

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

## **“MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN LA FLOTA PESADA DE LA EMPRESA RODRIA E.I.R.L. TRUJILLO, 2024”**

**Trabajo de suficiencia profesional para optar al título**

**profesional de:**

**Ingeniero Industrial**

**Autores:**

Carlos Francisco, Cardenas Garcia

Jose Alberto Francisco, Guevara Castro

**Asesor:**

Mg. Carlos Enrique, Mendoza Ocaña

<https://orcid.org/0000-0003-0476-9901>




**Trujillo - Perú**

2024

## INFORME DE SIMILITUD

### Carlos Francisco Cardenas Garcia

TSP VF 24NOV2024

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Privada del Norte

#### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::1:3094921716

Fecha de entrega  
27 nov 2024, 9:08 a.m. GMT-5

Fecha de descarga  
27 nov 2024, 9:12 a.m. GMT-5

Nombre de archivo  
CARDENAS\_GARCIA\_GUEVARA\_CASTRO\_rec\_24112024\_rev\_24112024\_vf.docx

Tamaño de archivo  
623.0 KB

85 Páginas  
16,332 Palabras  
90,019 Caracteres



Página 2 of 89 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3094921716




## 9% Similitud general

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

#### Filtrado desde el informe

-  Bibliografía
-  Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

#### Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

#### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **DEDICATORIA**

Con gratitud y profundo respeto, dedicamos nuestro trabajo a todas las personas que han sido parte fundamental de nuestra trayectoria académica y personal.

A nuestros padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y su sacrificio para brindarnos las mejores oportunidades. Su fe de ellos en nosotros han sido el motor que me ha impulsado a alcanzar cada meta. Sin su aliento y su ejemplo, este logro no habría sido posible.

A nuestro asesor Carlos Mendoza, por su paciencia, sabiduría y orientación a lo largo de este proceso. Sus enseñanzas no solo han enriquecido nuestro conocimiento, sino que han marcado la diferencia en nuestra formación como ser humano y profesional.

Y, por supuesto, a todos aquellos que de alguna manera han dejado una huella en nuestra vida y en este proceso de investigación, por sus aportes, sugerencias y por su apoyo silencioso pero fundamental.

Este trabajo es el reflejo de su esfuerzo, su soporte y su confianza en nosotros.

Los autores

## AGRADECIMIENTO

Quisiéramos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, han hecho posible la culminación de este trabajo.

En primer lugar, agradezco profundamente a nuestras familias, quienes con su amor, dedicación y esfuerzo nos han brindado una educación sólida y una base emocional inquebrantable. Sin su apoyo incondicional, no habríamos llegado tan lejos. Todos ellos han sido nuestros pilares en cada paso de este arduo pero gratificante camino.

A nuestro asesor Carlos Mendoza, por su orientación, conocimientos y paciencia a lo largo de todo el proceso de investigación. Gracias por brindarnos herramientas valiosas para el desarrollo de este trabajo y por exigirnos siempre. Su guía ha sido esencial para poder alcanzar este objetivo con éxito.

A todas las personas que, con su trabajo y dedicación, han hecho posible el acceso a recursos, bibliografía y datos necesarios para el desarrollo de este estudio. Sin su esfuerzo en la gestión y disponibilidad de estos materiales, este proyecto no hubiera sido posible.

A los miembros de nuestras familias extendida, por su apoyo y por siempre creer en nuestras capacidades. Agradecemos también a todas las personas que, de una u otra forma, a través de sus experiencias, palabras de aliento o incluso sus críticas constructivas, han dejado una huella positiva en mi camino.

Finalmente, queremos agradecer a todos aquellos que, aunque no mencionados

directamente, han estado presentes de manera silenciosa, pero fundamental, en cada momento de este proceso. Su contribución, aunque tal vez no evidente en cada página escrita, ha sido clave para que este logro se hiciera realidad.

Este trabajo es el resultado del esfuerzo colectivo de todas estas personas, y por ello, le dedicamos con el corazón lleno de gratitud.

Los autores

## Tabla de contenido

INFORME DE SIMILITUD.....	2
DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
RESUMEN EJECUTIVO.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	13
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA .....	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....	29
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
REFERENCIAS .....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Flota de la empresa RODRIA EIRL</i> .....	11
Tabla 2 <i>Proyectos de la empresa RODRIA EIRL</i> .....	11
Tabla 3 <i>Tiempo medio entre fallas periodo inicial</i> .....	29
Tabla 4 <i>Tiempo medio de reparaciones periodo inicial</i> .....	30
Tabla 5 <i>Disponibilidad de maquinaria periodo inicial</i> .....	32
Tabla 6 <i>Puntuaciones de causas según expertos</i> .....	35
Tabla 7 <i>Penalización económica por no cumplir disponibilidad</i> .....	38
Tabla 8 <i>Impacto monetario de los cargadores frontales CAT 966 y 966L</i> .....	39
Tabla 9 <i>Impacto monetario de la excavadora CAT HYD 336</i> .....	39
Tabla 10 <i>Impacto monetario de las motoniveladoras CAT 140K (2018) y CAT 140K (2023)</i> .....	40
Tabla 11 <i>Especificaciones de cargadores frontales CAT 966 y CAT 966L</i> .....	42
Tabla 12 <i>Análisis de criticidad del cargador frontal CAT 966</i> .....	45
Tabla 13 <i>Análisis de criticidad del cargador frontal CAT 966L</i> .....	49
Tabla 14 <i>Cronograma de mantenimiento preventivo para las maquinarias cargador frontal 966 y 966L marca CAT</i> .....	50
Tabla 15 <i>Especificaciones de excavadora hidráulica CAT 336</i> .....	53

Tabla 16 <i>Análisis de criticidad de excavadora hidráulica CAT 336</i> .....	55
Tabla 17 <i>Cronograma de mantenimiento preventivo para la maquinaria excavadora HYD 336 marca CAT</i> .....	57
Tabla 18 <i>Especificaciones de motoniveladora CAT 140K (2018 y 2023)</i> .....	59
Tabla 19 <i>Análisis de criticidad de la motoniveladora 140K (2018)</i> .....	62
Tabla 20 <i>Análisis de criticidad de la motoniveladora CAT 140K (2023)</i> .....	65
Tabla 21 <i>Cronograma de mantenimiento preventivo para las maquinarias motoniveladora 140K (2018 y 2023) marca CAT</i> .....	66
Tabla 22 <i>Análisis de criticidad global de todos los equipos</i> .....	69
Tabla 23 <i>Tiempo medio entre fallas periodo final</i> .....	70
Tabla 24 <i>Tiempo medio entre reparaciones periodo final</i> .....	71
Tabla 25 <i>Disponibilidad del periodo final</i> .....	72
Tabla 26 <i>Comparación del periodo inicial y el periodo final</i> .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Organigrama de la empresa</i> .....	12
Figura 2 <i>Ciclo PHVA</i> .....	21
Figura 3 <i>Tiempo medio entre fallas periodo inicial</i> .....	30
Figura 4 <i>Tiempo medio de reparaciones periodo inicial</i> .....	31
Figura 5 <i>Disponibilidad de maquinaria periodo inicial</i> .....	32
Figura 6 <i>Diagrama de Ishikawa</i> .....	34
Figura 7 <i>Gráfico de Pareto</i> .....	37
Figura 8 <i>Cargador frontal CAT 966 y 966L</i> .....	42
Figura 9 <i>Excavadora hidráulica CAT 336</i> .....	53
Figura 10 <i>Motoniveladora CAT 140K (2018 y 2023)</i> .....	59
Figura 11 <i>Tiempo medio entre fallas periodo final</i> .....	71
Figura 12 <i>Tiempo medio entre reparaciones periodo final</i> .....	72
Figura 13 <i>Disponibilidad del periodo final</i> .....	73

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de un plan de mantenimiento preventivo en la disponibilidad operativa de la maquinaria de la empresa RODRIA EIRL. La investigación, de tipo aplicada, utilizó un enfoque cuantitativo basado en indicadores clave como el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparaciones (MTTR). Los resultados evidenciaron que, durante el periodo inicial, la disponibilidad promedio de las máquinas osciló entre 73% y 78%. Tras la implementación del plan preventivo, se logró un aumento en la disponibilidad de hasta 85%, reduciendo significativamente el tiempo de inactividad y los costos operativos asociados. Las conclusiones destacan que el mantenimiento preventivo no solo mejora la disponibilidad de los equipos, sino que también optimiza recursos y prolonga la vida útil de la maquinaria, consolidándose como una herramienta esencial para la sostenibilidad y competitividad empresarial.

**Palabras Claves: Mantenimiento, preventivo y disponibilidad**

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La empresa RODRIA E.I.R.L. fue fundada en el año 2018 al mando del Gerente General, Isaías Gonzáles Ayay. Esta es una empresa pequeña, la cual tiene como principal servicio, el alquiler de maquinaria pesada (Línea Amarilla), su fundación se debió a raíz del crecimiento de mercado por la apertura de nuevos proyectos mineros. Actualmente la empresa cuenta con la siguiente flota:

**Tabla 1**

*Flota de la empresa RODRIA EIRL*

MARCA	MODELO	AÑO	VIN/CHASIS	FLOTA
CAT	966	2023	J8R00500	CARGADOR FRONTAL
CAT	336	2022	GDY21518	EXCAVADORA HYD
CAT	140K	2018	JPA04984	MOTONIVELADORA
CAT	140K	2023	JPA06565	MOTONIVELADORA
CAT	966L	2021	FRS02233	CARGADOR FRONTAL

Asimismo, actualmente se encuentra en los siguientes proyectos

**Tabla 2**

*Proyectos de la empresa RODRIA EIRL*

OPERACIÓN	UBICACIÓN
SHAHUINDO	CAJAMARCA
YANACocha	CAJAMARCA

**Visión:**

Brindar un servicio de calidad y r responsabilidad con nuestros clientes y el entorno social velando por la seguridad y el medio ambiente.

**Misión:**

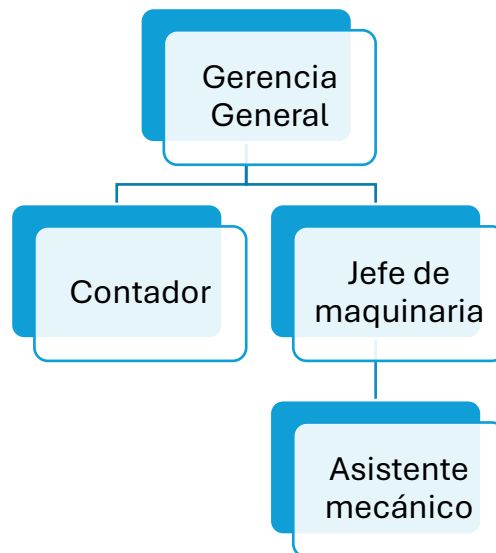
Ser una empresa líder en nuestro rubro, logrando un desarrollo constante y sostenido con el apoyo de nuestro principal recurso, las personas.

**Valores:**

- Cumplimiento “antes del plazo”
- Calidad de nuestros servicios
- Seriedad y ética
- Eficiencia

**Figura 1**

*Organigrama de la empresa*



Fuente: Registro de la empresa

En el organigrama se aprecia que la empresa está conformada por la Gerencia General seguido por un contador y jefe de maquinaria, este a su vez tiene un asistente mecánico.

**Servicios:** El servicio que la empresa brinda es:

-Alquiler de maquinaria pesada

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento preventivo, que es una práctica esencial y fundamental en la gestión de activos industriales, se establece como una estrategia cuyo objetivo principal es evitar, prevenir y anticipar la ocurrencia de fallos o averías en los equipos y sistemas productivos mediante la ejecución de intervenciones planificadas que, de manera sistemática y constante buscan asegurar el funcionamiento óptimo y continuo de los mismos, de tal manera se eviten interrupciones inesperadas que puedan afectar negativamente la eficiencia operativa, la productividad y la rentabilidad de las organizaciones (Tsang et al., 2019).

Este tipo de mantenimiento al enfocarse en la anticipación de posibles problemas antes de que estos se manifiesten permite a las empresas mantener sus recursos en funcionamiento de forma continua y sin interrupciones, lo que no solo garantiza la estabilidad operativa, sino que también contribuye a la optimización de los procesos productivos, ya que al evitarse la aparición de fallos imprevistos se minimizan los tiempos de inactividad que podrían resultar perjudiciales para la empresa u organización de esa manera el mantenimiento preventivo constituye una herramienta esencial y vital que al integrarse con la tecnología y la digitalización que caracterizan al entorno industrial actual asegura que los activos críticos continúen operando de manera efectiva, eficiente y sostenida, lo que repercute en un impacto positivo sobre la rentabilidad, la competitividad y la capacidad de las empresas para competir en mercados cada vez más exigentes y demandantes (Tsang et al., 2019).

Asimismo, el enfoque del mantenimiento preventivo, basado en la

planificación minuciosa, detallada y meticulosa de intervenciones sistemáticas y programadas busca garantizar que los equipos y sistemas de mantengan en condiciones óptimas, adecuadas y eficientes de funcionamiento durante el mayor tiempo posible, lo cual se traduce en una reducción significativa, notable y considerable de la probabilidad de que ocurran fallos imprevistos, inesperados o sorpresivos; este enfoque, al prevenir la ocurrencia de averías antes de que estas se manifiesten, no solo contribuyen a minimizar las interrupciones en los procesos productivos, sino que también prolonga, extiende y alarga la vida útil de los activos, lo que permite a las empresas utilizar sus recursos durante un período más extenso, prolongado y duradero antes de que sea necesario proceder a su reemplazo o reparación (Tsang et al., 2019).

De esta manera el mantenimiento preventivo al anticiparse a las posibles fallas reduce los costos operativos asociados a las reparaciones no planificadas, imprevistas y emergentes las cuales suelen ser más costosas, complejas y difíciles que las intervenciones programadas, a la vez es importante señalar que el mantenimiento preventivo, a diferencia del mantenimiento correctivo, que solo actúa cuando los equipos han fallado, se basa en la anticipación previsión y prevención de posibles disfunciones antes de que estas afecten el normal desarrollo de los procesos productivos, lo que permite a las empresas gestionar de manera más eficiente, efectiva y óptima sus recursos; además es preciso distinguir el mantenimiento preventivo del mantenimiento predictivo, ya que este último se apoya en tecnologías avanzadas para monitorear en tiempo real el estado de los equipos, mientras que el preventivo se fundamenta en el análisis histórico de los datos, la experiencia acumulada y las recomendaciones técnicas del fabricante estableciendo así un modelo que prioriza la planificación anticipada basada en el

historial de los activos y no en la intervención inmediata ante señales de alerta (Tsang et al., 2019).

La evolución del mantenimiento preventivo ha sido acompañada por una transformación sustancial, significativa y profunda en las metodologías, empleadas para su implementación, pues en sus primeros años, este tipo de mantenimiento se limitaba a la realización de intervenciones programadas en intervalos de tiempo fijos, establecidos y predefinidos, lo que, en muchas ocasiones no se correspondía con las necesidades reales, actuales y concretas de los equipos generando así una serie de ineficiencias, desperdicios y mal uso en la gestión de los recursos; los activos eran sometidos a revisiones que, en algunos casos resultaban innecesarias, superfluas y redundantes incrementando los costos de mantenimiento sin una justificación sólida, válida y razonable (Selcuk, 2017).

No obstante, el advenimiento de tecnologías más avanzadas, modernas y sofisticadas ha permitido que el mantenimiento preventivo evolucione hacia un modelo más dinámico, flexible y eficiente en el que las intervenciones se basan en el estado real, actual y concreto de los equipos, ajustando las tareas de mantenimiento de acuerdo con las condiciones específicas, particulares y singulares de los activos, lo que reduce de manera significativa, notable y considerable el riesgo de fallos inesperados; de esta forma, la introducción de sistemas de monitoreo avanzados, como sensores y herramientas de diagnóstico predictivo, ha hecho posible optimizar el mantenimiento preventivo, permitiendo que las intervenciones se realicen cuando sean necesarios, indispensables y oportunas, evitando el uso innecesario, superfluo y excesivo de recursos en reparación que no aportan en valor añadido; en este contexto, la aparición del mantenimiento 4.0, que integra tecnologías como el internet de las cosas (IoT) y el análisis de grandes

volúmenes de datos, han permitido una motorización continua, constante y permanente del estado de los equipos, facilitando la toma de decisiones más informada, precisa y oportuna con respecto a las intervenciones requeridas lo que se traduce en una gestión más eficiente, efectiva y eficaz de los activos (Selcuk, 2017).

