	Manguera desgastada por abrasión	1,5 horas	Cambio de manguera y prueba funcional	Operativo								
2	19/04/2025 - 15:40 horas	Sistema eléctrico	Luces del tablero intermitentes	Conexión floja en cableado	0,8 horas	Asegurado y aislado con termocontráctil	Operativo								
3	19/04/2025 - 17:20 horas	Freno de estacionamiento	No se activa completamente	Desgaste del cable de freno	2.0 horas	Sustitución del cable completo	Operativo								
Observación general: Las fallas fueron detectadas a través de revisión técnica programada durante la jornada de inspección rutinaria. Las acciones correctivas se realizaron sin comprometer la continuidad operativa y fueron registradas en el historial técnico del equipo.															
 Firma del responsable Andy William Culqui Trujillo															

4.2.4.4. Capacitación técnica al personal

Como parte fundamental de la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), se desarrolló un programa de capacitación técnica interna dirigido a operadores y técnicos del área de mantenimiento de la empresa Impala Terminals Perú SAC . Este programa comenzó el 08 de abril de 2024 y tuvo como objetivo reforzar las competencias del personal en temas claves relacionados con la prevención de fallas, el uso adecuado de formatos y la comprensión del enfoque RCM aplicado a los cargadores frontales.

La capacitación fue impartida de forma presencial y participativa, permitiendo al personal aplicar lo aprendido directamente en campo, a través de prácticas dinámicas y supervisión técnica durante el desarrollo de sus funciones. Participaron 12 colaboradores , entre técnicos operativos y personal de soporte, quienes manifestaron una mejora significativa en la detección temprana de fallas , la interpretación de indicadores técnicos como MTBF y MTTR, así como en la comprensión y correcta aplicación del plan preventivo basado en RCM . Además, se reforzaron las buenas prácticas para el llenado y análisis de formatos de inspección , fomentando la trazabilidad de la información y el control documental. Estas capacitaciones fortalecieron la cultura de prevención y confiabilidad dentro de la organización, promoviendo un enfoque sistemático en el cuidado de los activos críticos. Asimismo, permitieron alinear las actividades diarias del equipo con los objetivos estratégicos del RCM , garantizando así la sostenibilidad de las mejoras implementadas en el sistema de mantenimiento. Este proceso formativo continúa hasta la actualidad, siendo una herramienta clave para mantener la efectividad operativa de los cargadores frontales y del resto de la maquinaria.

Tabla 6

Programa de Capacitación Técnica – Implementación del RCM

Módulo	Tema	Fecha	Duración	Modalidad
Módulo 1	Fundamentos del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	8/04/2024	1 día	Presencial / Aula
Módulo 2	Identificación de Fallas Comunes en Cargadores Frontales	9/04/2024	1 día	Presencial / Campo
Módulo 3	Inspección Visual y Operativa de Componentes Críticos	10/04/2024	1 día	Presencial / Taller
Módulo 4	Uso correcto de formatos de inspección e informes técnicos.	11/04/2024	1 día	Presencial / Campo
Módulo 5	Taller práctico de mantenimiento preventivo RCM	12/04/2024	1 día	Presencial / Campo
Módulo 6	Evaluación final y retroalimentación de conocimientos.	13/04/2024	½ día	Presencial / Taller

La Tabla 6 presenta el programa de capacitación técnica – implementación del RCM, desarrollado con el objetivo de fortalecer las competencias del personal técnico y operativo de la empresa Impala Terminals Perú SAC durante la implementación del RCM. El programa se llevó a cabo entre los días 8 y 13 de abril de 2024, distribuyéndose en seis módulos temáticos que combinan formación teórica y práctica bajo una modalidad presencial en aula, campo y taller, lo que permitió aplicar directamente los conocimientos adquiridos.

Cada módulo abordó un aspecto clave para la correcta ejecución del plan RCM. Se inició con los fundamentos teóricos del RCM, seguido por el reconocimiento de fallas comunes en los cargadores frontales, y luego se trabajó en la inspección visual de componentes críticos. Posteriormente, se capacitó sobre el uso adecuado de formatos técnicos, y se finalizó con un taller práctico de mantenimiento preventivo y una sesión de evaluación y retroalimentación.

