

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**“PROPUESTA DE MEJORA CONTINUA EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y  
PREVENTIVO EN CARGADORES FRONTALES P&H WE-2350”.**

Trabajo de titulación para optar al título de  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL LICENCIADO EN  
INGENIERIA.

Alumno: Francisco Guastavino Cortez.

Profesor guía:  
Mg. Ing. Erik Kohnenkamp Núñez.

## Dedicatoria

En primer lugar, agradecer a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza durante este extenso período académico y por otorgarme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa universidad.

En segundo lugar, señalar el gran apoyo recibido de mi esposa Patricia, quien ha sido un pilar fundamental, entregándome un apoyo anímico, también por esperarme hasta altas horas de la noche en invierno con una tasa de café caliente. Agradecer por la comprensión y paciencia, donde hicieron que tomara esta decisión fuese la correcta.

También agradecer a la empresa Komatsu (Joy Global), quien confió en mis capacidades y me otorgó la oportunidad de crecer profesionalmente a través de una beca de estudio para continuar con mi formación y lograr obtener nuevos conocimientos.

Sin olvidar el agradecimiento a mis padres, que siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles de este tiempo de estudio, su gran apoyo incondicional ha sido importante para poder superarme en el día a día.

Finalizar con el agradecimiento al profesor Erik Kohnenkamp, quien fue un gran pilar en el desarrollo de este trabajo de título. Sin su apoyo y confianza, difícil habría sido de poder concretar este trabajo.

*“Cuando se nace pobre, estudiar es el mayor acto de rebeldía contra el sistema. El saber rompe cadenas de esclavitud”*

**Tomás Bulat.**

Muchas gracias a todos.

Francisco Guastavino Cortez.

## Resumen

**KEYWORDS:** confiabilidad, disponibilidad, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, cargadores frontales, análisis de vibraciones, análisis tribológico, análisis termográficos y monitoreo remoto.

Este trabajo, está realizado en base a la flota de cargadores frontales, equipos que se encuentran operando en faena Caserones. Con la finalidad de poder dar a conocer el problema existente en la flota mencionada. Para ser más minucioso en el proceso de mantenimiento predictivo y preventivo. A fin de lograr la obtención de nuevas estrategias para mejorar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

La estructura de este informe da a conocer los antecedentes generales de la minera, posterior a eso se exponen los aspectos generales y más relevantes de la empresa Komatsu Joy Global, otorgando una breve explicación de funcionalidad del cargadore frontal, modelo P&H WE-2350.

En segundo lugar, se dan a conocer los indicadores KPI de confiabilidad y mantenibilidad de la flota de los equipos cargadores frontales. Dentro del cual se presenta y aborda la problemática existente. En el cual con los datos obtenidos se buscan estrategias de mejoras para los procesos de mantenimiento en los equipos.

La investigación se realizó mediante un análisis cuantitativo de los indicadores operacionales del año 2023, donde se identificó una disponibilidad promedio de 74%, por debajo del objetivo contractual de 81%, y costos por indisponibilidad de \$2,114,468.60 USD. Se implementó un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) que permitió identificar sistemas críticos con números de prioridad de riesgo (NPR) superiores a 100. La estrategia propuesta se fundamentó en tres ejes: optimización de procesos de mantenimiento, capacitación técnica especializada, e implementación de herramientas predictivas avanzadas incluyendo monitoreo mediante Prevail-Grafana y sensores Ibutton. Los resultados proyectados incluyen un incremento en la disponibilidad al 81%, reducción del MTTR de 5,43 a 4,60 horas, aumento del MTBF en 25%, y una disminución del 40% en costos de mantenimiento correctivo, representando un ahorro anual estimado de \$845,787.44 USD. El estudio demostró la viabilidad técnica y económica de la propuesta para mejorar la gestión del mantenimiento de estos activos críticos.

## Índice

Dedicatoria.....	2
Resumen .....	3
Índice .....	4
Índice de figuras. ....	6
Índice de gráficos.....	7
Índice de tablas. ....	8
Índice de ecuaciones .....	9
Siglas y simbologías.....	10
Simbologías.....	11
Introducción .....	12
Objetivos del trabajo.....	14
Objetivo general. ....	14
Objetivos específicos. ....	14
CAPÍTULO 1 .....	15
1.1 Aspectos generales y descripción de problemática.....	16
1.2 Flota cargadores P&H WE-2350 en faena Caserones.....	17
1.2.1 Cargador frontal P&H WE- 2350. ....	17
1.3 Descripción faena Caserones. ....	18
1.4 Identificación de problemática.....	19
1.4.1 Análisis de falla en cargadores frontales WE-2350. ....	19
<b>1.4.1.1 Disponibilidad.</b> .....	20
<b>1.4.1.2 Mantenibilidad.</b> .....	22
<b>1.4.1.3 Confiabilidad</b> .....	22
1.4.2 Análisis detenciones imprevistas cargador frontal WE-2350. ....	27
1.4.3 Análisis de costos por detenciones imprevistas en cargador frontal P&H WE-2350. ...	36
1.4.4 Mantenimiento predictivo en cargador frontal P&H WE-2350. ....	37
1.4.5 Programa de mantenimiento actual en mantenimiento preventivo programado.....	37
1.4.6 Programa de mantenimiento predictivo monitoreo de condiciones .....	40
1.4.7 Análisis predictivo ruta de vibraciones en Cargador Frontal WE-2350 .....	42
<b>1.4.7.1 Descripción del problema actual.</b> .....	44
1.4.8 Monitoreo telemétrico de condiciones de trabajo cargador frontal. ....	46
1.5 Planteamiento de problemática presente en faena Caserones.....	47
1.5.1 Dimensionamiento cuantitativo del impacto operacional .....	47
1.5.2 Deficiencias críticas identificadas.....	48
1.5.3 Impacto en sistemas críticos .....	49
1.5.4 Implicaciones para la gestión del mantenimiento .....	50
1.6 Conclusión objetivo específico capítulo 1 .....	51
CAPÍTULO 2.....	53
2.1 Nueva estrategia para el moncon y análisis de datos en Prevail-Grafana, con el fin de anticiparse a la ocurrencia de una falla catastrófica. ....	54
2.2 Introducción a nueva estrategia de mantenimiento predictivo .....	54
2.3 ¿Cómo implementar la mejora continua? .....	54

2.4 Beneficios de aplicar el ciclo de Deming .....	55
2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) optimización de planes de mantenimiento.....	57
2.6 Precisión de servicio .....	57
2.7 Propuesta de mejorar las técnicas de Moncon, para aumentar la disponibilidad sobre un 81% .....	59
2.8 Optimización en análisis de temperaturas en articulaciones del cargador frontal .....	60
2.8.1 Primera propuesta Instalación de sensor de temperaturas en articulaciones del cargador frontal. ....	60
2.8.2 Segunda propuesta predicción de fallas mediante análisis tribológicos. ....	63
2.8.3. Propuesta de mantenimiento predictivo sistema eléctrico de alto voltaje .....	64
2.8.4 Análisis de datos telemétricos por técnicos .....	65
2.8.5 Indicaciones para mejorar el monitoreo telemétrico del cargador frontal .....	66
2.9 <i>Introducción a nueva estrategia de mantenimiento preventivo</i> .....	67
2.10 Digitalización del proceso de mantenimiento preventivo .....	68
2.11 Establecimiento de sistema centralizado de información técnica .....	69
2.12 Estandarización de informes técnicos .....	70
2.13 Mejora en la precisión de planificación del mantenimiento.....	72
2.14 Capacitación técnica hacia mantenedores electromecánicos.....	74
2.15 Aseguramiento de Actualización de información continua.....	77
2.16 ¿Qué es un análisis AMEF (Análisis de Modos de Fallas y Efectos)?.....	77
2.16.1 Diferencias entre fallas y modos de fallas.....	77
2.16.2 Categorías de modos de fallas .....	78
2.16.3 Asignación de puntuaciones de riesgos .....	78
2.16.4 Interpretación del NPR.....	78
2.16.5 Adaptaciones metodológicas para cargadores frontales P&H WE-2350 .....	84
2.17 Conclusiones de análisis modo efecto fallas (AMEF) en cargador frontal. ....	86
2.17.1 Recomendaciones técnicas.....	86
2.18 Conclusión de objetivo específico capítulo 2 .....	87
CAPÍTULO 3 .....	89
3.1 Introducción a nueva propuesta de mantenimiento optimizando recursos, capacitación y predicción de fallas. ....	90
3.2 Propuesta en base a tres ejes principales .....	91
3.2.1 Perfeccionamiento de procesos de mantenimiento preventivo y predictivo en cargadores frontales.....	91
3.2.2 Capacitación del personal técnico .....	100
3.2.3 Implementación de herramientas de predicción de fallas .....	107
3.3 Conclusión objetivo específico capítulo 3.....	122
3.4 conclusión objetivo general.....	123
3.5 Recomendaciones finales .....	125

## Índice de figuras.

<b>FIGURA 1.1</b> HISTORIA JOY GLOBAL / KOMATSU.....	16
<b>FIGURA 1.2</b> CARACTERÍSTICAS CARGADOR FRONTAL.....	17
<b>FIGURA 1.3</b> CARGADOR FRONTAL P&H WE-2350 .....	18
<b>FIGURA 1.4</b> CARACTERÍSTICAS CARGADOR FRONTAL.....	19
<b>FIGURA 1.5</b> TOTAL HORAS DE INDISPONIBILIDAD EN SISTEMA ELÉCTRICO CARGADOR FRONTAL .....	30
<b>FIGURA 1.6</b> PAUTA DE INSPECCIÓN SEMANAL CARGADOR FRONTAL.....	39
<b>FIGURA 1.7</b> INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL MONCON. ....	40
<b>FIGURA 1.8</b> INFORME TRIBOLÓGICO DE FLUIDOS DE CARGADOR FRONTAL.....	41
<b>FIGURA 1.9</b> RUTA DE VIBRACIONES PARA OBTENCIÓN DE DATA MEDIANTE MEDICIÓN.....	42
<b>FIGURA 1.10</b> INFORME DE MEDICIÓN DE VIBRACIÓN EN CARGADOR FRONTAL.....	43
<b>FIGURA 1.11</b> INFORME DE VIBRACIONES CORRESPONDIENTE A FALLA PRESENTE EN BOMBA HIDRÁULICA N° 3.....	43
<b>FIGURA 1.12</b> ANALIZADOR DE VIBRACIONES Y ACELERÓMETRO MARCA AMS .....	44
<b>FIGURA 1.13</b> RCA DE PROBLEMÁTICA PLANTEADA.....	44
<b>FIGURA 1.14</b> DIAGRAMA ISHIKAWA, PROBLEMÁTICA PLANTEADA.....	45
<b>FIGURA 1.15</b> HERRAMIENTA DE LOS CINCO PORQUÉS EN LA BÚSQUEDA DE LAS CAUSAS RAÍZ DE UN PROBLEMA.....	46
<b>FIGURA 1.16</b> PLATAFORMA PREVAIL – GRAFANA, MONITOREO TELEMÉTRICO EN TIEMPO REAL .....	47
<b>FIGURA 2.1</b> CICLO DEMING O PHVA.....	55
<b>FIGURA 2.2</b> METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO JOYGLOBAL (IPSECA).....	59
<b>FIGURA 2.3</b> PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA .....	60
<b>FIGURA 2.4</b> IBUTTON O SENSORES DE TEMPERATURAS.....	62
<b>FIGURA 2.5</b> VISUALIZACIÓN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS, A TRAVÉS DE SOFTWARE.....	62
<b>FIGURA 2.6</b> IBUTTON O SENSORES DE TEMPERATURAS.....	63
<b>FIGURA 2.7</b> IMAGEN REFERENCIAL CÁMARAS TERMOGRÁFICAS.....	64
<b>FIGURA 2.8</b> DASHBOARDS MONITOREO REMOTO DE CONDICIONES DE TRABAJO CARGADORE FRONTAL .....	65
<b>FIGURA 2.9</b> ACCESO A PLATAFORMA DE MONITOREO REMOTO.....	66
<b>FIGURA 2.10</b> CENTRO INTEGRADO DE MONITOREO KOMATSU.....	67
<b>FIGURA 2.11</b> DISEÑO REFERENCIAL DE PAUTAS DIGITALIZADAS PARA UN MANTENIMIENTO PROGRAMADO.....	69
<b>FIGURA 2.12</b> REFERENCIAL DIGITALIZACIÓN DE INFORMES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	69
<b>FIGURA 2.13</b> FORMATO DIGITAL PARA INFORMES TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO.....	71
<b>FIGURA 2.14</b> SEIS PRINCIPIOS DE LA PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	73
<b>FIGURA 2.15</b> LISTADO DE CURSOS HITO 1 CAPACITACIÓN DE TÉCNICOS ELECTROMECAÑICOS.....	74
<b>FIGURA 2.16</b> LISTADO DE CURSOS HITO 2 CAPACITACIÓN DE TÉCNICOS ELECTROMECAÑICOS.....	74

## Índice de gráficos.

<b>GRÁFICO 1.1</b> DISPONIBILIDAD FÍSICA Y CONTRACTUAL AÑO 2023 .....	20
<b>GRÁFICO 1.2</b> MTTR CORRESPONDIENTE AÑO 2023. ....	22
<b>GRÁFICO 1.3</b> MTBF CORRESPONDIENTE AÑO 2023. ....	25
<b>GRÁFICO 1.4</b> JACKKNIFE IMPREVISTOS EN SISTEMAS CARGADOR FRONTAL.....	26
<b>GRÁFICO 1.5</b> JACKKNIFE CON MAYORES HORAS DE IMPREVISTOS EN SISTEMAS CARGADOR FRONTAL .....	27
<b>GRÁFICO 1.6</b> JACKKNIFE IMPREVISTOS EN SUBSISTEMAS CARGADOR FRONTAL. ....	28
<b>GRÁFICO 1.7</b> JACKKNIFE IMPREVISTOS EN SISTEMA ELÉCTRICO CARGADOR FRONTAL. ....	29
<b>GRÁFICO 1.8</b> PARETO DE SISTEMAS CON FALLAS CARGADOR FRONTAL. ....	31
<b>GRÁFICO 1.9</b> DISTRIBUCIÓN ANUAL DE IMPREVISTOS EN CARGADOR FRONTAL. ....	33
<b>GRÁFICO 1.10</b> DISTRIBUCIÓN ANUAL DE HORAS IMPREVISTOS EN CARGADOR FRONTAL. ....	34
<b>GRÁFICO 1.11</b> <i>COMPARATIVO ENTRE HORAS DE PM E IMP.</i> .....	35
<b>GRÁFICO 2.1</b> PRECISIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO CARGADOR AÑO 2023 .....	58

### Índice de tablas.

<b>TABLA 1.1</b> CARACTERÍSTICAS DE INDICADORES SEGÚN CONTRATO MARC. ....	21
<b>TABLA 1.2</b> DISTRIBUCIÓN DE FALLAS POR SISTEMAS EN CARGADOR FRONTAL. ....	32
<b>TABLA 1.3</b> DISTRIBUCIÓN ANUAL DE FALLAS POR SISTEMAS EN CARGADOR FRONTAL. ....	35
<b>TABLA 1.4</b> COSTOS REFERENCIALES POR IMPREVISTOS .....	36
<b>TABLA 1.5</b> PROGRAMA BISEMANAL DE MANTENIMIENTO CARGADOR FRONTAL. ....	38
<b>TABLA 2.1</b> COMPARATIVO DE INDICADORES POR FAENA EN CHILE. ....	56
<b>TABLA 2.2</b> TABLA PRECISIÓN DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO CARGADOR AÑO 2023. ....	58
<b>TABLA 2.3</b> CAMBIO DE COMPONENTES SEGÚN TARGET LIFE CARGADOR FRONTAL, AÑO 2025 A 2029. ....	61
<b>TABLA 2.4</b> COTIZACIÓN DE CÁMARA TERMOGRÁFICA PARA REALIZAR MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN GABINETE DE ALTA. ....	64
<b>TABLA 2.5</b> COTIZACIÓN DE CUENTA SALESFORCE. ....	72
<b>TABLA 2.6</b> CARGA DE BACKLOGS LEVANTADOS EN UNA INSPECCIÓN PROGRAMADA. ....	73
<b>TABLA 2.7</b> COSTOS ASOCIADOS A CAPACITACIONES TÉCNICAS A PERSONAL ELECTROMECAÁNICO DE FAENAS .....	76
<b>TABLA 2.8</b> AMEF DE SISTEMA “COMPONENTES MAYORES” CARGADOR FRONTAL .....	79
<b>TABLA 2.9</b> AMEF DE SISTEMA “HIDRÁULICO” CARGADOR FRONTAL. ....	81
<b>TABLA 2.10</b> AMEF SISTEMA “ELÉCTRICO Y CONTROL” DEL CARGADOR FRONTAL .....	83
<b>TABLA 3.1</b> PROYECCIÓN DISPONIBILIDAD AÑO 2024, CON UN INCREMENTO DE 12%.....	92
<b>TABLA 3.2</b> PROYECCIÓN AÑO 2024 REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE REPARACIÓN 15%.....	94
<b>TABLA 3.3</b> PROYECCIÓN AÑO 2024 INCREMENTO INDICADOR MTBF 10% .....	94

**Índice de ecuaciones**

<b>ECUACIÓN 1.1 CÁLCULO DISPONIBILIDAD</b> .....	20
<b>ECUACIÓN 1.2 FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DEL MTTR</b> .....	22
<b>ECUACIÓN 1.3 FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DEL MTBF</b> .....	25
<b>ECUACIÓN 2.1 OBTENCIÓN DE PRECISIÓN DE SERVICIO DE CARGADOR FRONTAL.</b> .....	57
<b>ECUACIÓN 2.2 OBTENCIÓN DE NPR EN AMEF.</b> .....	78

### Siglas y simbologías.

A.C	: corriente Alterna
A	: amperios
SR	: reluctancia conmutada.
V	: voltaje.
Bba	: bomba
RPM	: revoluciones por minutos.
C.C	: corriente continua.
VCU	: unidad control del vehículo.
IGBT	: transistor bipolar de puerta asilada.
KPI	: indicadores claves de producción (Key Performance indicator)
KMC	: Komatsu Mining Corp.
M.S.N.M	: Metro sobre el Nivel del Mar.
MTBF	: tiempo medio entre fallas (Mean time btween Failure).
MTTR	: tiempo medio de reparación (Mean Time to repair).
WE	: Wheel electrics.
IA	: inteligencia artificial.
IPSECA	: metodología de mantenimiento (basado en el ciclo de Deming)
Hrs	: horas.
PM	: mantenimiento programado.
EXCL	: tiempo excluido.
Ppal.	: principal
CF	: cargador frontal.
Target Life	: vida útil del componente.
V/S	: versus
KTM	: miles de toneladas métricas.
ICSG	: grupo internacional de estudios del cobre.
SAP	: plataforma de control empresarial.
PCR	: programado para reemplazar un componente.
TBO	: tiempo entre overhaul.
CIM	: centro integrado de monitoreo.
ROI	: retorno de inversión.
NPR	: número ponderación de riesgo.
Cochilco	: comisión chilena del cobre.
ISO	: organización internacional de normalización.
RPM	: revoluciones por minutos.

## Simbologías

\$	: peso chileno.
%	: porcentaje.
US\$	: dólar americano
[G's]	: Aceleración gravitacional.
m <sup>3</sup>	: metros cúbicos.
Ton	: toneladas métricas.

## Introducción

La industria minera en Chile representa un sector de suma importancia económica, donde la inversión extranjera ha experimentado un aumento significativo año tras año. En este contexto, las empresas mineras implementan continuamente innovaciones en sus procesos de mantenimiento, buscando nuevas estrategias que complementen las existentes. El objetivo principal es aumentar la disponibilidad de la flota de los equipos mineros, especialmente de los cargadores frontales, que resultan críticos para la operación.

A finales del siglo XX tomó fuerza el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), que rediseña todas las consistencias y periodicidades de mantenimiento con base en un análisis riguroso y detallado de los tipos de fallas y modos de fallas en que estos son producidas (González, 2024).

En el año 2023, según reporte del consejo minero, la producción de cobre a nivel país, se obtuvo una producción de 5251 KTM<sup>1</sup> (fuente consejo minero). Y la reserva de cobre nacional, es de 19%, según cifras Cochilco, de la producción mundial según ICSG al año 2023. Siendo China el mercado que consume mayor cantidad de cobre abarcando un 60%. Los estudios señalan que, en el año 2023, el precio real de la libra de cobre promedio 392 US\$ / lb de cobre, proyectando al año 2024 un aumento a 414 US\$ / lb. En el año 2023, en minera Caserones, obtuvo una producción de Cu / Mo 137 KTMF Cu.

Es por lo que Lundin Mining estableció objetivos significativos en el incremento de la producción, y con esto el aumento de la disponibilidad de la flota de equipos de carguío.

Es por eso por lo que a través de este informe se logran identificar las áreas donde se deben efectuar mejoras, entre ellas se encuentra la ineficiencia en la recopilación de datos, esto se da por no disponer de los equipos necesarios para realizar la recopilación y análisis de datos de vibraciones, así mismo los tiempos de respuestas de los análisis tribológicos, falta de herramientas de análisis automatizados, diminutiva integración de sistemas de monitoreo remoto en faena. Por otro lado, los problemas detectados en las pautas de mantenimiento preventivo, estas se encuentran deficientes y muy generalizadas, lo que no da la opción al técnico de poder realizar un mantenimiento más detallado a los diferenciados sistemas y subsistema que posee el equipo.

Con la implementación de nuevas estrategias en el mantenimiento predictivo y preventivo se busca incrementar los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad de la flota de cargadores presentes en faena Caserones. Propuestas de mejoras en el monitoreo de condiciones, la implementación de sensores en tiempo real, uso de plataformas para, monitoreo remoto, automatización de alarmas y análisis predictivos. La finalidad de integrar estos componentes otorgará una visión consolidada de todos los parámetros de trabajo del equipo, mejorando la capacidad de predicción de fallas aplicada por personal de faena. Otra estrategia por realizar es optimizar la planificación y recursos para el mantenimiento, por lo que, al lograr predecir o diagnosticar una falla por parte técnica, se podrán realizar programación de mantenimiento en los tiempos óptimos, evitando las detenciones no programadas, asegurando el stock de repuestos y herramientas necesarias para la ejecución de los trabajos al momento de ser requeridos. Y mejorar

---

<sup>1</sup> miles de toneladas métricas finas.

la distribución y capacitación del personal técnico otorgándoles responsabilidad de cerrar el ciclo de trabajo mediante SAP, según la metodología de mantenimiento.

## **Objetivos del trabajo.**

### **Objetivo general.**

Implementar una estrategia sobre el mejoramiento continuo, en los planes de mantenimiento predictivo y preventivo, aplicados en cargadores frontales WE-2350, con el fin de buscar la optimización de recursos, así mismo buscar perfeccionar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos.

### **Objetivos específicos.**

- Inspeccionar los actuales programas de mantenimiento predictivo y preventivo de los equipos, identificando los procesos para mejorar en cuanto a frecuencia de fallas, metodologías aplicadas y resultados obtenidos.
- Mejorar las técnicas de monitoreo de condiciones y análisis de datos telemétricos, para perfeccionar la precisión sobre las predicciones de fallas, optimizando el recurso de planificación, creando una estrategia de precisión en esa área.
- Proponer un plan de mejoramiento continuo, en donde se incluya la optimización de procesos de mantenimiento, capacitación del personal técnico y el uso de nuevas herramientas de predicción como es “Prevail - Grafana”, con la finalidad de mejorar los indicadores claves del mantenimiento.

## **CAPÍTULO 1**

### **ANTECEDENTES GENERALES Y DESCRIPCIÓN DE PROBLEMÁTICA DEL MANTENIMIENTO.**

## 1.1 Aspectos generales y descripción de problemática.

Komatsu, es una empresa japonesa que cuenta con más de 100 años de trayectoria en fabricación de equipos para la minería, actualmente líder del rubro minero en el país. Adquirió la totalidad de la empresa norteamericana Joy Global en el año 2017, quien contaba con una gran presencia en el mercado chileno con equipos de perforación y carguío. Desde entonces la empresa ha innovado en el desarrollo de nuevas tecnologías para los equipos. En lo que es minería a rajo abierto, esta empresa ha desarrollado e innovado una serie de equipos, entre ellos destacando el cargador frontal sobre ruedas, más grande a nivel mundial, por lo que busca apostar por la eficiencia energética y poder reducir el impacto ambiental dentro de las operaciones mineras.



*Figura 1.1 Historia Joy Global / Komatsu.*

*Fuente: (Komatsu, 2017)*

En la figura 1.1 se aprecia la secuencia de transición de la empresa P&H al presente, convertida en Komatsu. El cargador frontal WE-2350, es el equipo de carguío sobre ruedas más grande a nivel mundial, diseñado para una operación en los diversos climas presentes en las faenas mineras chilenas. En donde destaca por su función de cargar mineral en los camiones Caex. Obteniendo un promedio de carga de tres minutos hacia un camión caex Komatsu 930E.

Los cargadores de segunda generación, modelos P&H WE 1850 y 2350, poseen gran tecnología y esto es para lograr un mejor rendimiento óptimo dentro de las operaciones mineras. El equipo se distingue, debido a que está situado en dos bastidores delantero y trasero, en donde están montados componentes de levante y volteo, y en el bastidor trasero, va instalado la unidad de potencia (motor-generator), cilindros de dirección y cabina del operador. Estos bastidores se encuentran unidos mediante una articulación que permite al equipo una excelente maniobrabilidad del cargador.

Posee un motor diésel MTU, serie 4000, en la cual unido a través de un eje solidario al generador eléctrico de corriente continua, que entrega un suministro de energía a los cuatro motores eléctricos, acoplados a un mando final, donde impulsan un movimiento del equipo de avance y retroceso. Actualmente ha significado reducción de tiempos de fallas, asimismo ha

incurrido en el aumento de productividad y reducción de los tiempos de inactividad, gracias a la gran disponibilidad y confiabilidad logrando una operación continua dentro de la industria. Este trabajo se realizará con la flota de cargadores presente en minera Caserones, ubicada en la tercera región de Atacama.