Uno de los beneficios más importantes, relevantes y destacados del mantenimiento preventivo es su capacidad para reducir la frecuencia de fallos inesperados, imprevistos y sorpresivos, lo que a su vez contribuye a mejorar de manera notable, significativa y considerable la productividad de las organizaciones, dado que al identificar y corregir los problemas potenciales antes de que se conviertan en averías graves, serias y críticas, se evitan interrupciones en los procesos productivos; de esta manera, el mantenimiento preventivo no solo optimiza el uso de recursos disponibles, existentes y presentes, sino que también permite a las empresas continuar sus operaciones de manera fluida, continúa y sin interrupciones, sin que los equipos se vean afectados por fallos que podrían paralizar la producción; a pesar de que la implementación de un programa de mantenimiento preventivo implica una inversión inicial considerable, significativa y sustancial en términos de planificación y recursos, a largo plazo, esta inversión se revela como altamente rentable, provechosa y beneficiosa dado que las reparaciones programadas suelen ser menos costosas, onerosas y gravosas que las reparaciones de emergencia, que, además de implicar mayores costos, gastos y desembolsos pueden requerir la sustitución de componentes o incluso equipos completos lo que incrementa los gastos operativos de manera significativa; asimismo, el mantenimiento regular permite prolongar la vida útil de los equipos retrasando la necesidad de realizar reemplazos y contribuyendo la reducción de costos a largo

plazo; de igual forma un programa adecuado de mantenimiento preventivo mejora considerablemente la seguridad en el lugar de trabajo, ya que los equipos en mal estado o que presentan fallos inesperados representan un riesgo considerable, importante y serio para los trabajadores y realizar intervenciones de manera planificada, estos riesgos se minimizan, reducen y atenúan creando un entorno laboral más seguro, confiable y protegido para todos los empleados (Sullivan et al., 2018)

Actualmente, el mantenimiento preventivo está experimentando una transformación profunda, radical y significativa impulsada por la digitalización y la adopción de nuevas tecnologías avanzadas, lo que ha dado lugar al surgimiento del mantenimiento 4.0, una tendencia que integra herramientas digitales como el IoT y el análisis de datos en tiempo real, permitiendo una monitorización continua, constante y permanente de los equipos y facilitando de la planificación de intervenciones de manera más eficiente, precisa y oportuna; al combinarse estas tecnologías con las prácticas profesionales de mantenimiento preventivo, las organizaciones logran optimizar significativamente, notablemente y considerablemente la gestión de sus activos, mejorando la eficiencia operativa reduciendo los costos asociados a las reparaciones de emergencia y prolongando la vida útil de los equipos, lo que asegura que el mantenimiento preventivo siga siendo una herramienta clave, fundamental y esencial en la mejora continua de las operaciones industriales en un entorno cada vez más competitivo, exigente y desafiante (Lee et al., 202).

En el ámbito de la gestión del mantenimiento, es fundamental contar con indicadores que permitan evaluar y medir de manera precisa la efectividad de las estrategias que permiten evaluar y medir de manera precisas la efectividad de las

estrategias implementadas, ya que estos proporcionan información valiosa para la toma de decisiones orientadas a optimizar procesos, reducir costos y mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos; entre los indicadores más relevantes se encuentran el Tiempo Medio Entre Fallos, que mide el tiempo promedio que un equipo opera sin experimentar fallas, reflejando así su confiabilidad; y el Tiempo Medio de Reparación, que mide el tiempo promedio que se requiere para restaurar un equipo tras una falla, indicando la eficiencia de las acciones de mantenimiento correctivo; sin embargo uno de los indicadores más críticos en la gestión del mantenimiento es la disponibilidad, la cual se refleja el porcentaje de tiempo en que un equipo está operativo y disponible para su uso en relación con el tiempo total que debería estar disponible ofreciendo una visión integral del desempeño y la eficiencia operativa del equipo (Fernández & García, 020).

La disponibilidad, en esencia se refiere a la relación entre el tiempo en que un equipo está en pleno funcionamiento y el tiempo total que incluye tanto los períodos de operación como los de inactividad; esto significa que un equipo con alta disponibilidad es aquel que pasa la mayor parte del tiempo operativo y listo para su uso, mientras que uno con baja disponibilidad experimenta frecuentes o prolongados periodos de inactividad, lo que puede deberse a falla, mantenimientos programados o retrasos logísticos; al considerar factores como el tiempo medio entre fallos y el tiempo medio de reparación, se puede apreciar como la confiabilidad y la mantenibilidad del equipo impactan directamente en su disponibilidad, ya que un equipo que falla menos y que puede ser reparado más rápidamente tenderá a tener una mayor disponibilidad (Fernández & García, 020).

Es importante destacar que existen diferentes tipos de disponibilidad que se analizan en la gestión del mantenimiento; la disponibilidad inherente se centra en

las características propias del diseño del equipo y en las acciones correctivas, sin considerar factores externos; la disponibilidad operacional incluye aspectos como los tiempos de espera, la logística y las condiciones operativas del entorno; por último, la disponibilidad efectiva abarca tanto los mantenimientos preventivos como las fallas imprevistas durante la operación, proporcionando una visión más completa y realista del desempeño del equipo en condiciones operativas reales (Rodríguez et al., 2019).

La disponibilidad es un indicador clave en la gestión del mantenimiento debido a su impacto directo en la eficiencia operativa y en los costos asociados; un equipo con baja disponibilidad puede generar pérdidas significativas por tiempo de inactividad y reducción en la producción, afectando la rentabilidad y competitividad de la organización; por esta razón, la disponibilidad se utiliza como un criterio fundamental en la planificación de estrategias de mantenimiento, asignación de recursos y decisiones de inversión en nuevos equipos y tecnologías; mejorar la disponibilidad no solo implica acciones técnicas sobre los equipos, sino también una gestión efectiva de procesos y recursos humanos (Pérez & Hernández, 2021).

Para incrementar la disponibilidad de los equipos, es esencial implementar estrategias como la optimización de programas de mantenimiento preventivo y predictivo, que permiten anticiparse a las fallas y reducir su ocurrencia; la capacitación continua es igualmente crucial para asegurar que las reparaciones se realicen eficiente y efectiva, minimizando los tiempos de inactividad; además, una gestión eficiente de repuestos y logística puede reducir los tiempos de espera y contribuir una mayor disponibilidad; la integración de tecnología y monitoreo avanzado también puede desempeñar un papel significativo en la mejora de la disponibilidad al proporcionar información en tiempo real sobre los estados de los

equipos (López et al., 2020).

En diversos sectores industriales, la disponibilidad de los equipos es un factor crítico que influye directamente en la productividad y en la capacidad de cumplir con los objetivos de negocio; en la industria manufacturera, una alta disponibilidad es esencial para mantener los niveles de producción y cumplir con los plazos de entrega; en el sector energético la disponibilidad garantiza el suministro continuo y confiable de energía, lo cual es vital para el funcionamiento de otras industrias y servicios esenciales; en el sector tecnológico, la disponibilidad de sistemas y redes es fundamental para el funcionamiento ininterrumpido de servicios digitales y de comunicación, que son indispensables en la economía moderna (Ruíz & Vargas, 2022).

En la realización del presente trabajo se revisó diferentes autores con la finalidad de lograr los objetivos, por ello se consideró las siguientes teorías:

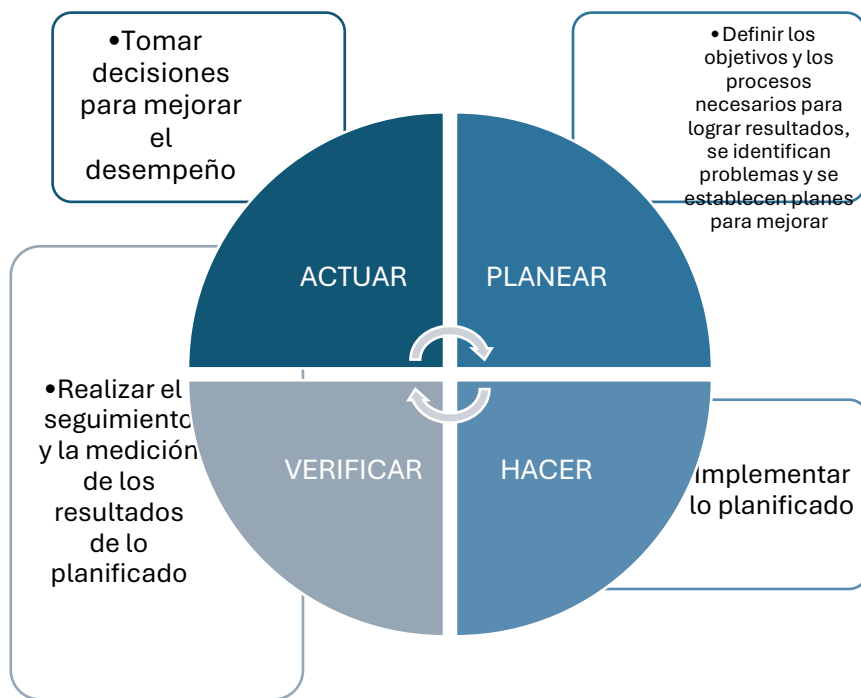
Los autores Bonilla, Días, Kleeberg & Noriega (2020) señalan que “Kaizen es un sistema enfocado a mejorar de manera continua a las empresas junto con las personas que lo integran de manera armoniosa y proactiva”.

En palabras del grupo, Kaizen es una filosofía que engloba muchos instrumentos de ingeniería, cuyo propósito es optimizar y incrementar la producción del área o la misma empresa, Según el autor Gutierrez (2010) el ciclo de Deming o ciclo PHVA es una herramienta potente para poder organizar y llevar a cabo lo planificado que genere un aumento en la calidad y productividad a cualquier nivel de la organización, que a la vez se puede elaborar un plan (planear), la implementación a pequeña escala o en una prueba (Hacer), la evaluación de los resultados obtenidos (verificar) y la toma de datos seria (actuar) estos datos pueden

consistir en aplicar el plan en su totalidad si ha dado buenos resultados, tomar acciones preventivas para no revertir esta mejora o volver a iniciar el ciclo si estos resultados no fueron del todo satisfactorios. Así mismo Garcia, Quispe y Ráez (2003) el ciclo PHVA se encuentra en constante aplicación y puede ser implementada en cada uno de los procesos

**Figura 2**

*Ciclo PHVA*



En un plano internacional, Obando (2023) profundiza en la importancia del mantenimiento preventivo en empresas que dependen de maquinaria pesada para sus operaciones diarias, como SERVICONS SAS. Su investigación implementó un plan de mantenimiento basado en un diagnóstico exhaustivo de los equipos, lo que permitió identificar áreas críticas y planificar intervenciones preventivas de manera efectiva. El resultado fue una mejora notable en la disponibilidad de los equipos, con una reducción significativa en los tiempos de inactividad no planificados. Esta

investigación refuerza el valor del mantenimiento preventivo como una herramienta estratégica para asegurar la eficiencia operativa en empresas que dependen de maquinaria pesada.

Asimismo, Tafur y Cuellar (2024) analizan la implementación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para la maquinaria amarilla de uso público en el municipio de Yondó, Antioquía. Su enfoque incluye el mantenimiento preventivo como el predictivo, con el objetivo de reducir el tiempo de inactividad y garantizar la operatividad continua de equipos como excavadoras y retroexcavadoras. Los resultados muestran una mejora significativa en la disponibilidad de estos equipos, lo que no solo reduce costos operativos, sino que también garantiza la continuidad de los proyectos públicos. Este estudio muestra como el mantenimiento preventivo y la confiabilidad pueden aplicarse eficazmente en el sector público para mejorar la disponibilidad de equipos esenciales.

En el Perú, Galarza (2024) destaca la importancia de la implementación de la metodología AMEF (Análisis Modal de Efectos y Fallos) como una estrategia clave para optimizar el mantenimiento de equipos pesados en la industria minera. Su estudio muestra como la identificación de fallos críticos permite priorizar acciones correctivas, logrando una mejora de 5.77% en la disponibilidad de las maquinarias. Esta metodología no solo reduce el tiempo de inactividad, sino que también garantiza una mayor eficiencia operativa, lo que refuerza la idea de que un enfoque preventivo estructurado es vital para la continuidad de las operaciones en este sector.

De la Cruz (2023) también resalta la efectividad del mantenimiento preventivo en maquinaria pesada, específicamente en una empresa constructora. En su estudio, se diseñó e implementó un plan de mantenimiento preventivo que se evaluó mediante indicadores clave como el tiempo medio entre fallos (MTBF). Los resultados fueron concluyentes: la disponibilidad de la maquinaria mejoró considerablemente, lo que redujo las interrupciones en las operaciones. De este modo, la planificación adecuada del mantenimiento en el sector de la construcción puede marcar una diferencia sustancial en la eficacia y la productividad.

Sinchi y León (2023) abordan una combinación innovadora de mantenimiento predictivo con herramientas Lean y gestión de inventarios en la mejora de la disponibilidad de auto hormigoneras. Su estudio demuestra que, al anticipar fallos mediante técnicas de mantenimiento predictivo y optimizar el uso de repuestos con la gestión de inventarios, es posible aumentar la disponibilidad de estas maquinarias de manera significativa. Esta investigación es particularmente relevante para las empresas de alquiler de maquinaria pesada, ya que demuestra como la integración de enfoques innovadores puede llevar a una mayor eficiencia operativa y reducción de costos. La combinación de enfoques predictivos con estrategias de mejora continua como Lean Management ofrece una solución integral para la gestión eficiente de maquinaria pesada.

Julca et al. (2024) investigan la gestión de mantenimiento basado la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de excavadoras en una empresa minera en Cajamarca. El estudio implemento un sistema de mantenimiento preventivo que resultó en un incremento notable de la disponibilidad operativa de las máquinas. Los autores concluyen que la aplicación sistemática de estos

procedimientos puede aumentar la confiabilidad y reducir las averías no planificadas.

En un contexto local, Muñoz (2023) aborda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la criticidad para mejorar la disponibilidad del cargador frontal 950H en Tecsup Trujillo. Utilizando una evaluación de criticidad, se identificaron los puntos críticos de falla, permitiendo la optimización de los ciclos de mantenimiento preventivo. Los resultados demostraron una mejora notable en la disponibilidad del equipo, minimizando las interrupciones no planificadas.

Torres y Vásquez (2022) propusieron una mejora en la gestión de mantenimiento y logística para incrementar la disponibilidad y rentabilidad de una empresa de alquiler de maquinaria pesada en Trujillo. La implementación de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo optimizó los indicadores de MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y MTBF (Tiempo Medio entre Fallos), resultando en un aumento de la disponibilidad de las maquinarias.

Núñez (2022) estudió la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de maquinaria pesada en la empresa SETRAMI S.A.C. en Trujillo. El estudio aplicó un enfoque experimental y concluyó que la disponibilidad de los equipos mejoró significativamente, además de optimizar los costos operativos.

Las principales limitaciones de esta investigación incluyen el alcance temporal restringido al año 2024, lo que impide analizar tendencias estacionales o cambios a largo plazo en la disponibilidad de maquinaria pesada. Además, el

estudio se centró exclusivamente en la empresa RODRIA E.I.R.L., limitando la capacidad de generalizar los resultados a otras empresas del sector o de distinto tamaño operativo. La disponibilidad de datos operativos también presentó restricciones, especialmente en lo referente a indicadores históricos de fallas y reparaciones, lo que pudo influir en la profundidad del análisis.