Figura 13

Registro de participación de una capacitación

S-R-09-03 v. 1.0 pá. 1 de 1		IMPALA TERMINALS PERÚ					
		Registro de Inducción, Capacitación, Entrenamiento, Simulacros de Emergencia y Reunión Grupal					
N° REGISTRO		DATOS DEL EMPLEADOR					
RUC		DOMICILIO (Dirección, Dpto., Departamento provincial)		ACTIVIDAD ECONÓMICA		N° TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL	
IMPALA TERMINALS PERÚ SAC		225827703		AV. CENTRAL MIRAFLORES 472, CALLAO		ALMACENAMIENTO	
MARCAR (X)							
EDUCACIÓN		CAPACITACIÓN		ENTRENAMIENTO		SIMULACRO DE EMERGENCIA	
		X		X			
TEMA: Mantenimiento de Equipos							
FECHA		21.03.25		Hora Inicio 7:00		Hora Fin 7:30	
NOMBRE DEL CAPACITADOR O ENTRENADOR		Andy W. Culqui Tejada		FECHA		30 minutos	
DESCRIPCIÓN		<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de Cargadores Frontales - Revisión de Niveles - Eficiencia de Equipos 					
APELLIDOS Y NOMBRES		N° DNI		ÁREA EMPRESA*		FIRMA	
*De acuerdo al área en la cual labora el personal a Impala Terminals o al nombre de la Empresa al trabajar en el momento							
Rojas Inca Anaco Sando		28692599		op			
Soto Tupa Paul		4478602		operario			
Kamiro Juarez E		45509702		impala			
Amado Alfonso		72570036		op			
Pinto Tafur Miri		43893215		op			
MORALES H. Ivon		06770220		op			
Blanco Blas Juan		46372116		op.s			
Fernandez Miro		46118969		op.s			
Chilca Giraldo Miguel		77045670		op.s			
Jorge Condova E.		40383374		op. jnr			
Cabrera Quispe Quispe		42459770		op.s			
Rodrigo Aguilar Eduardo		00270634		Operarios			
Rojas Solano Joaquin		20710370		op			
Yamari Ramirez Abla		25460370		op.s			
Cabrera Silva Erick		41586461		op.s			
Eduardo Napoma Colan		46311348		op.s			

La figura muestra el registro oficial del programa de capacitación ejecutado el 21/03/2025, bajo el tema "Mantenimiento de Equipos" , el cual incluyó revisión de condiciones operativas de los cargadores frontales, análisis de reportes de fallas y validación de limpieza y eficiencia de las unidades. Este tipo de sesiones se continúa ejecutando actualmente como parte del proceso de mantenimiento continuo del RCM , asegurando la sostenibilidad y mejora progresiva del sistema implementado. La capacitación estuvo liderada por el responsable técnico del proyecto RCM y contó con la participación activa del personal de operaciones y mantenimiento.

Figura 14

Ejecución práctica de capacitación en campo – taller de revisión operativa y visual de equipos.



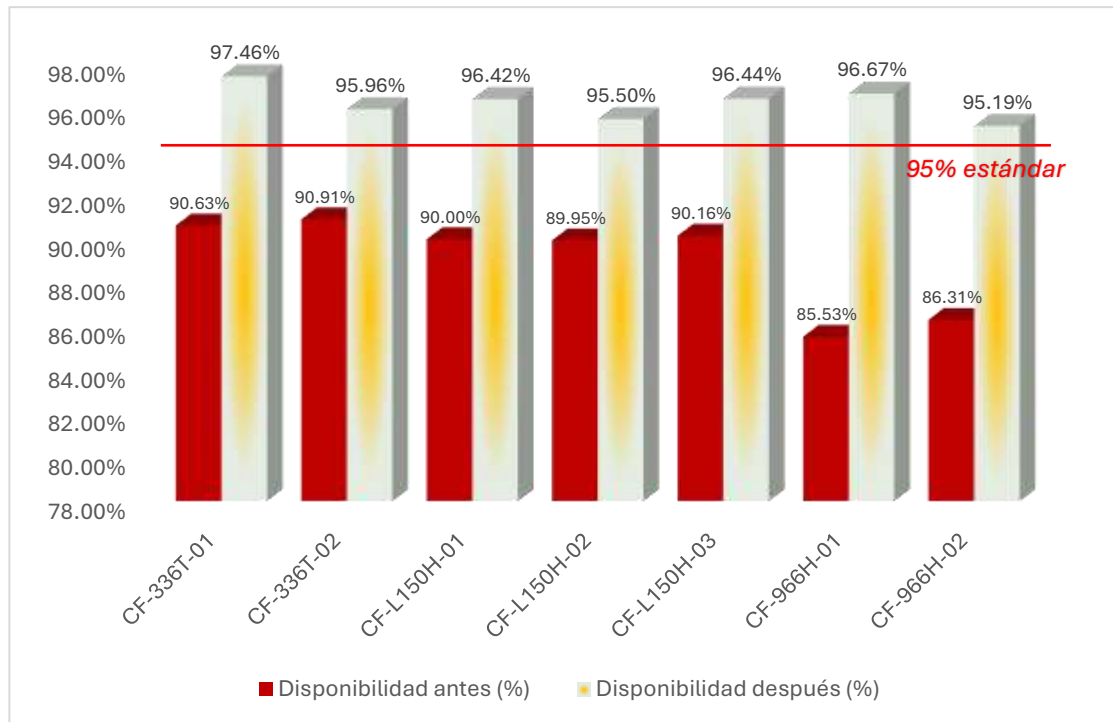
En esta imagen se evidencia una sesión de capacitación práctica realizada en zona operativa, donde se observa al personal reunido alrededor de un cargador frontal, recibiendo instrucciones técnicas sobre la evaluación visual y funcional del equipo. Estas prácticas de capacitación permiten reforzar los procedimientos de inspección de rutina y asegurar que los operadores estén familiarizados con los puntos críticos a monitorear.