En la actualidad la minera posee dos cargadores frontales de generación II, modelo P&H WE-2350, presentes desde el año 2012 hasta la fecha. Cabe mencionar que la metodología aplicada para el de mantenimiento es llamada “IPSECA” (metodología basada en el ciclo de Deming) programa de gestión del ciclo de vida útil, la cual busca maximizar la producción de los equipos, realizando una optimización del rendimiento de la flota.

Nos centramos en indicadores correspondientes al año 2023 desde enero a diciembre donde nos enfocaremos en KPI de disponibilidad, MTTR y MTBF concentrándose en el sistema eléctrico de propulsión y control del equipo.

Peso	<b>266.62 t</b>	Capacidad cuchara	<b>40.52 m<sup>3</sup></b>
Longitud de transporte	<b>20.27 m</b>	Anchura transporte	<b>6.76 m</b>
Altura de transporte	<b>6.73 m</b>	Velocidad	<b>19.31 km/h</b>
Altura de vertido máx.	<b>7.03 m</b>	Radio de torneado exterior	<b>19.43 m</b>
Model Series	<b>P&amp;H</b>	Fabr. del motor	<b>MTU Detroit</b>
Modelo de motor	<b>16V series 4000</b>	Rendimiento de motor	<b>1715 kW</b>
N° de cilindros	<b>16</b>	Nivel de emisión	<b>Tier 2</b>
Modelo base con cabina Rops y cuchara estándar con dientes			

**Figura 1.2** Características Cargador Frontal.

*Fuente: Promanual*

En esta figura 1.2 se detallan las características significativas del Cargador frontal WE-2350. En donde se dan a conocer las capacidades de carga de balde, tipo de motor utilizado y dimensiones del equipo.

Además, hay que señalar que hoy en la actualidad el cargador frontal WE-2350, es el equipo de carguío sobre ruedas más grande a nivel mundial, seguido por su competencia directa el cargador CAT 994K, cuya capacidad de carga del balde es de 36m<sup>3</sup>, en contraste con los 50 m<sup>3</sup> del WE-2350 integrando tecnología de tracción eléctrica, lo que lo diferencia significativamente del sistema mecánico convencional de su competencia.

## **1.2 Flota cargadores P&H WE-2350 en faena Caserones.**

### **1.2.1 Cargador frontal P&H WE- 2350.**

El equipo de carga sobre ruedas más grande a nivel mundial, con un peso de 266 ton. La función principal es cargar el mineral en los camiones de extracción. Se distribuye en dos conjuntos principales, bastidor frontal, donde se ubica el pantógrafo, cilindros de levante y cilindros de volteo, además posee bastidor trasero donde se instala la unidad de potencia (motor diésel-

generador) y unidad Gear box caja de trasmisión donde acoplan las bombas hidráulicas, finalizando con los cilindros de dirección y la cabina del operador, señalar que ambos bastidores son unidos mediante una articulación central superior e inferior que poseen bolas de 12 pulgadas de diámetro para la unión de ambos bastidores.

El uso de nuevas tecnologías, debido a que el equipo Komatsu posee un sistema de propulsión híbrido-diésel-eléctrico, lo que permite una generación de energía regenerativa otorgándole una eficiencia energética y un ahorro de un 40% de combustible, que posee tecnología patentada SR (reluctancia conmutada). El sistema mecánico-hidráulico, desde el generador, va conectado un eje cardánico unido a la unidad Gear Box (transmisión mecánica).

Para que el cargador pueda desplazarse y realizar movimientos hidráulicos según los comandos del operador, el equipo cuenta con un sistema de control integrado llamado “Lincs II”, versión 5.9, según programa de actualización.



**Figura 1.3** Cargador Frontal P&H WE-2350

*Fuente: elaboración propia.*

### **1.3 Descripción faena Caserones.**

Faena Minera Caserones, propiedad de Lundin Mining Chile ubicada en la III región de Atacama, a 162 km al sureste de Copiapó. Emplazada en la cordillera de los Andes a 4600 m.s.n.m. Sus operaciones de extracción son a rajo abierto, en donde lo que se extrae es principalmente el concentrado de cobre y molibdeno. Su operación se inició oficialmente el 30 de julio del 2014. La estructura societaria está compuesta por un 51% de propiedad de Lundin Mining y un 49% de JX Nippon Mining & Metals Corporation. Y bajo su operación cuenta con una dotación de 930 trabajadores propios y 2500 colaboradores de empresas externas.



**Figura 1.4** Características Cargador Frontal

*Fuente: (Caserones, 2024)*

El proceso de producción se considera una explotación a rajo abierto, junto a una planta de producción de concentrado de cobre y molibdeno a partir de sulfuros primarios y otra planta para producir cátodos de cobre mediante el procesamiento de minerales oxidados, mixtos y sulfuros secundarios. Se estima una vida útil del proyecto de 28 años, con una producción total de 3.141 millones de toneladas de cobre fino concentrado, 86.844 toneladas finas de molibdeno, además de 411.000 toneladas de cátodos de cobre.

#### **1.4 Identificación de problemática.**

La flota de cargadores frontales P&H WE-2350, cumple un rol crítico dentro de la operación minera, debido a su gran versatilidad de trabajo y capacidad de adaptación en climas adversos y/o terrenos de difíciles accesos. Desde esta perspectiva, el rendimiento y la indisponibilidad del equipo impactan directamente en la producción. Es por ello, los costos asociados a detenciones no programadas y/o imprevistos generan grandes pérdidas para la mandante y los costos asociados a fallas imprevistas asumidas por Joy Global.

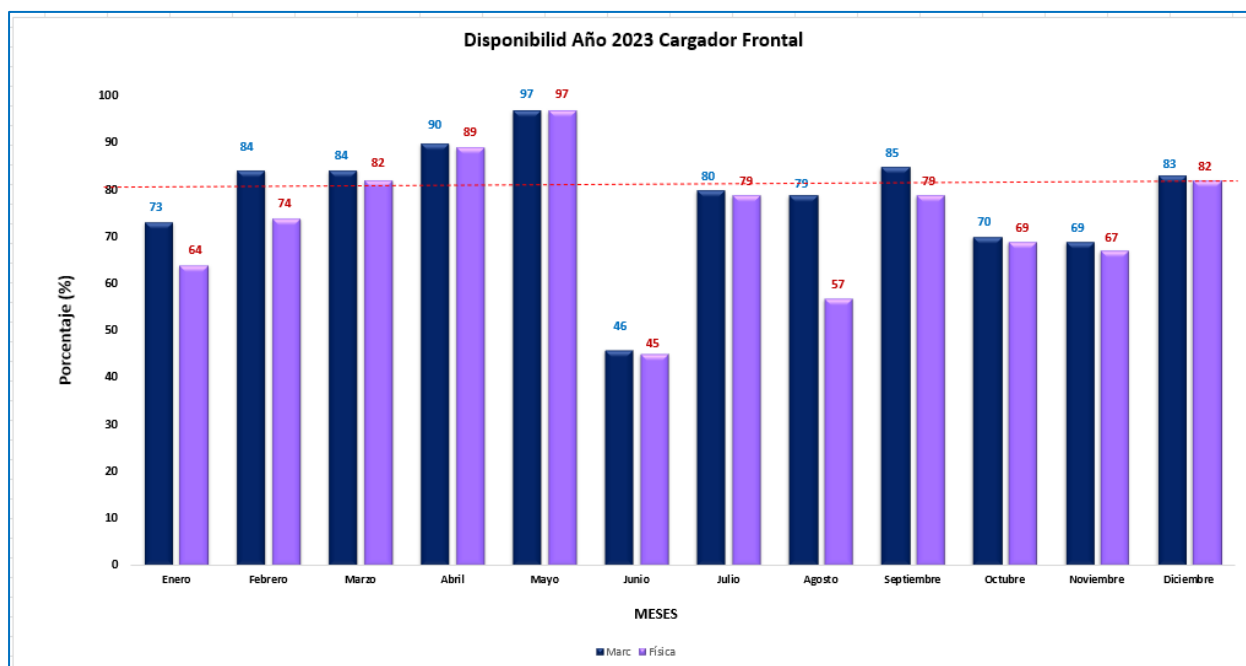
Actualmente, se cuentan con programas de mantenimiento bisemanales, es decir, planificados con una anticipación de dos semanas, aunque esto no ha otorgado resultados esperados, debido que la confiabilidad post mantenimiento (MTBF), continua siendo baja. Por lo que indica que los problemas se arrastran desde la planificación hasta la ejecución y post entrega de equipo a operaciones.

##### **1.4.1 Análisis de falla en cargadores frontales WE-2350.**

Actualmente Komatsu Joy Global, posee un contrato Marc con minera Caserones, perteneciente al grupo Lundin Mining, por un plazo de cinco años, con la posibilidad de extensión de tres años más. El contrato fue renovado en diciembre del año 2023. La celebración de dicho acuerdo para una flota de ocho equipos mineros, dos palas eléctricas modelo P&H 4100 XPC AC, cuatro perforadoras modelo 320 P&H y dos cargadores frontales P&H modelo WE-2350. En

donde dentro del acuerdo incluye la venta de servicios de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de los equipos, además incluye el soporte técnico especializado PSG (soporte de producto especializado).

Como objetivo del contrato, será lograr la optimización de los tiempos de reparación de imprevistos, a su vez maximizar la disponibilidad operacional de los equipos, optimizando costos de operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida útil de los cargadores frontales.



**Gráfico 1.1** Disponibilidad física y contractual año 2023

*Fuente: datos obtenidos histórico año 2023 KMC, elaboración propia.*

#### 1.4.1.1 Disponibilidad.

La disponibilidad es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente realice la función prevista cuando sea requerido, se expresa en porcentaje y tiene en cuenta tanto la confiabilidad como la mantenibilidad de los sistemas del equipo. Según lo establecido entre las partes, el indicador objetivo de disponibilidad es un 81%, lo cual indica que se debe realizar un correcto manejo de recursos para la optimización de estos. Este indicador se establece según contrato Marc (contrato de mantenimiento y reparación). Este tipo de contrato es donde el prestador de servicios (Komatsu) se responsabiliza de entregar un mantenimiento a la flota determinada existente en faena, con la finalidad de otorgar y garantizar la disponibilidad de la flota, ejecutando todas las actividades necesarias para cumplir y mantener la disponibilidad del equipo.

La disponibilidad se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$D = \frac{\text{Tiempo total planificado} - \sum \text{Tiempo detenciones}}{\text{Tiempo Total Planificado}}$$

**Ecuación 1.1** Cálculo disponibilidad

*Ecuación para calcular la disponibilidad de un equipo*

*Fuente: Administración Moderna de Mantenimiento Lourival Augusto Tavares.*

En el gráfico 1.1 se observa que, durante ocho meses no se logró cumplir con el objetivo

de disponibilidad física.

Como se indica el gráfico, se presentan dos indicadores de disponibilidad:

- **Disponibilidad física:** es el tiempo que el equipo está disponible para operar o ejecutar la función para la cual está diseñado u operando, en relación con el tiempo total. (ej. semana, mes, año, etc.).
- **Disponibilidad Marc:** similar a la disponibilidad física, pero solamente se consideran para el cálculo el tiempo de las detenciones que son responsabilidades del contrato en cuestión, es decir solo se consideran las detenciones atribuibles a Komatsu.

Concepto	Definición	¿Cómo se mide?	Dependiente	¿Cómo afecta?
Disponibilidad	Tiempo en que el cliente puede utilizar el equipo.	Porcentaje (%)	Mantenimiento correctivo Reparación de imprevistos en los equipos. Control de imprevistos	Multas en dinero que la empresa debe pagar por el incumplimiento de contrato (Indisponibilidad)
Confiabilidad	Probabilidad que un equipo trabaje u opere sin presentar fallas y/o imprevistos	Porcentaje (%)	Mantenimiento correctivo Reparación de imprevistos en los equipos. Control de imprevistos	Pérdida de licitaciones futuras, dado que el mantenimiento y los equipos son poco confiable.

**Tabla 1.1** características de indicadores según contrato Marc.

Fuente: contrato Marc KMC

- Horas de mantenimiento programado (MP): 939,5 horas.
- Horas excluidas: 401 horas.
- Total, de horas en el año: 8.760 horas

El tiempo asignable para el mantenimiento se calcula como:

$$\text{Tiempo Asignable} = \text{Tiempo Total} - (\text{MP} + \text{TE} + \text{I})$$

MP: Mantenimiento Programado.

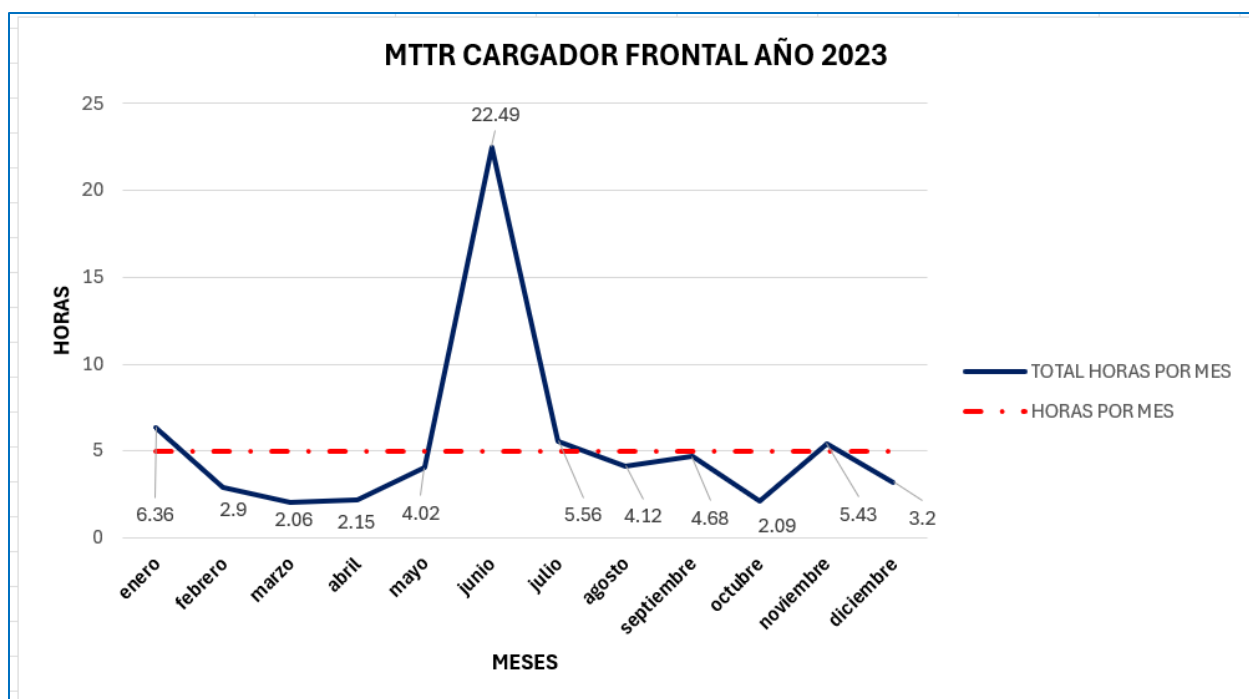
TE: Tiempos Excluidos.

I: Tiempos de Imprevistos.

Fuente: Keith Mobley, cálculo del tiempo asignable y su aplicación en la disponibilidad

Es decir, el tiempo asignable para el año 2023, fue de 1.311 horas. A eso se debe sumar la totalidad de 988,3 horas por detenciones no programadas.

Tiempo asumido por la totalidad de horas de mantenimiento preventivo y 401 horas de excluidos.



**Gráfico 1.2** MTTR correspondiente año 2023.

Fuente: data histórico año 2023 KMC.

#### 1.4.1.2 Mantenibilidad.

Este indicador hace referencia a la facilidad y rapidez con la que un equipo es reparado o mantenido.

El departamento de mantenimiento utiliza el indicador MTTR, este indicador indica el tiempo que demora el técnico en poder solucionar un imprevisto. El contrato establece 5,0 horas mensuales. Obteniendo un promedio anual de 5,43 horas correspondientes al año 2023. Por lo que, en algunos meses no se cumplió el objetivo garantizado según el acuerdo.

Para realizar el cálculo del tiempo medio de reparación (MTTR), se debe dividir el tiempo total del imprevisto, durante un determinado tiempo por el número de acciones de mantenimiento realizadas. La ecuación utilizada es:

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

#### **Ecuación 1.2** Fórmula para el cálculo del MTTR

Fuente: Administración Moderna de Mantenimiento Lourival Augusto Tavares.

En el gráfico 1.1, se observa el indicador de tiempo medio de reparación, en donde señala la cantidad de horas mensuales correspondientes al año 2023 en la reparación de imprevistos en el cargador frontal. El promedio fue de 5,43 horas lo que se considera un tiempo excesivo para la reparación de imprevistos.

#### 1.4.1.3 Confiabilidad

El siguiente indicador es el MTBF, tiempo medio entre fallas, con cual se controla la disponibilidad y confiabilidad del cargador frontal WE-2350, señalando un tiempo promedio entre

las fallas ocurridas en el equipo. Por contrato se deberá cumplir con un mínimo de veinticinco horas mensuales entre fallas.

La confiabilidad de los equipos está directamente relacionada con el tiempo medio entre fallas (MTBF), indicador que permite evaluar la frecuencia con la que un equipo experimenta fallas. Para ser más preciso con los análisis de confiabilidad del equipo, se empleará la Distribución de Weibull, herramienta utilizada en el mantenimiento predictivo, por lo que permitirá identificar patrones de fallas.

### **Distribución de Weibull.**

El análisis de Weibull es un método estadístico utilizado en ingeniería de confiabilidad y mantenimiento para analizar datos de la vida útil, tasas de fallas y confiabilidad de los equipos. Nombrada en honor a Wallodi Weibull, quien describió este modelo estadístico, la distribución de Weibull destaca por su versatilidad y puede describir varios comportamientos de falla. Con este método se permite modelar los tiempos entre fallas considerando patrones de comportamiento específicos.

Los parámetros existentes de Weibull, los cuales corresponden a factor de forma ( $\beta$ ), factor de escala ( $\alpha$ ), se definen como:

- ✓ Parámetro de Forma ( $\beta$ , Beta): este parámetro describe la forma de la distribución y caracteriza el modo de fallas.

*Por ejemplo:  $\beta < 1$  indica una tasa de falla decreciente (curva bañera)*

*$\beta = 1$  indica una tasa de falla constante.*

*$\beta > 1$  indica una tasa de falla creciente.*

### **Parámetro de forma $\beta = 1,238$**

Se evidencia que las fallas presentadas en el cargador durante el año 2023 no son aleatorias y no presentan un patrón muy rápido en el desgaste de sus componentes. Este resultado es esperado para un equipo de carguío, debido a las condiciones de trabajo del equipo ya sea por carga excesiva, vibración, puntos de fricción existentes, etc. Por lo que se recomiendan generar nuevas estrategias de mantenimiento predictivo.

- ✓ Parámetro de Escala ( $\eta$ , Eta): es un factor de escala que estira o comprime la distribución. Esto proporciona una estimación de la vida característica <sup>2</sup>del producto, que es el tiempo en el que el 63,2% de los equipos habrá fallado.

Según los antecedentes, se obtuvieron los siguientes datos correspondiente al realizar el análisis del MTBF (tiempo medio entre fallas) correspondiente al año 2023.

### **Parámetro de escala $\eta = 89,31$ horas.**

Con este valor se evidencia que el 63,2% de los sistemas del cargador habrán presentado algún modo de falla, antes de llegar a las 89,31 horas de servicio. Con este valor se puede realizar una mejora en la planificación del mantenimiento, para poder evitar que una gran cantidad de componentes falle.

---

<sup>2</sup> La vida característica es clave para programar mantenimiento antes de que la mayoría de los equipos fallen.

La confiabilidad puede calcularse utilizando la función de confiabilidad exponencial, que se basa en el supuesto de que las fallas se ocurren aleatoriamente a lo largo del tiempo. Modelo apropiado cuando el equipo está en su fase de vida útil. La ecuación es la siguiente:

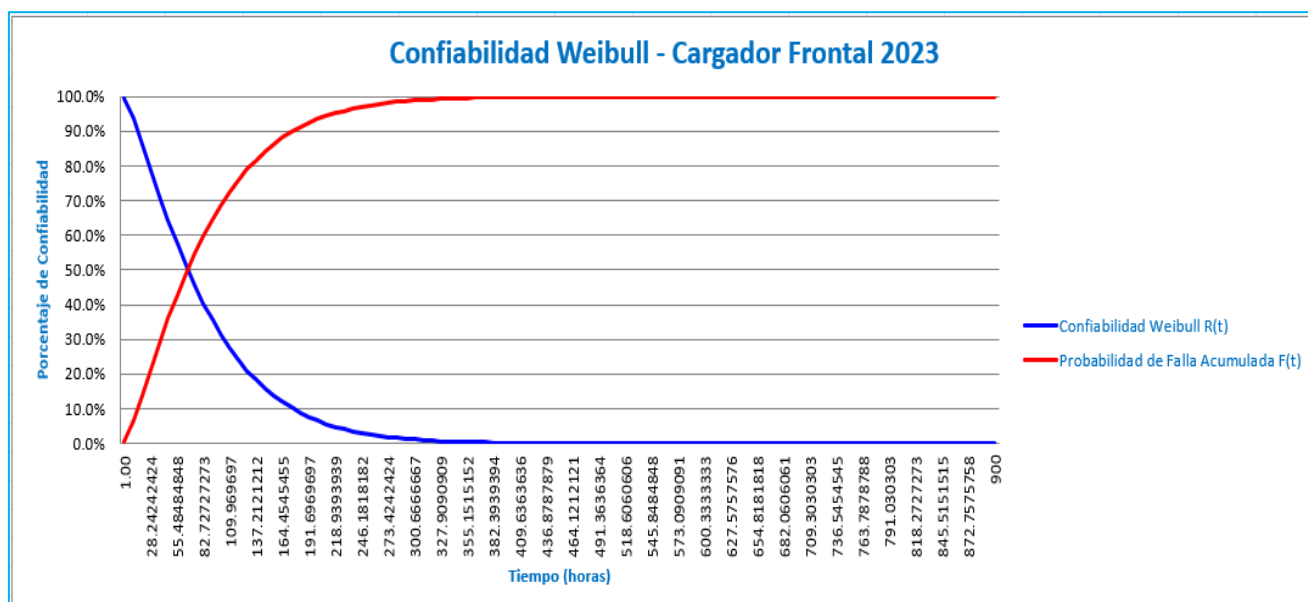
$$R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta}$$

**Ecuación 1.3** Fórmula para el cálculo de confiabilidad de Weibull

Fuente: <https://www.fractal.com/es/mantenipedia/que-es-la-confiabilidad-en-el-mantenimiento>

Donde:

- $R(t)$ : es la probabilidad de que el sistema siga funcionando sin fallas hasta un tiempo  $t$ .
- $t$ : es el tiempo de operación del equipo (en horas).
- $\eta = 89,31$  es el parámetro de escala (tiempo característico en el que el 63,2% de los componentes han fallado).
- $\beta = 1,238$  es el parámetro de forma, que indica el patrón de fallas.



**Gráfico 1.3** Confiabilidad Cargador Frontal correspondiente año 2023.

Fuente: data histórico año 2023, elaboración propia.

El gráfico 1.3 representa la confiabilidad del cargador frontal en función del tiempo, ajustado con la Distribución de Weibull, realizado con datos históricos del MTBF año 2023.

Con estos resultados, es primordial realizar un cambio de estrategia para poder disminuir la frecuencia de fallas que posee el cargador frontal.

En eje X: está la representación del tiempo en horas (0 a 900 horas)

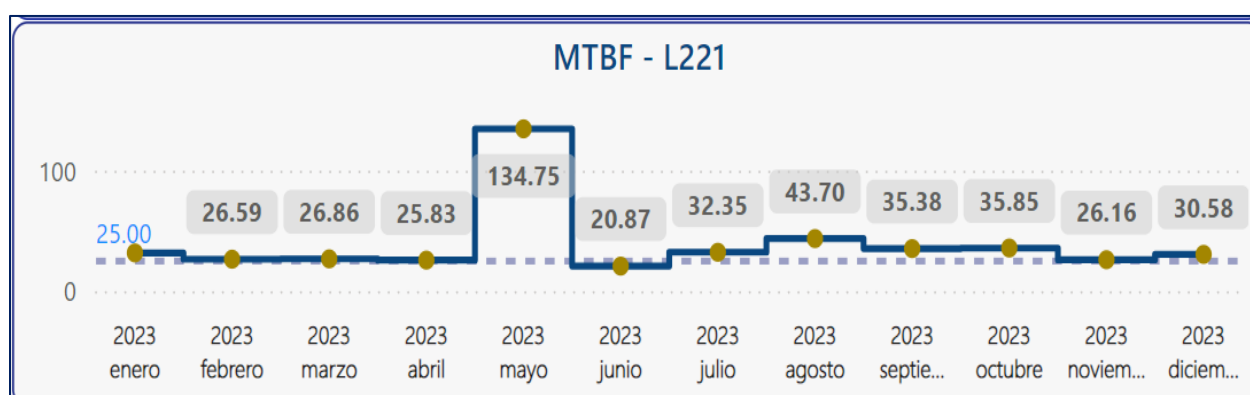
En eje Y: está la representación de la confiabilidad en porcentaje, indicando la probabilidad de que el cargador frontal pueda seguir trabajando sin presentar imprevistos y/o detenciones en un tiempo determinado.

A las 38,38 horas, en este punto, la confiabilidad es del 36,8%. Esto significa que, por este tiempo, el 63,2% de los sistemas del cargador frontal han presentado fallas. Asimismo, se puede evidenciar que cuando el tiempo se encuentra entre a las 61,77 horas, la confiabilidad se encuentra por debajo

del 20 %, mostrando que la probabilidad de falla del equipo es alta y el equipo quedará fuera de servicio.