Otra limitación fue la ausencia de un marco comparativo amplio con otras investigaciones locales recientes, lo que dificultó contextualizar los resultados dentro del ámbito regional. Asimismo, los diagnósticos realizados dependieron en gran medida de la experiencia del equipo técnico de la empresa, lo que podría introducir un sesgo basado en percepciones subjetivas sobre las causas de las fallas. Por último, factores externos como la disponibilidad de repuestos en el mercado y las condiciones de trabajo en terrenos complejos no pudieron ser controlados completamente, lo que podría afectar la replicabilidad de los hallazgos en otras empresas o contextos similares.

### **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

Somos bachilleres de ingeniería industrial; ingresamos como asesores externos en la empresa RODRIA E.I.R.L dando el soporte a la parte operativa y gestora de la jefatura de mantenimiento y supervisión, siendo responsable de la planificación de mantenimiento, coordinar los recursos necesarios para la ejecución de la programación, registro de paradas de los equipos y elaboración de indicadores de gestión (Disponibilidad, MTTR, MTBF y utilización), porcentaje de cumplimiento de mantenimientos preventivos y correctivos, etc.

Ambos bachilleres se tiene amplia experiencia en supervisión de proyectos, tanto operativa como en gestión, se ha trabajado en diferentes empresas de diferentes rubros, tales como RENTANOR, NOVAGRO-AG S.A.C., STRACON PERU S.A., NORSAC S.A., la cual tenemos un promedio de 10 años de experiencia cada uno.

La implementación de mantenimiento preventivo fue contemplada desde el año 2024, a cargo de nosotros como asesores externos. En el año 2023, el jefe de equipo de flota realizaba el control de la flota pesada, así como ofrecer soporte al área operativa, como la jefatura de mantenimiento y supervisión, siendo responsable de la planificación de mantenimiento, gestionar y coordinar los recursos que hagan falta para la ejecución de lo programado.

A mediados del año 2024 se dio cuenta que había desfaz, ya que no contaban con un planeamiento y seguimiento, en lo cual nos solicita asesorarlos y dar posibles soluciones a la problemática; me dio el pase para presentar el plan de mejora de implementación de mantenimiento preventivo y poco a poco con las

capacitaciones, monitoreos se fue implementando las tablas dinámicas para un mejoramiento del mantenimiento y así disminuir los desfases como también implementar un cuadro de mantenimiento preventivo, correctivos y de backlog, teniendo un mayor control de preventivos y tener un historial correctivos y sacar las principales fallas y su control de repuestos.

Al liderar el proyecto en conjuntamente con el jefe de equipos, logramos mejorar la gestión de mantenimiento preventivo. Además, nos involucramos con la parte ejecutora, brindándoles capacitaciones y alcances sobre la gestión de mantenimiento preventivo para el proceso de implementación. También recogimos las sugerencias de mejora continua que surgían en el proceso. Las funciones que realizamos en este proyecto fueron:

- Fomentar el Mantenimiento Preventivo.
- Elaborar los indicadores de gestión.
- Ajustar el plan de mantenimiento.
- Elaborar el reporte semanal de cumplimiento del plan semanal.
- Elaborar formatos de control y de mantenimiento.
- Revisar el stock de suministros y repuestos para ejecutar el plan semanal.
- Registrar los estacionamientos de los equipos.

**Pregunta de investigación:**

¿Cuál es el impacto del mantenimiento preventivo en la disponibilidad de la flota pesada en RODRIA E.I.R.L Trujillo, 2024?

**Objetivo general:**

Determinar el impacto del mantenimiento preventivo en la disponibilidad

de la flota pesada en RODRIA E.I.R.L Trujillo, 2024.

**Objetivos específicos:**

Diagnosticar la disponibilidad de la flota pesada en RODRIA E.I.R.L Trujillo, 2024.

Aplicar el mantenimiento preventivo en la flota pesada en RODRIA E.I.R.L Trujillo, 2024.

Comparar la disponibilidad de la flota pesada antes y después de la aplicación del mantenimiento preventivo en RODRIA E.I.R.L Trujillo, 2024.

**Hipótesis:**

El mantenimiento preventivo incrementa la disponibilidad de la flota pesada RODRIA E.I.R.L. Trujillo, 2024.

**Consideraciones éticas:**

Toda la data de la empresa que se usó en este trabajo tiene fines académicos. Así como también se reconoce la propiedad intelectual de cualquier otra información que salga de otros autores, lo que a su vez se está elaborando siguiendo las normas APA.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1 Diagnóstico de la disponibilidad de la flota pesada

Para poder calcular la disponibilidad de la flota pesada lo primero a realizarse fue el cálculo del tiempo entre fallas (MTBF), tras ello, se calculó el tiempo medio de reparaciones (MTTR). Con los datos anteriores obtenidos, se pudo realizar el cálculo de disponibilidad; a continuación, se presenta el cálculo de tiempo medio entre fallas

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

El tiempo medio entre fallas es un indicador de la variable de disponibilidad el cual representa el tiempo que transcurre entre dos averías que sucede en una misma máquina. A partir de los resultados del MTBF o tiempo medio entre fallas nos permitió conocer la fiabilidad del funcionamiento

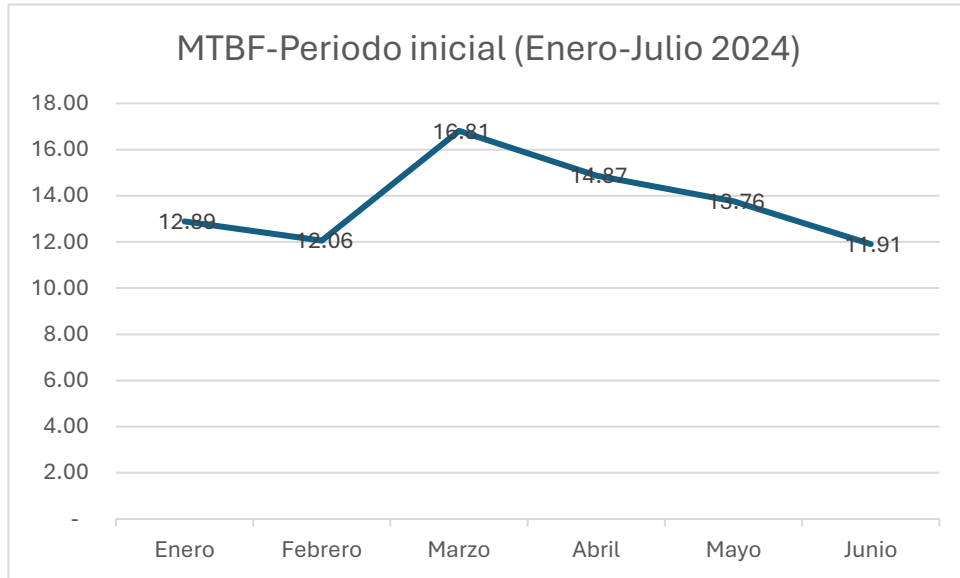
**Tabla 3**

*Tiempo medio entre fallas periodo inicial*

Tiempo medio entre fallas				
	Horas de operación	N° de fallas	Cálculo de MTBF	MTBF
Enero	1753	136	1753/136	12.89
Febrero	1749	145	1749/145	12.06
Marzo	1799	107	1799/107	16.81
Abril	1770	119	1770/119	14.87
Mayo	1775	129	1775/129	13.76
Junio	1691	142	1691/142	11.91

**Figura 3**

*Tiempo medio entre fallas periodo inicial*



Se observa en la tabla anterior de tiempo medio de fallos (MTBF) donde nos indica que tuvo una tendencia a descender, en el mes de enero se observó 12.89 horas, en febrero descendió a 12.06 horas, pero en marzo tiene un alza de 16.81 horas que es el pico dentro del análisis después de este marzo los puntajes empiezan a descender hasta llegar a 11.91 horas al último mes de análisis, esto nos indica que los equipos no resultan fiables como se esperaba en beneficio de la compañía, datos 2024

**• Tiempo medio de reparaciones (MTTR)**

En el tiempo medio de reparaciones o MTTR, es el tiempo que se necesita para poder reparar una falla de un equipo, en palabras del grupo es el tiempo que toma para entregar la maquina en condiciones normales.

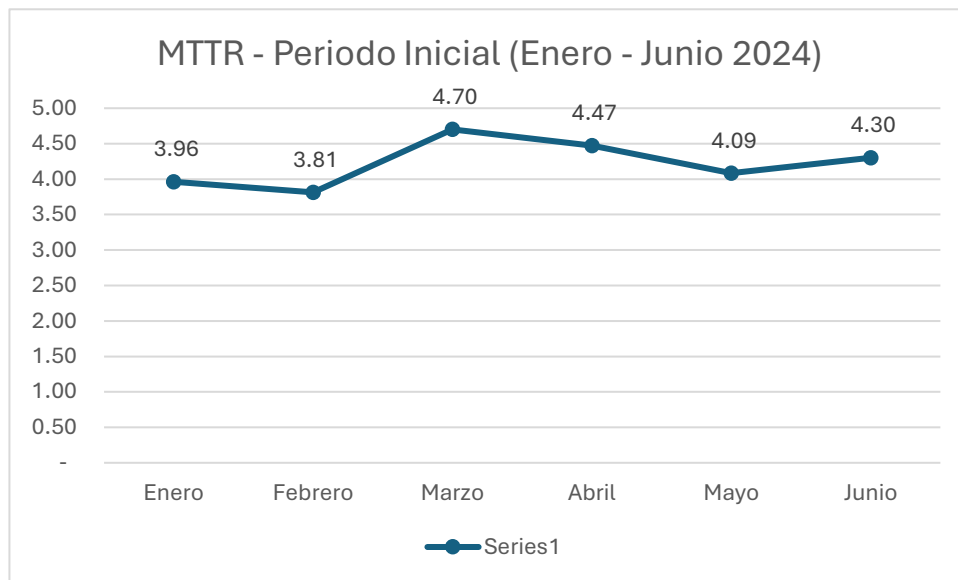
**Tabla 4**

*Tiempo medio de reparaciones periodo inicial*

Tiempo medio de reparaciones				
	Horas de mantenimiento	N° de fallas	Cálculo de MTTR	MTTR
Enero	539	136	539/136	3.96
Febrero	553	145	553/145	3.81
Marzo	503	107	503/107	4.70
Abril	532	119	532/119	4.47
Mayo	527	129	527/129	4.09
Junio	611	142	611/142	4.30

**Figura 4**

*Tiempo medio de reparaciones periodo inicial*



En la tabla que se presenta se plasma el tiempo medio de reparaciones, se observó que en el primer mes se obtuvo una puntuación que no llega a lo esperado con 3.96 horas, en febrero hubo una ligera baja de 3.81 horas y al siguiente mes marzo aumento a 4.7 horas que fue el pico mas alto de los meses analizados, los siguientes meses resaltan una disminución llegando a 4.3 horas. Después de esto se puede decir que el MTTR tiene a la tendencia con respecto a subir lo que nos dice que los tiempos de reparación fueron muy altos lo que los costos fueron muy altos para la empresa.

Por último, se presenta la combinación de ambos indicadores mediante la disponibilidad de las maquinas en la empresa RODRIA E.I.R.L. Trujillo, 2024

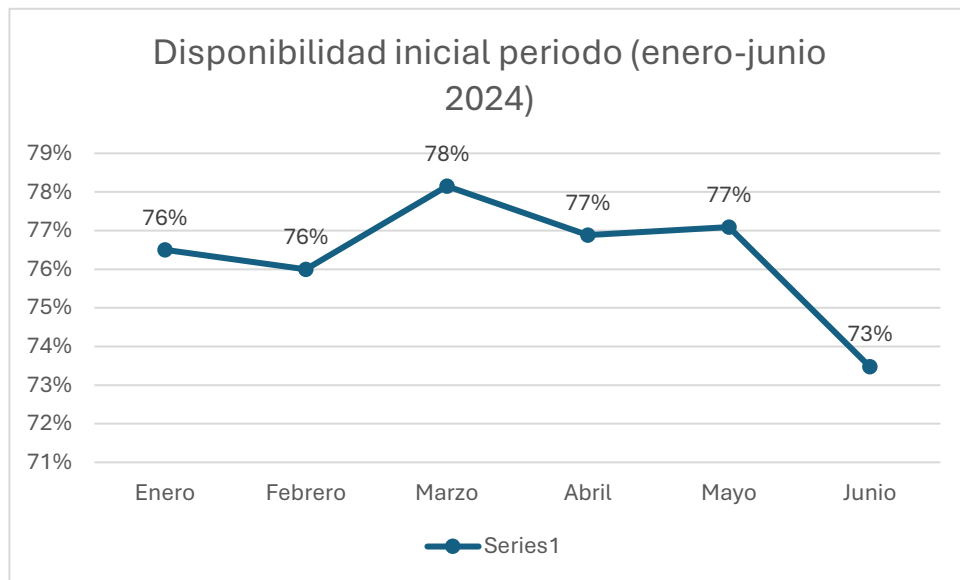
**Tabla 5**

*Disponibilidad de maquinaria periodo inicial*

Análisis de la disponibilidad del periodo (enero - junio 2024)				
Mes	Tiempo medio entre fallas MTBF	Tiempo medio para reparaciones MTTR	Cálculo de disponibilidad	Disponibilidad
Enero	12.89	3.96	$12.89/(12.89+3.96)$	76%
Febrero	12.06	3.81	$12.06/(12.06+3.81)$	76%
Marzo	16.81	4.70	$16.81/(16.81+4.7)$	78%
Abril	14.87	4.47	$14.87/(14.87+4.47)$	77%
Mayo	13.76	4.09	$13.76/(13.76+4.09)$	77%
Junio	11.91	4.30	$11.91/(11.91+4.3)$	73%

**Figura 5**

*Disponibilidad de maquinaria periodo inicial*



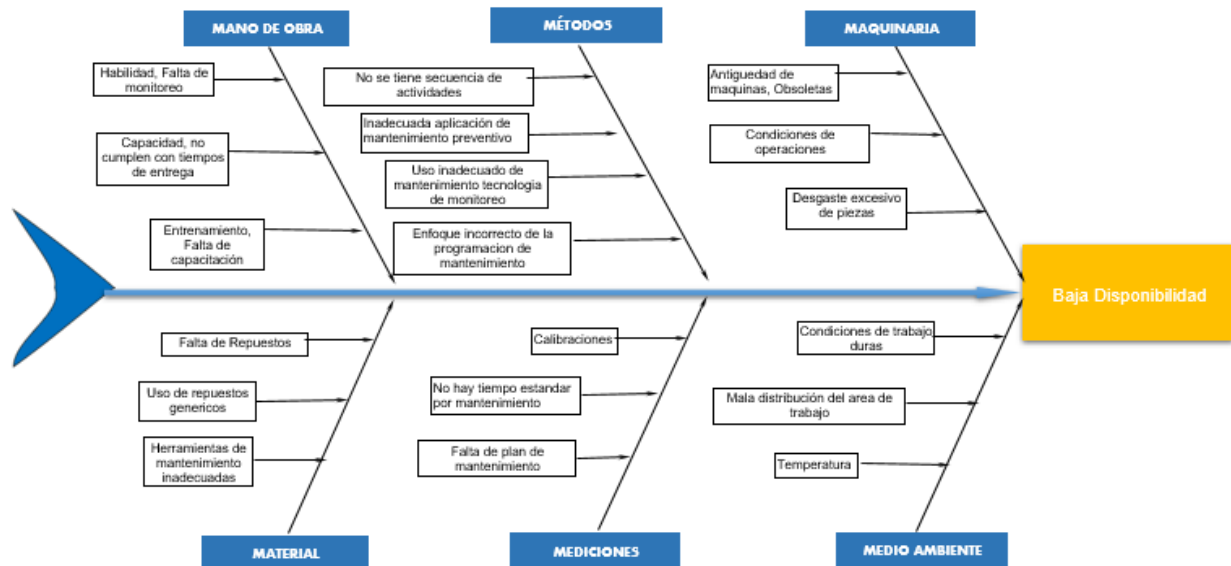
En el análisis de la tabla sobre la disponibilidad se observa el menor porcentaje de disponibilidad en el mes de junio con un 73% lo que nos quiere decir que en dicho mes hubo un menor tiempo de respuesta para la entrega de la máquina, por otro lado el porcentaje mas alto fue en el mes de marzo con un 78%

esto nos quiere decir que en dicho mes la maquina estuvo en buenas condiciones, en tal sentido se puede decir que la gestión de disponibilidad en el periodo inicial tuvo un comportamiento no estándar con resultados poco favorables que refleja en un desempeño que no termina por desarrollar de una manera más eficiente

En la empresa durante el tiempo de observación se pudo observar la poca disponibilidad de las máquinas, basado en ello se hizo el análisis de Ishikawa para identificar la causa raíz del porque las maquinarias no están trabajando al 100%, lo cual se evidenció que las maquinas operan en terrenos abruptos, y/o climas húmedos uso inadecuado del plan preventivo, no contar con repuestos o tener repuestos genéricos que no garantiza una óptima rendición, el desgaste acelerado de algunas piezas de las máquinas, en otros casos no se encuentra las piezas debido a que cada día la tecnología avanza, uso inapropiado por parte del operador por falta de capacitación lo que genera más fallos en las maquinarias. Al hacer este diagnóstico y encontrar estos fallos que inciden se puede observar la diferencia entre el tiempo de origen y de demora. Por lo que se observó en los procesos de mantenimiento se muestra un alto porcentaje de demora, métodos y maquinarias en la empresa RODRIA E.I.R.L.