4.3. Objetivo 3: Incrementar la disponibilidad operativa de los cargadores frontales hasta alcanzar niveles óptimos que garanticen la continuidad y eficiencia de las operaciones.

La Figura presentada muestra la mejora porcentual en la disponibilidad de cada uno de los siete cargadores frontales evaluados, comparando el periodo antes y después de la implementación del RCM. En todos los equipos se evidencia un incremento significativo, siendo el más destacado el cargador CF-966H-01, que pasó de 85,53% a 96,67%, con un aumento de 11,14%. En promedio, la disponibilidad de los equipos aumentó de 89.21% a 96.26%, es decir, una mejora general de 7.90%. Esta evolución demuestra el impacto positivo del plan de mantenimiento aplicado, superando el umbral estándar del 95% y reduciendo los tiempos de inactividad, lo cual mejora la eficiencia operativa y reduce los costos asociados a fallas.

Figura 15

Comparativo de la disponibilidad antes y después del RCM en los 7 cargadores frontales (julio – diciembre 2023 vs julio – diciembre 2024)



Antes de implementar el RCM, los cargadores frontales registraban un MTBF de 43.64 horas, lo que indicaba una alta frecuencia de fallas. Sin embargo, tras la ejecución del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, este indicador se incrementó a 81.07 horas, lo que representa una mejora del 85.8%. Esta variación positiva demuestra que los equipos operaron durante más tiempo sin presentar averías, gracias a inspecciones más frecuentes, mantenimiento predictivo y un enfoque preventivo.

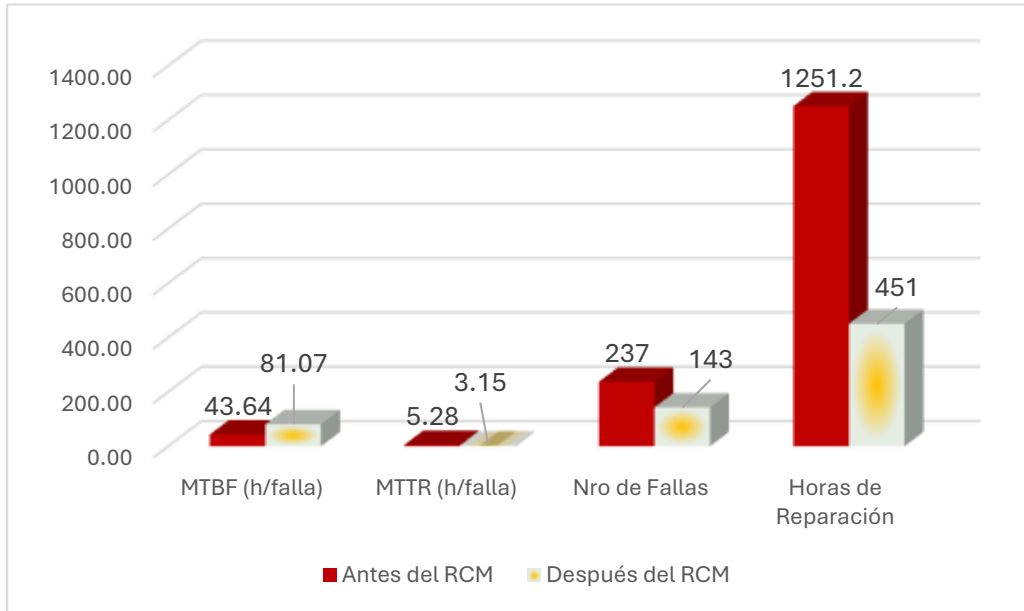
En cuanto al MTTR refleja el tiempo promedio necesario para reparar un equipo tras una falla. Antes del RCM, este tiempo era de 5.28 horas por intervención. Después de la implementación, se redujo a 3.15 horas, evidenciando una mejora del 40.3%. Esta reducción se atribuye a una mejor planificación de tareas, disponibilidad de repuestos, formatos de diagnóstico estandarizados y mayor capacitación técnica, lo cual permitió intervenciones más rápidas, eficientes y menos invasivas.