En caso de que se requiera que la confiabilidad aún se encuentre por encima del 50%, se debería realizar mantenimiento o inspección a las 50 horas por lo que se debería planificar un mantenimiento con ese intervalo de tiempo, lo que no es factible debido a las condiciones de trabajo y lo primordial que es el equipo para la producción, es relevante de realizar un plan de mejora continua para poder revertir estos resultados.

La línea de color rojo nos muestra la probabilidad que falle en un tiempo determinado. en el gráfico como confiabilidad de Weibull, evidenciando que disminuye al pasar el tiempo, enseñando que a medida que avanza, existe más probabilidad que el equipo presente una falla. La línea de color rojo nos muestra la probabilidad de que el equipo falle en un tiempo determinado. Evidenciando que, entre las 50 y 60 horas de operación del cargador, la probabilidad de falla es elevada.



**Gráfico 1.4** MTBF correspondiente año 2023.

*Fuente: data histórico año 2023 (Power Bi)*

En el gráfico 1.4, se refleja el MTBF correspondiente a todo el año 2023, se obtiene un promedio de 38,66 horas. Por lo tanto, la tendencia mensual está por encima de las 25 horas, excluyendo el mes de junio, que está por debajo del indicador. Como análisis, podemos indicar que la frecuencia de fallas en el período de enero a diciembre del 2023 experimentó una alta incidencia de fallas. La confiabilidad de la flota de cargadores será calculada como el promedio simple de las confiabilidades obtenidas de dicho equipo, que se medirá como el tiempo medio entre fallas, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$MTBF = \frac{(Horas\ Nominales - Horas\ de\ detención\ Imprevistas)}{Número\ de\ detenciones\ Imprevistas}$$

**Ecuación 1.3** Fórmula para el cálculo del MTBF.

*Fuente: Administración Moderna de Mantenimiento Lourival Augusto Tavares.*

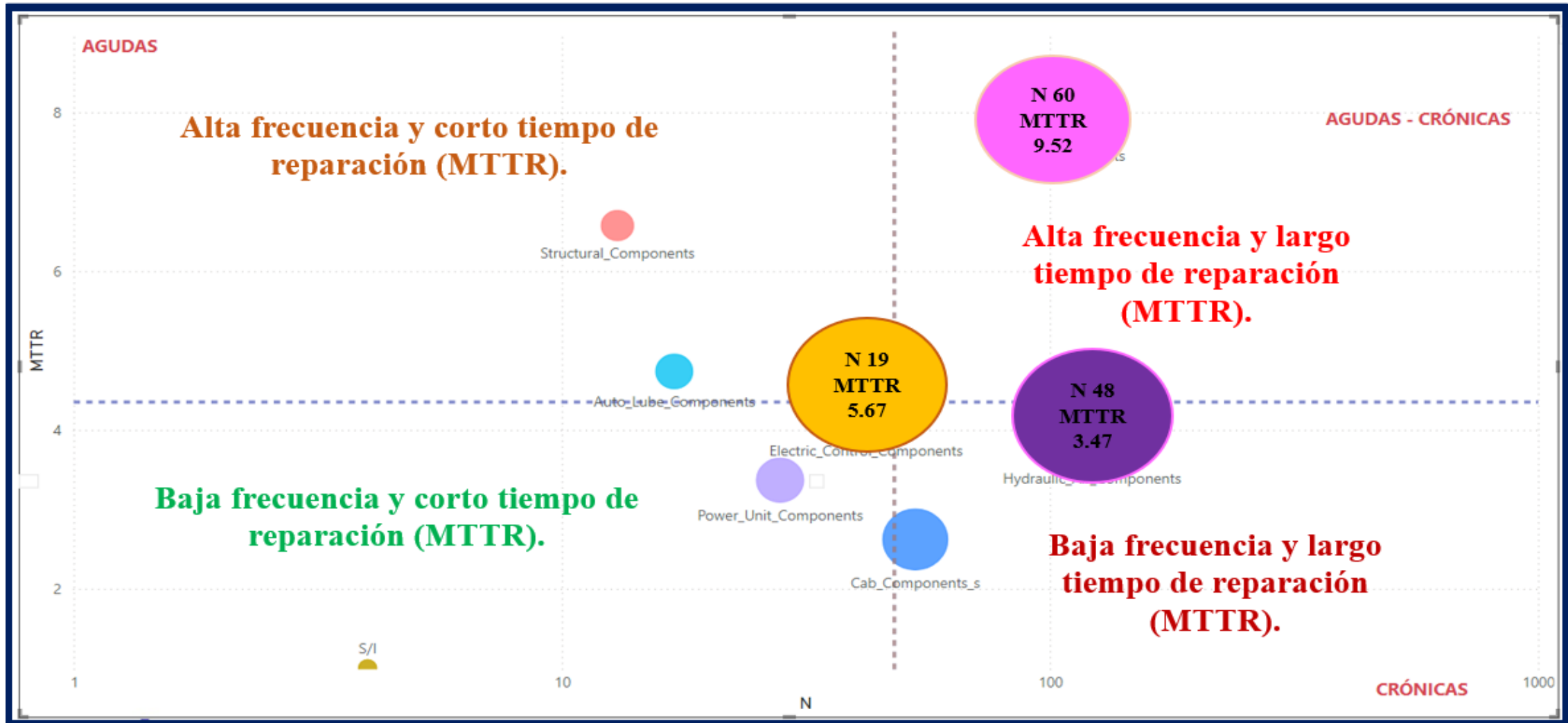


Gráfico 1.5 Jackknife imprevistos en sistemas cargador frontal.

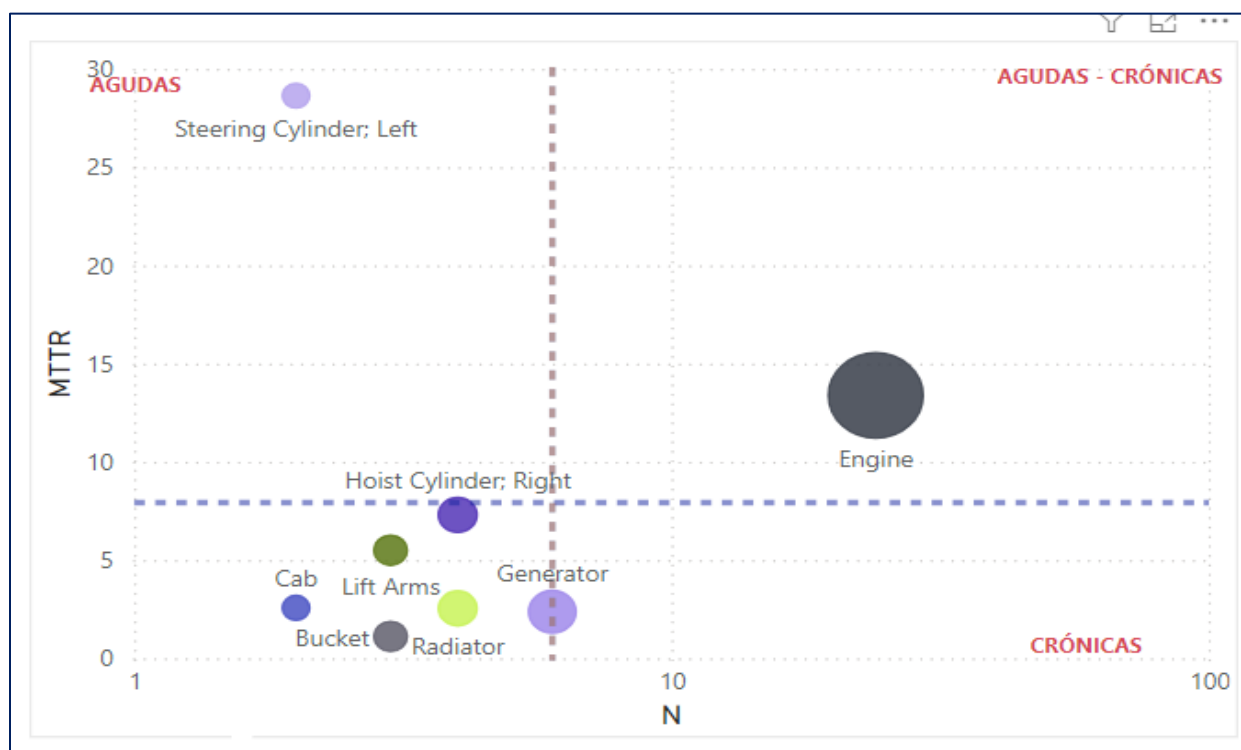
Fuente: elaboración propia (Power Bi).

### 1.4.2 Análisis detenciones imprevistas cargador frontal WE-2350.

Análisis de Jackknife: los métodos de muestreo son técnicas basadas en tomar diferentes muestras de una muestra dada y hacer una estimación de un parámetro en cada una de ellas luego, relacionando todas las estimaciones, se obtiene un nuevo estimador, que con frecuencia tiene mejores propiedades que el estimador inicial. (VALENCIA ANGULO, EDGAR ALIRIO; MESA, FERNANDO, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia)

Al analizar las fallas en el gráfico 1.5 de Jackknife, utilizado para analizar la criticidad de los diferentes sistemas presentes en el cargador frontal y observando los distintos subsistemas en función del MTTR y la frecuencia de fallas, podemos observar que en el cuadrante de fallas agudas crónicas están las fallas en el sistema de componentes mayores que incluyen los siguientes elementos.

- Componentes mayores del equipo (pantógrafo, radiadores, motores de tracción)
- Sistema hidráulico de potencia.
- Componentes de la cabina operador.
- Unidad de potencia (motor/generador eléctrico).



**Gráfico 1.6** Jackknife con mayores horas de imprevistos en sistemas cargador frontal

Fuente: elaboración propia (Power Bi)

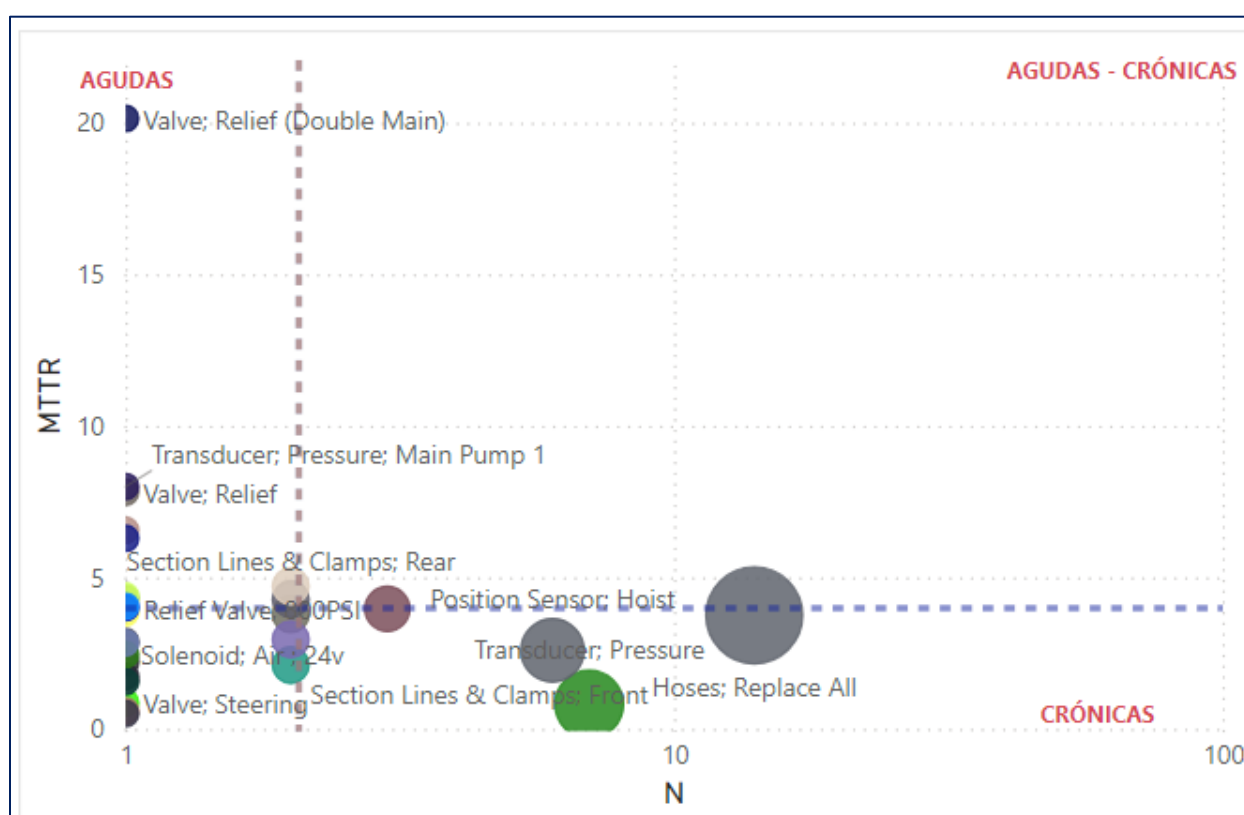
En el gráfico 1.6 se observan distribuidas las fallas asociadas a imprevistos o fallas durante la operación normal del equipo. Las cuales se dividen en componentes mayores, como piezas mecánicas. En el cuadrante de “fallas Agudas” están los cilindros de dirección, lo que refleja que el tiempo de reparación de esta avería fue elevado, alrededor de treinta horas. Además, destaca que la frecuencia de falla de este componente es muy baja. Las fallas agrupadas al motor diésel están categorizadas en el cuadrante de “fallas crónicas” dado que son imprevistos con una frecuencia elevada, destacando que tienen un tiempo bajo de reparación.

En el cuadrante de “fallas agudas o crónicas” se encuentran fallas con alto tiempo de

reparación y alta frecuencia. En este cuadrante se posiciona el motor diésel.

Los imprevistos intermedios se encuentran en el cuadrante “fallas leves”, como los cilindros de levante de pantógrafo, cuya frecuencia de fallas es disminuida, y posee un tiempo de reparación bajo.

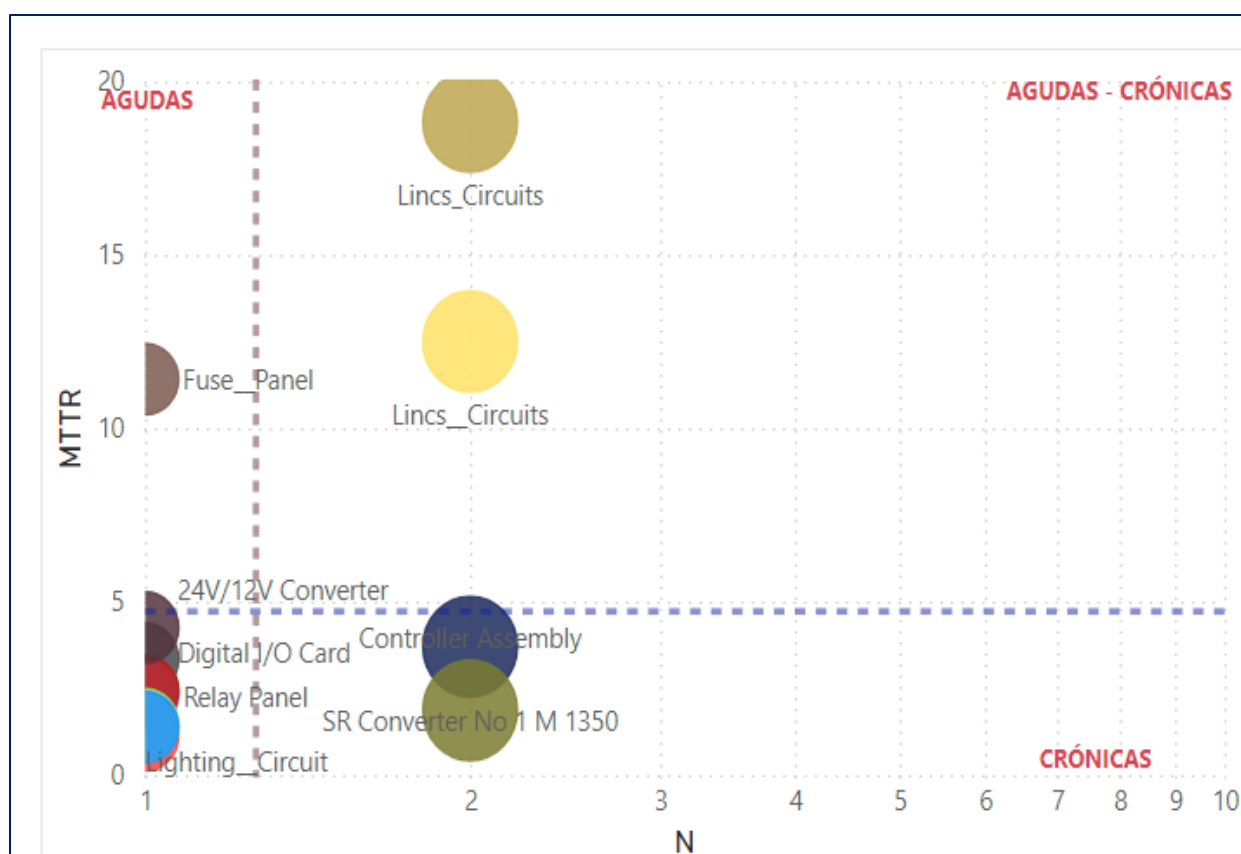
Los componentes estructurales, como el balde, pantógrafo, radiador y generador, poseen una frecuencia de falla baja, y su tiempo de reparación es mínimo por lo que requieren menos atención en comparación a los componentes mencionados con anterioridad.



**Gráfico 1.7** Jackknife imprevistos en subsistemas Cargador Frontal.

Fuente: elaboración propia (Power Bi)

En el diagrama 1.7, se señalan las fallas asociadas al sistema hidráulico, en donde la cantidad de indisponibilidad del cargador frontal fue de 207,9 horas, por fallas imprevistas, en el eje vertical, se encuentra MTTR (tiempo medio de reparación), que señala el promedio de horas que se requirió para la reparación de cada falla. En el mismo plano, se señala el eje horizontal, donde se muestran la cantidad de ocurrencias de fallas en el equipo, asociadas al sistema hidráulico.



**Gráfico 1.8** Jackknife imprevistos en sistema eléctrico Cargador Frontal.

Fuente: elaboración propia (Power Bi)

En el diagrama 1.8 se presentan los imprevistos, con una totalidad de diecinueve fallas en el sistema eléctrico de control y propulsión del cargador frontal, que sumaron 107,7 horas que el equipo estuvo fuera de servicio. Según este gráfico, la clasificación de fallas en los componentes corresponde a:

- Sistema Lincs, clasificado en el cuadrante de “fallas agudas”, significando una baja frecuencia de fallas, aunque con un alto tiempo en las horas de reparación, se debe a la complejidad del sistema, y la activación del sistema “Machine Down<sup>3</sup>”, lo que implica una detención total del equipo hasta lograr resolver la falla.

Los componentes tales como; paneles convertidores IGBT, fuentes de poder 24/12V, VCU, están posicionados con un tiempo bajo, aunque la frecuencia es de mayores ocurrencias.

Al observar la cantidad de horas que estuvo fuera de servicio el cargador, nos percatamos de que el sistema eléctrico genera grandes períodos de detenciones, esto se debe a fallas imprevistas en el sistema eléctrico en general, teniendo una totalidad de 19 fallas de imprevistos.

<sup>3</sup> Equipo fuera de servicio, se activan protocolos diferentes, se da prioridad exclusiva en atención.

<b>Sistema Principal</b>	<b>01.TotHrs.RICRI</b>	<b>06.ImprevistosRI</b>
Electric_Control_Components	107.7	19
<b>Total</b>	<b>107.7</b>	<b>19</b>

**Figura 1.5** Total horas de indisponibilidad en sistema eléctrico cargador frontal

*Fuente: elaboración propia, en base a histórico de fallas KMC.*

Analizando los tres sistemas más relevantes que posee el cargador frontal, estos realizan una sumatoria de 772, 6 horas de indisponibilidad del equipo, es importante estudiar los principales sistemas de fallas para así disminuir los tiempos de reparación de las “fallas agudas” a su vez la disminución de las frecuencias de fallas crónicas en componentes de alta utilización como los son el motor diésel y los sistemas eléctricos asociados a la propulsión.

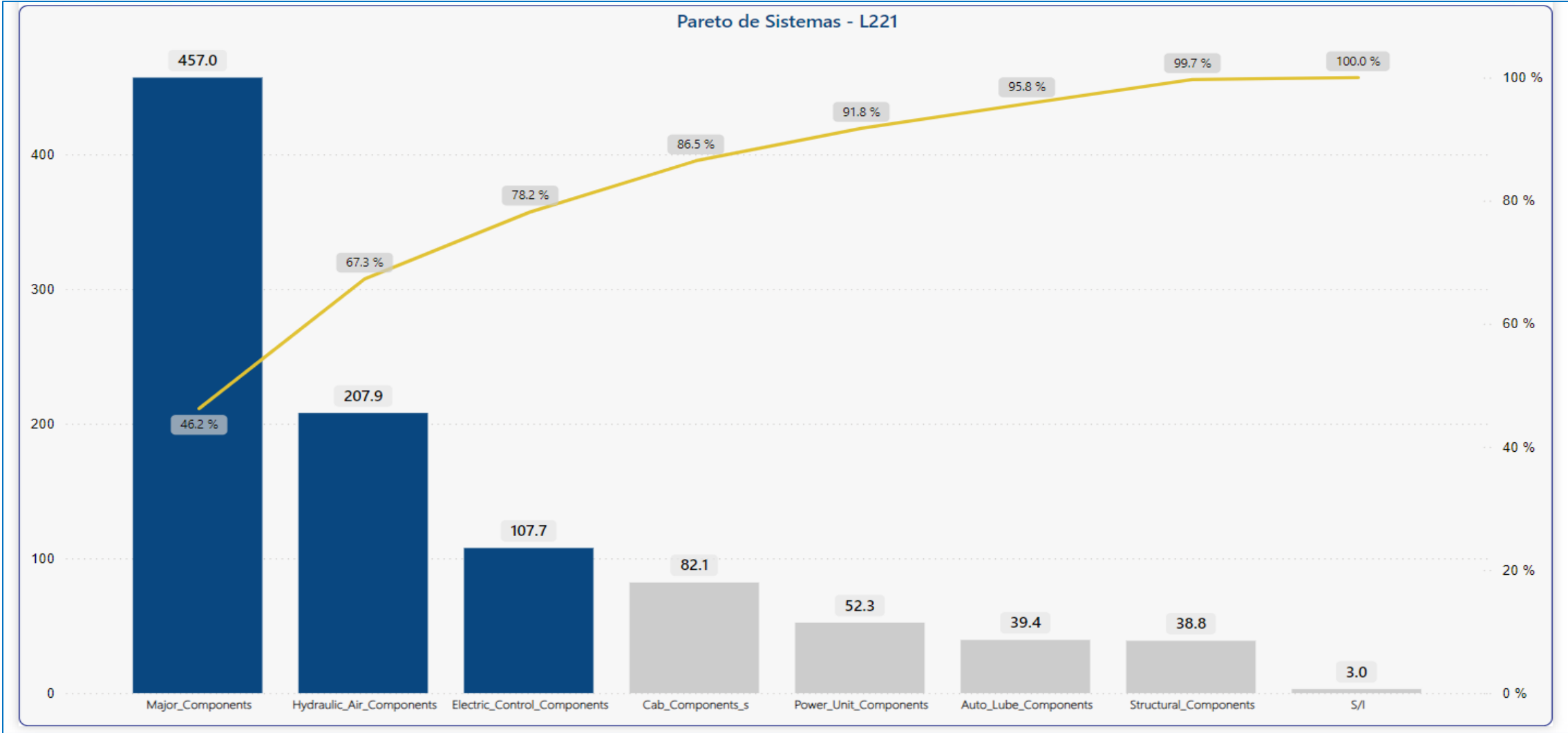


Gráfico 1.9 Pareto de sistemas con fallas cargador frontal

Fuente: data histórica año 2023, elaboración propia (Power Bi)

“El principio de Pareto, establece que aproximadamente el 80% de los resultados provienen del 20% de las acciones”.

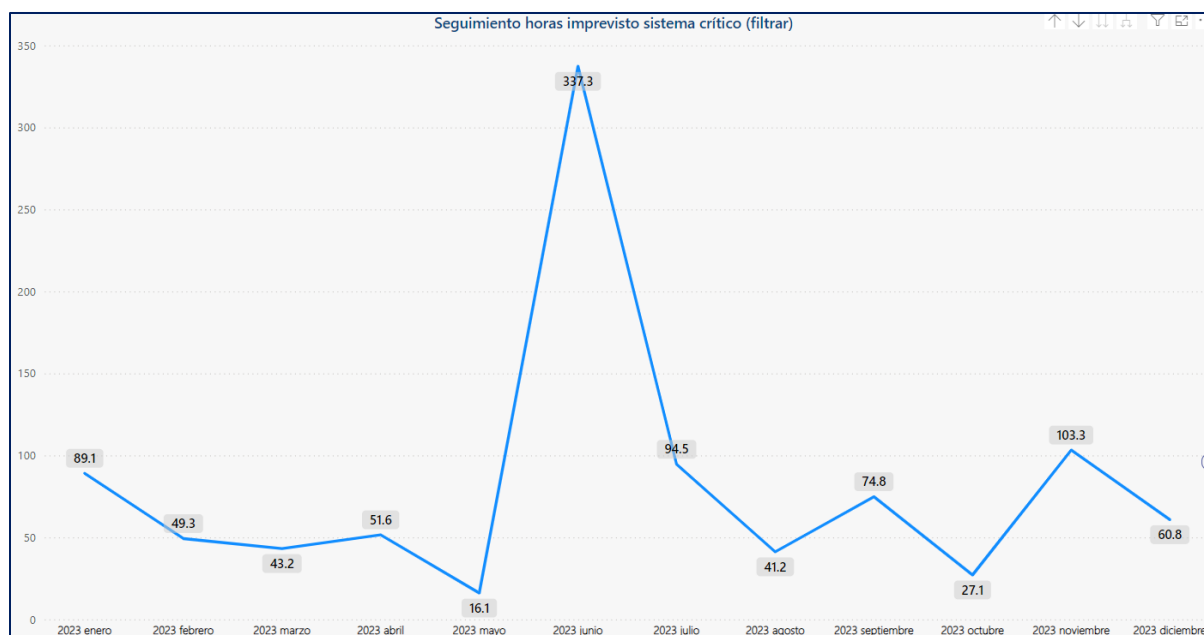
En el gráfico 1.9 se puede apreciar cómo se encuentran distribuidas las fallas y/o imprevistos en el cargador frontal, dispersas por los sistemas de componentes mayores, sistema hidráulico y sistema eléctrico del equipo. “Por lo que este análisis se basa en que el 80% de los problemas son derivados del 20% de las causas.” Puesto que los tres principales sistemas del cargador representan mucho más el tiempo de fallas mayores, donde los esfuerzos deberán centrarse en mejorar los mantenimiento predictivo y preventivo programado en el equipo. En lo esencial, los esfuerzos deberán centrarse en mejorar los tiempos de mantenibilidad para obtener una mejor confiabilidad, en efecto un análisis con focos en los tres sistemas ya mencionados.