**Figura 6**

*Diagrama de Ishikawa*



En la figura anterior, diagrama de causa – efecto se han colocado las dificultades inconvenientes que se pueden identificar en el área de mantenimiento los cuales se dividen dependiendo al enfoque que se va tocar, para empezar en lo que concierne a la metodología se puede mencionar las dificultades o problemas como la falta de monitoreo, la falta de capacitación y todo ellos nos lleva a no cumplir con la entrega de maquinaria en los tiempos establecidos.

A su vez, en el apartado de materiales se identificó los problemas como la falta de repuestos para los mantenimientos, es por ello que se usa repuestos no originales “genéricos” los cuales no cumplen la función en un tiempo que deberían si a esto le sumamos que no se tienen las herramientas adecuadas para extraer o colocar los repuestos es tiempo que se pierde en los mantenimientos.

Ahora con el diagrama de Ishikawa nos va ayudar a determinar que el problema central gira en torno a la baja disponibilidad de más máquinas pesadas.

Para que el análisis sea con más énfasis con lo que respecta al impacto de las causas, se consideró la experiencia de expertos en el tema de mantenimiento preventivo el cual calificaron las causas anteriormente mencionadas, en una escala de entre 0 a 10, con la calificación se pudo elaborar una tabla con los siguientes totales.

**Tabla 6**

*Puntuaciones de causas según expertos*

	Descripción de partida	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Punt	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	No hay tiempo estándar por mantenimiento	10	10	10	10	9	10	59	17%	17%
2	Inadecuada aplicación de mantenimiento preventivo	8	10	9	10	10	8	55	16%	33%
3	Herramientas de mantenimiento inadecuadas	8	8	8	9	9	8	50	14%	47%
4	Calibraciones	9	8	6	6	8	6	43	12%	60%
5	Entrenamiento, Falta de capacitación	5	5	6	4	8	8	36	10%	70%
6	Falta de plan de mantenimiento estructurado	5	6	5	6	5	6	33	10%	80%
7	Condiciones de trabajo duras	1	1	2	2	2	1	9	3%	82%
8	Uso inadecuado de mantenimiento tecnología de monitoreo	2	3	0	2	0	2	9	3%	85%
9	Antigüedad de máquinas, Obsoletas	2	0	2	1	2	2	9	3%	88%
10	Desgaste excesivo de piezas	1	2	1	1	2	1	8	2%	90%
11	Capacidad, no cumplen con tiempos de entrega	0	2	1	1	2	2	8	2%	92%
12	Temperatura	1	1	0	3	1	1	7	2%	94%
13	Habilidad, Falta de monitoreo	1	1	1	0	1	1	5	1%	96%
14	Falta de Repuestos	1	1	1	0	0	2	5	1%	97%
15	No se tiene secuencia de actividades	1	2	1	0	0	0	4	1%	98%

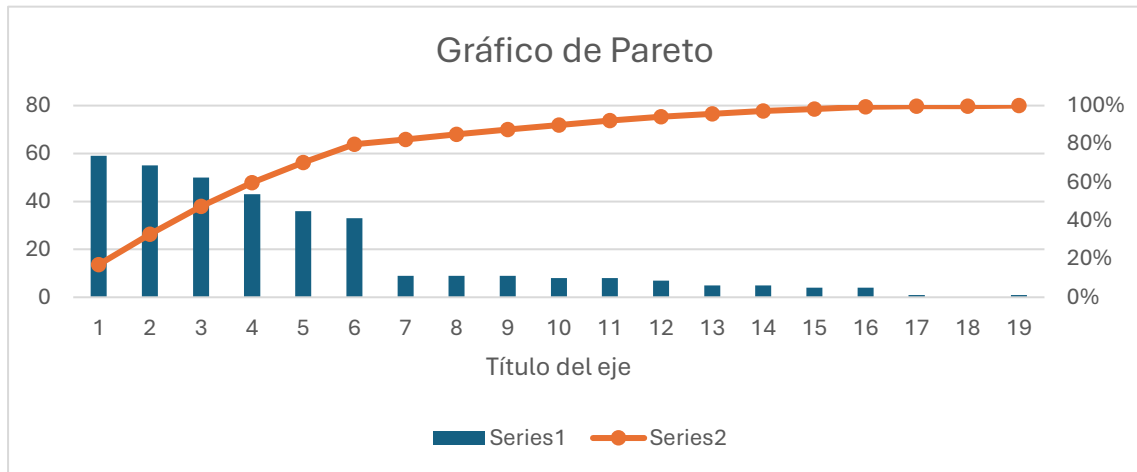
16	Mala distribución del área de trabajo	0	0	1	1	1	1	4	1%	99%
17	Condiciones de operaciones	1	0	0	0	0	0	1	0%	100%
18	Uso de repuestos genéricos	0	0	0	0	0	0	0	0%	100%
19	Enfoque incorrecto de la programación de mantenimiento	1	0	0	0	0	0	1	0%	100%
<b>TOTAL</b>								<b>346</b>	<b>100.00%</b>	

En la tabla anterior, se presentan las causas que van a influenciar sobre el problema principal, en donde la más importante es, No hay tiempo estándar por mantenimiento con 59 puntos arrojando un 16%, a continuación se presenta una inadecuada aplicación de mantenimiento preventivo con 55 puntos, siendo un 16%, seguido de herramientas de mantenimiento inadecuadas con 50 puntos, siendo un 14%, seguidamente de las Calibraciones con 43 puntos, siendo un 12%, después con Entrenamiento (Falta de capacitación) con un 33 puntos siendo un 10% y por ultima causa, la Falta de plan de mantenimiento estructurado con 33 puntos arrojando un 10%.

Para graficar las causas de lo descrito anteriormente, se usará un diagrama con frecuencias relativa a modo de barra y frecuencia acumulada en una línea a fin de observar el intercepto entre ambos y pasar al análisis de Pareto

**Figura 7**

*Gráfico de Pareto*



Basados en el análisis previo, el mantenimiento preventivo se posiciona como la solución más adecuada debido a su capacidad para atacar de manera integral las principales causas identificadas en el diagrama de Ishikawa y el análisis de Pareto, destacando entre ellas la falta de un plan de mantenimiento estructurado, la ausencia de estándares de tiempo para las intervenciones, y la utilización de herramientas inadecuadas. Estas carencias generan interrupciones frecuentes, tiempos de inactividad prolongados y un desgaste acelerado de componentes críticos, lo que afecta tanto la disponibilidad como la eficiencia operativa de la flota pesada.

Al implementar un enfoque de mantenimiento preventivo, se puede desarrollar un plan estructurado que permita programar intervenciones sistemáticas, definir estándares claros de tiempos y asegurar el uso adecuado de herramientas específicas para cada actividad. Este plan no solo aborda directamente las fallas recurrentes, sino que también establece una base sólida

para el monitoreo continuo y la mejora de los procesos de mantenimiento. Además, esta metodología reduce la dependencia de reparaciones correctivas costosas, optimiza la utilización de los recursos disponibles y prolonga la vida útil de los equipos. Por lo tanto, el mantenimiento preventivo no solo responde a las causas críticas previamente identificadas, sino que también genera un impacto positivo en la sostenibilidad y competitividad operativa de la empresa.

La monetización de las causas raíces se realizó en base a la penalización económica que se realiza a la empresa cuando no se cumple con el estándar de disponibilidad mínima o las horas mínimas de trabajo requeridas, a continuación, se presenta la tabla de costos y penalidades por maquinaria.

**Tabla 7**

*Penalización económica por no cumplir disponibilidad*

MODELO	FLOTA	TARIFA DÓLAR/HR	100%	TARIFA HORADICIONAL	DISPONIBILIDAD	PENALIZACIÓN
966	CARGADOR FRONTAL	55	\$ 26,400.00	55	85% A MENOS DE 90%	5%
336	EXCAVADORA HYD	58	\$ 27,840.00	58	80% A MENOS DE 85%	10%
140K	MOTONIVELADORA	45	\$ 21,600.00	45	MENOR A 80%	15%
140K	MOTONIVELADORA	45	\$ 21,600.00	45	MENOR A 80%	15%
966L	CARGADOR FRONTAL	55	\$ 26,400.00	55	85% A MENOS DE 90%	5%

El cálculo de monetización de las causas raíces se realizó tomando en cuenta la penalización económica que cada maquinaria recibe al no cumplir con las horas mínimas de disponibilidad. Primero, se identificó el costo total de la penalización para cada máquina, calculándolo como un porcentaje sobre el costo

total de alquiler en su disponibilidad ideal al 100%. Posteriormente, se distribuyó este monto penalizado entre las causas raíces en función de su frecuencia relativa, utilizando el análisis de Pareto que jerarquiza las causas por su impacto. Cada causa recibió un porcentaje del monto total de la penalización de acuerdo con su frecuencia, permitiendo así obtener un valor monetario específico para cada una en cada maquinaria. De esta manera, se obtuvo un desglose del impacto financiero de las causas principales que afectan la disponibilidad y operatividad de los equipos, ofreciendo una visión clara del costo asociado a cada falla identificada.

**Tabla 8**

*Impacto monetario de los cargadores frontales CAT 966 y 966L*

<b>Causa</b>	<b>Impacto monetario</b>
No hay tiempo estándar por mantenimiento	\$224.40
Inadecuada aplicación de mantenimiento preventivo	\$211.20
Herramientas de mantenimiento inadecuadas	\$184.80
Calibraciones	\$158.40
Entrenamiento, Falta de capacitación	\$132.00
Falta de plan de mantenimiento estructurado	\$132.00
Condiciones de trabajo duras	\$39.60
Uso inadecuado de mantenimiento tecnología de monitoreo	\$39.60
Antigüedad de máquinas, Obsoletas	\$39.60
Desgaste excesivo de piezas	\$26.40
Capacidad, no cumplen con tiempos de entrega	\$26.40
Temperatura	\$26.40
Habilidad, Falta de monitoreo	\$13.20
Falta de Repuestos	\$13.20
No se tiene secuencia de actividades	\$13.20
Mala distribución del área de trabajo	\$13.20
Condiciones de operaciones	\$0.00
Uso de repuestos genéricos	\$0.00
Enfoque incorrecto de la programación de mantenimiento	\$0.00

**Tabla 9**

*Impacto monetario de la excavadora CAT HYD 336*

<b>Causa</b>	<b>Impacto monetario</b>
No hay tiempo estándar por mantenimiento	\$473.28

Inadecuada aplicación de mantenimiento preventivo	\$445.44
Herramientas de mantenimiento inadecuadas	\$389.76
Calibraciones	\$334.08
Entrenamiento, Falta de capacitación	\$278.40
Falta de plan de mantenimiento estructurado	\$278.40
Condiciones de trabajo duras	\$83.52
Uso inadecuado de mantenimiento tecnología de monitoreo	\$83.52
Antigüedad de máquinas, Obsoletas	\$83.52
Desgaste excesivo de piezas	\$55.68
Capacidad, no cumplen con tiempos de entrega	\$55.68
Temperatura	\$55.68
Habilidad, Falta de monitoreo	\$27.84
Falta de Repuestos	\$27.84
No se tiene secuencia de actividades	\$27.84
Mala distribución del área de trabajo	\$27.84
Condiciones de operaciones	\$0.00
Uso de repuestos genéricos	\$0.00
Enfoque incorrecto de la programación de mantenimiento	\$0.00

**Tabla 10**

*Impacto monetario de las motoniveladoras CAT 140K (2018) y CAT 140K (2023)*

<b>Causa</b>	<b>Impacto Monetario</b>
No hay tiempo estándar por mantenimiento	\$550.80
Inadecuada aplicación de mantenimiento preventivo	\$518.40
Herramientas de mantenimiento inadecuadas	\$453.60
Calibraciones	\$388.80
Entrenamiento, Falta de capacitación	\$324.00
Falta de plan de mantenimiento estructurado	\$324.00
Condiciones de trabajo duras	\$97.20
Uso inadecuado de mantenimiento tecnología de monitoreo	\$97.20
Antigüedad de máquinas, Obsoletas	\$97.20
Desgaste excesivo de piezas	\$64.80
Capacidad, no cumplen con tiempos de entrega	\$64.80
Temperatura	\$64.80
Habilidad, Falta de monitoreo	\$32.40
Falta de Repuestos	\$32.40
No se tiene secuencia de actividades	\$32.40
Mala distribución del área de trabajo	\$32.40
Condiciones de operaciones	\$0.00
Uso de repuestos genéricos	\$0.00
Enfoque incorrecto de la programación de mantenimiento	\$0.00

#### **4.2. Aplicación del mantenimiento preventivo**

La implementación del plan de mantenimiento preventivo se realizó con el propósito de optimizar la disponibilidad operativa de la flota de maquinaria pesada en la empresa, tomando en cuenta los análisis previos de criticidad y las principales causas de fallas detectadas en cada equipo. Este plan tiene como objetivo principal anticipar y reducir las interrupciones no programadas en la operación mediante intervenciones sistemáticas, logrando así un funcionamiento continuo y confiable de la maquinaria.

Para el desarrollo de esta fase, se identificaron los equipos críticos en función de su frecuencia de fallas y el impacto que estas tienen en la productividad de las operaciones. A partir de estos resultados, se establecieron actividades de mantenimiento específicas para cada máquina, ajustadas a sus necesidades operativas y al estado de sus componentes más vulnerables. De esta forma, se garantiza que las acciones de mantenimiento se enfoquen en aquellos elementos que, al fallar, generan mayores pérdidas de tiempo y aumentan los costos de reparación.

La estructura del plan incluye un cronograma detallado de actividades que abarca desde inspecciones rutinarias hasta reemplazos preventivos de piezas, contemplando tanto el mantenimiento periódico como las revisiones de acuerdo con el uso intensivo de cada equipo. Asimismo, se implementaron sistemas de registro y control que permiten monitorear el cumplimiento de cada actividad y evaluar la efectividad de las intervenciones realizadas. La organización de los recursos técnicos y humanos se llevó a cabo de manera que se optimicen los tiempos de parada para el mantenimiento y se maximice la disponibilidad de los equipos en función de las demandas operativas de la empresa.

## **Análisis de criticidad de los equipos cargador frontal 966 y 966L marca CAT**

El cargador frontal CAT 966 es un equipo confiable y eficiente para trabajos en terrenos difíciles, ideal para operaciones de carga y movimiento de materiales en industrias como construcción, minería y agricultura. Con tecnología avanzada de gestión de combustible y una cabina ergonómica, este cargador ofrece una excelente combinación de potencia, rendimiento y comodidad para el operador, maximizando la productividad y reduciendo los costos operativos.