Durante el periodo julio – diciembre 2023, se registraron 237 fallas en total en la flota de 7 cargadores frontales. Luego del RCM, en el mismo periodo de 2024, estas se redujeron a 143, logrando una disminución del 39,7%. Esta caída en el número de fallas se logró gracias al seguimiento de los modos de fallas críticas detectados en el AMEF, la ejecución de tareas programadas por componentes, y la concientización del personal.

Uno de los impactos más significativos del RCM se evidencia en la reducción de las horas de reparación. Inicialmente, las fallas acumularon 1251.2 horas de tiempo improductivo en reparaciones. Tras la aplicación del RCM, este número cayó a solo 451 horas, representando una mejora del 63,9%. Esto permitió un mayor aprovechamiento de las horas operativas disponibles, reduciendo paradas inesperadas, optimizando recursos del taller y minimizando costos por horas hombre .

Figura 16

Comparativo de indicadores de mantenimiento antes y después del RCM en cargadores frontales (julio – diciembre 2023 vs julio – diciembre 2024)



La Tabla siguiente muestra el detalle de los resultados obtenidos en los indicadores de mantenimiento tras la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) aplicada a los siete cargadores frontales de la empresa Impala Terminals Perú SAC. Esta información corresponde al periodo de julio a diciembre del 2024, permitiendo establecer una comparación objetiva respecto al comportamiento de los equipos antes de la intervención.

En dicha tabla se evidencia una mejora considerable en los indicadores clave: mayor disponibilidad, incremento del MTBF, reducción del MTTR, menor cantidad de fallas y disminución del tiempo total en horas de reparación. Además, se detallan los resultados obtenidos por cada cargador frontal, según su código, modelo y marca, lo que permite evaluar el impacto del RCM de forma individual y colectiva.

Estos resultados reflejan la efectividad del plan preventivo implementado, el fortalecimiento del rol del operador en la inspección diaria, la estandarización de

procedimientos técnicos y el enfoque proactivo en la gestión del mantenimiento. Esta tabla no solo representa una evidencia cuantitativa del éxito de la estrategia, sino que también sustenta la continuidad del RCM como parte del sistema de gestión del mantenimiento en la empresa.

Tabla 7

Resumen de indicadores de disponibilidad después de la implementación del RCM

Código	Modelo	Marca	Horas de Operación	Nro. de Fallas	Horas de Reparación	MTBF (h/falla)	MTTR (h/falla)	Disp. (%)
CF-336T-01	336T	Caterpillar	1610	11	42	146.36	3.82	97.46
CF-336T-02	336T	Caterpillar	1471	13	62	113.15	4.77	95.96
CF-L150H-01	L150H	Volvo	2022	24	75	84.25	3.13	96.42
CF-L150H-02	L150H	Volvo	1804	26	85	69.38	3.27	95.50
CF-L150H-03	L150H	Volvo	1736	24	64	72.33	2.67	96.44
CF-966H-01	966H	Caterpillar	1624	29	56	56.00	1.93	96.67
CF-966H-02	966H	Caterpillar	1326	16	67	82.88	4.19	95.19
Total			11593	143	451	81.07	3.15	96.26

4.4. Objetivo 4: Realizar la evaluación económica de la implementación del RCM

4.4.1. Beneficio del RCM

Tabla 8

Resultados del impacto económico antes vs después del RCM

Tipo de beneficio	Detalle	Detalles	Perdida inicial	Datos después	Perdida Final	Beneficio
Beneficio por ahorro en costos operativos	Horas de inactividad	1251.20	S/125,120	451.00	S/45,100	S/80,020
	Costo por hora	S/ 100.00		S/100.00		
Beneficio por reducción de costos de mantenimiento correctivo	Incremento en costos de repuestos y reparaciones urgentes	Repuestos adicionales por desgaste prematuro	S/46,500		S/17,542	S/ 28,958
	Pago de horas extras para		75	S/9,000	S/26.00	S/3,120

Beneficio por reducción de pago de horas extras	compensar la baja disponibilidad			
	Costo por hora de operador de montacarga	S/ 120.00	S/120.00	
Impacto total de la baja disponibilidad		S/180,620	S/65,762	S/114,858

Beneficio por ahorro en costos operativos: La implementación del RCM permitió reducir significativamente las horas de inactividad de los cargadores frontales, pasando de 1251.20 horas antes del RCM a 451 horas después. Esta mejora en la disponibilidad de los equipos generó un ahorro operativo de S/ 80,020, dado que cada hora de inactividad representa un costo promedio de S/ 100. Este beneficio refleja una optimización directa en la eficiencia del uso de activos, al minimizar los tiempos improductivos de las unidades por fallas no previstas.