El diagrama de Pareto (DP) es un gráfico de barras cuyo campo de análisis son los datos categóricos, cuyo objetivo es poder localizar los problemas críticos, así como las causas más importantes. Por lo que el diagrama es sustentado en el llamado principio de Pareto, actualmente conocido como la “**Ley 80/20**” el cual reconoce que solo unos pocos elementos (20%) determina la mayor parte de los efectos (80%); el resto genera muy poco efecto total. De la totalidad de los problemas de un sistema, solo unos cuantos son realmente relevantes (**Calidad Total y Productividad; Humberto Gutiérrez Pulido, 3ª edición**).

Sistema de Equipo	Cantidad de horas totales
Componentes mayores	457
Componentes hidráulicos y aire comprimido	207,9
Componentes eléctricos de control	107,7
Componentes de cabina	82,1
Componentes en unidad de potencia	52,3
Sistema de lubricación	39,4
Componentes estructurales	38,8
S/I	3
Total, horas	988,3

**Tabla 1.2** Distribución de fallas por sistemas en cargador frontal.

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 1.10** Distribución anual de imprevistos en cargador frontal.

*Fuente: data histórica año 2023, elaboración propia (Power Bi)*

El gráfico 1.10 de distribución de imprevistos por todo el año 2023 enero a diciembre, por lo que señala la cantidad de horas mensuales que estuvo detenido el equipo por imprevistos.

Se aprecia que, en el mes de junio, es donde presenta un aumento significativo de horas de indisponibilidad con 337,3 horas. Indica la cantidad horas de fallas imprevistas, podrían estar asociadas a condiciones de operación, condiciones de fallas por condiciones climáticas, averías en algún sistema crítico del equipo que pudieron haberse prevenido. Por lo que es primordial un RCA (análisis de causa raíz) después de haber reparado el imprevisto, para poder obtener los conocimientos y obtener los aprendizajes en donde será implementado en el siguiente mantenimiento.

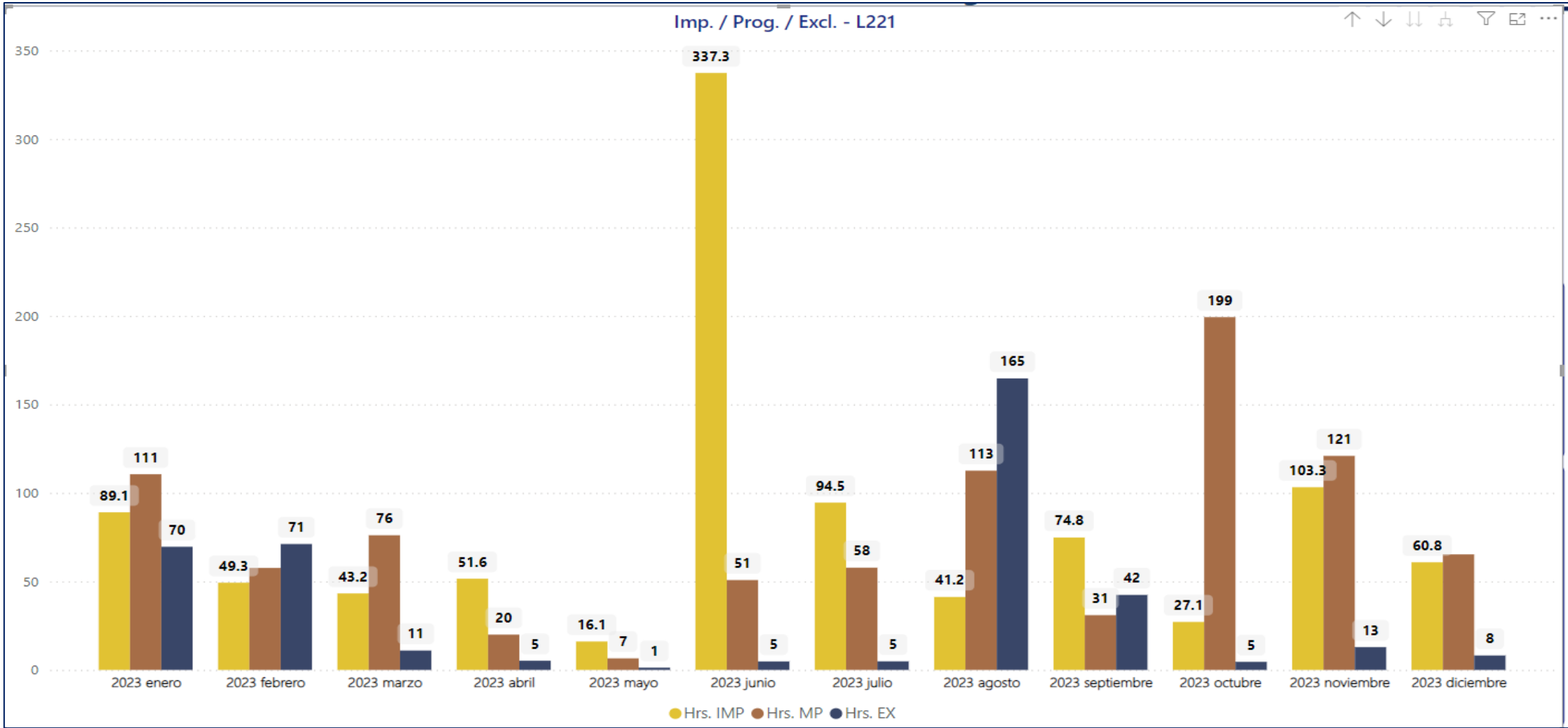


Gráfico 1.11 Distribución anual de horas imprevistos en cargador frontal.

Fuente: data histórico año 2023, elaboración propia (Power Bi)

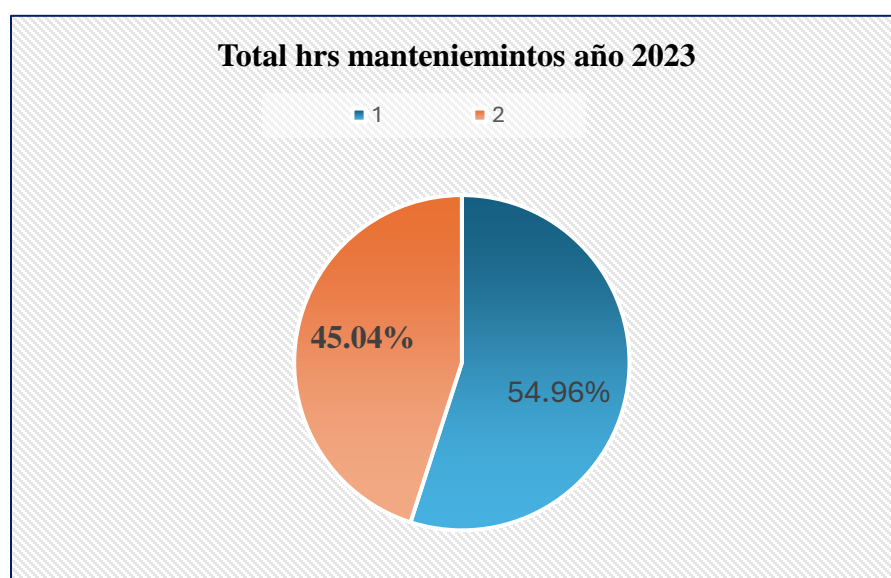
Se puede visualizar en el gráfico 1,11 una comparación entre las horas de fallas imprevistas o detenciones no programadas, horas de mantenimiento programado y las horas excluidas (horas asumidas a costos del cliente, debido a factores externos a la operación) cada una representada por un color diferente en cada barra del gráfico.

- Indicador amarillo: siendo horas de fallas imprevistas y/o detenciones no programadas en el año 2023, señala la cantidad de horas que el equipo estuvo fuera de servicio.
- Indicador marrón: señala la cantidad de horas totales destinadas al mantenimiento preventivo programado según pauta, por lo que estas horas corresponden a las actividades planificadas como parte del plan de mantenimiento bisemanal.
- Indicador azul: son las horas de acontecimientos excluidos, que podríamos asociar cambio de elementos de desgaste y/o alguna falla operacional.

Año	Mes	Hrs IMP	Hrs. PM	Hrs. Ex
2023	enero	89,1	111	70
2023	febrero	49,3	58	71
2023	marzo	43,2	76	11
2023	abril	51,6	20	5
2023	mayo	16,1	7	1
2023	junio	337,3	51	5
2023	julio	94,5	58	5
2023	agosto	41,2	113	165
2023	septiembre	74,8	31	42
2023	octubre	27,1	199	5
2023	noviembre	103,3	121	13
2023	diciembre	60,8	65	8
TOTAL		988,3	910	401

**Tabla 1.3** Distribución anual de fallas por sistemas en cargador frontal.

Fuente: data año 2023 (KMC), elaboración propia.



**Gráfico 1.12** Comparativo entre horas de PM e Imp.

Fuente: data histórico año 2023, elaboración propia.

En la tabla 1.3 y gráfico 1.12 se observan los porcentajes de fallas imprevistas y de mantenimiento programado, correspondiente al año 2023, sumando una totalidad de 1.896.3 horas, de este total, un 45,04% corresponden al mantenimiento programado con 908 horas, y un 54,96% 988,3 horas asociadas a imprevistos, se excluyen las” horas excluidas” ya que son horas asumidas a costo del mandante.

Según lo observado, este indicador no es favorable dado que, a mayor cantidad de fallas imprevistas, se produce una disminución en la producción y los costos asociados al mantenimiento correctivo. De acuerdo con los indicadores de referencia, este porcentaje debiese ser 70/30, es decir, 70% de mantenimiento programado y 30% de mantenimiento correctivo. Este análisis indica que no se mantiene un equilibrio entre ambos tipos de mantenimiento, por lo evidencia deficiencias en el mantenimiento programado, como resultado, se generan mayores costos debido a las reparaciones de emergencias realizadas en los equipos, detenciones no programadas en los equipos.

### 1.4.3 Análisis de costos por detenciones imprevistas en cargador frontal P&H WE-2350.

RANGO HORÓMETRO		RANGO HORAS DE USO EQUIPO		EQUIPO	HORÓMETRO INICIAL 2023	HORÓMETRO FINAL 2023	HORAS A FACTURA	US\$/HRA	FACTURACIÓN US\$/MES
-	6,000	72.56	US\$/HRS	WE-221	45070	51101	6031	\$ 375.88	2,266,932.28
6,001	12,000	106.88	US\$/HRS						
12,001	18,500	536.78	US\$/HRS						
18,501	24,000	261.91	US\$/HRS						
24,001	30,000	156.7	US\$/HRS						
30,001	36,000	536.64	US\$/HRS						
36,001	40,000	119.5	US\$/HRS						
40,001	46,000	350.6	US\$/HRS						
46,001	50,000	700.5	US\$/HRS						
50,001	56,000	375.88	US\$/HRS						
56,001	60,000	280.78	US\$/HRS						
60,001	65,000	320.9	US\$/HRS						
65,001	70,000	556.55	US\$/HRS						

**Tabla 1.4** Costos referenciales por imprevistos

Fuente: elaboración propia.

La figura 1.4 señala los costos asociados a fallas imprevistas en el cargador frontal. Durante año 2023, el equipo registró un avance de horómetro de 6.031 horas, en donde 988,3 horas de las cuales correspondieron a detenciones no programadas, lo que según tabla corresponde a pérdidas de \$2,114,468.60 USD. Estas pérdidas asociadas a la disponibilidad operacional son absorbidas por la empresa, debido al tipo de contrato establecido. Este contrato corresponde a un “contrato Marc”, el cual implica la venta de disponibilidad de una flota de equipos. Considerando estos altos costos y elevadas horas de trabajo del equipo, el desgaste prematuro, por lo que la implementación de una nueva estrategia de mantenimiento se vuelve primordial. En donde se busca mitigar costos y lograr una mejor vida útil del activo, manteniendo la disponibilidad requerida del contrato.

#### ***1.4.4 Mantenimiento predictivo en cargador frontal P&H WE-2350.***

En la actualidad, se ejecutan análisis tribológicos a los diferentes lubricantes que posee el equipo, tales como:

- Motor diésel
- Sistema hidráulico.
- Caja de transmisión.
- Transmisión mandos finales.


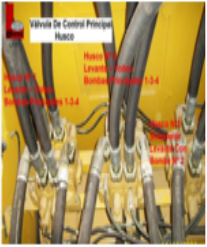

#### ***1.4.5 Programa de mantenimiento actual en mantenimiento preventivo programado.***

La estrategia de mantenimiento preventivo actualmente es bisemanal y se complementa cada semana con una inspección de una hora por semana. Además, se realiza programado según avance de horómetro de cada 250 h. La finalidad que se persigue con la presente estrategia es poder maximizar la disponibilidad del cargador frontal, así mismo lograr garantizar una confiabilidad mediante los mantenimiento predictivo y preventivo.

Esta tabla 1.5 se presentan, se aprecian las diferentes tareas programadas, según plan establecido en donde incluye los tiempos para cada tarea, ya sea como tiempo excluido o tiempo asumido por la empresa, a su vez en este programa bisemanal se incluyen las labores que debe ejecutar cualquier empresa externa, con el fin de dar cumplimiento a todos los requerimientos del equipo. Sin embargo, las pautas definidas no conversan con lo establecido en el programa, es ahí donde existe un quiebre en el plan de mantenimiento.



Según plan de mantenimiento, cada dos semanas los técnicos electromecánicos realizan una inspección detallada de los diferentes sistemas presentes en el cargador frontal, observando condiciones anormales para poder levantar mediante las notificaciones por backlogs (Mecánicos, hidráulicos, eléctricos, neumáticos y operacionales) y programarlos para una próxima detención según la criticidad levantada. Asimismo, está la inspección diaria que se ejecuta una vez por semana, en donde se visualizan los estados de niveles de los diferentes fluidos, como aceite de motor, aceite hidráulico, grasa, nivel de refrigerantes de motor, presentes en el equipo, así reportando cada anomalía detectada por condición en el cargador.

Punto 1: Estanque Hidráulico - Filtros Hidráulicos	Item	Descripción de la tarea	Bueno	Desviación	Programar (Si/No)	Reparación N BKL	Hallazgos y/o Reparaciones Documentación y/o respaldo fotográfico
	1.1	Realizar inspección de estanque hidráulico en busca de fugas, roturas, deformación o desgaste de este					
	1.2	Realizar inspección de líneas hidráulicas verificar que no exista roce entre estas					
	1.3	Verificar una correcta conexión al estanque					
	1.4	Verificar apriete de líneas					
	1.5	Realizar inspección a líneas, verificar que no existan melladuras roces, ni cortes, verificar un correcto apriete de las bridas de conexión a filtros					
	1.6	Realizar inspección en asentamiento de nitros y tapa de nitros, verificar que no exista fuga entre éstas y la estructura de soporte					
	1.7	Verificar la correcta instalación y conexión de sensores de saturación de filtros, verificar que no exista contaminación en sus conectores					
	1.8	Realizar inspección estructural de filtros, verificar que cuenten con sus respectivos amortiguadores - evitar rigidez					
	1.9	Realizar inspección a líneas, verificar que no existan melladuras, roces y cortes, verificar un correcto apriete de las bridas de conexión a filtros					
Punto 2: Válvula Husco	Item	Descripción de la tarea	Bueno	Desviación	Programar (Si/No)	Reparación N BKL	Hallazgos y/o Reparaciones Documentación y/o respaldo fotográfico
	2.1	Realizar inspección de apriete, desgaste, roces en líneas hidráulicas					
	2.2	Verificar que no existan fugas ni contaminación					
Punto 3: Caja PTO y Bombas	Item	Descripción de la tarea	Bueno	Desviación	Programar (Si/No)	Reparación N BKL	Hallazgos y/o Reparaciones Documentación y/o respaldo fotográfico
	3.1	Inspeccionar las líneas bajo el tren de bombas, verificar golpes, roces y cortes, verificar un correcto apriete de las bridas de conexión					
	3.2	Inspeccionar rodamientos de la caja PTO con termografía					
	3.3	Realizar inspección de acople entre bomba de levante y bomba de dirección y freno					
	3.4	Verificar la correcta instalación de líneas de pilotaje					
	3.5	Realizar inspección estructural a soporte del tren de bombas, verificar que no existan fisuras y/o desgaste de soldadura					
Punto 4: Valvula PVG	Item	Descripción de la tarea	Bueno	Desviación	Programar (Si/No)	Reparación N BKL	Hallazgos y/o Reparaciones Documentación y/o respaldo fotográfico

**Figura 1.6** Pauta de inspección semanal cargador frontal.

Fuente: Biblioteca integral Komatsu.

Como mantenimiento predictivo se realiza la toma de muestras de lubricantes (aceite motor diésel, unidad de transmisión, sistema hidráulico, mandos finales)., para su posterior análisis en laboratorio.

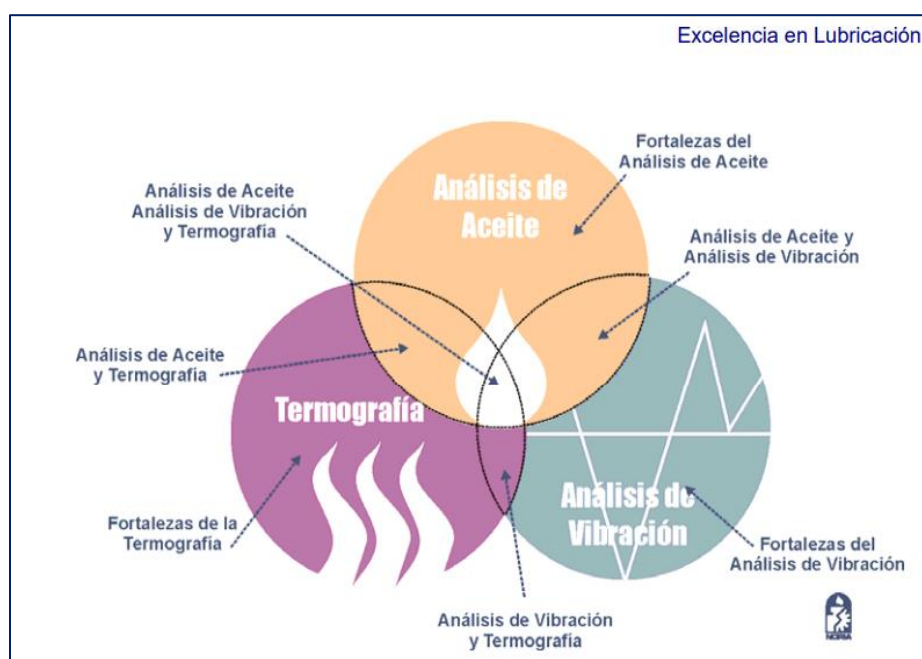
La estrategia establecida actualmente por la compañía es dependiente de ciclos predefinidos por el mantenimiento según manual del equipo, lo que no es suficiente para lograr la prevención de imprevistos debido a que estos pueden ocurrir entre estos intervalos de tiempos.

#### 1.4.6 Programa de mantenimiento predictivo monitoreo de condiciones

El mantenimiento predictivo basado en la condición evalúa el estado de los componentes del cargador frontal y recomienda intervenir o no, lo cual produce ahorros en el mantenimiento.

A su vez optimiza al mantenimiento preventivo al determinar el momento preciso para cada intervención que se pueda ejecutar en el equipo.

Para finalizar, el mantenimiento predictivo es una técnica para poder pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle.



**Figura 1.7** Integración de tecnologías para el Moncon.

Fuente: (motronic.2024)

Es importante hoy en día el monitoreo de condiciones en los equipos, debido a que la inversión que realiza la mandante en adquirir equipos tecnológicos para sus operaciones, estos deben mantenerse en condiciones para la ardua tarea de carguío. Por lo que se busca predecir los excesos de vibraciones, verificar las temperaturas de trabajo de sus articulaciones mecánicas y el propio desgaste en estos componentes.

Hoy en día existe una trazabilidad en la toma de muestra, aunque la problemática detectada son los tiempos de respuesta de la emisión de los informes, estos son muy extensos. Esta toma de muestra se realizó el día 14 de agosto, se analizó el día 21 del mismo mes, y fue emitido el informe. Por lo que existe una semana desde la toma de la muestra hasta que se

obtiene el resultado.

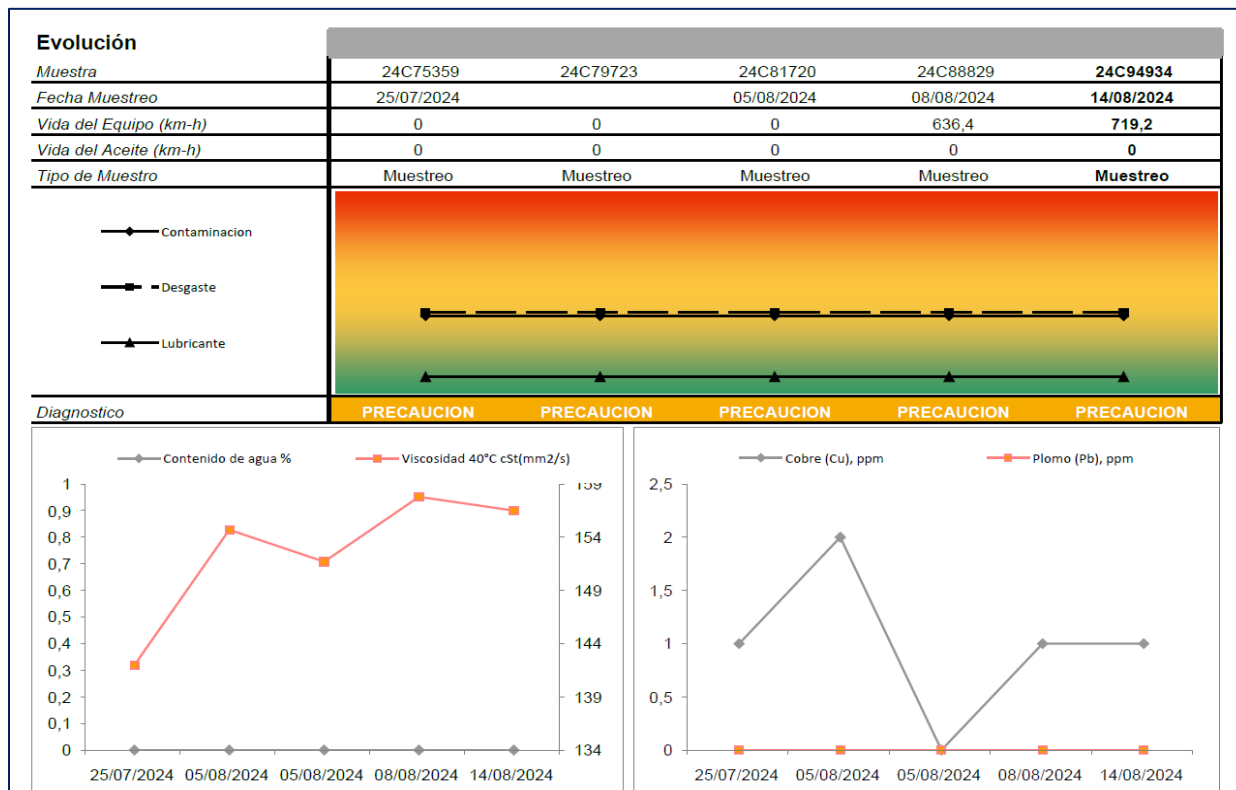


Figura 1.8 Informe tribológico de fluidos de cargador frontal.

Fuente: informe moncon KMC.