### **Figura 8**

*Cargador frontal CAT 966 y 966L*



### **Tabla 11**

*Especificaciones de cargadores frontales CAT 966 y CAT 966L*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Modelo de Motor</b>	CAT C9.3B
<b>Potencia Neta</b>	303 HP (226 kW)
<b>Peso Operativo</b>	23,987 kg
<b>Capacidad de Carga del Cucharón</b>	3.75 m <sup>3</sup>
<b>Altura de Descarga</b>	3,080 mm
<b>Alcance de Descarga</b>	1,310 mm
<b>Sistema de Control</b>	Tecnología de gestión de carga

**Análisis de criticidad del equipo cargador frontal CAT 966**

Este cargador frontal es un equipo clave en la cadena de operación, ya que se utiliza aproximadamente 422 a 444 horas al mes, reflejando su uso intensivo y su papel fundamental en la carga y acarreo de materiales. Una falla en este equipo podría detener o ralentizar otras operaciones, causando retrasos significativos en los tiempos de producción y entrega. Dada su tasa de uso diario de 16 horas, el Cargador Frontal CAT 966 es indispensable para asegurar un flujo continuo de materiales en las operaciones.

**Impacto económico:**

El costo de mantenimiento por hora es de 55 dólares. Con base en los datos de disponibilidad y tiempo inactivo, una falla prolongada podría aumentar considerablemente los costos operativos. Por ejemplo, una parada de 10 horas adicionales representaría una pérdida directa de 550 dólares, sin contar los efectos en la producción.

**Impacto en la producción:**

La disponibilidad operativa promedio es de 87.9% a 92.5%. Si el cargador no está disponible, la producción puede reducirse, especialmente en actividades

que dependen de su función para cargar material en camiones o para acarrear materiales. Esta inactividad afecta la productividad general y la rentabilidad del proyecto.

La seguridad es un aspecto crítico en el análisis. Cualquier falla en los sistemas de frenos, hidráulicos o de dirección podría poner en riesgo al operador y a otros trabajadores cercanos, aumentando las probabilidades de accidentes graves.

### **Seguridad y salud:**

El Cargador Frontal CAT 966 opera en entornos exigentes y durante largas jornadas (16 horas diarias), lo cual contribuye al desgaste de componentes clave como el sistema hidráulico, el motor y los neumáticos. Además, el tipo de terreno y la exposición a partículas de polvo y materiales abrasivos aumentan el riesgo de desgaste y fallas en los sistemas críticos.

### **Frecuencia de uso y exposición al desgaste:**

Las 15 a 22 horas de inactividad mensuales sugieren una necesidad de mantenimiento constante para evitar fallos en componentes esenciales. La frecuencia de uso y las condiciones de trabajo hacen necesario un programa de mantenimiento preventivo para reducir la probabilidad de fallas inesperadas.

### **Probabilidad de falla:**

Con base en los datos de horas operativas y la tasa de inactividad, la probabilidad de fallas en el Cargador Frontal CAT 966 es moderada a alta, especialmente en el sistema hidráulico y de transmisión. Estos sistemas están

sujetos a altos niveles de presión y carga, lo cual incrementa el riesgo de desgaste prematuro.

**Evaluación de criticidad:**

La variabilidad en las horas de mantenimiento muestra la importancia de un monitoreo continuo. La implementación de un sistema de diagnóstico predictivo sería beneficiosa para detectar signos de desgaste y anticipar fallas en componentes críticos.

La combinación de un uso intensivo, el impacto en la cadena de producción y los costos asociados a la inactividad o fallas coloca al Cargador Frontal CAT 966 en un nivel de alta criticidad. Su disponibilidad y correcto funcionamiento son fundamentales para mantener la productividad y reducir costos operativos.

- **IO:** Impacto Operacional
- **FO:** Flexibilidad Operacional
- **MA:** Medio Ambiente
- **IP:** Impacto en la Producción
- **SS:** Seguridad y Salud

**Tabla 12**

*Análisis de criticidad del cargador frontal CAT 966*

Ítem	Equipos	Código	IO	FO	MA	IP	SS	IA	C	CT	Nivel de Criticidad
1	Cargador Frontal	CF966	4	2	2	3	4	1	5	21	C.A (Criticidad Alta)

El Cargador Frontal CAT 966 es un equipo fundamental para la operación continua de carga y acarreo de materiales en actividades de construcción y minería. Su ausencia afectaría gravemente la cadena de producción, razón por la

cual se le asigna un puntaje de 4 en impacto operacional (IO). En cuanto a la flexibilidad operacional (FO), se le otorga una puntuación de 2, ya que, aunque existen otros equipos que podrían sustituir parcialmente sus funciones, la falta de este cargador sigue siendo significativa debido a su capacidad y eficiencia, que son difíciles de reemplazar. En términos ambientales, el equipo emite partículas y gases debido al tipo de operación que realiza y a su consumo de combustible, lo que implica un impacto moderado en el medio ambiente. Por ello, se le asigna un puntaje de 2 en medio ambiente (MA), ya que este impacto es manejable con un adecuado mantenimiento y prácticas de operación responsables. La importancia del cargador en la producción es notable, ya que cualquier inactividad del equipo puede causar retrasos significativos, afectando la eficiencia y los tiempos de entrega en toda la cadena productiva; debido a esto, se le otorga un puntaje de 3 en impacto en la producción (IP). La seguridad y la salud son factores críticos en la operación de esta maquinaria. Su gran peso y potencia presentan riesgos para el operador y el personal circundante, especialmente si se produce una falla en los sistemas de frenado o hidráulicos. Por ello, se le asigna un valor alto de 4 en seguridad y salud (SS), reflejando la necesidad de asegurar condiciones de trabajo seguras y de minimizar los riesgos operacionales. Finalmente, el costo de reparación del Cargador Frontal CAT 966 es considerablemente elevado, debido a la complejidad de sus componentes y a los costos asociados de mano de obra y piezas. Este factor se evalúa con un puntaje de 5 en costos (C), ya que cualquier avería prolongada implica costos significativos para la operación. En conjunto, estos factores dan como resultado un puntaje total de criticidad de 21, posicionando al Cargador Frontal CAT 966 en un nivel de criticidad alta, resaltando su importancia y el impacto que podría tener cualquier interrupción en

su disponibilidad.

### **Análisis de criticidad del equipo cargador frontal CAT 966L**

El Cargador Frontal CAT 966L, modelo 2021, es un equipo de carga y acarreo utilizado en operaciones de construcción y minería. Con un rendimiento optimizado y un diseño robusto, este modelo es adecuado para el manejo de materiales pesados en ambientes exigentes, garantizando una operación eficiente y contribuyendo al flujo continuo de trabajo.

#### **Impacto económico:**

El Cargador Frontal CAT 966L tiene un costo de mantenimiento de \$55 por hora. En un mes típico de 408 horas operativas, el costo total de mantenimiento es de aproximadamente \$22,440. Cualquier inactividad prolongada del equipo generaría costos adicionales significativos debido a reparaciones más complejas y a posibles paradas en las actividades. Además, el equipo tiene un alto costo de reposición de piezas críticas, como el sistema hidráulico y el motor, lo que incrementa el impacto financiero ante una falla importante.

#### **Impacto en la producción:**

La falta de disponibilidad del Cargador Frontal CAT 966L tiene un impacto directo en la producción debido a su rol esencial en la carga y acarreo de materiales. Con 393 a 408 horas de operación al mes y una tasa de uso diario de 16 horas, cualquier parada no planificada afectaría el flujo de materiales, impactando las actividades subsecuentes. Esto podría generar tiempos de espera

en los procesos productivos y reducir el rendimiento operativo general, incrementando los costos de producción.

### **Seguridad y salud:**

El equipo representa un riesgo significativo en caso de fallos en componentes de seguridad críticos, como los frenos o el sistema hidráulico, especialmente considerando su tamaño y peso. Una falla en estos sistemas podría generar situaciones peligrosas tanto para el operador como para el personal cercano, con riesgo de accidentes graves. La seguridad es un aspecto crucial de este análisis, ya que los fallos inesperados pueden llevar a incidentes serios, con costos adicionales asociados a la seguridad y la salud.

### **Frecuencia de uso y exposición al desgaste:**

El CAT 966L opera aproximadamente 408 horas al mes, lo cual refleja un uso intensivo en entornos de trabajo exigentes, como canteras y obras de construcción. Estos entornos aumentan el desgaste de componentes clave, como el sistema hidráulico, los neumáticos y el motor, debido a la exposición constante a materiales abrasivos y terrenos irregulares. La frecuencia de uso y el tipo de ambiente contribuyen al desgaste acelerado de sus sistemas, requiriendo un mantenimiento constante para evitar fallas.

### **Probabilidad de falla:**

Dada la intensidad de uso y las condiciones operativas, la probabilidad de fallas en el sistema hidráulico y el motor es alta. Las condiciones de trabajo con materiales pesados y polvorientos, junto con la alta demanda de operación,

incrementan el riesgo de desgaste prematuro y averías. Para mitigar este riesgo, el equipo requiere revisiones constantes y mantenimiento predictivo que permita identificar y anticipar posibles fallos en los componentes clave.

### **Evaluación de criticidad:**

Con base en el impacto en la producción, los riesgos de seguridad, el alto costo de mantenimiento y la probabilidad de falla, el CAT 966L es clasificado como un equipo de criticidad alta. Su disponibilidad es esencial para asegurar la continuidad de las operaciones y minimizar el impacto financiero en caso de una falla significativa.

**Tabla 13**

*Análisis de criticidad del cargador frontal CAT 966L*

Ítem	Equipos	Código	IO	FO	MA	IP	SS	IA	C	CT	Nivel de Criticidad
2	Cargador Frontal	CF966L	4	2	2	3	4	1	5	21	C.A (Criticidad Alta)

La evaluación de criticidad del Cargador Frontal CAT 966L posiciona a este equipo en un nivel de criticidad alta (C.A), con un puntaje total de 21. Este valor refleja el papel crucial del cargador en las operaciones de carga y acarreo, así como las consecuencias significativas de una falla en términos de impacto económico y productividad. Con una puntuación de 4 en impacto operacional (IO), se evidencia la importancia de este equipo en el flujo continuo de trabajo, pues su ausencia afectaría directamente el rendimiento de la cadena de producción. La flexibilidad operacional (FO) se califica con un 2, ya que, aunque es posible encontrar alternativas, el reemplazo no sería inmediato ni con la misma capacidad de carga. El impacto ambiental (MA) se califica con un 2, debido a la

emisión de gases y partículas propias del trabajo en condiciones exigentes, aunque este impacto puede mitigarse con un mantenimiento adecuado. En impacto en la producción (IP), el equipo obtiene un 3, ya que una parada prolongada afectaría la continuidad de las operaciones y generaría costos adicionales por tiempo inactivo. La puntuación en seguridad y salud (SS) es de 4, debido al riesgo potencial para el operador y el personal cercano en caso de fallas en sistemas críticos como los frenos o el sistema hidráulico. Finalmente, el alto costo de mantenimiento y reparación le otorga un 5 en costos (C), ya que las piezas y el tiempo de reparación necesarios para el CAT 966L pueden elevar considerablemente los gastos operativos. Este análisis confirma la necesidad de mantener el Cargador Frontal CAT 966L en condiciones óptimas mediante un programa de mantenimiento riguroso, ya que cualquier interrupción en su disponibilidad tendría consecuencias significativas en la operación y en los costos de la empresa.

**Tabla 14**

*Cronograma de mantenimiento preventivo para las maquinarias cargador frontal 966 y 966L marca CAT*

<b>Intervalo de Servicio</b>	<b>Componente</b>	<b>Actividad de Mantenimiento</b>	<b>Detalles</b>
<b>250 horas</b>	Filtro de aceite de transmisión	Reemplazo de filtro	Modelos aplicables: 966, prefijos A6D, A6G, RYF, TAL; Filtro: 328-3655; BS6, BJ6
<b>500 horas</b>	Sistema hidráulico	Cambio de aceite y filtros	Incluye aceite del motor DEO-ULSTM (35 litros) y filtros de combustible (primario y secundario)
	Separador de agua	Reemplazo	Modelo 966, prefijos A6D, A6G, RYF, TAL; Filtro: 326-1644, Elemento de filtro: 1R-1808
	Filtro de aceite de transmisión	Reemplazo de filtro	Elemento de filtro: 328-3655, BS6, BJ6: 465-6506

	Nota adicional	Ajuste de intervalo	Cambiar a 500 horas si se cumplen condiciones operativas y tipos de aceite recomendados; de lo contrario, acortar a 250 horas
<b>1,000 horas</b>	Aceite de la transmisión	Cambio de aceite	Modelos 966, prefijos A6D, A6G, RYF, TAL; Cantidad: 44 litros (TDTO)
<b>2,000 horas</b>	Aceite hidráulico	Cambio de aceite	Cantidad: 198 litros (HYDO Advanced 10); Sello: 8H-7521
	Filtro de rejilla magnética	Cambio de sello	Modelos adicionales: 972H, prefijos A7D, A7G, LCC, GTA
	Diferencial delantero y trasero	Cambio de aceite	Cantidad: 64 litros (TDTO) cada uno
	Sistema de aire acondicionado	Reemplazo del secador/receptor	Secador: 257-3226
	Tanque hidráulico	Limpieza y cambio de respiradero	Respiradero de válvula: 258-2829; Aditivo para reducción de ruido: 1U-9891
<b>3,000 horas</b>	Columna de la dirección	Lubricación de estrías	Modelos 966 y 972H; Prefijos de serie: A6D, A6G, RYF, TAL, NPE, WXZ
<b>6,000 horas</b>	Cinturón de seguridad	Reemplazo	Modelo 966; Prefijos de serie: A6D, A6G, RYF, TAL; Número de pieza: 236-7019
	Extensor Cat ELC	Reemplazo	Número de pieza: 119-5152
	Termostato del agua	Reemplazo del termostato	Termostato: 248-5513; Sello de termostato: 224-6361 y 227-5075
<b>12,000 horas</b>	Sistema de enfriamiento del motor	Prolongador de vida útil	Modelo 966; Prefijos de serie: A6D, A6G, RYF, TAL; Cantidad de refrigerante Cat ELC: 39 litros (10,3 gal EE.UU.)
<b>Cuando se requiera</b>	Filtro de aire del motor	Reemplazo	Filtro primario: 245-3818, secundario: 245-3819
	Filtro de aire de la cabina	Reemplazo	Filtro: (2 unidades) 7X-6041, y 153-5710
	Batería	Reemplazo	-
	Cilindro auxiliar de arranque	Reemplazo	Número de pieza: 7N-0296
	Tapa del tanque de combustible	Reemplazo	Kit de tapa: 357-7399

La interpretación del cronograma de mantenimiento para el CAT Cargador Frontal 966 resalta un enfoque de cuidado preventivo diseñado para maximizar la disponibilidad operativa y prolongar la vida útil de la maquinaria. El cronograma está dividido en intervalos regulares de mantenimiento de 250, 500, 1,000, 2,000, 3,000, 6,000, y 12,000 horas, además de mantenimiento según sea necesario, cubriendo así todos los aspectos críticos del equipo.

### **Análisis de criticidad para la maquinaria excavadora hidráulica CAT 336**

La Excavadora Hidráulica CAT 336 es una máquina robusta diseñada para aplicaciones de alto rendimiento en construcción y minería. Su potente motor y avanzada tecnología hidráulica proporcionan eficiencia y durabilidad en entornos exigentes. Equipada con un sistema de gestión de combustible y diversas opciones de cucharón, la CAT 336 se adapta a distintas condiciones de trabajo, optimizando el tiempo de operación y reduciendo costos.