Beneficio por reducción de costos de mantenimiento correctivo: Gracias al análisis de criticidad ya la implementación del mantenimiento preventivo basado en el AMEF, se logró reducir considerablemente la necesidad de repuestos y reparaciones urgentes, pasando de un gasto de S/ 46,500 antes del RCM a S/ 17,542 después. Este beneficio, cuantificado en S/ 28,958, evidencia una mejora en la planificación y ejecución del mantenimiento técnico, lo que a su vez contribuye a la prolongación de la vida útil de componentes críticos y a la disminución del desgaste prematuro.

Beneficio por reducción de pago de horas extras: Otro impacto positivo del RCM fue la disminución de la necesidad de horas extras para compensar la baja disponibilidad de los equipos. Antes del RCM, se requería el pago de 75 horas extra por un total de S/ 9,000, mientras que luego de la implementación, solo fueron necesarias 26 horas, lo que representó un costo de S/ 3,120. Esto implicó un ahorro de S/ 5,880 y refleja una mejor organización del trabajo diario, además de una reducción del estrés operativo

en el personal técnico.

En conjunto, las pérdidas totales pasaron de S/ 180,620 a S/ 65,762, generando un beneficio económico total de S/ 114,858 . Esta evidencia no solo valida la efectividad técnica del RCM, sino también su impacto positivo en la rentabilidad operativa de la empresa.

4.4.2. Costo de la ejecución de la implementación

Tabla 9

Costos de la implementación del RCM

N.º	Descripción	Detalle adicional	Costo (S/.)
1	Servicios de consultoría técnica especializada en RCM	Asesoría externa para diseño, ejecución y seguimiento del plan RCM	S/ 1,800.00
2	Capacitación técnica al personal	Módulos presenciales, instructores y materiales impresos	S/ 7,800.00
3	Adquisición de repuestos críticos	Filtros, mangueras, sensores, sellos hidráulicos	S/ 34,800.00
4	Componentes de monitoreo y medición	Manómetros, termómetros infrarrojos, multímetros, medidores portátiles	S/ 11,300.00
5	Formatos y manuales impresos (AMEF, inspección, orden de trabajo)	Checklists y hojas de trabajo	S/ 2,500.00
6	Costos logísticos y de transporte	Traslados de personal y repuestos durante la implementación	S/ 3,500.00
7	Software básico para gestión de mantenimiento (planillas y control)	Licencia anual de sistema en Excel avanzado	S/ 2,955.00
8	Herramientas menores y útiles de trabajo.	Llaves especiales, lubricadores, herramientas de torque.	S/ 4,000.00
9	Mano de obra técnica adicional temporal	Apoyo técnico en montaje de sensores y pruebas.	S/ 10,000.00
10	Costos administrativos y documentación del proyecto.	Emisión de informes, aprobación interna y registros	S/ 18,000.00
Total			S/ 96,655.00

La tabla muestra el desglose de los costos involucrados en la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en los cargadores frontales de la empresa Impala Terminals Perú SAC. El costo total ascendió a S/ 96,655 , distribuido entre servicios de consultoría, capacitación técnica, adquisición de repuestos críticos, componentes de monitoreo, herramientas, formatos operativos y apoyo técnico.

El mayor diseño correspondió a la contratación de consultoría especializada y costos administrativos y de documentación del proyecto, lo cual refleja la importancia de contar con asesoría experta para diseñar e implementar un plan estructurado de RCM, así como repuestos críticos y componentes de monitoreo, fundamentales para realizar inspecciones precisas y garantizar la operatividad confiable de los equipos.

Por otro lado, se invirtió en capacitación técnica del personal, considerando que uno de los pilares del RCM es que los operadores y técnicos comprenden y aplican los procedimientos de mantenimiento de manera efectiva. El resto de los costos incluyen herramientas, software de gestión en Excel, transporte, impresiones y mano de obra temporal para facilitar la ejecución del plan en campo.