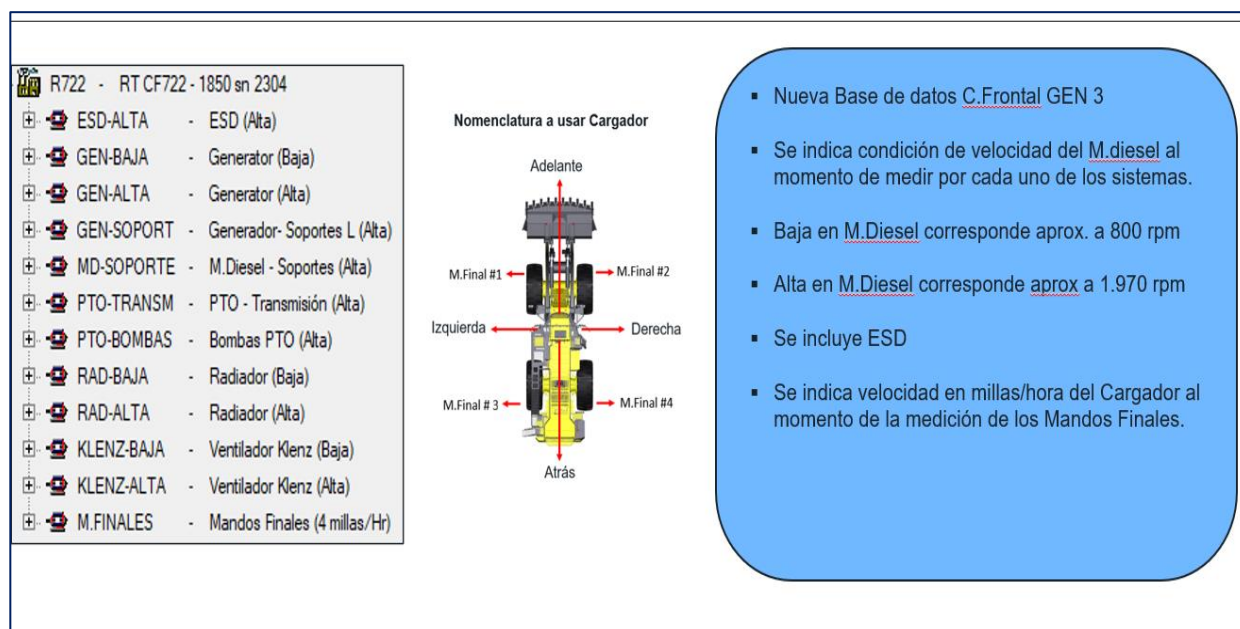
Según los resultados del análisis de lubricante, señala contaminación y desgaste, con presencia de agua en el lubricante, lo que existe una alta probabilidad de contaminación externa. Aumentó significativamente de la viscosidad del lubricante, lo que afecta negativamente en una lubricación efectiva en los componentes mecánicos.

Finalizando con el desgaste, dado que se evidencia particulado de cobre (Cu), lo que significa que los cojinetes presentan un desgaste a su vez el compresor de aire también.

Es importante señalar que los tiempos de respuestas desde la toma de muestra del lubricante hasta la recepción del informe tribológico, impidió realizar algún plan de acción para evitar la falla prematura del compresor.

Al provocar el imprevisto del compresor de aire, el equipo quedando fuera de servicio, por 12 horas, lo que indujo un gran impacto dentro de la operación.

### 1.4.7 Análisis predictivo ruta de vibraciones en Cargador Frontal WE-2350



**Figura 1.9** Ruta de vibraciones para obtención de data mediante medición.

Fuente: departamento de moncon KMC.

Se define como técnica relevante en lo que es el mantenimiento predictivo, que gracias a la toma de ruta de vibraciones logra detectar problemas prematuros en los diferentes sistemas rotativos pertenecientes en el cargador, lo que puede pronosticar una falla catastrófica en los siguientes sistemas del equipo:

- Motor diésel.
- ESD.
- Generador eléctrico.
- Caja de transmisión
- Bombas hidráulicas.
- Sistema Klenz.
- Radiador
- Transmisión de mandos finales.

Los puntos de medición, en el quipo están señalizados por una ruta específica, en donde se instalan sensores o acelerómetros de 100mV y 500 mV (milivolts). Los sensores van instalados en puntos estratégicos que son susceptibles a fallas. Permitiendo el monitoreo y la detención de posibles fallas.

Según pauta de toma de ruta de vibraciones. La toma de data se realiza con el equipo en dos modos de trabajo, baja y alta rpm de motor diésel, con balde levantado a un metro de altura. Lo que se busca son vibraciones excesivas que puede estar provocando algún componente de los diferenciados sistemas del equipo. La recolección de lecturas es en dirección radial, axial, horizontal y vertical. Así se pueden identificar desbalanceo, desalineación, fallas prematuras en rodamientos, engranajes con desgastes, problemas en los ejes de transmisión.

CARGADOR FRONTAL SISTEMA	CONDICIÓN			COMENTARIOS
	A	B	C	
ESD (Sistema Kess)				Sin Observaciones
Generador				Sin Observaciones
Motor Diesel (soportes)				Sin Observaciones
Mando Final #1				Sin Observaciones
Mando Final #2				Sin Observaciones
Mando Final #3				Sin Observaciones
Mando Final #4				Sin Observaciones
PTO. Bombas		X		B3: BBA. 6 Levante. Soltura
PTO. Transmisión				Sin Observaciones
Radiador				Sin Observaciones
Soplador (Sistema Klenz)				Sin Observaciones

Figura 1.10 Informe de medición de vibración en cargador frontal.

Fuente: informe moncon KMC.

La presente tabla informe toma en consideración toda la información recolectada, durante las pruebas efectuadas el 09/08/2022 por el programa de mantenimiento predictivo de KMC en el Cargador Frontal WE-221 (2350-G2).

En esta oportunidad se inspeccionan todos los sistemas principales del equipo.

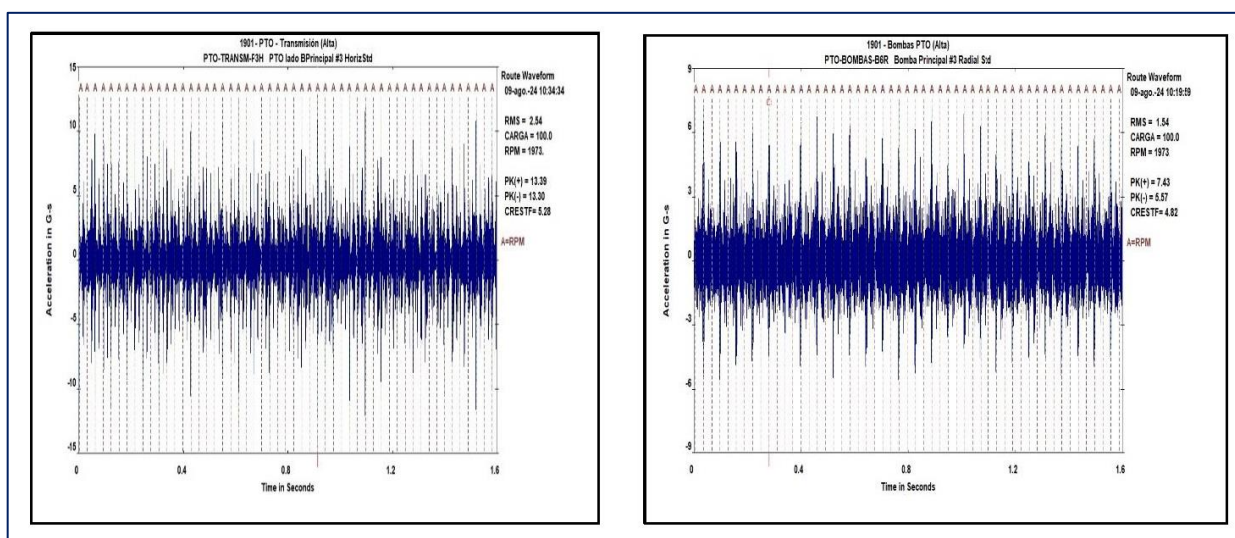


Figura 1.11 Informe de vibraciones correspondiente a falla presente en bomba hidráulica N° 3.

Fuente: informe moncon KMC.

En esta inspección en el análisis de la señal en el tiempo de modo normal y avanzado, se observa la frecuencia de giro del motor diésel en los puntos medidos en la bomba principal N° 3 correspondiente al sistema de levante de pantógrafo, las amplitudes observadas en esta oportunidad llegan a peak de 13.3 [G's], esto estaría asociado a una soltura de la bomba principal, situando los pernos de fijación. Y se recomienda como actividad prioritaria realizar la correcta fijación de los pernos, aplicando torque según características técnicas del perno.



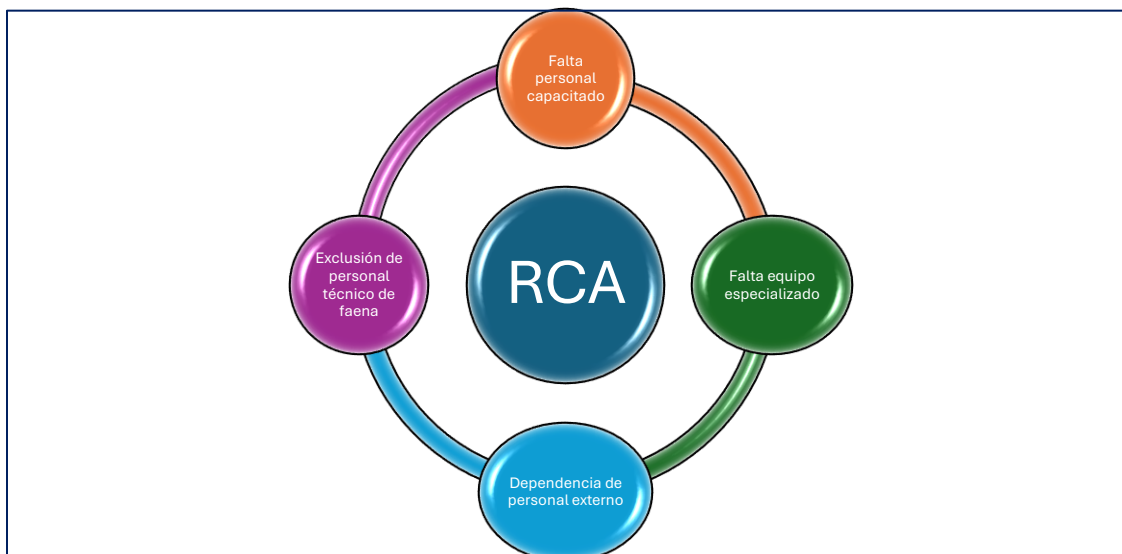
**Figura 1.12** Analizador de vibraciones y acelerómetro marca AMS

Fuente: elaboración propia.

“El analizador AMS 2140, lleva los datos de vibraciones y las mediciones de análisis al siguiente nivel. cuenta con recopilación simultanea de datos.”

**1.4.7.1 Descripción del problema actual.**

La problemática en el diagnóstico en el mantenimiento predictivo, el contrato no cuenta con personal técnico capacitado para realizar el estudio de la data obtenida, a su vez no se cuenta con el equipo analizador. Por lo que afecta directamente la capacidad del equipo técnico en una toma de decisión basadas en la ruta obtenida. Lo que imposibilita prevenir y/o detectar fallas en el corto plazo. Este trabajo es ejecutado por un ingeniero de mantenimiento predictivo, el trabajador no está directamente relacionado con la faena, la presencia del profesional en faena es de manera temporal. Es por lo que la toma de ruta, análisis de datos y emisión de informe tardan en ser ejecutados.



**Figura 1.13** RCA de problemática planteada.

Fuente: elaboración propia.

Figura 1.13 se puede apreciar un análisis de causa raíz respecto a la problemática, de este modo se detecta que la falta de personal capacitado, para analizar los datos obtenidos de la medición de vibraciones. El no contar con un instrumento para poder obtener la información del

equipo, para poder realizar un monitoreo de estas variables y así poder obtener la recolección de datos para un correcto mantenimiento predictivo.

La presencia del especialista para poder recolectar datos es temporal lo que toma mucho más tiempo para la toma de decisiones frente a una acción correctiva en el equipo. Finalizando con la exclusión de capacitación al personal de faena, esto limita la entrega de conocimientos y tener un plan de acción frente a una condición amenazante en el equipo.

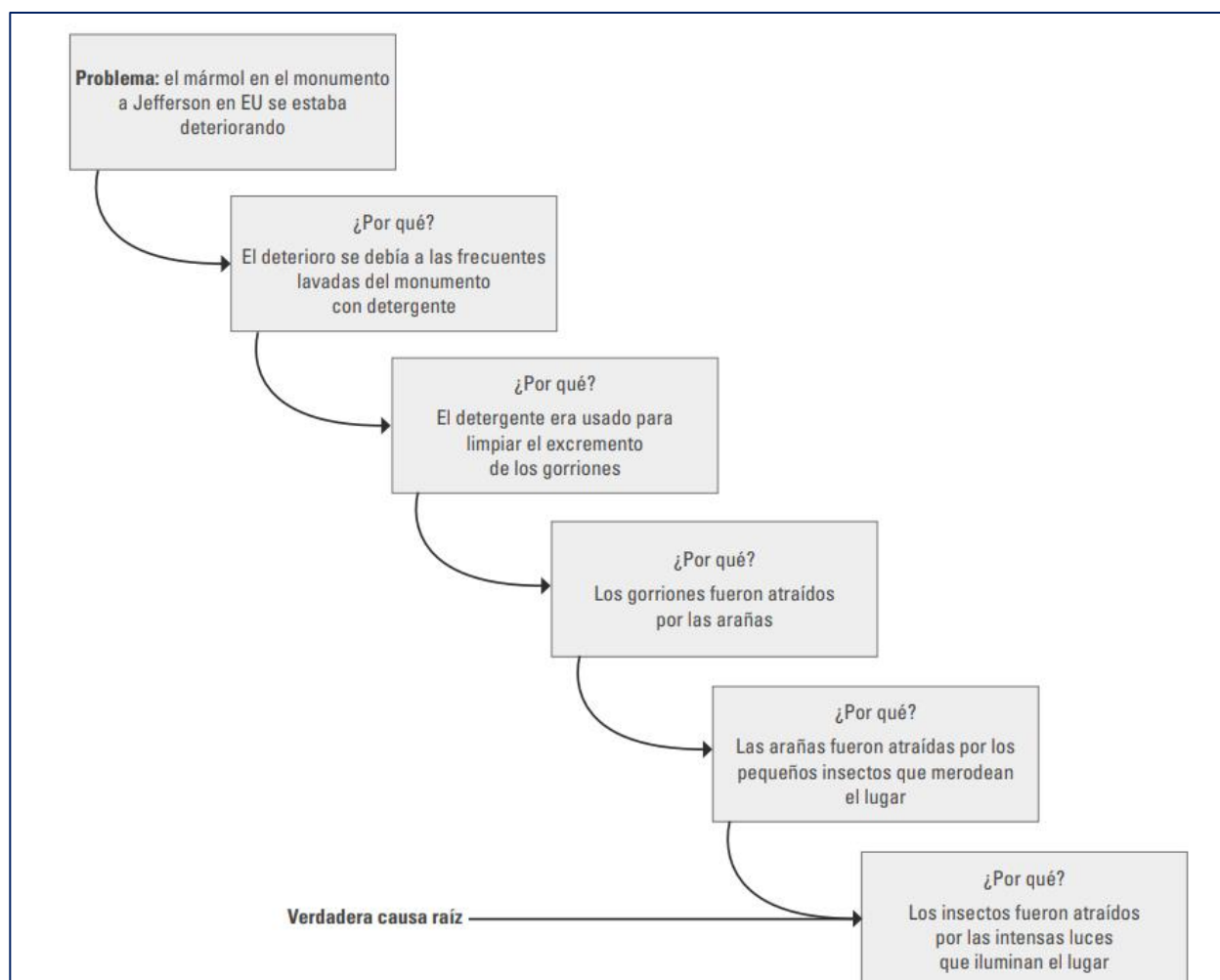
Con estos antecedentes mencionados, se realiza un análisis para lograr identificar los sistemas, subsistemas, que generan la mayor cantidad de fallas no programadas en el cargador frontal, a continuación, se presenta la herramienta de Ishikawa. Se ilustra las causales potenciales de la problemática planteada.



**Figura 1.14** Diagrama Ishikawa, Problemática planteada.

*Fuente: elaboración propia*

En la figura 1.14, diagrama de Ishikawa son identificadas las probables causas que ayudan a definir los posibles causantes de las problemáticas planteadas, a los deficientes indicadores correspondiente a confiabilidad y mantenibilidad de la flota de cargadores frontales. Basados en la información obtenida a través de la data del año 2023, detectando y evidenciando que existen variados factores que interactúan para afectar los indicadores claves de mantenimiento de los equipos. En base a este análisis se deben buscar mejoras y mejorar la estrategia de gestión del mantenimiento existente.



**Figura 1.15** Herramienta de los cinco porqués en la búsqueda de las causas raíz de un problema.

Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido, 3ª edición.

La meta de esta fase es identificar la causa raíz del problema, entender cómo éstas generan el problema y confirmar las causas con datos. Se trata entonces de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmar éstas con datos certeros. Primero será necesario identificar todas las variables de entrada y/o posibles causas del problema. Una muestra del tipo de profundidad en el análisis que se debe procurar en esta etapa aparece en la figura 1.15, en la que se aplica la técnica de los cinco porqués para encontrar la causa. Las herramientas de utilidad en esta fase son muy variadas, por ejemplo: lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, Pareto de segundo nivel, estratificación, cartas de control, mapeo de procesos, los cinco porqués, etcétera (**Humberto Gutiérrez Pulido, 3ª edición**)

#### **1.4.8 Monitoreo telemétrico de condiciones de trabajo cargador frontal.**

El análisis telemétrico en tiempo real ha sido una innovación dentro de Komatsu, dado que se pueden predecir fallas, detectando anomalías en las variables de trabajo, y/o problemas de operación del cargador, monitoreando transductores de corrientes, niveles de fluidos, presión de aire principal, presión de trabajo de los diferentes sistemas hidráulicos, horas de operación, entre otros variables de medición.

Esta labor en la actualidad es ejecutada por el departamento de monitoreo remoto (RHM), en donde un grupo seleccionado de ingenieros predictivo, analizan permanentemente las

condiciones de trabajos de todos los equipos a nivel nacional, entre ellos están los camiones de alto tonelajes (Caex), palas eléctricas, perforadoras eléctricas, y cargadores frontales. Entre los beneficios se pueden encontrar que existe una estandarización en los análisis de los equipos, lo que el departamento de RHM<sup>4</sup>, tiene un enfoque más metodológico en la interpretación de los datos. Aun así, existen restricciones o limitaciones de los expertos que analizan los datos, esto es debido a que no están directamente en el lugar de la operación, Lo que limita la capacidad para poder comprender el trabajo de los diferenciados sistemas de los equipos.



**Figura 1.16** Plataforma Prevail – Grafana, monitoreo telemétrico en tiempo real.

Fuente: elaboración propia.

Este monitoreo se realiza a través de dashboards interactivos, en donde a través de diferentes tipos de gráficos se pueden observar e identificar las diferentes condiciones de trabajo de los distintos sistemas del equipo.

La inexperiencia se hace presente en los técnicos, al no contar con la herramienta tecnológica Grafana y a su vez que no posee las capacitaciones en el uso de las herramientas para diagnosticar fallas en un corto plazo, es una barrera primordial para el éxito de la ejecución de un correcto mantenimiento predictivo, basado en análisis tribológicos, vibraciones y telemétrico.

## 1.5 Planteamiento de problemática presente en faena Caserones.

El análisis de la situación actual del mantenimiento de los cargadores frontales P&H WE-2350 en minera Caserones revela deficiencias significativas que impactan directamente en la operación y los resultados económicos de la empresa.

### 1.5.1 Dimensionamiento cuantitativo del impacto operacional

El análisis de los indicadores operacionales del año 2023 evidencia brechas críticas en el desempeño del mantenimiento. La disponibilidad física, la media fue de 74%, significativamente por debajo del objetivo contractual de 81% establecido en el acuerdo MARC. Una brecha cercana

<sup>4</sup> Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

a los siete puntos porcentuales representa aproximadamente 613 horas de operación perdidas anualmente por equipo, impactando directamente la capacidad productiva de la operación minera.

El tiempo medio de reparación (MTTR) alcanzó 5,43 horas, superando el límite contractual de 5,0 horas establecido según contrato. Este exceso en los tiempos de reparación refleja ineficiencias en los procesos de diagnóstico, predicción y ejecución de mantenimiento preventivo, resultando en mayores períodos de indisponibilidad del equipo.

La distribución entre mantenimiento correctivo y preventivo presenta un vaivén importante, con 54,96% del tiempo dedicado a mantenimiento correctivo frente a 45,04% en preventivo. Esta proporción invierte la relación recomendada en la industria, en donde se debe minimizar el mantenimiento correctivo 30% y dar prioridad al mantenimiento predictivo y preventivo 70%, evidenciando una gestión reactiva del mantenimiento que resulta más costosa e ineficiente.

El impacto financiero de estas deficiencias es sustancial. Durante el año 2023, los costos asociados a la indisponibilidad alcanzaron \$2,114,468.60 USD, con un costo por hora de imprevisto de \$2,139.72 USD. Las 988,3 horas de detenciones no programadas registradas representan pérdidas significativas tanto en términos de producción como de recursos destinados a mantenimiento correctivo.

Esta situación compromete no solo el cumplimiento de los objetivos contractuales sino también la eficiencia operacional global de la operación minera. La magnitud de las pérdidas financieras y operacionales evidencia la necesidad urgente de implementar mejoras esenciales en la gestión del mantenimiento de estos equipos críticos para la operación.

### ***1.5.2 Deficiencias críticas identificadas***

Las deficiencias identificadas en el mantenimiento de los cargadores frontales se categorizan en dos áreas principales: limitaciones en el monitoreo predictivo y brechas en la gestión del mantenimiento.

El monitoreo predictivo actual presenta restricciones significativas que afectan la capacidad de detección temprana de fallas. Los análisis tribológicos requieren un plazo de siete días para la obtención de resultados, lo que impide la toma de decisiones oportunas ante condiciones anormales en los fluidos del equipo. Este retraso en el diagnóstico incrementa el riesgo de fallas mayores y la posibilidad de daños en componentes críticos.

La insuficiencia de capacidad en faena para realizar análisis de vibraciones representa otra limitación importante. El contrato no cuenta con personal técnico capacitado ni con el equipamiento necesario para ejecutar este tipo de análisis, debiendo depender de especialistas externos que provienen del departamento centralizado, que visitan la faena de manera temporal. Esta situación genera retrasos significativos en la identificación y diagnóstico de problemas en componentes rotativos analizados.

La falta de monitoreo en tiempo real de componentes críticos impide la detección inmediata de condiciones anormales de operación. Si bien existe la plataforma Prevail-Grafana para monitoreo telemétrico, el personal técnico en faena no posee credenciales de acceso a esta plataforma, tampoco cuenta con capacitación para su utilización efectiva. La dependencia del soporte técnico externo para diagnósticos especializados resulta en tiempos de respuesta

prolongados ante la detección de anomalías.

En cuanto a la gestión del mantenimiento, las pautas actuales son excesivamente generalizadas y no consideran las particularidades de los diferentes sistemas del equipo. Esto resulta en inspecciones superficiales que no permiten identificar de manera efectiva condiciones potenciales de falla en subsistemas críticos.

Los procesos de mantenimiento mantienen un formato tradicional basado en papel, sin aprovechar las ventajas de la digitalización. Esta situación dificulta el seguimiento de las intervenciones, el análisis de tendencias y la toma de decisiones basada en datos históricos.

La documentación técnica se encuentra dispersa en diferentes formatos y ubicaciones, sin un sistema centralizado que permita su acceso y actualización eficiente. Los informes técnicos de mantenimiento correctivo se elaboran manualmente y no están disponibles en servidores centralizados, limitando el aprendizaje hacia los demás técnicos y la mejora continua de los procesos.

La planificación de recursos presenta deficiencias que afectan la efectividad de las intervenciones. La falta de coordinación entre las áreas de planificación, mantenimiento y logística resulta en retrasos en la disponibilidad de repuestos y recursos necesarios para las intervenciones programadas.

### ***1.5.3 Impacto en sistemas críticos***

El análisis de la distribución de fallas durante el año 2023 revela una concentración significativa de problemas en tres sistemas críticos del cargador frontal (componentes mayores, sistema hidráulico y sistema eléctrico) que en conjunto representan el 78,2% del total de horas de indisponibilidad del equipo.

Los componentes mayores emergen como el sistema más crítico, acumulando 457 horas de detenciones no programadas, equivalentes al 46,2% del tiempo total de indisponibilidad. Estas fallas afectan principalmente a elementos estructurales como el pantógrafo, cilindros de levante y volteo, y articulaciones principales del equipo. La alta ocurrencia de fallas en estos componentes refleja deficiencias en las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo implementadas.

El sistema hidráulico representa el segundo sistema más afectado con 207,9 horas de detenciones, constituyendo el 21,1% del tiempo total de indisponibilidad. Las fallas en este sistema incluyen pérdidas de presión en circuitos principales, roturas de flexibles y problemas en bombas hidráulicas, fallas de válvulas, etc. Afectando directamente las funciones de levante y volteo del cargador.

El sistema eléctrico acumula 107,7 horas de detenciones, representando el 10,9% del tiempo total. Estas fallas están relacionadas principalmente con el sistema de control Lincs II y componentes en el sistema de potencia de propulsión, impactando la operatividad total del equipo.

Las pérdidas de producción son directas e inmediatas, considerando que cada hora de indisponibilidad representa aproximadamente sesenta y cinco ciclos de carga no realizados en los camiones de extracción. Esta reducción en la capacidad de carguío afecta toda la cadena productiva de la operación minera.

Los riesgos de seguridad se incrementan debido a las fallas imprevistas, especialmente en sistemas críticos como el hidráulico y los componentes de levante. Las detenciones no

programadas pueden resultar en situaciones de riesgo para los operadores y personal de mantenimiento, particularmente cuando ocurren durante la operación del equipo.

La planificación minera sufre alteraciones significativas debido a la incertidumbre en la disponibilidad de los equipos. La alta frecuencia de fallas en sistemas críticos obliga a constantes modificaciones en los planes de producción, afectando la eficiencia de la operación y el cumplimiento de metas de producción establecidas.

#### ***1.5.4 Implicaciones para la gestión del mantenimiento***

El análisis integral de las deficiencias identificadas revela necesidades críticas de mejora en la gestión del mantenimiento de los cargadores frontales. Estas implicaciones establecen la base para el desarrollo de una estrategia de mejoramiento continuo que permita superar las limitaciones actuales.