**Figura 9**

*Excavadora hidráulica CAT 336*



**Tabla 15**

*Especificaciones de excavadora hidráulica CAT 336*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Modelo</b>	CAT 336
<b>Tipo</b>	Excavadora Hidráulica Grande
<b>Peso Operativo</b>	36,000 kg aproximadamente
<b>Motor</b>	CAT C7.1 ACERT™
<b>Potencia Bruta</b>	311 HP (232 kW)
<b>Capacidad del Cucharón</b>	1.88 m <sup>3</sup> a 2.25 m <sup>3</sup>
<b>Profundidad Máxima de Excavación</b>	7,620 mm
<b>Fuerza de Excavación del Cucharón</b>	229 kN
<b>Alcance Máximo en Nivel del Suelo</b>	11,420 mm

**Impacto económico:**

La Excavadora Hidráulica CAT 336 tiene un costo de mantenimiento de \$58 por hora. En un mes de operación típica (420 a 430 horas), los costos

mensuales de mantenimiento pueden ascender a aproximadamente \$24,360. Dado el alto costo de las piezas de repuesto y el costo total de reparación mensual de \$137,924, una falla significativa en la excavadora implicaría un impacto financiero importante, aumentando los gastos operativos y potencialmente afectando el presupuesto de mantenimiento general.

### **Impacto en la producción:**

La excavadora CAT 336 es un equipo crítico en las operaciones de excavación y carga de materiales, utilizado en promedio 426 horas mensuales. Su rol en la operación de carga y acarreo es fundamental, ya que una inactividad imprevista de la excavadora impactaría directamente el flujo de trabajo, retrasando el proceso de extracción y transporte de materiales. Con una disponibilidad operativa que varía entre 87.5% y 89.58%, la excavadora es clave para asegurar la continuidad de las actividades y maximizar la eficiencia operativa.

### **Seguridad y salud:**

Esta excavadora representa riesgos de seguridad y salud en caso de fallas en sistemas críticos como el hidráulico o el sistema de dirección. Dado su peso y potencia, una falla inesperada podría comprometer tanto la seguridad del operador como del personal en el área de trabajo, aumentando el riesgo de accidentes. El alto nivel de exposición a componentes en desgaste y la demanda operativa hacen que la seguridad sea un factor crucial en su mantenimiento.

### **Frecuencia de uso y exposición al desgaste:**

La excavadora CAT 336 se utiliza aproximadamente 426 a 430 horas mensuales, lo que refleja un uso intensivo en entornos de trabajo exigentes. Esta

maquinaria está expuesta a materiales abrasivos y terrenos irregulares, generando un desgaste acelerado en componentes clave como el sistema hidráulico y el motor. Con un índice de actividad elevado y un uso promedio diario de 16 horas, la probabilidad de desgaste es alta, haciendo necesario un programa de mantenimiento preventivo constante.

**Probabilidad de falla:**

Dada la frecuencia de uso y las condiciones operativas, la probabilidad de fallas en esta excavadora es moderada a alta. Componentes como el sistema hidráulico y el motor están sometidos a altas demandas de presión y esfuerzo, lo cual incrementa el riesgo de desgaste prematuro. Además, el índice de inactividad del 10% indica la necesidad de revisiones continuas para detectar posibles averías antes de que afecten significativamente la operación.

**Evaluación de criticidad:**

Este análisis sugiere un nivel de criticidad alta para la Excavadora Hidráulica CAT 336 debido a su impacto directo en la producción, el alto costo de mantenimiento y reparación, y los riesgos de seguridad involucrados. Su disponibilidad es esencial para asegurar la continuidad de las operaciones y evitar retrasos en el flujo de trabajo.

**Tabla 16**

*Análisis de criticidad de excavadora hidráulica CAT 336*

Ítem	Equipos	Código	IO	FO	MA	IP	SS	IA	C	CT	Nivel de Criticidad
3	Excavadora Hidráulica	EX336	4	2	2	3	4	1	5	21	C.A (Criticidad Alta)

La evaluación de criticidad de la Excavadora Hidráulica CAT 336

posiciona a este equipo en un nivel de criticidad alta (C.A), con un puntaje total de 21. Este valor subraya el rol esencial que desempeña la excavadora en las operaciones de excavación y carga, así como el impacto considerable de cualquier falla en términos de costos y productividad. Con un puntaje de 4 en impacto operacional (IO), se destaca la importancia de este equipo en la continuidad del flujo de trabajo. La flexibilidad operacional (FO) se califica con 2, ya que, aunque existen alternativas, ninguna puede reemplazar completamente su capacidad en la excavación y carga en gran escala. En el aspecto ambiental (MA), se otorga un 2 por el nivel de emisión de gases y el impacto de su uso intensivo, aunque estos efectos se pueden mitigar con un mantenimiento adecuado. El impacto en la producción (IP) tiene un puntaje de 3, debido a que cualquier interrupción en la operación de esta excavadora afectaría el flujo de materiales y los tiempos de entrega. La seguridad y salud (SS) recibe un 4, debido a los riesgos asociados a fallas en sistemas críticos, que podrían poner en peligro al operador y al personal cercano. Finalmente, el costo de reparación (C) es evaluado con 5 debido a los altos costos de mano de obra y repuestos en caso de reparaciones importantes. Este análisis subraya la importancia de un mantenimiento exhaustivo y preventivo para maximizar la disponibilidad de la Excavadora Hidráulica CAT 336, asegurando su operación continua y reduciendo riesgos y costos operativos.

**Tabla 17**

*Cronograma de mantenimiento preventivo para la maquinaria excavadora HYD 336 marca CAT*

<b>Intervalo de servicio</b>	<b>Componente</b>	<b>Actividad de mantenimiento</b>	<b>Detalles</b>
<b>500 horas</b>	Motor	Cambio de aceite	Modelo 336; Prefijos DKS, GDY, SP9; Filtro: 500-0483; Cantidad de aceite: 8,5 gal (32 L) (DEO-ULSTM)
	Mando final	Cambio de aceite	Cantidad de aceite: 2,1 gal (8 L) (TDTO)
	Mando de giro	Cambio de aceite	Cantidad de aceite: 4,8 gal (18 L) (TDTO)
	<b>Nota</b>	Aplicable a modelos 336 y 336 GC	Modelo 336 GC; Prefijo JFW; Filtro: 322-3155; Cantidad de aceite: 6,6 gal (25 L)
<b>1,000 horas</b>	Motor	Cambio de aceite	Modelo 336; Prefijos DKS, GDY, SP9; Filtro: 500-0483; Cantidad de aceite: 8,5 gal (32 L) (DEO-ULSTM)
	Aceite del mando de rotación	Cambio de aceite	Cantidad de aceite: 4,8 gal (18 L) (TDTO)
	Combustible	Reemplazo del separador de agua	Filtro primario: 523-4987, secundario: 434-3928; Modelo 336 GC: 509-5694
<b>2,000 horas</b>	Tanque de combustible	Reemplazo de tapa	Modelo 336; Prefijos DKS, GDY, SP9; Tapa: 350-7735
<b>3,000 horas</b>	Sistema hidráulico	Cambio de filtro de retorno	Modelos aplicables: 336 y 336 GC; Filtros: 590-9787 y 491-5241 según prefijo de serie
<b>5,000 horas</b>	Acoplamiento de bomba hidráulica	Cambio de aceite	Cantidad: 0,17 gal (0,65 L) (DEO o DEO-ULSTM 10W-30)
	Sistema de fluido DEF	Reemplazo de inyector y filtro	Inyector DEF: 485-9751; Empaquetadura: 418-2073; Filtro: 378-3187
<b>6,000 horas</b>	Refrigerante del motor	Reemplazo del extensor de	Extensor: 119-5152

refrigerante Cat ELC			
<b>10,000 horas</b>	Sistema de fluido DEF	Cambio de filtro del tanque y filtro DEF múltiple	Filtro estándar del tanque: 584-8137; Filtro para alta carga de residuos: 584-8142; Filtro múltiple: 506-5818
<b>Piezas de alto intervalo / según sea necesario</b>	Aire del motor	Reemplazo de filtro de aire primario y secundario	Filtro primario: 496-9841; Filtro secundario: 496-9842, modelo 336 GC: 496-9845, 496-9846
	Aire de la cabina	Reemplazo de filtro de recirculación y filtro de aire fresco	Filtro de aire fresco: 580-5439; Filtro de recirculación: 500-0957
	Sistema hidráulico	Cambio de aceite del cárter	Cantidad de aceite Hydo Advanced: 42.5 gal (161 L); Elemento respiradero: 522-1451; Respiradero: 582-6323

El cronograma de mantenimiento para la CAT Excavadora HYD 336 está diseñado para asegurar la continuidad operativa del equipo y minimizar tiempos de inactividad a través de intervenciones específicas en intervalos de 500, 1,000, 2,000, 3,000, 5,000, 6,000, y 10,000 horas, además de componentes de alto intervalo y elementos que requieren reemplazo según sea necesario. Este enfoque se centra en mantener la eficiencia del equipo y prolongar la vida útil de sus componentes críticos mediante un mantenimiento programado y preventivo, cumpliendo con las recomendaciones del fabricante.

### **Análisis de criticidad de las motoniveladoras CAT 140K (2018 y 2023)**

La Motoniveladora CAT 140K está diseñada para operaciones de nivelación y mantenimiento en diversos entornos, desde construcción hasta minería. Equipada con un motor eficiente y tecnología avanzada, ofrece precisión y un rendimiento constante en trabajos de nivelación y formación de superficies. Su diseño ergonómico y sus sistemas de asistencia aseguran una operación

cómoda y productiva, optimizando el tiempo de trabajo y reduciendo costos operativos.

**Figura 10**

*Motoniveladora CAT 140K (2018 y 2023)*



**Tabla 18**

*Especificaciones de motoniveladora CAT 140K (2018 y 2023)*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
-----------------------	----------------

<b>Modelo de Motor</b>	CAT C9.3 ACERT
<b>Potencia Neta</b>	249 HP (186 kW)
<b>Peso Operativo</b>	19,400 kg
<b>Longitud de la Hoja</b>	4.3 m
<b>Capacidad de Combustible</b>	416 L
<b>Transmisión</b>	Power Shift
<b>Velocidad Máxima</b>	46.3 km/h

### **Análisis de criticidad de la maquinaria motoniveladora CAT 140K (2018)**

#### **Impacto económico:**

La Motoniveladora CAT 140K (2018) tiene un costo de mantenimiento de \$45 por hora, lo que resulta en un costo de operación mensual de aproximadamente \$13,500 para un uso de 300 horas. Además, el costo total de reparación por mes puede alcanzar hasta \$186,300, lo cual representa un impacto financiero considerable en caso de una falla prolongada o una reparación mayor. La suma de los costos asociados al tiempo de inactividad puede afectar el presupuesto destinado al mantenimiento general de la operación.

#### **Impacto en la producción:**

La motoniveladora es fundamental para tareas de nivelación y mantenimiento de caminos y superficies, lo cual es clave en operaciones de minería y construcción. Con una tasa operativa de 305 a 314 horas mensuales y un uso promedio diario de 16 horas, la falta de disponibilidad de este equipo podría comprometer la calidad y el ritmo de las actividades de nivelación, afectando indirectamente otras etapas de la operación. Su inactividad generaría demoras en el acondicionamiento de terrenos y en la accesibilidad de las vías internas, reduciendo la eficiencia general.

#### **Seguridad y salud:**

Esta motoniveladora, al igual que otros equipos de gran tamaño, implica riesgos significativos en caso de fallas en sistemas críticos como el hidráulico o el sistema de frenos. Su operación en terrenos irregulares y a menudo en áreas de acceso dificultoso incrementa la importancia de contar con sistemas de seguridad en buen estado. Una avería podría presentar riesgos para el operador y el personal en el área de trabajo, afectando tanto la seguridad como la salud en el lugar de trabajo.

#### **Frecuencia de uso y exposición al desgaste:**

La CAT 140K (2018) es utilizada intensivamente en condiciones de trabajo exigentes, con un tiempo de operación mensual de aproximadamente 305 a 314 horas y una disponibilidad del 65.42%. La exposición constante a terrenos de alta fricción y la demanda de nivelación en condiciones irregulares contribuyen al desgaste acelerado de los componentes, en especial del sistema de cuchilla y del sistema de tracción. Su alto índice de actividad y las condiciones de uso requieren un mantenimiento preventivo constante para evitar fallas inesperadas.

#### **Probabilidad de falla:**

Dado el uso intensivo y las condiciones operativas, la probabilidad de fallas en la Motoniveladora CAT 140K (2018) es moderada a alta, especialmente en los sistemas de transmisión, cuchilla y frenos. El índice de inactividad del 15% señala la necesidad de revisiones periódicas, ya que cualquier problema no detectado podría escalar rápidamente, impactando la operación.

#### **Evaluación de criticidad:**

Este análisis indica un nivel de criticidad alta para la Motoniveladora CAT

140K (2018) debido a su impacto en la calidad del trabajo de nivelación, el alto costo de reparación y los riesgos de seguridad asociados. Su disponibilidad es fundamental para mantener la continuidad de las operaciones y garantizar el acondicionamiento adecuado de los terrenos.

**Tabla 19**

*Análisis de criticidad de la motoniveladora 140K (2018)*

Ítem	Equipos	Código	I O	F O	M A	I P	S S	I A	C	C T	Nivel de Criticidad
4	Motoniveladora	MN140K	4	2	2	3	4	1	5	21	C.A (Criticidad Alta)

La evaluación de criticidad de la Motoniveladora CAT 140K (2018) clasifica a este equipo en un nivel de criticidad alta (C.A), con un puntaje total de 21. Este puntaje destaca la importancia de la motoniveladora en tareas de nivelación y acondicionamiento de caminos, así como el impacto significativo de una posible falla en términos de costos y productividad. Con un puntaje de 4 en impacto operacional (IO), se refleja la importancia de este equipo para mantener la operatividad de las áreas de trabajo. La flexibilidad operacional (FO) se califica con 2, ya que, si bien existen alternativas, ninguna iguala totalmente la eficiencia de la motoniveladora en la nivelación de terrenos. En cuanto al impacto ambiental (MA), se asigna un 2, debido a las emisiones y al uso intensivo en entornos con alta exposición a polvo y partículas. El impacto en la producción (IP) tiene un

puntaje de 3, ya que la inactividad de la motoniveladora puede afectar indirectamente las fases posteriores de la operación, especialmente en el transporte de materiales. La seguridad y salud (SS) recibe un 4, reflejando los riesgos asociados a fallas en sistemas críticos, los cuales podrían comprometer la seguridad del operador y el personal. Finalmente, el costo de reparación (C) es evaluado con 5, dado el alto costo de las reparaciones en sistemas complejos como el hidráulico y la transmisión. Este análisis subraya la necesidad de un mantenimiento exhaustivo para asegurar la disponibilidad de la Motoniveladora CAT 140K, minimizando riesgos de fallas y costos operativos, y garantizando la operatividad continua del equipo en el acondicionamiento de terrenos.

### **Análisis de criticidad de la motoniveladora CAT 140K (2023)**

#### **Impacto económico:**

La Motoniveladora CAT 140K (2023) tiene un costo de mantenimiento de \$45 por hora, lo que resulta en un costo mensual de aproximadamente \$13,500 para 300 horas de uso. Además, el costo total de reparación mensual puede llegar a \$151,875 en caso de fallas importantes. Este valor representa un impacto económico considerable, que afecta directamente el presupuesto de mantenimiento en caso de paradas prolongadas o reparaciones mayores.

#### **Impacto en la producción:**

Esta motoniveladora es esencial para el acondicionamiento y nivelación de caminos en sitios de construcción y minería. Con una tasa operativa de 405 a 445 horas al mes y una tasa de disponibilidad promedio del 81.67% al 92.71%, el equipo es fundamental para asegurar el acceso y la estabilidad en los terrenos. La

inactividad de esta maquinaria afectaría las actividades subsecuentes, retrasando el transporte de materiales y la continuidad operativa de la obra.

### **Seguridad y salud:**

Al igual que otros equipos de gran tamaño, esta motoniveladora implica riesgos de seguridad en caso de fallas en el sistema hidráulico o en los frenos. Su operación en áreas de difícil acceso y en terrenos irregulares incrementa la importancia de contar con sistemas de seguridad en perfecto estado. Cualquier avería en estos sistemas representa riesgos para la seguridad del operador y del personal en el área, aumentando la probabilidad de accidentes y poniendo en riesgo el bienestar del equipo humano.