4.4.3. Análisis económico

Tabla 10 *Flujo de cajas económico*

Periodos	0	Periodo 1 Jul – dic 2024	Periodo 2 Ene – jun 2025	Periodo 3 Jul-dic 2025
A. INGRESOS		S/114,858.00	S/117,155.16	S/119,498.26
Beneficio por ahorro en costos operativos		S/80,020.00	S/81,620.40	S/83,252.81
Beneficio por reducción de costos de mantenimiento correctivo		S/28,958.00	S/29,537.16	S/30,127.90
Beneficio por reducción de pago de horas extras		S/5,880.00	S/5,997.60	S/6,117.55
B. EGRESOS	S/.96,655.00			
Costos de la implementación del RCM	S/.96,655.00			
C. FLUJO DE CAJA ECONÓMICO	S/.96,655.00	S/.114,858.00	S/.117,155.16	S/.119,498.26

La implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) generó

resultados económicamente viables y rentables para la empresa Impala Terminals Perú SAC. En la Tabla 10 se presenta el flujo de caja económica, donde se observa que la inversión inicial (período 0) fue de S/ 96,655.00, correspondiente a los costos directos de la implementación del RCM. En el Periodo 1 (julio – diciembre 2024), los beneficios reales obtenidos totalizaron S/ 114,858.00, lo cual permitió recuperar completamente la inversión inicial en menos de un año.

Los beneficios en los Periodos 2 y 3 (enero – diciembre 2025) fueron proyectados con un crecimiento conservador del 2% semestral, alcanzando montos de S/ 117,155.16 y S/ 119,498.26, respectivamente. Esta proyección se basó en la continuidad del plan preventivo RCM, la madurez operativa del personal capacitado y la reducción sostenida de fallas e intervenciones correctivas no planificadas.

Los indicadores económicos consolidan la viabilidad del proyecto:

- Valor Actual Neto (VAN) de S/ 149,571.84, demuestra que los beneficios generados superan ampliamente los costos iniciales, considerando una tasa de descuento del 20% (COK).
- Tasa Interna de Retorno (TIR) de 72.1%, muy superior al COK, confirma la alta rentabilidad del proyecto
- Relación Beneficio/Costo (B/C) de 1.19, indica que por cada sol invertido se obtiene un retorno de S/ 1.19, lo que representa una inversión eficiente.
- Periodo de Recuperación de 0,84 años, es decir, menos de 10 meses, lo cual permite una rápida recuperación del capital invertido.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con respecto al objetivo general: La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) permitió mejorar significativamente la disponibilidad de los cargadores frontales en Impala Terminals Perú SAC en 7.90%. Pasando de un valor promedio de disponibilidad de 89.21% a 96.26%, superando el estándar mínimo establecido en el sector (95%), lo cual evidencia la efectividad de la estrategia implementada para optimizar el desempeño de los activos críticos.

Con respecto al primer objetivo específico: El análisis del estado actual del mantenimiento reveló deficiencias en la planificación preventiva, falta de registros detallados y una alta recurrencia de fallas funcionales, principalmente en los sistemas hidráulicos, eléctricos y neumáticos. Estas fallas afectaban directamente la continuidad de las operaciones y generaban altos costos operativos. La identificación y priorización de estas debilidades permitió establecer una línea base sobre la cual se diseñó el nuevo plan de mantenimiento.

Con respecto al segundo objetivo específico: Mediante la aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), se identificaron 25 modos de falla en los cargadores frontales, de los cuales 10 presentaban un NPR ≥ 200 , lo que indicaba un riesgo alto que requería acciones inmediatas. Este diagnóstico detallado permitió priorizar los componentes críticos y diseñar estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo más eficaces. Como parte del desarrollo del RCM, se llevó a cabo múltiples actividades clave: se ejecutó el análisis de criticidad para clasificar los equipos según su impacto en la operación, se realizó una capacitación técnica al personal operativo y de mantenimiento, se elaboraron formatos estandarizados (orden de trabajo, checklists, reportes de fallas, inspección mensual), se diseñó y ejecutó el plan de mantenimiento

preventivo , y se aplicaron inspecciones técnicas que permitieron tomar acciones correctivas en campo. Estas acciones no solo facilitaron la toma de decisiones técnicas más acertadas, sino que también sentaron las bases para una cultura de mantenimiento basada en la confiabilidad.