El desarrollo de capacidades técnicas representa uno de los aspectos principales que deben ser abordados como una necesidad prioritaria. La situación actual, caracterizada por la dependencia de soporte externo para diagnósticos especializados, requiere un programa estructurado de formación técnica. El personal de mantenimiento necesita desarrollar competencias en análisis de vibraciones, interpretación de datos telemétricos y diagnóstico avanzado de fallas en sistemas críticos del equipo.

La implementación de herramientas predictivas avanzadas resulta fundamental para evolucionar hacia un mantenimiento basado en condición. Se requiere la incorporación de tecnologías como sensores de temperatura en articulaciones críticas, sistemas de monitoreo en tiempo real y herramientas de análisis termográfico. La integración de estas tecnologías con la plataforma Prevail-Grafana permitirá un monitoreo más efectivo de las condiciones operativas del equipo.

El fortalecimiento de la gestión del conocimiento se presenta como un elemento crítico para asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas. Se requiere establecer mecanismos efectivos para la documentación y transferencia de conocimientos técnicos, la capitalización de experiencias operativas y el desarrollo de una base de conocimiento que soporte la toma de decisiones en mantenimiento.

Estas necesidades de mejora identificadas señalan la importancia de implementar una estrategia integral que aborde simultáneamente los aspectos técnicos, organizacionales y de gestión del conocimiento, permitiendo alcanzar y mantener los niveles de disponibilidad y confiabilidad requeridos por la operación minera.

## 1.6 Conclusión objetivo específico capítulo 1

“Inspeccionar los actuales programas de mantenimiento predictivo y preventivo de los equipos, identificando los procesos para mejorar en cuanto a frecuencia de fallas, metodologías aplicadas y resultados obtenidos”.

En este primer capítulo se cumplió con el objetivo específico de inspeccionar los programas actuales de mantenimiento predictivo y preventivo de los cargadores frontales P&H WE-2350, identificando de manera sistemática los procesos que requieren mejoras en términos de frecuencia de fallas, metodologías aplicadas y resultados obtenidos.

El análisis detallado de los indicadores operacionales del año 2023 reveló deficiencias significativas en el desempeño del mantenimiento. La disponibilidad física promedio se situó en un 74%, considerablemente por debajo del objetivo contractual de 81% establecido en el acuerdo Marc. Una brecha aproximadamente de siete puntos porcentuales representa aproximadamente 613 horas de operación perdidas anualmente por equipo, impactando directamente la capacidad productiva de la operación minera. Las pérdidas financieras asociadas alcanzaron \$2,114,468.60 USD durante el período analizado, evidenciando el impacto económico crítico de las deficiencias en la gestión del mantenimiento.

La investigación identificó una distribución inadecuada entre mantenimiento correctivo y preventivo, con 54,96% del tiempo dedicado a intervenciones correctivas frente a 45,04% en actividades preventivas. Esta proporción invierte significativamente la relación recomendada en la industria de 30% correctivo y 70% preventivo, evidenciando una gestión totalmente reactiva que resulta más costosa e ineficiente.

El estudio reveló limitaciones críticas en las capacidades de monitoreo predictivo. Los análisis tribológicos actuales requieren siete días para obtener resultados, un plazo excesivo que compromete la capacidad de respuesta ante condiciones críticas detectadas en los fluidos del equipo. La ausencia de capacidad presente en faena para realizar análisis de vibraciones obliga a depender de personal externo, resultando en diagnósticos tardíos de problemas en componentes rotativos. La falta de monitoreo en tiempo real de componentes críticos impide la detección temprana de anomalías operacionales.

El análisis de sistemas críticos identificó una concentración significativa de fallas en tres sistemas principales que acumulan el 78,2% del tiempo total de indisponibilidad. Los componentes mayores se posicionan como el sistema más crítico con 457 horas de detenciones no programadas (46,2%), seguidos por el sistema hidráulico con 207,9 horas (21,1%) y el sistema eléctrico con 107,7 horas (10,9%). Esta distribución de fallas evidencia la necesidad de implementar estrategias específicas para estos sistemas críticos.

La gestión del mantenimiento presenta brechas fundamentales que afectan su efectividad. Las pautas actuales son excesivamente generalizadas, careciendo de enfoques específicos para los diferentes sistemas y subsistemas del equipo. La ausencia de digitalización en los procesos resulta en ineficiencias operativas y dificultades para el seguimiento y análisis de las intervenciones realizadas. La documentación técnica se encuentra dispersa, sin un sistema centralizado que permita su acceso y actualización eficiente.

Las implicaciones identificadas para la gestión del mantenimiento establecen necesidades críticas de mejora. El desarrollo de capacidades técnicas representa una de las prioridades a ser contempladas para reducir la dependencia de soporte externo y mejorar los tiempos de respuesta ante detenciones no programadas. La implementación de herramientas predictivas avanzadas resulta fundamental para transitar hacia un mantenimiento basado en condición. La optimización de los procesos de mantenimiento debe enfocarse en la digitalización y estandarización de procedimientos, permitiendo un mejor control y seguimiento de las intervenciones.

El diagnóstico realizado fundamenta la necesidad imperativa de desarrollar e implementar una estrategia integral de mejoramiento continuo que aborde las deficiencias identificadas de manera sistemática y sostenible. Esta estrategia deberá considerar aspectos técnicos, organizacionales y de gestión del conocimiento para asegurar el logro y mantenimiento de los niveles de disponibilidad y confiabilidad requeridos por la operación minera.

Los hallazgos de este capítulo constituyen una base sólida para el desarrollo de propuestas de mejora específicas que serán abordadas en los capítulos subsiguientes, apuntando a la optimización de recursos, el perfeccionamiento de la disponibilidad y la mejora en la confiabilidad de estos equipos críticos para la operación minera.

**CAPÍTULO 2**  
**MEJORAMIENTO EN MONCON Y ANÁLISIS DE DATOS TELEMÉTRICOS**  
**PARA PREDICCIÓN DE FALLAS EN CARGADOR FRONTAL P&H WE-2350.**

## **2.1 Nueva estrategia para el moncon y análisis de datos en Prevail-Grafana, con el fin de anticiparse a la ocurrencia de una falla catastrófica.**

### **2.2 Introducción a nueva estrategia de mantenimiento predictivo**

“Un proceso dentro del mantenimiento que no está funcionando, por lo que se deben aplicar o implementar nuevas estrategias para provocar cambios en el proceso, a esto lo llamamos **“Mejoramiento continuo”** lo que permitirá realizar cambios constantes en donde se puedan identificar oportunidades de mejora al proceso de mantenimiento, productos y/o componentes, capacitación al personal técnico involucrado dentro de la operación”

Según la NTP-ISO 9000:2001, Mejora continua es una "Actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos" siendo los requisitos la "Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria". (García, M., Quispe, C., & Guevara, L. R., 2001.

El monitoreo de condiciones y los análisis de datos telemétricos en tiempo real son de vital importancia, en donde se buscan impulsar nuevas estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo. El mejoramiento continuo en la forma de ejecución de las tareas, permitirá al departamento de mantenimiento presente en faena y a su vez al departamento de centralizado, poder anticiparse ante posibles imprevistos y o fallas que pueden ocurrir en el equipo, siempre buscando la optimización de los recursos, comenzando en el departamento de planificación realizando una correcta gestión de repuestos para ejecutar un mantenimiento de calidad y disminuir los tiempos de indisponibilidad operacional del equipo, debido alguna avería ocurrida en este.

Actualmente en Joy Global, el mantenimiento predictivo está enfocado en la toma de muestras de aceites en los diferentes sistemas que posee el cargador frontal, posteriormente son enviados al laboratorio para que sean analizadas y la emisión de informes tribológicos. Otorgando las recomendaciones más adecuadas para ejecutar en el cargador. Siguiendo con la toma de ruta de vibraciones, medición de temperaturas en articulaciones, estas se realizan con pirómetro. Sin embargo, son recopilados. En donde el técnico pierde la trazabilidad del moncon, dado que los análisis son tomados de manera discontinua así existe la limitación de una precisión de información sobre las fallas.

### **2.3 ¿Cómo implementar la mejora continua?**

Para lograr la implementación de mejora continua en los procesos de mantenimiento predictivo y preventivo será fundamental poder determinar las oportunidades de mejora, mediante la aplicación de variadas herramientas existentes, que permitirá optimizar procesos, aumentar confiabilidad de los equipos y reducir los tiempos de inactividad. A continuación, se detallarán los pasos claves más importantes para la implementación de esta estrategia para el mantenimiento:

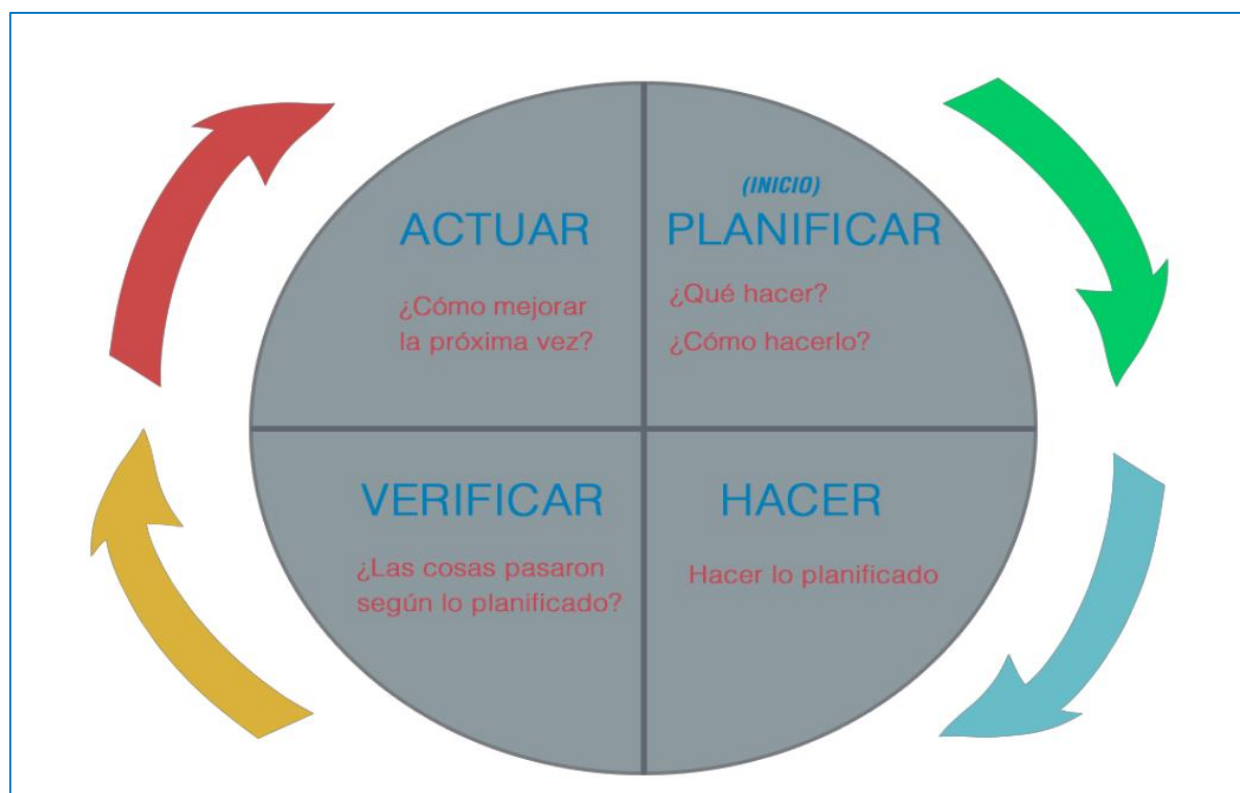
- ✓ Ciclo PDCA, metodología cíclica que fomenta la mejora continua a través de cuatro etapas: planificar, hacer, verificar y actuar. Es la base de muchas filosofías de gestión y fue un modelo concebido por Walter Shewhart en el año 1930 y luego promovido por W. Edwards Deming en el año 1950.

Existen varias normas ISO en las que se menciona la mejora continua. Por ejemplo, en la norma ISO 9001 se habla de la mejora continua del sistema de gestión de calidad, y según ésta, todo sistema de gestión de calidad debe aplicar el ciclo de mejora continua de forma estandarizada. (ISO 9001,2015).

Otra norma muy extendida que hace alusión a la mejora continua es la (ISO 14001, 2015), referente a los requisitos de los sistemas de gestión ambiental. En ella, se establece el ciclo PHVA como base para la implementación del sistema de gestión.

## 2.4 Beneficios de aplicar el ciclo de Deming

- Mejora continua
- Orientación al cliente.
- Toma de decisiones basadas en datos.
- Reducción de costos y desperdicios.
- Compromiso y participación del personal.



**Figura 2.1** Ciclo Deming o PHVA

Fuente: Centro de formación técnica para la industria.

- ✓ Lean Manufacturing, es una metodología centrada en la optimización del sistema de producción mediante la eliminación de residuos que no suman tipo de valor al proceso de mantenimiento. Su origen se encuentra a principios del siglo XX en EE. UU.

- ✓ Benchmarking competitivo (punto de referencia) consiste en comparar los procesos y métricas de la empresa, por lo que se realiza la comparativa entre las faenas de la zona IV para aumentar mejores prácticas dentro de las faenas existentes y poder aplicarlas internamente como, por ejemplo:

cumplimiento en la ejecución de backlogs, cumplimiento de disponibilidad objetivo, cierre de ordenes de trabajo, indicadores como MTBF Y MTTR.

Sucursal	% DC	Meta %DC	% DF	MTBF	Meta MTBF	MTTR	Meta MTTR	DMP	Promedio Horómetro
<b>Antofagasta</b>	<b>89,39 %</b>	<b>86,1 %</b>	<b>82,8 %</b>	<b>87,43</b>	<b>63,5</b>	<b>7,49</b>	<b>5,28</b>	<b>17,1 %</b>	<b>44.840</b>
Antucoya	92,21 %	85,7 %	86,2 %	93,96	80,0	4,10	5,00	17,3 %	42.319
Esperanza	87,21 %	83,0 %	80,1 %	47,55	57,6	5,59	5,00	31,9 %	64.994
Esperanza Sur	91,66 %	90,6 %	82,6 %	86,20	83,5	6,35	5,00	30,7 %	10.439
Gaby	83,55 %	81,9 %	77,6 %	62,95	54,0	10,25	5,65	13,1 %	75.649
Gaby (KMC)	80,86 %	80,0 %	76,1 %	48,33	25,0	3,83	5,00	-4,8 %	89.535
Lomas Bayas	93,41 %	88,7 %	88,6 %	123,69	62,0	3,15	4,50	6,3 %	22.383
Minera Escondida (KMC)	85,00 %	84,0 %	79,8 %	146,00	36,0	5,58	3,50	7,1 %	12.689
Sierra Gorda	89,44 %	86,1 %	82,7 %	99,57	59,3	9,14	5,60	17,1 %	49.283
Sierra Gorda (KMC)	91,50 %	89,0 %	88,8 %	282,31	21,0	1,00	3,00	5,5 %	59.664
<b>Calama</b>	<b>85,16 %</b>	<b>82,8 %</b>	<b>80,2 %</b>	<b>52,58</b>	<b>47,4</b>	<b>6,40</b>	<b>4,98</b>	<b>14,0 %</b>	<b>62.552</b>
Mina Sur	86,68 %	81,5 %	76,5 %	96,46	54,0	11,52	5,00	25,7 %	99.098
Ministro Hales	88,27 %	83,2 %	82,8 %	60,05	52,2	3,57	4,62	9,5 %	69.179
Quebrada Blanca	89,40 %	79,0 %	81,9 %	78,76	47,8	10,44	6,00	17,5 %	49.102
Radomiro Tomic	83,57 %	83,8 %	79,7 %	48,92	48,4	6,93	4,98	12,7 %	60.739
Radomiro Tomic CF (KMC)	80,91 %	80,0 %	74,2 %	58,84	10,0	2,33	3,00	16,2 %	46.050
Radomiro Tomic ES (KMC)	88,83 %	82,7 %	82,6 %	41,44	20,0	1,65	2,50	27,0 %	120.864
<b>Iquique</b>	<b>91,58 %</b>	<b>82,7 %</b>	<b>86,8 %</b>	<b>52,24</b>	<b>49,9</b>	<b>5,76</b>	<b>5,21</b>	<b>11,2 %</b>	<b>60.234</b>
Collahuasi	91,68 %	82,7 %	87,3 %	53,63	50,6	6,07	5,28	7,7 %	60.759
Collahuasi (KMC)	90,60 %	83,1 %	81,8 %	41,68	26,3	3,46	2,79	63,2 %	42.505
<b>Santiago</b>	<b>88,61 %</b>	<b>84,8 %</b>	<b>80,0 %</b>	<b>59,19</b>	<b>52,0</b>	<b>6,40</b>	<b>5,48</b>	<b>26,7 %</b>	<b>64.069</b>
Andina	89,04 %	85,1 %	80,7 %	67,87	55,1	7,01	5,00	22,2 %	62.308
Andina (KMC)	92,68 %	85,0 %	80,2 %	71,48	33,8	2,25	4,00	5,8 %	54.661
Caserones	87,12 %	84,8 %	81,3 %	62,39	35,6	7,78	5,11	26,1 %	53.256
Caserones (KMC)	82,04 %	84,5 %	79,4 %	27,63	33,3	3,05	5,00	181,9 %	51.355
Cerro Negro Norte	86,12 %	83,0 %	68,9 %	49,84	50,0	9,69	6,22	12,7 %	45.796
Los Pelambres	88,96 %	86,3 %	83,5 %	72,59	56,9	5,68	5,70	23,0 %	89.197
Los Pelambres (KMC)	90,23 %	83,4 %	87,9 %	49,79	24,5	2,39	2,78	-3,8 %	71.713
Rajo Inca	91,03 %	84,2 %	78,2 %	48,83	64,2	7,51	5,95	35,6 %	53.277
Rajo Inca (KMC)	87,41 %	78,0 %	84,2 %	73,99	25,0	4,14	5,00	3,7 %	1.831
<b>Total</b>	<b>88,84 %</b>	<b>84,4 %</b>	<b>82,3 %</b>	<b>63,28</b>	<b>54,5</b>	<b>6,52</b>	<b>5,27</b>	<b>18,3 %</b>	<b>56.808</b>

Tabla 2.1 Comparativo de indicadores por faena en Chile.

Fuente: reporte mensual (KMC).

En tabla 2.1 se evidencia la faena Caserones, donde se puede corroborar que es la única de todas las faenas, que posee indicadores deficientes en la disponibilidad y en tiempo medio entre fallas. También se destaca que el tiempo de detención por mantenimiento programado (DMP) es muy elevado, lo que afectará considerablemente la disponibilidad del cargador frontal. Por lo que se deduce que la planificación es deficiente, mostrando falta de ejecución de tareas por falta de repuestos.

- ✓ Kaizen, proviene de dos términos japoneses: “Kai” que significa cambio y “Zen” que quiere decir para mejorar. Así, podemos decir que “Kaizen” es “cambio para mejorar” o “mejoramiento continuo”. Los dos pilares que sustentan Kaizen son los equipos de trabajo y la ingeniería industrial, que se emplean para mejorar los procesos productivos. De hecho, Kaizen se enfoca a la gente y a la estandarización de los procesos. Por lo que siempre están enfocados en ejecutar cambios pequeños, que, en el transcurso del tiempo, generan una mejora eficiente en los procesos dentro de la empresa.
- ✓ Metodología Six Sigma: la globalización de los mercados y los elevados niveles de exigencia para las empresas ha llevado al desarrollo de las técnicas y herramientas de mejoramiento continuo de procesos, lo que permite medirlos para detectar sus deficiencias,

disminuir los costos y el tiempo del ciclo, aspectos imprescindibles que hacen a las organizaciones más eficientes y competitivas para poder transformarse en líderes y referentes en los mercados” (Dubé-Santana, M., Hevia-Lanier, F., Michelena-Fern, 2017).

Esta metodología se centra en reducir, eliminar los defectos o fallas en los mismos, buscando satisfacer las necesidades del cliente.

## **2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) optimización de planes de mantenimiento**

El método de optimización de los planes de mantenimiento denominado “Mantenimiento centrado en la confiabilidad”, se originó hacia el final de la década de los años 60. En conjunto al gobierno americano, la industria aeronáutica, a fin de establecer procesos lógicos y diseñar actividades de mantenimiento apropiado con frecuencias optimas...

El RCM, sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes dentro del contexto operacional (Jone,1995).

## **2.6 Precisión de servicio**

La precisión de servicio, es la que mide el cumplimiento de operaciones, en la entrega oportuna del equipo para el mantenimiento programado del cargador frontal. Este indicador se realiza el cálculo con la siguiente ecuación:

$$\text{Precisión de Servicio (PS)} = 100\% - \text{Desviación}$$

Donde:

$$\text{Desviación} = \text{Valor Absoluto} \frac{(CHTEM - CHREM)}{CHTEM}$$

*CHTEM: Cantidad de horas teóricas entre mantenimiento.*

*CHREM: Cantidad de horas reales entre mantenimiento.*

**Ecuación 2.1** Obtención de precisión de servicio de cargador frontal.

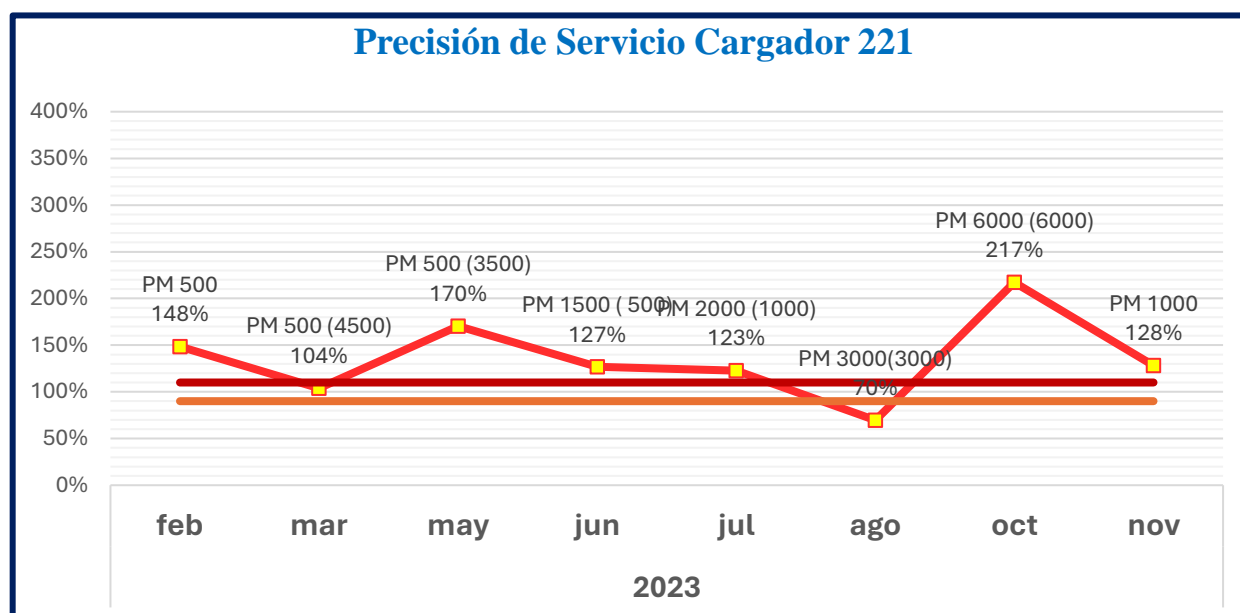
*Fuente: contrato Marc KMC*

El objetivo de evidenciar la precisión de servicio es que los cargadores no ingresan a la frecuencia correspondiente (250 horas), considerar que esta precisión mantiene un rango de tolerancia más menos de un 15%, según pauta de mantenimiento a ejecutar.

N° Equipo	221		
Componente	Equipo de Carguío		
Año	Mes de Intervención Por PM	Horas PM	Máximo Porcentaje de Uso
2023	Febrero	PM 3000(3000)	148%
	Marzo	PM 500	104%
	Mayo	PM 1000 (1000)	170%
	Junio	PM 1500(1500)	127%
	Julio	PM 2000(1000)	123%
	Agosto	PM 3000 (1000)	70%
	Octubre	PM 3500 (500)	217%
	noviembre	PM 4000 (1000)	128%

**Tabla 2.2** Tabla precisión de servicio de mantenimiento cargador año 2023.

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 2.1** Precisión de servicio de mantenimiento cargador año 2023

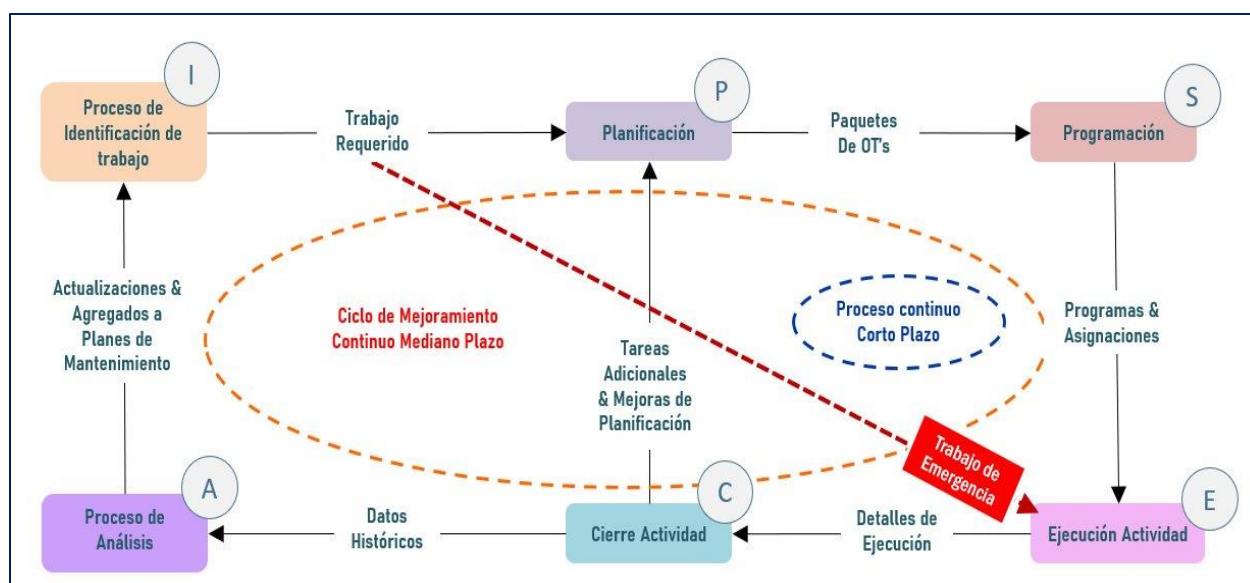
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos base operaciones datos año 2023

En la tabla 2.2 y el gráfico 2.1 se puede verificar detalladamente la tabla de datos con las horas de mantenimiento preventivo del año 2023 y el porcentaje con las horas máximo de uso del equipo en los distintos meses del año. El gráfico 2.0 indica los meses con las horas PM y el porcentaje correspondiente al uso del equipo. Además, se visualiza una variación en los diferentes meses con las horas correspondientes a mantenimiento preventivo. Por lo que cada pauta a realizar posee una diferente carga de trabajo, debido a los planes combinados de mantenimiento mayor que incluyen cambio de componentes por TBO (tiempo entre overhous) y las pautas asociadas solo a inspecciones.