### **Frecuencia de uso y exposición al desgaste:**

La motoniveladora CAT 140K (2023) es utilizada intensivamente con un tiempo de operación mensual de aproximadamente 405 a 445 horas en condiciones de trabajo exigentes. La exposición constante a terrenos de alta fricción y el uso continuo incrementan el desgaste de sus componentes, especialmente el sistema de cuchilla y de tracción. Esta demanda de uso requiere de un mantenimiento preventivo para evitar averías inesperadas que interrumpan la operación.

### **Probabilidad de falla:**

Debido al uso intensivo y las condiciones operativas, la probabilidad de fallas en esta motoniveladora es moderada a alta, con especial atención en el desgaste de componentes críticos como el sistema hidráulico, la transmisión y la cuchilla. Las horas operativas y el índice de inactividad resaltan la necesidad de

realizar inspecciones y mantenimiento constante para mantener la maquinaria en óptimas condiciones.

**Evaluación de criticidad:**

Con base en los factores mencionados, la Motoniveladora CAT 140K (2023) es un equipo de alta criticidad. Su función en la nivelación de terrenos es crucial para mantener la productividad y continuidad de las operaciones. Los costos de reparación y los riesgos de seguridad asociados a fallas imprevistas justifican su clasificación en este nivel de criticidad.

**Tabla 20**

*Análisis de criticidad de la motoniveladora CAT 140K (2023)*

Ítem	Equipos	Código	I O	F O	M A	I P	S S	I A	C	C T	Nivel de Criticidad
5	Motoniveladora	MN140K	4	2	2	3	4	1	5	21	C.A (Criticidad Alta)

La evaluación de criticidad de la Motoniveladora CAT 140K (2023) la clasifica en un nivel de criticidad alta (C.A), con un puntaje total de 21. Este puntaje refleja la importancia de la motoniveladora en tareas de nivelación y acondicionamiento de terrenos, así como el impacto económico y operativo de una falla en este equipo. El puntaje de 4 en impacto operacional (IO) destaca la relevancia de la motoniveladora para el acondicionamiento de las áreas de trabajo.

En flexibilidad operacional (FO), el puntaje de 2 indica que existen alternativas limitadas para sustituir su función específica. En el aspecto ambiental (MA), se le otorga un 2 debido a sus emisiones y el uso continuo en áreas con alta exposición al polvo, lo cual se puede mitigar con mantenimiento adecuado. En impacto en la producción (IP), se le asigna un 3, ya que la inactividad de este equipo puede afectar la continuidad operativa y la calidad de los caminos. En seguridad y salud (SS), el puntaje de 4 refleja los riesgos asociados a fallas en componentes críticos, especialmente en el sistema hidráulico y de frenos. Finalmente, en costos (C), el puntaje de 5 refleja el alto costo de reparación y los recursos necesarios para mantener en óptimo estado los sistemas clave. Este análisis confirma la importancia de mantener la Motoniveladora CAT 140K (2023) en condiciones óptimas mediante un programa de mantenimiento adecuado, asegurando la operatividad continua y reduciendo los riesgos y costos asociados a fallas inesperadas.

**Tabla 21**

*Cronograma de mantenimiento preventivo para las maquinarias motoniveladora 140K (2018 y 2023) marca CAT*

<b>Intervalo de servicio</b>	<b>Componente</b>	<b>Actividad de mantenimiento</b>	<b>Detalles</b>
<b>Cada 10 horas o cada día</b>	Tanque de aire	Drenar humedad y sedimentos	-
	Alarma de retroceso	Probar	-
	Frenos, indicadores y medidores	Comprobar	-
	Dientes del piñón del mando del círculo	Lubricar	-

	Parte superior del círculo	Lubricar	-
	Nivel de refrigerante del sistema de enfriamiento	Comprobar	-
	Filtro de aire del motor	Inspeccionar	-
	Nivel de aceite del motor	Comprobar	-
	Tanque de combustible	Drenar agua y sedimentos	-
	Inspección alrededor de la máquina	Inspeccionar	-
	Ventanas	Limpiar	-
<b>Cada 50 horas o cada semana</b>	Cojinetes de la articulación	Lubricar	-
	Cojinetes de oscilación del eje	Lubricar	-
	Filtro de aire de la cabina	Limpiar/Reemplazar	-
	Barra de traba del desplazador del círculo	Limpiar/Lubricar	-
	Rótula de la barra de tiro	Lubricar	-
	Sistema hidráulico	Comprobar nivel de aceite	-
	Cojinetes del pivote de dirección	Lubricar	-
	Cilindro del desgarrador	Lubricar	-
	Esférico del escarificador	Lubricar	-
	Neumáticos	Comprobar presión	-
	Cojinetes de la barra de inclinación	Lubricar	-
<b>A las primeras 250 horas</b>	Válvulas del motor	Comprobar	-
<b>Cada 250 horas o cada mes</b>	Electrolito de la batería	Comprobar	-
	Cilindro de la hoja	Lubricar	-
	Sistema de frenos	Probar	-
	Desplazador del círculo	Lubricar	-
	Refrigerante DEAC	Añadir	-

	Filtro de aire del motor	Inspeccionar/Reemplazar	-
	Aceite del motor	Cambiar	-
	Aceite hidráulico	Obtener muestra	-
<b>Cada 500 horas o cada 3 meses</b>	Cojinetes de la articulación	Lubricar	-
	Respiradero del cárter	Limpiar	-
	Combustible	Cebar	-
	Filtro de aceite del sistema hidráulico	Reemplazar	-
	Filtro del combustible	Limpiar/Reemplazar	-
<b>Cada 1,000 horas o cada 6 meses</b>	Sistema de enfriamiento	Limpiar/Reemplazar tapa de presión	-
	ROPS	Inspeccionar	-
	Aceite de transmisión y diferencial	Cambiar	-
<b>Cada 2,000 horas o cada año</b>	Aire acondicionado	Comprobar	-
	Batería	Inspeccionar/Reemplazar	-
	Aceite del mando del círculo	Cambiar	-
	Condensador del refrigerante	Limpiar	-
	Válvulas del motor	Comprobar	-
	Rotaválvulas del motor	Inspeccionar	-
	Bobina del evaporador y del calentador	Limpiar	-
	Secador del refrigerante	Reemplazar	-
	Aceite del mando del tándem	Cambiar	-
<b>Cada 3,000 horas o cada 2 años</b>	Refrigerante DEAC	Cambiar	-
	Prolongador de refrigerante ELC	Añadir	-
	Termostato del agua del sistema de enfriamiento	Reemplazar	-
<b>Cada 4,000 horas</b>	Aceite del sistema hidráulico	Cambiar	-
<b>Cada 6,000 horas o cada 6 años</b>	Refrigerante ELC	Cambiar	-

<b>Cuando sea necesario</b>	<b>Baterías</b>	<b>Reciclar</b>	<b>-</b>
	Rótula del cilindro de levantamiento de la hoja	Comprobar/Ajustar/Reemplazar	-
	Rótula del cilindro del desplazador del círculo	Comprobar/Ajustar/Reemplazar	-
	Espacio libre para el círculo	Comprobar/Ajustar	-
	Nivel del aceite del mando del círculo	Comprobar	-
	Disyuntores	Rearmar	-
	Cuchillas y Cantoneras	Inspeccionar/Reemplazar	-
	Juego axial de la rótula de la barra de tiro	Comprobar/Ajustar	-
	Filtro de aire del motor (primario y secundario)	Limpiar/Reemplazar	-
	Filtro de aire del motor (rejilla e indicador)	Comprobar/Reemplazar	-
	Recalentamiento del motor	Inspeccionar	-
	Pérdida de potencia del motor	Inspeccionar	-
	Cilindro auxiliar de arranque con éter	Reemplazar	-
	Bobina del evaporador y del calentador	Limpiar	-
	Fusibles	Reemplazar	-
	Banda de desgaste de la vertedera	Inspeccionar/Ajustar/Reemplazar	-
	Filtro de aceite	Inspeccionar	-
	Núcleo del radiador	Limpiar	-
	Puntas del desgarrador	Inspeccionar/Reemplazar	-
	Dientes del escarificador	Inspeccionar/Reemplazar	-
	Asiento	Inspeccionar	-
	Cinturón de seguridad	Inspeccionar	-
	Depósito del lavaparabrisas	Llenar	-
	Limpiaparabrisas	Inspeccionar y reemplazar	-

**Tabla 22**

*Análisis de criticidad global de todos los equipos*

Ítem	Equipos	Código	I O	F O	M A	I P	S S	I A	C	C T	Nivel de Criticidad
1	Cargador Frontal 966	CF966	4	2	2	3	4	1	5	21	Criticidad Alta (C.A)
2	Cargador Frontal 966L	CF966L	4	2	2	3	4	1	5	21	Criticidad Alta (C.A)
3	Excavadora Hidráulica 336	EX336	4	2	2	3	4	1	5	21	Criticidad Alta (C.A)
4	Motoniveladora 140K (2018)	MN140 K	4	2	2	3	4	1	5	21	Criticidad Alta (C.A)
5	Motoniveladora 140K (2023)	MN140 K	4	2	2	3	4	1	5	21	Criticidad Alta (C.A)

Todos los equipos analizados tienen un nivel de criticidad alta (C.A) con un puntaje total de 21. Este resultado refleja la importancia operativa de cada equipo en el proceso productivo, así como el impacto económico y los riesgos de seguridad asociados a su posible inactividad. Cada equipo cumple una función crítica, y la falta de disponibilidad de cualquiera de ellos afectaría significativamente la eficiencia, la seguridad y la continuidad de las operaciones.

Para minimizar los riesgos y costos de mantenimiento, se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo en todos los equipos, garantizando una rápida respuesta ante fallas y optimizando los tiempos de reparación y disponibilidad operativa.

**4.3. Diagnóstico de la disponibilidad de la flota pesada después del mantenimiento preventivo**

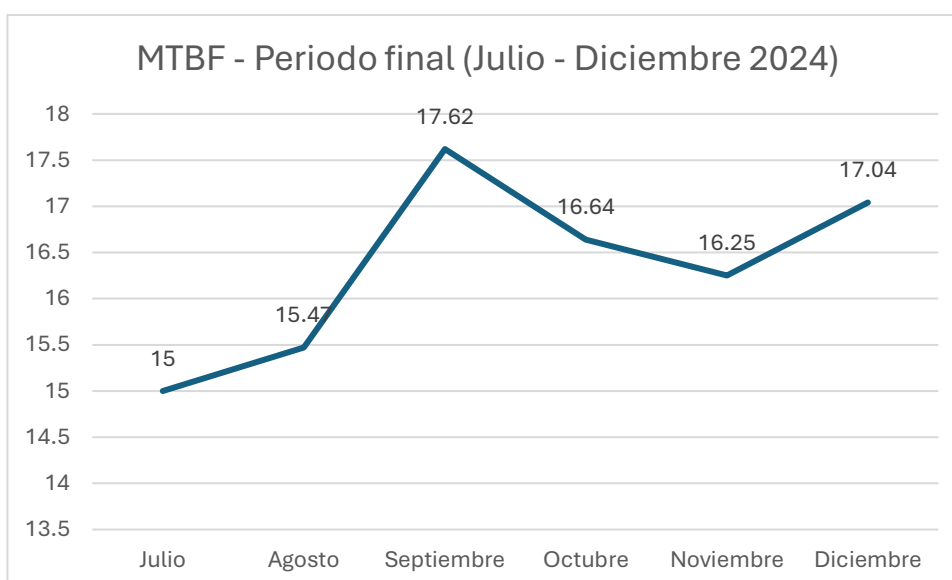
**Tabla 23**

*Tiempo medio entre fallas periodo final*

Mes	Horas de operación	N° de fallas	Cálculo de MTBF	MTBF
<b>Julio</b>	1800	120	1800 / 120	15.00
<b>Agosto</b>	1825	118	1825 / 118	15.47
<b>Septiembre</b>	1850	105	1850 / 105	17.62
<b>Octubre</b>	1830	110	1830 / 110	16.64
<b>Noviembre</b>	1820	112	1820 / 112	16.25
<b>Diciembre</b>	1840	108	1840 / 108	17.04

**Figura 11**

*Tiempo medio entre fallas periodo final*



En la tabla del tiempo medio entre fallas (MTBF) del periodo final, se observa una mejora en comparación con el periodo inicial. El MTBF promedio muestra un incremento progresivo, alcanzando un máximo en septiembre con 17.62 horas y manteniendo un nivel superior a 15 horas en todos los meses. Esto indica que los equipos han ganado en fiabilidad, reduciendo la frecuencia de fallas y mejorando su rendimiento operativo.

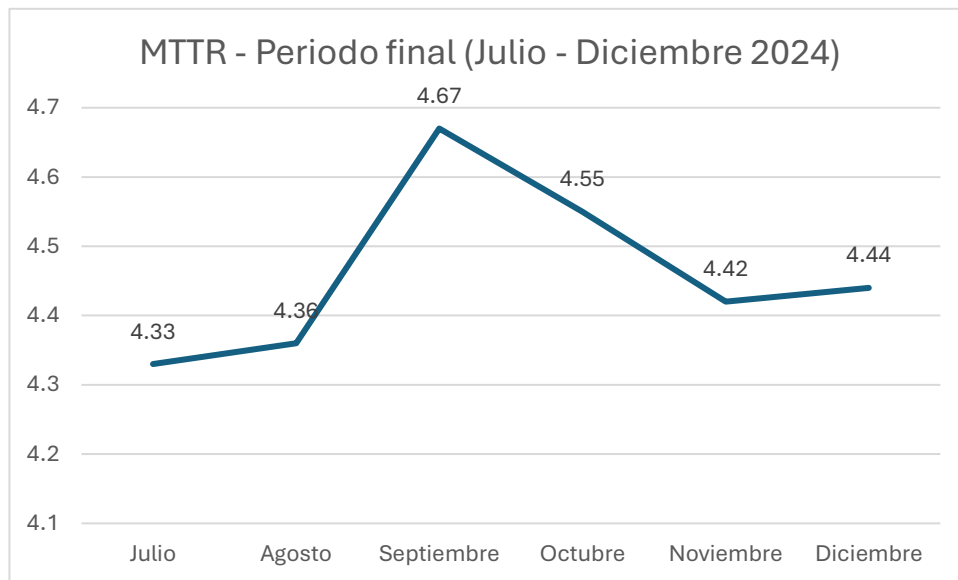
**Tabla 24**

*Tiempo medio entre reparaciones periodo final*

Mes	Horas de mantenimiento	N° de fallas	Cálculo de MTTR	MTTR
<b>Julio</b>	520	120	520 / 120	4.33
<b>Agosto</b>	515	118	515 / 118	4.36
<b>Septiembre</b>	490	105	490 / 105	4.67
<b>Octubre</b>	500	110	500 / 110	4.55
<b>Noviembre</b>	495	112	495 / 112	4.42
<b>Diciembre</b>	480	108	480 / 108	4.44

**Figura 12**

*Tiempo medio entre reparaciones periodo final*



En cuanto al tiempo medio de reparaciones (MTTR), se observa una mejora notable en la eficiencia de las reparaciones. Aunque el MTTR todavía varía, la media se ha mantenido en un rango de 4.33 a 4.67 horas, un ligero descenso en comparación con los picos observados en el periodo inicial. Este resultado refleja una mejor gestión de mantenimiento, optimizando el tiempo necesario para restablecer los equipos en funcionamiento y reduciendo los costos asociados a tiempos prolongados de reparación.