En relación al tercer objetivo específico: Tras la implementación del plan de mantenimiento RCM, se incrementaron los indicadores operativos clave: el MTBF aumentó de 43.64 a 81.07 h/falla , el MTTR disminuyó de 5.28 a 3.15 h/falla , y el número de fallas se redujo de 237 a 143 eventos , lo cual demuestra una mejora integral en la gestión de los activos. Esto garantizó una mayor continuidad operativa y redujo la frecuencia de paradas no programadas.

Con respecto al cuarto objetivo específico: La evaluación económica confirma la rentabilidad del proyecto. Se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 149.571,84 , una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 72,1% y un período de recuperación de solo 0,84, lo cual valida la viabilidad financiera del RCM. Los beneficios económicos derivados del ahorro en costos operativos, repuestos y horas extras alcanzaron los S/. 114,858 al primer semestre, superando ampliamente la inversión realizada.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda continuar con la implementación y seguimiento del plan de mantenimiento bajo la metodología RCM, debido a su efectividad comprobada en la mejora de la disponibilidad, reducción de fallas y optimización de costos operativos. Esta estrategia debe ser reforzada mediante actualizaciones periódicas del AMEF y del análisis de criticidad, al menos una vez al año o ante cualquier cambio significativo en la operación.

Actualizar y capacitar continuamente al personal técnico y operativos, es

fundamental programar capacitaciones periódicas enfocadas en el reconocimiento temprano de fallas, uso correcto de los formatos de mantenimiento y ejecución eficiente del mantenimiento preventivo. La formación constante asegura que el personal mantenga altos estándares técnicos y operativos.

Se recomienda seguir utilizando y perfeccionando los formatos implementados durante el proyecto (orden de trabajo, checklists, reportes de fallas, inspección mensual, historial de equipos), promoviendo la trazabilidad y el análisis sistemático de datos para una mejor toma de decisiones.

Es recomendable mantener un stock mínimo de componentes y repuestos identificados como críticos, a fin de evitar tiempos de parada prolongadas. Esta acción contribuirá a mantener altos niveles de disponibilidad y continuidad operativa.

Dada la mejora significativa observada en los cargadores frontales, se sugiere extender gradualmente la metodología RCM al resto del parque de maquinaria, priorizando aquellos equipos con alta frecuencia de fallas o impacto en la cadena operativa.

Finalmente, se recomienda que la empresa continúe con el seguimiento de los beneficios económicos logrados gracias al RCM, comparando los indicadores actuales con los históricos, a fin de sustentar financieramente la sostenibilidad del programa.

REFERENCIAS

- Andrade Solórzano, C. L., & Herrera Suárez, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 2–18. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Bautista, S. P. A., Moyano, L. F. B., Cárdenas, O. B. B., & Padilla, C. A. P. (2022). Reliability-centered Maintenance: Implementation in the Area of Vehicle Fleet Maintenance. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 2(4), 1145–1159. <https://doi.org/10.18502/espoch.v2i4.11743>
- Bbvaresearch. (2022). *Perú Situación del sector minero*. <https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2023/02/Situacion-del-sector-minero-2022-1.pdf>
- Bentes, F. M., De Souza, I. D. S., & Serpa e Souza, R. (2024). GESTÃO DA MANUTENÇÃO FOCADA NA CONFIABILIDADE ATRAVÉS DA METODOLOGIA RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (RCM). *Projectus*, 8(2), 31–49. <https://doi.org/10.15202/25254146.2023v8n2p31>
- Cruz Salinas, L. E., Mendoza Ocaña, C. E., Villena Mendieta, K., & Cueva Ramos, C. A. (2023). Maintenance management proposal based on reliability to reduce machinery failures of the broiler line in a poultry company de Perú. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations"*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.1094>
- Dounce Villanueva, E. (2014). *La Productividad en el mantenimiento industrial*.
- Fathurohman, F., & Triyono, S. (2020). RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE): THE IMPLEMENTATION IN PREVENTIVE MAINTENANCE (CASE STUDY IN AN EXPEDITION COMPANY). *EKOMABIS: Jurnal Ekonomi Manajemen Bisnis*, 1(02), 197–212.

<https://doi.org/10.37366/ekomabis.v1i02.29>

Jiménez Meza, O. A. (2021). Caracterización Operacional y de Mantenimiento de la Flota de Cargadores Cat-990 en Servicio ubicados en una Mina de la Región Caribe. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 3(1).
<https://doi.org/10.17981/bilo.3.1.2021.13>

Liu, Y., Tang, Y., Wang, P., Song, X., & Wen, M. (2024). Reliability-Centered Preventive Maintenance Optimization for a Single-Component Mechanical Equipment. *Symmetry*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/sym16010016>

Medrano Márquez, J. Á., González Ajuech, V. L., & Díaz de León Santiago, V. M. (2017). *Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales*. 9786077447092.