En los meses que presentan un alto porcentaje de uso, puede corresponder a un desfase existente en la planificación del mantenimiento. Lo que incrementa el riesgo de provocarse una falla imprevista en el equipo.

## 2.7 Propuesta de mejorar las técnicas de Moncon, para aumentar la disponibilidad sobre un 81%

La estrategia de mantenimiento implementada hoy en día en Joy Global, está basada en los pasos definidos por el propio modelo basado en el ciclo de Deming, llamado “IPSECA” esta sigla posee su génesis sus palabras en el idioma inglés:



**Figura 2.2** Metodología de Mantenimiento JoyGlobal (IPSECA).

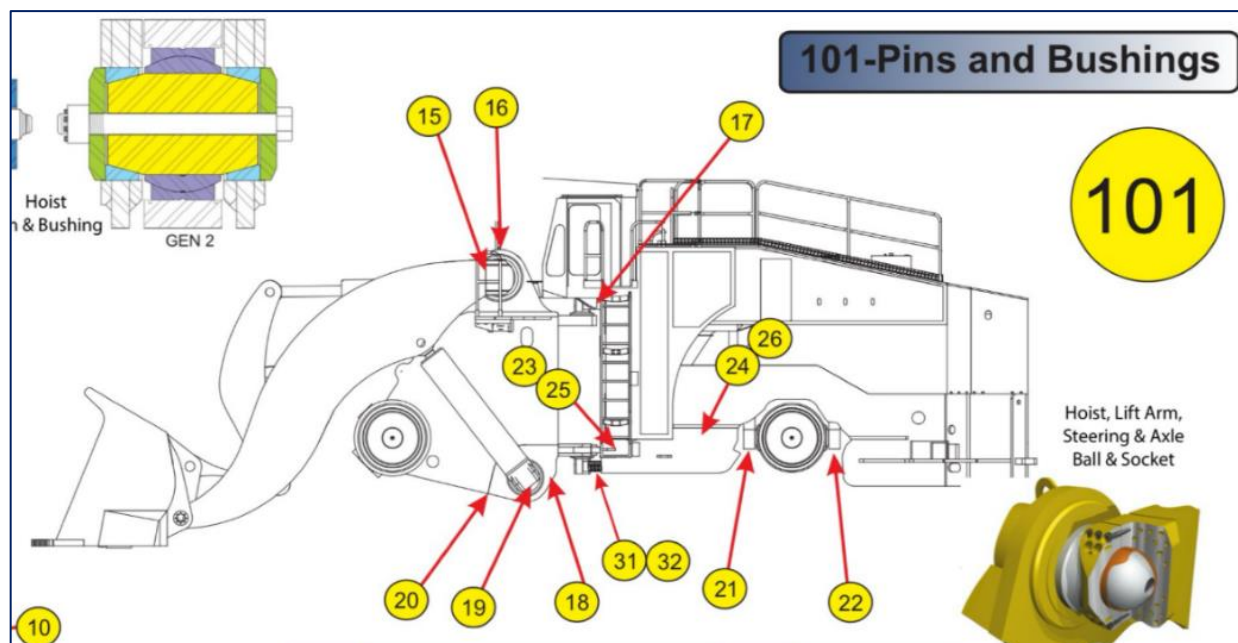
Fuente: obtención en archivos KMC.

- Identify / Identificar: Identificación de trabajo a ejecutar.
- Plan / Planificar: Trabajo planificado.
- Schedule / Programar: programas semanales y diarios desarrollados.
- Execute / Ejecutar: trabajos ejecutados por personal técnico.
- Close / Cerrar: trabajo cerrado por técnicos y planificador.
- Analyze / análisis: datos analizados para identificar el progreso o las áreas que necesitan desarrollo adicional.

Por lo que posee una garantía teórica de un 81%, no obstante, según los indicadores presentados en el gráfico 1.1 de disponibilidad correspondiente al año 2023, se obtuvo un promedio de 74%, por lo que en esta propuesta se presentarán soluciones que ayudarán a incrementar el indicador mencionado.

## 2.8 Optimización en análisis de temperaturas en articulaciones del cargador frontal

### 2.8.1 Primera propuesta Instalación de sensor de temperaturas en articulaciones del cargador frontal.



**Figura 2.3** Propuesta de instalación de sensores de temperatura

Fuente manual de servicio cargador (KMC).

Con esta nueva propuesta, se busca mantener un monitoreo continuo de temperaturas de trabajo en cada articulación del equipo como se puede evidenciar en figura 2.3, se realizará la instalación de sensores de temperaturas llamados Ibutton, este recolectará la lectura de temperatura en cada “Ball” de articulaciones, dado que es donde se produce mayor fricción, por lo que estas zonas suelen experimentar sobrecalentamiento. Es por ello por lo que dos veces por semana se realizará la descarga de datos para monitorear el comportamiento de temperaturas. Dado que, según manual, el “Ball y socket” estas deben cambiarse a las 20.000 horas de operación del equipo, con esta nueva propuesta se busca llegar al “Target Life” de fábrica. De igual forma verificando la correcta lubricación de las articulaciones.

En la tabla 2.3 (pág. 61) se proporciona una tabla correspondiente al seguimiento y programación de cambios de los componentes de los distintos sistemas del cargador frontal. Esta es proporcionada por el fabricante del equipo (Komatsu), en donde se observa que se planifica el cambio según avance de horómetro. Con esto se permite mantener el equipo basado en el RCM, metodología PCR (planificación y reparación de componentes).

EQUIPO	RESP	COMPONENTE	N° Clasificación PCR	ÚLTIMO CAMBIO	HOR.U.CAMP	HRS ACTUALES	TBO	PROY	% USO
221	MARC	Cilindro Levante Derecho	PCR Repairable (CTR/RCM)	21-Dec-23	50,946	180	6,000	01/Jan/2025	3%
221	MARC	BBA. DE ACCESORIOS AUX. Refri.Aceite	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	7,500	06/Feb/2025	15%
221	MARC	Bomba # 5 A (Refrigeración de Aceite) TOS 207-06	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	7,500	06/Feb/2025	15%
221	MARC	Bomba # 3 (Lubricación PTO) TOS 207-18	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	7,500	06/Feb/2025	15%
221	MARC	Bomba # 2 (Accesorios) TOS 207-21	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	7,500	06/Feb/2025	15%
221	MARC	Motor Blower	PCR Replaceable (CTR/RCM)	14-Feb-22	39,724	11,402	18,000	19/Feb/2025	63%
221	MARC	Motor Tracción # 3 (Tra Izq)	PCR Repairable (CTR/RCM)	05-Jan-22	39,724	11,697	20,000	05/Jun/2025	58%
221	MARC	Mando Final # 4 (Tra Der)	PCR Repairable (CTR/RCM)	28-Dec-21	39,724	11,402	20,000	24/Jun/2025	57%
221	MARC	V/V DIRECCION PVG33	PCR Parts (CTR/RCM)	29-Jun-23	47,986	3,140	12,000	10/Jul/2025	26%
221	MARC	Mando Final # 2 (Del Der)	PCR Repairable (CTR/RCM)	06-Aug-22	42,719	8,407	20,000	28/Dec/2025	42%
221	MARC	Motor Tracción # 2 (Del Der)	PCR Repairable (CTR/RCM)	06-Aug-22	42,719	8,407	20,000	28/Dec/2025	42%
221	NO MARC	Generador	EXC Repairable	25-Jun-23	47,881	3,245	15,000	07/Jan/2026	22%
221	NO MARC	Motor Diesel	PCR Repairable (CTR/RCM)	25-Jun-23	47,881	3,245	15,000	07/Jan/2026	22%
221	MARC	Caja PTO	PCR Repairable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Bomba # 1 (Levante-Volteo) TOS 207-27	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Bomba # 4 (Levante-Volteo) TOS 207-13	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Bomba # 6 (Levante) TOS 207-01	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Bomba # 7 (Levante-Volteo) TOS 207-43	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Bomba # 8 A (Dirección) TOS 207-48	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Bomba # 9 (Fan-Blower) TOS 207-56	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Bomba # 8 B (Dirección) TOS 207-72	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	15,000	21/May/2026	7%
221	MARC	Mando Final # 1 (Del Izq)	PCR Repairable (CTR/RCM)	20-Mar-23	46,336	4,790	20,000	11/Aug/2026	24%
221	MARC	Motor Tracción # 1 (Del Izq)	PCR Repairable (CTR/RCM)	20-Mar-23	46,336	4,790	20,000	11/Aug/2026	24%
221	MARC	CONJUNTO ASPAS DEL FAN		28-Oct-23	50,023	1,103	18,000	25/Nov/2026	6%
221	MARC	Válvula Husco # 1	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	18,000	25/Nov/2026	6%
221	MARC	Válvula Husco # 2	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	18,000	25/Nov/2026	6%
221	MARC	Válvula Husco # 3	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	18,000	25/Nov/2026	6%
221	MARC	Motor Fan	PCR Replaceable (CTR/RCM)	28-Oct-23	50,023	1,103	18,000	25/Nov/2026	6%
221	MARC	Mando Final # 3 (Tra Izq)	PCR Repairable (CTR/RCM)	14-Aug-23	48,779	2,347	20,000	11/Jan/2027	12%
221	NO MARC	BALANCIN IZQUIERDO	EXC Replaceable	14-Sep-23	49,233	17,042	36,000	02/Apr/2027	47%
221	NO MARC	V/V Danfoss		28-Jul-23	48,499	2,627	25,000	02/Nov/2027	11%
221	NO MARC	EJE OSCILANTE	EXC Structural Repair	05-Jan-22	39,724	11,402	36,000	20/Mar/2028	32%
221	MARC	ESTRUCTURA DEL KLENZ	PCR Replaceable (CTR/RCM)	16-Jan-22	39,724	11,402	36,000	20/Mar/2028	32%
221	NO MARC	PANTOGRAFO 2350-G2	EXC Replaceable	21-Dec-21	39,724	11,402	36,000	20/Mar/2028	32%
221	NO MARC	BALANCIN DERECHO	EXC Replaceable	16-Oct-23	49,865	1,261	36,000	14/Dec/2029	4%

Tabla 2.3 Cambio de componentes según target Life cargador frontal, año 2025 a 2029.

Fuente: Biblioteca integral Komatsu

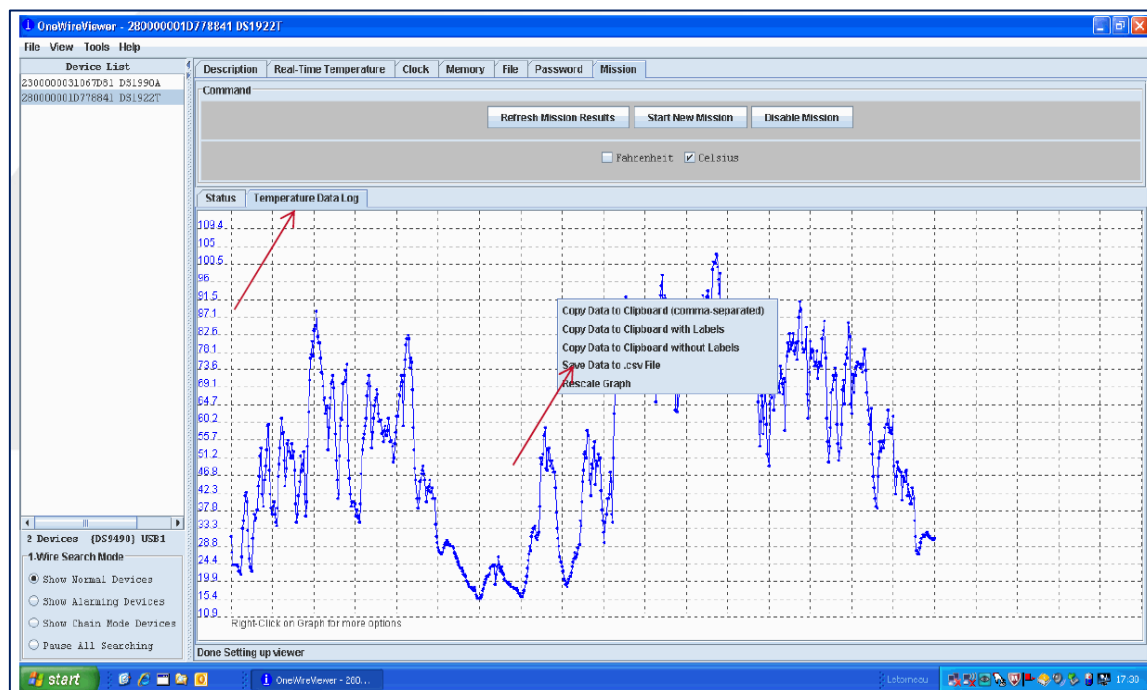
La vida útil objetivo (target Life) se basa en las horas de trabajo de cada componente determinada por fábrica, a partir de planes de análisis centrado en la confiabilidad o en la vida útil de los componentes del cargador. En la tabla 2.3 están los componentes principales del cargador frontal poseen un tiempo prolongado de entrega por parte de fábrica, por lo que la planificación debe ser la adecuada para planificar a largo plazo para los cambios de componentes por **Target Life**, para cuando se requieran utilizar, se cuente con la logística necesaria para cubrir el stock requerido para realizar los trabajos



**Figura 2.4** Ibutton o sensores de temperaturas.

Fuente: (Ibutton,2025)

Los sensores de temperaturas modelos DS1922 indicados en la imagen 2.4, son dispositivos capaces de realizar un monitoreo permanente, en donde logra monitorear temperaturas de trabajo, obteniendo un rango mínimo de  $-40^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $85^{\circ}\text{C}$ . lo que puede registrar una capacidad de memoria de 8192 lecturas de temperaturas. Su precisión de registro de datos es de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .








**Figura 2.5** Visualización de temperaturas obtenidas, a través de software.

Fuente: (Ibutton,2025)

Con el programa Onewire, se realiza la descarga de datos, por lo que permitirá mantener una trazabilidad de comportamiento y la correcta lubricación de los diferentes componentes

mecánicos. La implementación de estos dispositivos logrará mantener un control de las temperaturas de trabajos, y disminuir las fallas prematuras asociadas a los sistemas mecánicos del cargador frontal. Y obtener una mejor vida útil de cada componente hasta cumplir el target Life.

Imagen	Descripción	Cantidad	Desc. (%)	Precio Und.	Total Neto
	[MCI00182] Cable retenedor DS1402-RP3 para adaptador de iButton USB/RS232	2 Unidad(es)		\$ 7.302	\$ 14.605
	Despacho a Domicilio	1 Unidad(es)		\$ 7.050	\$ 7.050
	[MCI00183] DS9490R# - Adaptador USB a 1-Wire	2 Unidad(es)		\$ 29.404	\$ 58.807
	[MCI00133] Accesorio de montaje para iButton DS9093S+	10 Unidad(es)		\$ 966	\$ 9.664
	[MCI00608] Thermochron de alta resolución DS1922T-F5# (8Kb Logger 0/125 °C)	10 Unidad(es)	9.01%	\$ 76.387	\$ 763.866
				<b>Subtotal Neto</b>	<b>\$ 853.992</b>
				<b>IVA</b>	<b>\$ 162.258</b>
				<b>Total</b>	<b>\$ 1.016.250</b>

**Figura 2.6** Ibutton o sensores de temperaturas.

Fuente: elaboración propia.

La figura 2.6, corresponde a una cotización (referencial) para los componentes a utilizar en la implementación de esta propuesta. En donde se pueden apreciar los valores para cada componente, a esto se debe sumar las horas/hombre (h/h) para la ejecución de los trabajos.

### 2.8.2 Segunda propuesta predicción de fallas mediante análisis tribológicos.

Si bien esta propuesta ya se encuentra implementada lo que se busca con esta nueva propuesta estratégica, es mejorar los tiempos de respuestas en la emisión de informes “Análisis tribológicos de aceites” es acortar los tiempos de siete días en la actualidad a tres días, en caso de existir alguna situación crítica con un sistema del cargador, tener un plan de acción a ejecutar. A su vez se deberá realizar la capacitación de dos técnicos por turno para la interpretación de los informes, hoy en día no existe capacitación para la lectura de los informes técnicos.

### 2.8.3. Propuesta de mantenimiento predictivo sistema eléctrico de alto voltaje



**Figura 2.7** Imagen referencial cámaras termográficas.

Fuente: (Fluke,2025)

El sistema eléctrico de alto voltaje, cada componente trabaja con grandes cantidades de corrientes, llegando a los 1100 (A) en uno de los sistemas más críticos, como lo es la propulsión del cargador frontal (motores eléctricos, generador y parillas de frenado) por lo que es importante aplicar mantenimiento predictivo utilizando cámara termográfica y lograr anticiparse en la detección temprana de alguna falla, que pueda provocar una detención por un tiempo extendido.

Con este tipo de tecnología se logrará identificar de manera prematura, segura y eficiente. Por lo que reduciría los costos asociados a un mantenimiento no programado, asegurando una mejora en la confiabilidad del sistema de propulsión.

---

#### Cotización de Cámara Termográfica Fluke PTi120

Producto: Cámara Termográfica Portátil Fluke PTi120

Descripción:

Resolución de 120 x 90 píxeles  
 Rango de temperatura: -20 °C a 150 °C  
 Pantalla LCD táctil de 3.5 pulgadas  
 Conectividad Wi-Fi  
 Software incluido para análisis de imágenes térmicas  
 Perfecta para mantenimiento industrial y análisis predictivo.

---

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Total
1	Cámara Termográfica Fluke PTi120	USD 1,200	USD 1,200
1	Estuche protector (incluido)		
1	Software Fluke Connect (incluido)		
Subtotal			USD 1,200
Impuestos (19%)			USD 228
Total			USD 1,428

---

**Tabla 2.4** cotización de cámara termográfica para realizar mantenimiento predictivo en gabinete de alta.

Fuente: elaboración propia.

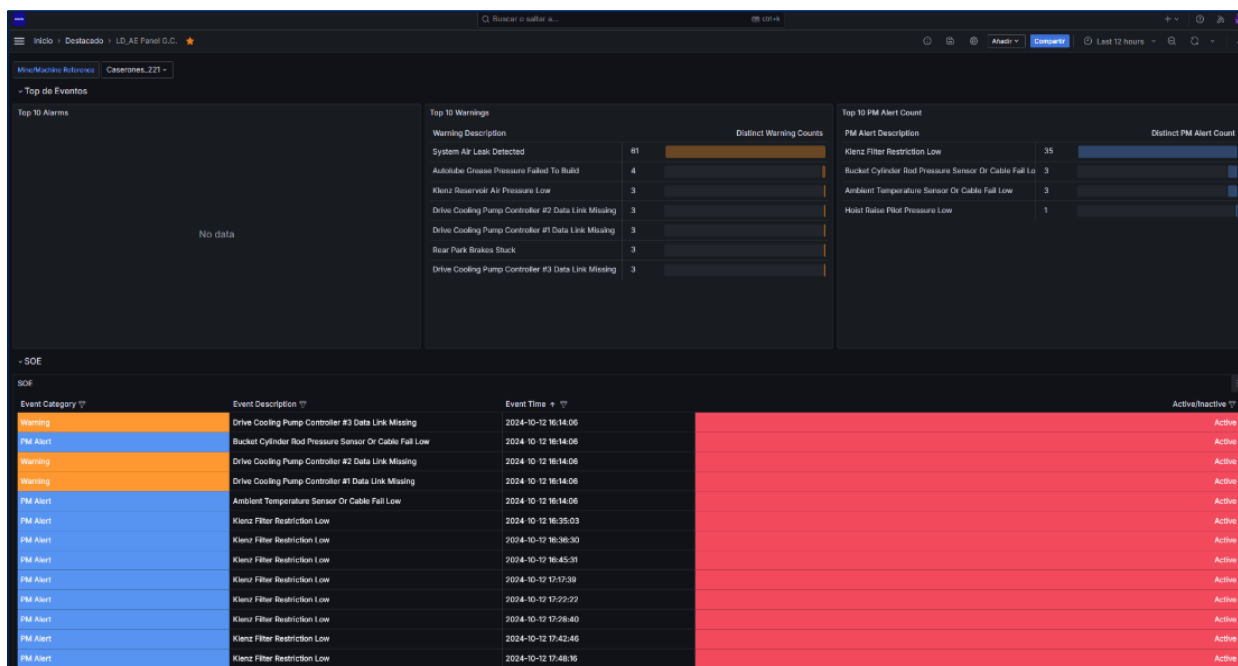
La tabla 2.4 se observará una cotización (referencial) de una cámara termográfica, para poder predecir anomalías en los circuitos eléctricos de potencia del cargador, es por ello por lo que se logrará un mantenimiento mucho más eficiente al poder analizar las imágenes y en caso de existir algunas anomalías. Ayudará significativamente en la toma de decisiones, dado que los datos obtenidos serán precisos y no suposiciones. Finalizando con que garantizará en que el técnico pueda realizar el trabajo de forma segura.

#### 2.8.4 Análisis de datos telemétricos por técnicos

Prevail - Grafana es una plataforma interna de Komatsu, lo que a través del departamento de RHM (departamento de monitoreo remoto) hace llegar un informe diario con las anomalías y fallas presentes en el equipo.

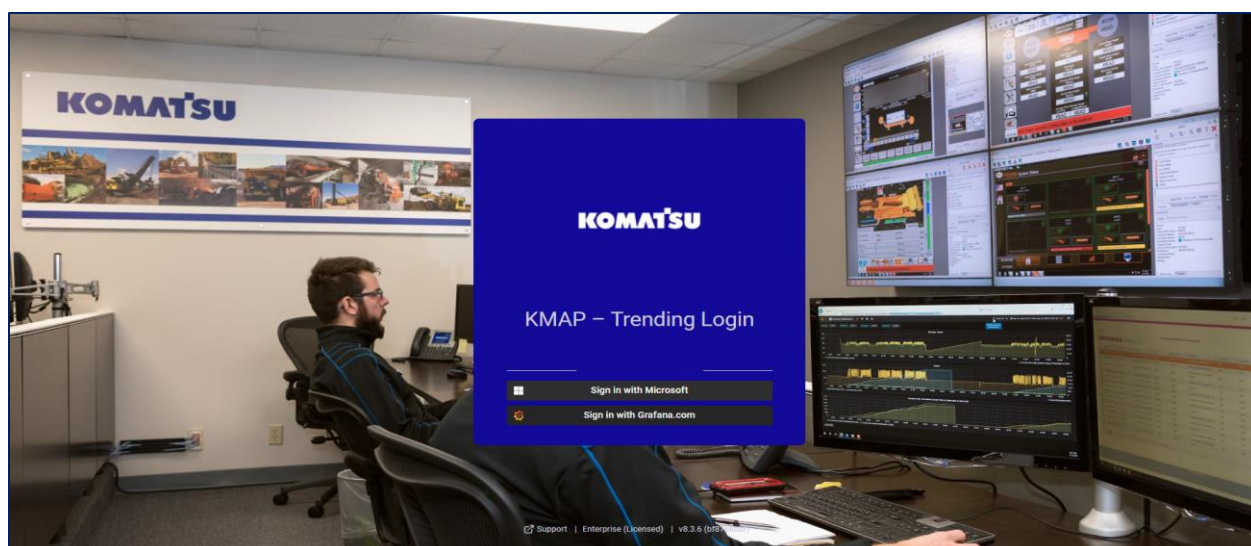
El análisis telemétrico a través del uso de plataforma de Grafana-Prevail, estará enfocado en poder entregar los conocimientos a los técnicos especialistas, con la delegación de responsabilidades para analizar datos telemétricos de los cargadores presentes en faena, permitiendo poder diagnosticar y atender imprevistos directamente. Con el fin de analizar en tiempo real las diferentes variables de trabajo del cargador. Datos como, voltajes, intensidad de corrientes, presiones hidráulicas, neumáticas, variables de temperaturas en el generador, motores eléctricos. Con esto será posible que los técnicos logren predecir fallas asociadas al funcionamiento del equipo. Lo que logrará poder optimizar los tiempos de respuestas frente a una falla en el equipo y fomentar el desarrollo profesional y la capacidad de respuesta frente a un imprevisto.

El mejoramiento continuo, permitirá los análisis constantes de las variables de trabajo, y debido a esto, permitirá optimizar los procesos en la ejecución de los trabajos y así poder mantener y entregar una prolongación de la vida útil de los componentes. Complementada con el uso de IA, para la predicción de fallas y evitar averías catastróficas en el equipo.