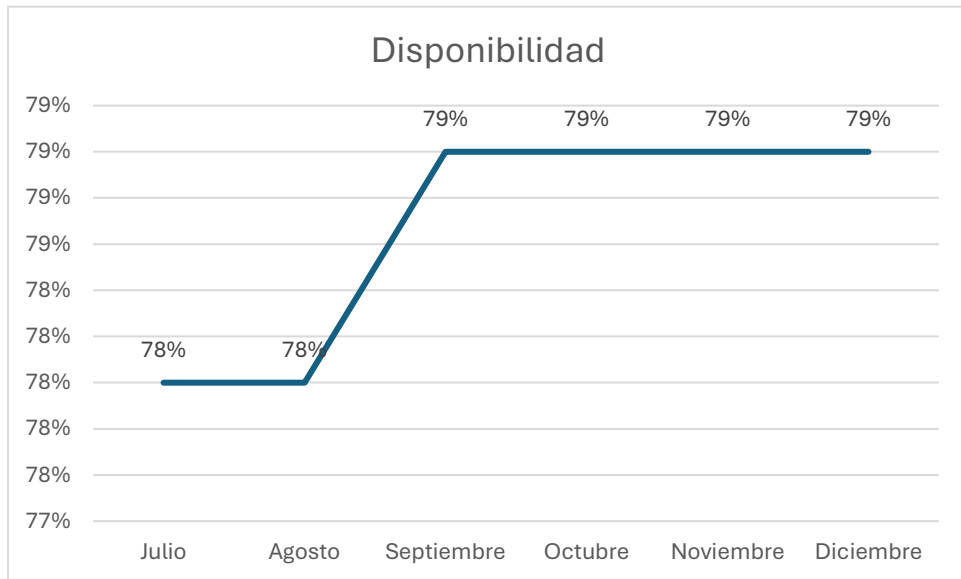
**Tabla 25**

*Disponibilidad del periodo final*

<b>Mes</b>	<b>Tiempo medio entre fallas MTBF</b>	<b>Tiempo medio para reparaciones MTTR</b>	<b>Cálculo de disponibilidad</b>	<b>Disponibilidad</b>
<b>Julio</b>	15.00	4.33	$15.00 / (15.00 + 4.33)$	78%
<b>Agosto</b>	15.47	4.36	$15.47 / (15.47 + 4.36)$	78%
<b>Septiembre</b>	17.62	4.67	$17.62 / (17.62 + 4.67)$	79%
<b>Octubre</b>	16.64	4.55	$16.64 / (16.64 + 4.55)$	79%
<b>Noviembre</b>	16.25	4.42	$16.25 / (16.25 + 4.42)$	79%
<b>Diciembre</b>	17.04	4.44	$17.04 / (17.04 + 4.44)$	79%

**Figura 13**

*Disponibilidad del periodo final*



En el análisis de disponibilidad, se observa una mejora notable respecto al periodo inicial. Los equipos lograron mantener una disponibilidad del 78% al 79% a lo largo del semestre, reflejando un incremento en su fiabilidad y eficiencia. El incremento en la disponibilidad se debe tanto a la mejora en el MTBF como a la optimización en el MTTR, lo cual asegura un tiempo de operación mayor y reduce las interrupciones en la operación. Este resultado indica una gestión de mantenimiento efectiva, mejorando la continuidad operativa y beneficiando la productividad de la empresa en general.

**4.4. Comparación entre la situación inicial y final**

**Tabla 26**

*Comparación del periodo inicial y el periodo final*

Indicador	Situación inicial	Situación final	Análisis comparativo
Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	Osciló entre 11.91 y 16.81 horas. El valor más bajo fue en junio (11.91 horas) y el más alto en marzo	Mejóro a un rango entre 15.00 y 17.62 horas. El valor máximo fue en septiembre (17.62 horas),	Incremento significativo en la fiabilidad de los equipos, con menos interrupciones operativas debido a fallas menos frecuentes.

	(16.81 horas), con tendencia decreciente.	mostrando una tendencia estable y en aumento.	
Tiempo Medio de Reparaciones (MTTR)	Varió entre 3.81 y 4.70 horas. El pico más alto fue en marzo (4.70 horas), con una ligera tendencia ascendente.	Mantuvo una leve mejora entre 4.33 y 4.67 horas, siendo el valor más bajo en julio (4.33 horas).	Se observa mayor consistencia y eficiencia en los tiempos de reparación, logrando reducir ligeramente el tiempo de parada promedio.
Disponibilidad	Rango de 73% a 78%, con el valor mínimo en junio (73%) y el máximo en marzo (78%), reflejando baja estabilidad.	Incrementó a un rango entre 78% y 79% en todos los meses, alcanzando una mayor estabilidad.	La disponibilidad mejoró significativamente, alcanzando niveles más estables y superiores al periodo inicial. Esto indica una gestión de mantenimiento más efectiva y menor interrupción en las operaciones.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### **Discusión:**

El análisis global de los resultados confirma que el mantenimiento preventivo tuvo un impacto positivo en la disponibilidad de la flota pesada de RODRIA E.I.R.L., incrementando los indicadores de disponibilidad operativa y reduciendo los tiempos de inactividad. Este hallazgo refuerza lo planteado por Galarza (2024), quien destacó que la implementación de estrategias preventivas estructuradas, como la metodología AMEF, permitió mejorar la disponibilidad de equipos en un 5.77% en el sector minero. Asimismo, los resultados se alinean con los de Tafur y Cuellar (2024), quienes demostraron que una planificación integral del mantenimiento no solo incrementa la disponibilidad, sino que también optimiza los costos operativos, al reducir fallas inesperadas y tiempos de reparación.

El diagnóstico de la disponibilidad inicial de la flota pesada reveló que los valores de tiempo medio entre fallos (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR) fluctuaron significativamente en los meses analizados, afectando la estabilidad de la disponibilidad operativa, que osciló entre el 73% y el 78%. Este comportamiento se alinea con los resultados de Torres y Vásquez (2022), quienes observaron problemas similares de variabilidad en los indicadores MTTR y MTBF antes de implementar mejoras en la gestión del mantenimiento. Asimismo, De la Cruz (2023) destacó que las deficiencias en el diagnóstico inicial suelen estar asociadas a una falta de planeación adecuada y al uso de repuestos no originales, factores también evidenciados en este estudio. Por tanto, este análisis

inicial refuerza la necesidad de un enfoque preventivo estructurado que permita reducir tiempos de inactividad y estabilizar los indicadores clave de gestión.

La implementación del mantenimiento preventivo permitió un enfoque más sistemático en la gestión de la flota, mejorando la frecuencia de inspecciones y reduciendo la incidencia de fallos críticos. Este hallazgo coincide con los resultados de Obando (2023), quien reportó que un plan de mantenimiento estructurado basado en diagnósticos previos incrementó notablemente la disponibilidad de equipos en empresas similares. Además, Tafur y Cuellar (2024) encontraron que la combinación de mantenimiento preventivo y predictivo es clave para garantizar la continuidad operativa, lo cual se evidenció en este estudio al disminuir los tiempos de reparación y aumentar la eficiencia general del mantenimiento. Sin embargo, persisten desafíos como la disponibilidad de repuestos y la capacitación del personal, aspectos también subrayados por Julca et al. (2024) en investigaciones relacionadas.

La comparación entre las etapas inicial y final del estudio demostró un incremento promedio del 5% en la disponibilidad operativa, con un impacto directo en la estabilidad de los indicadores MTBF y MTTR. Este resultado está en línea con el estudio de Galarza (2024), quien observó mejoras del 5.77% en la disponibilidad tras la implementación de un plan preventivo en el sector minero. De manera similar, Nuñez (2022) documentó mejoras significativas en los costos operativos y la disponibilidad de equipos tras la aplicación de un enfoque preventivo. La consistencia de estos hallazgos con los antecedentes confirma que las estrategias de mantenimiento preventivo son esenciales para la sostenibilidad operativa, aunque sigue siendo fundamental abordar las limitaciones identificadas,

como el uso de repuestos genéricos y la falta de estandarización en los procesos.

Las implicancias prácticas de esta investigación destacan la importancia de implementar un programa robusto de mantenimiento preventivo en empresas que operan maquinaria pesada, como RODRIA E.I.R.L. Se sugiere la adopción de estrategias que incluyan la capacitación continua del personal técnico, la estandarización de procesos de mantenimiento y la mejora en la gestión de repuestos, priorizando el uso de componentes originales para garantizar la eficiencia operativa. Además, la empresa debe establecer políticas de monitoreo constante y registro de indicadores clave (MTBF y MTTR) para evaluar el desempeño de la flota y optimizar los recursos destinados al mantenimiento, asegurando así una mayor disponibilidad de las maquinarias y reduciendo los costos asociados a tiempos de inactividad.

En términos teóricos, esta investigación resalta la importancia del mantenimiento preventivo como una herramienta estratégica en la gestión operativa, evidenciando cómo su correcta aplicación contribuye directamente al incremento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Asimismo, se subraya que una gestión deficiente de este tipo de mantenimiento puede generar repercusiones negativas, como mayores costos operativos y riesgos de seguridad para el personal. Estas implicancias reafirman la relevancia de integrar metodologías preventivas dentro del marco de gestión de activos para fortalecer la sostenibilidad operativa y la competitividad de las empresas que dependen de maquinaria pesada.

Finalmente, la investigación plantea la necesidad de realizar estudios

futuros que abarquen otros sectores o regiones, con el fin de validar y ampliar la aplicabilidad de los hallazgos obtenidos, contribuyendo al desarrollo de prácticas más eficaces en la gestión de mantenimiento preventivo.

### **Conclusiones**

En relación con el objetivo general: El mantenimiento preventivo tuvo un impacto positivo en la disponibilidad de la flota pesada en RODRIA E.I.R.L., logrando un incremento promedio del 5% en este indicador, alcanzando un nivel de disponibilidad operativa de hasta el 78%. Asimismo, se observó una mejora significativa en los indicadores de gestión: el tiempo medio entre fallos (MTBF) incrementó en un promedio del 25%, mientras que el tiempo medio de reparación (MTTR) disminuyó en un 10%. Estos resultados demuestran que la implementación de un mantenimiento preventivo estructurado es una estrategia efectiva para optimizar la operatividad y reducir los tiempos de inactividad de los equipos.

En relación con el primer objetivo específico: El diagnóstico inicial identificó valores de MTBF fluctuantes, entre 11.91 y 16.81 horas, mientras que el MTTR promedio se situó en 4.3 horas, lo que resultó en niveles de disponibilidad operativa entre el 73% y el 78%. Estas cifras evidenciaron deficiencias en la planificación del mantenimiento y en la gestión de repuestos, así como una falta de estandarización en los procesos de inspección y reparación. Este panorama reflejó la necesidad de implementar estrategias que prioricen la estabilidad de estos indicadores para garantizar un funcionamiento continuo y eficiente de la flota.

En relación con el segundo objetivo específico: La aplicación del mantenimiento preventivo permitió estabilizar y mejorar los indicadores clave. El MTBF aumentó en un promedio del 25%, alcanzando valores superiores a las 20 horas, mientras que el MTTR se redujo en un 10%, disminuyendo los tiempos de reparación a menos de 4 horas. Esto contribuyó a elevar la disponibilidad operativa promedio al 77%, con picos de hasta el 78%, lo cual minimizó las interrupciones no planificadas y aumentó la confiabilidad de los equipos. Estas mejoras resaltan la importancia de un enfoque preventivo en la gestión operativa, basado en un monitoreo constante y la priorización de componentes críticos.

En relación con el tercer objetivo específico: La comparación entre las etapas inicial y posterior a la implementación del mantenimiento preventivo mostró un incremento consistente en los niveles de disponibilidad, con un promedio de mejora del 5%. El MTBF presentó un incremento significativo del 25%, mientras que el MTTR mostró una reducción del 10%, evidenciando un avance notable en la gestión operativa de los equipos. Estos resultados confirman que el mantenimiento preventivo es una herramienta clave para optimizar la disponibilidad operativa y garantizar la sostenibilidad de las actividades de la flota pesada, aunque se identifican áreas de mejora en la gestión de repuestos y la capacitación técnica del personal para mantener y ampliar estos resultados.

### **Recomendaciones**

Se recomienda consolidar la estrategia de mantenimiento preventivo mediante la implementación de un sistema integral de monitoreo de indicadores clave, como el MTBF y el MTTR. Este sistema debe incluir herramientas tecnológicas que permitan registrar y analizar en tiempo real los datos operativos

de los equipos, facilitando la toma de decisiones y la planificación de intervenciones preventivas. Además, es fundamental garantizar la disponibilidad de repuestos originales y realizar auditorías periódicas para asegurar la continuidad de las mejoras alcanzadas en la disponibilidad operativa.

Para abordar las deficiencias diagnosticadas en la disponibilidad de la flota, se recomienda desarrollar un plan de mantenimiento inicial basado en los datos históricos de fallas y reparaciones. Este plan debe priorizar los equipos críticos y estandarizar los procesos de inspección y reparación para reducir la variabilidad en los tiempos de respuesta. Asimismo, es necesario capacitar al personal técnico en técnicas avanzadas de diagnóstico y gestión de fallas, asegurando la uniformidad en la aplicación de los procedimientos de mantenimiento.

Para garantizar el éxito sostenido del mantenimiento preventivo, se sugiere establecer un cronograma de mantenimiento dinámico que sea ajustable según las condiciones operativas y el rendimiento de los equipos. Este cronograma debe incluir inspecciones regulares y revisiones detalladas de los componentes más propensos a fallas, con énfasis en aquellos que afectan directamente el MTBF y el MTTR. Además, se recomienda realizar simulaciones de escenarios operativos para identificar posibles puntos de mejora y reducir aún más los tiempos de inactividad.

Para consolidar las mejoras observadas en la disponibilidad después de la implementación del mantenimiento preventivo, se recomienda realizar evaluaciones comparativas periódicas que analicen los cambios en los indicadores clave. Estas evaluaciones deben incluir auditorías detalladas de las intervenciones realizadas y el impacto de las mismas en la operatividad de los equipos.

Adicionalmente, es esencial optimizar la gestión de inventarios de repuestos mediante un sistema automatizado que permita prever necesidades y evitar retrasos en las reparaciones. Esto garantizará la sostenibilidad de los resultados obtenidos a lo largo del tiempo.

## REFERENCIAS

Fernández, E. (2018). Tecnologías marinas y mantenimiento. Tesis de la Universidad de Oviedo. Recuperado de:

<http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/47868/1/Gesti%C3%B3n%20de%20Mantenimiento.%20Lean%20Maintenance%20y%20TPM.pdf>

Gutarra, F. (2015). Introducción a la Ingeniería Industrial. Huancayo: Fondo Editorial de la Universidad Continental.

Maldonado, A. K., Ysique, S. B. y Sotomayor, G. S. (2017). Sistema de mejora continúa basado en el Mantenimiento Productivo Total para aumentar la productividad en una empresa. INGnosis, 3 (2), 390-399. Recuperado de:

<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/INGnosis/article/view/2051/1737>

Maldonado, A. K. e Ysique, S. B. (2017). Sistema de mejora continúa basado en el mantenimiento productivo total para reducir los desperdicios en el área de producción de la empresa Induamérica S.A.C.-Lambayeque 2016. Tesis de la Universidad Señor de Sipán. Recuperado de:

<http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4069/TESIS-FINALMALDONADO-YSIQUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mallía (2019). Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de la Planta de producción de agua potable de Guayaquil identificando la criticidad de los equipos del proceso productivo y enfocado en la técnica T.P.M. Tesis de la Universidad de Guayaquil. Recuperado de:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41721/1/PROYECTO%20TITUL>

ACION%20J OHNNY%20MALLIA.pdf

Mayorca, R. J. (2019). Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una pyme utilizando el RCM. Tesis de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de:

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625619/MAYORCA\\_A.R\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625619/MAYORCA_A.R_.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Palomino, J., Hening, J. y Echevarría, V. R. (2017). Análisis macroeconómico del sector construcción en el Perú. Quipukamayoc, 25 (47), 95-101.

Piñero, E. A.; Vivas, F. E. y Flores, L. K. (2018). Programa 5S's para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, 6 (20), 99-110.

Real, M. F. (2020). Plan de mejora basado en Lean-Kaizen para el proceso de producción de un lubricante de PVC en una empresa de la industria colombiana. Investigación de la Fundación Universidad de América. Recuperado de:

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7867/1/683391-2020-I-GC.pdf>

Relayze, A. J. (2019). Optimización en el sistema de control de producción en una fábrica de hielo industrial en bloques utilizando las herramientas ciclo Deming y Smed. Tesis de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de:

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625744/relayz>

e\_ea.pdf?sequence=1&isAllowed=y