Moniri-Morad, A., & Sattarvand, J. (2023). A comparative study between the system reliability evaluation methods: case study of mining dump trucks. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(1). <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00272-y>

Montilla, C. A. (2019). *Mantenimiento Industrial y su Administración*.
<https://core.ac.uk/download/288157713.pdf>

Mora, L. M., Planeación, E., Alfaomega, P. E., Editor, G., & De, S. A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. <http://www.alfaomega.com.mx>

Nurcahyo, R., Tri Nugroho, F. W., & Kristiningrum, E. (2023). RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY (RAM) ANALYSIS FOR PERFORMANCE EVALUATION OF POWER GENERATION MACHINES. *Jurnal Standardisasi*, 25(1), 41. <https://doi.org/10.31153/js.v25i1.982>

Palomino Gamarra, J. A., & Ramirez Santi, E. R. (2023). *Aplicación del RCM para la mejora del plan de mantenimiento de los cargadores frontales de bajo perfil en una empresa minera*. <http://hdl.handle.net/10757/671841>

Ramos Velayarce, W. (2023). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de un Cargador Frontal de una empresa de construcción*

civil. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/27083>

Ropero Gaona, C., & Lucas Marmol, A. (2023). Analysis of reliability based on preventive maintenance of failures in the VSH-2 mechanical pumping unit for oil extraction. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14(6), 2695–2719. <https://doi.org/10.1007/s13198-023-02125-6>

Silva, A. F. S., Santos, E. C. S., Luz, R. M. do N., & Fernandes, R. da S. (2023). Analysis of preventive maintenance strategy in off-road trucks. *Gestao e Producao*, 30. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2023v30e5923>

Vidaurre, J. , Pio, M., Reyes, R., & Quispe, G. (2022). Aumento de disponibilidad en equipos de una empresa de polímeros enfocado en el método RCM. *Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologias De Informação*. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/aumento-de-disponibilidad-en-equipos-una-empresa/docview/2758392122/se-2>

Yupanqui Apolinario, E., Rodriguez Carrillo, S. A., & Ordoñez Gamarra, R. J. (2024). Implementation of reliability-centered maintenance (RCM) to improve the availability of CL120 Freightliner tractors in J&J Transportes y Soluciones Integrales Inc. *Proceedings of the 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2024): “Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.577>

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia

Formulación del Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Metodología	Población
<p>General: ¿Cómo el programa del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) puede mejorar la disponibilidad de los cargadores frontales en Impala Terminals Perú SAC?</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el estado actual del mantenimiento de los cargadores frontales en Impala Terminals Perú SAC y cómo impactan sus fallas funcionales en la disponibilidad operativa? • ¿Cómo se implementará el RCM en los cargadores frontales? • ¿Cómo se puede incrementar la disponibilidad operativa de los cargadores frontales mediante la aplicación del RCM, garantizando la continuidad y eficiencia de las operaciones? • ¿Cuál es la viabilidad económica de la implementación del RCM en los cargadores frontales de Impala Terminals Perú SAC y qué impacto tiene en los costos de mantenimiento? 	<p>No aplica por ser trabajo de suficiencia profesional</p>	<p>General: Implementar un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad de los cargadores frontales en Impala Terminals Perú SAC.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar el estado actual del mantenimiento de los cargadores frontales, identificando las principales fallas funcionales y su impacto en la disponibilidad operativa. • Realizar la implementación del RCM en los cargadores frontales • Incrementar la disponibilidad operativa de los cargadores frontales hasta alcanzar niveles óptimos que garanticen la continuidad y eficiencia de las operaciones. • Realizar la evaluación económica de la implementación del RCM 	<p>Independiente: Mantenimiento centrado en confiabilidad</p> <p>Dependiente: Disponibilidad</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Diseño: Pre experimental</p> <p>Técnicas: Análisis documental</p> <p>Instrumentos: Ficha de indicadores de disponibilidad</p>	<p>Población: Se consideró a los datos de disponibilidad de los cargadores frontales de la empresa Impala Terminals Perú SAC</p> <p>Muestra: Se consideró a los datos de las dimensiones de Tiempo medio entre fallas (MTBF) y Tiempo medio de reparación (MTTR) de la variable disponibilidad de los cargadores frontales de la empresa Impala Terminals Perú SAC</p> <p>Tipo de muestreo: El tipo de muestreo utilizado en este estudio es por conveniencia o intencional, no probabilístico ya que no se utilizó ninguna fórmula para determinar el tamaño de muestra.</p>