**Figura 2.8** Dashboards monitoreo remoto de condiciones de trabajo cargadore frontal.

Fuente: <https://kmap.datasolutions.komatsu/dashboard>



**Figura 2.9** Acceso a plataforma de monitoreo remoto.

Fuente: Komatsu Mining Analytics Platform – Trending

### **2.8.5 Indicaciones para mejorar el monitoreo telemétrico del cargador frontal**

Las condiciones de operación que presenta el equipo en terreno son de vital importancia. Dado que, actualmente, el contrato depende del “Centro Integrado de Monitoreo” esto va alineado con la tendencia del mantenimiento 4.0, y las últimas tecnologías para la optimización de operaciones en faenas. Este departamento está enfocado en realizar telemetría de equipos, tribología, inspecciones predictivas y soporte técnico especializado, en un único modelo integrado. Por lo que permite mantener una vigilancia continua de los equipos.

Por lo que en otras faenas esta acción no está implementada, con esta propuesta se busca descentralizar la telemetría, proporcionando capacitación al personal técnico para ejecutar análisis básicos y avanzados de condiciones de operación y trabajos de los diferenciados sistemas y subsistemas del equipo. De este modo, se pretende reducir la dependencia del centro integrado de monitoreo. Al otorgar una capacitación adecuada al personal técnico se logrará una interpretación instantánea y precisa de los datos otorgados por la máquina en tiempo real.

Una vez obteniendo las capacidades de realizar predicción de fallas y/o averías, así mismo hacer monitoreo, se entregarán las herramientas tecnológicas necesarias.

Entre el programa de capacitación para los técnicos, contemplará módulos básicos e intermedios en donde se les explicarán los conceptos asociados a la telemetría, creación de dashboards, cómo funcionan los sistemas en el cargador frontal, y como generar reportes técnicos. Esto será clave para el éxito del programa de capacitación de los técnicos que realizaran este trabajo.



**Figura 2.10** Centro integrado de monitoreo Komatsu.

*Fuente: Komatsu Mining Analytics Platform – Trending*

En la génesis del proceso, como se muestra en la figura 2.10, los técnicos contarán con supervisión durante un período, en el que se les otorgará retroalimentación continua para reforzar los puntos débiles identificados según los análisis realizados. A su vez, las personas designadas, deberán mantener reuniones periódicas con el Centro Integrado, con el fin de acordar directrices según los diferentes análisis y estrategias de mantenimiento predictivo.

## **2.9 Introducción a nueva estrategia de mantenimiento preventivo**

Cuando se pretende disminuir la frecuencia de detenciones no programadas aprovechando el momento oportuno, tanto como para producción como para el mantenimiento. Permite, además preparar las herramientas, repuestos e insumos y seleccionar al personal capacitado.

Como parte del mantenimiento se encuentran los servicios de inspección cíclico, para prevenir, detectar o corregir defectos en el equipo. (**Manual de Mantenimiento, Alejandro J. Pistarelli**).

El mantenimiento preventivo es, un enfoque proactivo cuyo objetivo principal es prevenir fallas en los equipos, minimizar los tiempos de inactividad y prolongar la vida útil de los equipos. Este incluye pautas de inspecciones diarias, lubricación, limpieza, calibración y el reemplazo de algún componente. El mantenimiento preventivo se controla por el avance de horómetro del equipo, con una frecuencia de 250 horas efectivas de trabajo. Se asignan responsabilidades a los técnicos de mantenimiento para la ejecución, registrando y evidenciando las tareas en un documento físico. Sin embargo, las pautas de mantenimiento actuales de los equipos han demostrado ser muy generalizadas, lo que genera una serie de carencias. Estas pautas no poseen un enfoque claro en los subsistemas de cada sistema ni en los mantenimiento de los componentes más críticos. Como resultado, existe una baja confiabilidad en el servicio de postmantenimiento.

La digitalización es la clave del éxito, según datos recientes, de una encuesta realizada por “Gartner, el 70% de las empresas industriales han implementado monitoreo y diagnóstico basado en IOT en tiempo real, lo cual es una parte fundamental del mantenimiento preventivo digitalizado. Fuente: Gartner, "Predicts 2019: IoT and the Intelligent Edge Drive New Business Models," 2018.

Por lo que hoy en día la digitalización llegó para quedarse y en el caso del mantenimiento no es una excepción.

Además, al realizar la digitalización del proceso de mantenimiento preventivo, se podrán agilizar los procesos y realizar mejoras en la eficiencia de los procesos, reduciendo costos.

La nueva estrategia de mantenimiento preventivo buscará mejorar las carencias, mejorando las pautas dándole un enfoque más estructurado y específico para cada sistema. Innovando en la digitalización de pautas de mantenimiento preventivo. Se proporcionarán tablets, que contarán con un sistema que les permitirá registrar con fotografías de cada anomalía que se pueda ir detectando en el momento de ejecución.

Al contar con la documentación digitalizada permitirá análisis más precisos sobre las fallas, facilitando y otorgando soluciones permanentes.

## **2.10 Digitalización del proceso de mantenimiento preventivo**

La estrategia de digitalización del proceso de mantenimiento preventivo es un paso significativo hacia la implementación, ya que modernizará el proceso de ejecución para los técnicos, quienes podrán apoyarse en las tecnologías para llevar a cabo correctamente la actividad, recopilando toda la información potencial. A través de esta plataforma se podrá obtener una lista chequeo de actividades de mantenimiento preventivo, en la que se detallarán las tareas que el técnico deberá ejecutar, a su vez la opción de poder evidenciar hallazgos de condiciones que se pueden reparar. Permitiendo tener acceso a manuales, planos de los diversos circuitos existentes en el cargador, con esto se obtendrá un trabajo de calidad, rápido y eficiente en el equipo.

Con detalles importantes a la hora de analizar o diagnosticar una falla asociado a un imprevisto, se contará con toda la información documentada.

A través de la plataforma Prometheus, software especializado para digitalización del mantenimiento lo cual es integrado a SAP PM, por lo que, con cada acción realizada, el planificador contará con toda la información requerida para planificar y programar el siguiente mantenimiento de la flota del cargador frontal.

☐	🔍 Front Frame 1850-02305-103	7603 - Front Frame	Materiales
☐	🔍 Rear Frame 1850-02305-104	7604 - Rear Frame	Materiales
☐	🔍 Klenz Struct 1850-02305-105	7605 - Klenz Structure	Materiales
☐	🔍 Rear Axle 1850-02305-106	7606 - Rear Axle	Materiales
☐	🔍 Sheet Metal GP 1850-02305-107	7607 - Sheet Metal Group	Materiales
☐	🔍 Bucket Assy 1850-02305-108	7608 - Bucket Assembly	Materiales
☐	🔍 Ladder Assy 1850-02305-109	7609 - Ladder Assembly	Materiales
	🔍 Power Unit Components 1850-02305-200	7502 - Power Units	Materiales
☐	🔍 Power Unit Installation 1850-02305-201	7610 - Power Unit Instal	Materiales
☐	🔍 Klenz Assembly 1850-02305-202	7611 - Klenz Assembly	Materiales
	🔍 Fuel System 1850-02305-203	7612 - Fuel System	Materiales
	🔍 Exhaust System 1850-02305-204	7613 - Exhaust System	Materiales
☐	🔍 Radiator Piping 1850-02305-205	7614 - Radiator Piping	Materiales

**Figura 2.11** Diseño referencial de pautas digitalizadas para un mantenimiento programado.

Fuente: Prometheus.

Mantener y evidenciar cada informe técnico a través de plataformas digitales, es un proceso de suma importancia y crucial para cerrar el ciclo de retroalimentación entre el departamento de mantenimiento situado en faenas y fábrica. En la actualidad se elaboran informes de manera manual que no están presentes en servidores si no que, en algunos correos electrónicos, con esta estrategia, se busca mejorar significativamente la comunicación, otorgando facilidad de acceso a informes de fallas ocurridos en equipos a nivel global, para poder así acceder a dicha información y mantener un proceso con una constante actualización dentro del proceso de mejora continua. Por lo que será ejecutado de la siguiente manera.

**2.11 Establecimiento de sistema centralizado de información técnica**

Documents	
Name	Modified
001. SSOMA	October 21
002. PLANIFICACIÓN	September 30
003. OPERACIONES MANTENIMIENTO	September 30
004. CONFIABILIDAD	September 30
005. ADMINISTRACIÓN	September 30
006. CAPACITACION	September 30
007. GESTION ADMINISTRATIVA_EXPEDITORIA	September 30
008. INGENIERO DE SERVICIO	September 30
009. GERENCIA MEJORA CONTINUA & ESTANDARIZACION	September 30

**Figura 2.12** Referencial digitalización de informes de mantenimiento preventivo

Fuente: SharePoint, Microsoft

En la figura 2.12 se observa de cómo será configurada la plataforma seleccionada (referencial), en donde se contarán con carpetas virtuales de mantenimiento en plataforma Microsoft SharePoint, en donde se genere el reporte y éste es sincronizado a la nube virtual dispuesta para el mantenimiento de la flota de equipos. De modo que se crearán carpetas categorizadas por equipos y sistema del cargador frontal. Así se lograrán organizar los diferentes informes, lo que permitirá a cada técnico poseer acceso a dicha información.

## **2.12 Estandarización de informes técnicos**

Esta plantilla estará en digital en cada Tablet, con la finalidad que los técnicos al momento de realizar el informe, este sea sincronizado con SharePoint.

Anexo 1 (Plantilla Informe pág. 71)

Plantilla estandarizada para la redacción de informes técnicos, estos incluirán:

- Identificación del equipo y horas de trabajo.
- Señalar sistema en falla.
- Descripción en su totalidad de la falla. (Entrevistar al operador).
- Acciones correctivas realizadas para solucionar la avería.
- Técnico encargado del trabajo.
- Observaciones detectadas.

En la imagen 2.13, se puede observar el formato estandarizado para la ejecución de informes técnicos referentes a mantenimiento correctivo realizados en el cargador. Esta solución digitalizada, otorgará el acceso garantizado para poder obtener información sobre las fallas ocurridas, con esto se busca poseer acceso radio a la información. Mejorando los tiempos de respuestas, eficiencias y fomentando el mejoramiento continuo del proceso de mantenimiento.

## KOMATSU

Reporte de falla CF722


---

**1. Antecedentes del equipo**

Fecha	22-06-24	Componente	Falla bomba principal 4
Responsable	Jorge Grover	Numero de Parte	R4305931
Cargo	ING. SERVICIO	Horas de componente	3446
Nº de Contacto	460009065	Serie de equipo	2304
Faena	Radomiro Tomic	Equipo (número interno)	CF722
Cliente	Codeico	Horometro del Equipo	3446

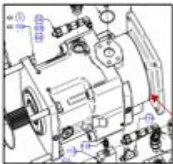
**2. Antecedentes.**

❖ Equipo presenta fuga de aceite hidráulico, proveniente entre bomba 4 y 5, encontrándose que fuga proviene desde la bomba 4, en carcasa de la bomba. Se traslada equipo a taller para realizar cambio del componente.



**3. Evaluación.**

❖ Se aprecia pequeña apertura de carcasa de la bomba por donde proviene fuga.




Faena Radomiro Tomic, Calama  
Página 1 de 3

## KOMATSU


Reporte de falla CF722

---

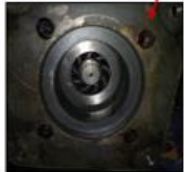
❖ Se encontró perno fracturado en interior de bomba, correspondiente adaptador para acople de bomba.



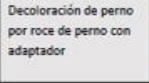
Perno fracturado




Se aprecia orilla de playa, debido a cargas cíclicas.



❖ Se chequean pernos de adaptador, evidenciado daño en hilo iniciales de perno debido a finalización de hilo hembra en carcasa de bomba, roce de perno por soltura de adaptador.



Decoloración de perno por roce de perno con adaptador



Daño de hilos iniciales del perno



Faena Radomiro Tomic, Calama  
Página 2 de 3

## KOMATSU

Reporte de falla CF722

---

❖ Se realizó medición de perno midiendo 71mm y profundidad del hilo hembra de la bomba midiendo 71mm.

**4. Conclusión.**

- De acuerdo con los antecedentes recopilados, se determina como causa raíz dimensión de largo de perno inadecuada. Produciendo un torque falso en conjunto adaptador bomba, permitiendo movimiento del adaptador, produciendo la fractura del perno por fatiga y el daño del sello.
- Se enviará bomba a personal PSG para evaluación.

Faena Radomiro Tomic, Calama  
Página 3 de 3

**Figura 2.13** Formato digital para informes técnicos de mantenimiento

Fuente: biblioteca digital KMC.

### 2.13 Mejora en la precisión de planificación del mantenimiento

La precisión de una planificación de mantenimiento preventivo consiste en poder programar los trabajos a ejecutar en la intervención del equipo, de manera detallada y oportuna. A través de esto se logrará asegurar con todos los recursos para la ejecución de un correcto mantenimiento preventivo.

Se realizará una planificación colaborativa, involucración de los técnicos en las reuniones de planificación del mantenimiento, en vista que aportará con el conocimiento técnico y por lo demás existirá una comunicación mucho más fluida entre los diferentes equipos dentro de la organización. La información entregada por el personal técnico los involucrará debido a que se sentirá escuchado y valorado en la toma de decisiones, lo que logrará la ejecución del mantenimiento más eficiente y efectivo. Así mismo el departamento de bodega – logística participará, otorgando el inventario de repuestos e insumos requerido para dicho trabajo.

Finalizando con la gestión de backlogs; para aumentar y priorizar las tareas programas según la criticidad, esto puede ser:

- 1 a 7 días criticidad alta.
- 7 a 21 días criticidad media.
- 21 a 30 días criticidad baja.

Desglose con detalles de costos asociados a contar con cuenta Salesforce para un especialista de mantenimiento.

Plan Salesforce	Costo Mensual por Usuario (USD)	Costo Anual por Usuario (USD)	Características Principales
Salesforce Starter Suite	\$25	\$300	Gestión de contactos y clientes potenciales, plantillas de correo, informes personalizables, integración de correo electrónico.
Salesforce Professional Suite	\$100	\$1200	Pronósticos, automatización adicional, personalización, contratos, productos y libros de precios, generación de cotizaciones.
Salesforce Enterprise Suite	\$165	\$1980	Uso de API, procesos de aprobación automatizados, automatización de flujos de trabajo, análisis de oportunidades.
Salesforce Unlimited Suite	\$330	\$3960	Funcionalidades avanzadas de IA, inteligencia conversacional.

**Tabla 2.5** Cotización de cuenta Salesforce.

Fuente: (Salesforce,2024)

En base a estos datos, se realizará la programación de ejecución de backlogs asignando los recursos necesarios.

Equipo	Tipo OS	OS	Texto
221	LM02	6263712	PCR - caja de transmisión
221	LM02	6266048	PCR - cilindro volteo derecho
221	LM01	6272398	bks-p2-reparar fisuras inferior balde
221	LM01	6274770	bks-p1 reparar grieta 9" placa lateral
221	LM01	6276890	BKM-cambio baranda trasera capot-p2
221	LM01	6276891	bks-ing-p2-reparar base soporte baranda
221	LM01	6279177	bks-ing-p3-reparar fisura anillo oreja b
221	LM01	6279230	BKM-reponer perno soporte radiad lado izquierdo
221	LM01	6280662	BKM- cambio de manguito dañado bomba Brower
221	LM01	6280663	BKS-realizar repa. de fisuras en klenz

**Tabla 2.6** Carga de backlogs levantados en una inspección programada.

Fuente: Prometheus / SAP.

En tabla señalada 2.6 se puede observar con las oportunidades de mejora a planificar para un próximo mantenimiento programado. Estos backlogs ejecutables son levantados en las horas de inspecciones programadas en los equipos de carguío.



**Figura 2.14** Seis principios de la planificación del mantenimiento.

Fuente: (fractal,2024)

*“La finalidad de una planificación estratégica del mantenimiento, es optimizar recursos y prevenir fallas”*

## 2.14 Capacitación técnica hacia mantenedores electromecánicos

Hito 1 / 184 hrs	
Curso	
<b>Técnica</b>	FUNCIONAMIENTO & MANTENIMIENTO CARGADOR I
	FUNCIONAMIENTO & MANTENIMIENTO CARGADOR II
	FUNCIONAMIENTO & MANTENIMIENTO CARGADOR - SISTEMAS AUXILIARES
	FUNCIONAMIENTO & MANTENIMIENTO CARGADOR - SISTEMAS HIDRÁULICOS
	ACREDITACIÓN FUNCIONAMIENTO & MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
<b>Conductual</b>	COMUNICACIÓN ESPECIALISTAS
	SEGURIDAD ESPECIALISTAS
	TALLER DE DESARROLLO PROFESIONAL (ESPECIALISTAS)
	POWER POINT
	EXCEL INTERMEDIO

**Figura 2.15** Listado de cursos hito 1 capacitación de técnicos electromecánicos.

Fuente: centro de formación Komatsu (CFK).

Hito 2 / 176 hrs	
<b>Técnica</b>	TESTEO & AJUSTE CARGADOR I
	TESTEO & AJUSTE CARGADOR II
	Diagnóstico Cargador I
	Diagnóstico Cargador II
	ACREDITACIÓN FUNCIONAMIENTO & MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO CARGADORES
	ACREDITACIÓN FUNCIONAMIENTO & MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO CARGADORES
<b>Conductual</b>	PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO KOMATSU
	ANÁLISIS CAUSA RAÍZ
	REDACCIÓN DE INFORMES ESPECIALISTAS
	Sistema de gestión preventivo Komatsu

**Figura 2.16** Listado de cursos hito 2 capacitación de técnicos electromecánicos.

Fuente: centro de formación Komatsu (CFK).

En las figuras 2.15 y 2.16 se considera la malla de desarrollo laboral técnicos para mantenedores, al finalizar estos programas de mantenimiento, los técnicos deberán ser evaluados para obtener las certificaciones que acrediten el conocimiento en los diferenciados sistemas del cargador frontal.

Implementación estratégica de capacitación hacia el personal técnico, cursos técnicos enfocados para adquirir el aprendizaje en áreas claves sobre el funcionamiento del equipo y sus distintos sistemas, tales como. Sistema de propulsión, sistema de control, sistema hidráulico, sistemas mecánicos. En consecuencia, se despliega un programa de desarrollo de competencias técnicas.

Con el programa de desarrollo técnico para electromecánicos, será beneficioso para ambas partes, debido a que la empresa les otorgará capacitaciones específicas para cada área, de este

modo se buscarán obtener ventajas como:

- Reducción de los tiempos en el diagnóstico de fallas asociadas a imprevistos.
- Independencia técnica
- Manejo de herramientas tecnológicas.

Costos Capacitaciones Técnicas Electromecánicas FY2025					Valor (USD)		
ÁREA		CASERONES	KOMATSU		973.19	FY2025	
BUSCADOR DE CURSOS					exc		
PROVEEDOR	NOMBRE UC	MODALIDAD	DÍAS	HORAS	HORAS PLAN	COSTO PARTICIPANTE	COSTO PARTICIPANTE
GESTIÓN ACADÉMICA	TESTEO & AJUSTE CARGADOR I	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936
GESTIÓN ACADÉMICA	TESTEO & AJUSTE CARGADOR II	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936
GESTIÓN ACADÉMICA	DIAGNÓSTICO CARGADOR I	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936
GESTIÓN ACADÉMICA	DIAGNÓSTICO CARGADOR II	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936
GESTIÓN ACADÉMICA	TESTEO & AJUSTE CARGADOR I	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936
GESTIÓN ACADÉMICA	TESTEO & AJUSTE CARGADOR II	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936
GESTIÓN ACADÉMICA	DIAGNÓSTICO CARGADOR I	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936
GESTIÓN ACADÉMICA	DIAGNÓSTICO CARGADOR II	PRESENCIAL	3.0	24	72	450	\$ 437,936

**Tabla 2.7** Costos asociados a capacitaciones técnicas a personal electromecánico de faenas

Fuente: centro de formación Komatsu (CFK)

En tabla 2.7, se presentan los costos asociados a las capacitaciones para los técnicos electromecánicos para el año fiscal 2025 (fiscal year), enfocados en que puedan desarrollar y mejorar las competencias de diagnósticos de fallas asociadas a imprevistos en el cargador frontal. Todos estos cursos serán de carácter presencial, lo que facilitará el aprendizaje de cada técnico, utilizando los simuladores de diagnósticos y el uso de softwares. El objetivo es poder minimizar el impacto provocado a la operación del equipo por las fallas.

La inversión de formación del personal muy relevante y fundamental para esta propuesta de mejoramiento continuo en el mantenimiento, otorgando continuidad operativa para el equipo y reduciendo los costos por detenciones no programadas.

### **2.15 Aseguramiento de Actualización de información continua**

Cada técnico especialista, deberá mantener y corroborar que la información se encuentre actualizada, para asegurar este trabajo, se deberá entregar un reporte diario. La finalidad es que los informes que se tengan acceso reflejen siempre el estado más reciente y el plan de acción tomado para reparar la avería del equipo. Con esto se robustecerá la estrategia de mantenimiento, donde se lograrán optimizar las comunicaciones y la toma de decisiones.

### **2.16 ¿Qué es un análisis AMEF (Análisis de Modos de Fallas y Efectos)?**

La sigla AMEF significa Failure Mode and Effect Analysis o, en español, Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMEF). En este contexto, la falla significa pérdida de funcionalidad, mientras que «modo de falla» designa la manera como se produce la falla. Y el objetivo es poder otorgar información para poder generar planes de acción ante estas eventualidades.

#### ***2.16.1 Diferencias entre fallas y modos de fallas***

Modo de falla: Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien sistema o proceso puedan fallar. Es mucho más preciso distinguir entre “falla funcional” (estado fallido) y “modo de falla” un evento que podría causar un estado de falla). Esto lleva una definición de falla más precisa (**John Moubray, 2º edición**).

*“Se define falla como la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera que realice”.*

*“Un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional”*

### 2.16.2 Categorías de modos de fallas

Algunas personas consideran el mantenimiento se trata únicamente de solucionar el deterioro. Algunas inclusive llegan a especificar que el AMEF solo debería ser aplicado a sus bienes en el caso deterioro, y deberían ignorar otras categorías de fallas (tales como errores humanos y defectos de diseño). Desafortunadamente para ellos, el deterioro causa un porcentaje sorprendentemente pequeño de las fallas. En estos casos, restringir el análisis al deterioro

### 2.16.3 Asignación de puntuaciones de riesgos

Para priorizar los modos de falla, se asignan puntuaciones a tres factores claves:

- Severidad (S): corresponde al grado de impacto de la falla, en la operación del equipo.
- Ocurrencia (O): corresponde a la frecuencia o probabilidad de que ocurra la falla.
- Detección (D): la probabilidad de que la falla sea detectada antes de que se produzca una falla mucho más grande.

Estas puntuaciones se multiplican para obtener el **Número de Prioridad de Riesgo (NPR)**, que permite priorizar qué fallas deben ser abordadas primero.

Ecuación para cuantificar el riesgo que conlleva una falla en el equipo.

$$NPR \text{ (Número Prioridad de Riesgo)} = Severidad(S) \times Ocurrencia (O) \times Detención (D)$$

#### **Ecuación 2.2** Obtención de NPR en AMEF

Fuente: *predictiva21.com*

### 2.16.4 Interpretación del NPR

- NPR < 50: generalmente considerado de bajo riesgo.
- NPR 50-100: riesgo moderado, puede necesitar acción correctiva.
- NPR > 100: alto riesgo, se recomienda acción prioritaria o contar con un plan de acción.

Este análisis fue elaborado para los tres sistemas presentes en el quipo con más horas de imprevistos.

En tabla 2.8 (pág. 79) se puede observar el análisis al sistema asociado a componentes mayores, entre los más críticos se encuentran; falla en sellos mecánicos, asociados a los actuadores de levante y volteo NPR de 112. Este modo de falla señala que corresponde al más crítico, esto se debe al valor elevado en la severidad y ocurrencia de fallas.

La contaminación ambiental es un tema crítico, es por esta razón que el plan de acción a ejecutar otorgará mayor resguardo frente a estas fallas y se reducirá el riesgo de ocurrencia.

Sistema	Número	Falla Funcional	Número	Modos de falla	Efecto	S (Severidad)	Causa	O (Ocurrencia)	Controles	D (Detectabilidad)	NPR(Número prioridad de Riesgo)	Acciones recomendadas	S (Severidad)	O (Ocurrencia)	D (Detectabilidad)	NPR (Después de las acciones correctivas)
Componentes mayores. (Cilindros hidráulicos de dirección, pantógrafo, cilindros de levante, motor diésel, balde, generador y radiador)	1A	Daños estructurales en equipo y componentes mayores	1A.1	Golpes excesivos en estructura equipo	Daños en puño de unión balde-pantógrafo.	5	Daño estructural grave, reparación inmediata.	4	Inspección realizada en base a pauta de inspección diaria.	3	60	verificar lubricación en puntos de unión.	2	2	1	4
			1A.2	Fallas estructurales debido a falta de inspección estructural de equipo.	Fisura de gran envergadura en estructura	3		4		3	36	Realizar END en equipo, en cada inspección programada.	3	1	1	3
			1A.3	Fallas asociadas a problemas en sensores de posición.	rotura de stop blok en articulaciones y golpes estructurales.	6		3		2	36	verificar correcta calibración de límites de sensores de posición.	2	2	2	8
			1A.4	Falla en sellos mecánicos de actuador.	derrames de fluidos hidráulicos.	8	Derrame de fluidos, contaminación ambiental.	7		7	112	Ejecutar campaña de cambio de sellos según PCR	3	2	3	18
			1A.5	Falla por desgaste excesivo en dientes de balde y/o caídas de elementos de desgaste.	daño en estructura balde y daños en chancador.	5	Daño estructural grave, reparación inmediata.	2		4	40	Realizar ejecución de pauta de elementos de desgaste.	2	1	1	2
			1A.6	Falla por ruido anormal en brazos de levante	Fluido en brazos de levante	4		4		5	80	Ejecutar pauta de lubricación	1	1	1	1

**Tabla 2.8** AMEF de sistema “Componentes mayores” cargador frontal

Fuente: elaboración propia, en base a histórico data 2023

El segundo sistema, corresponde a los ruidos emitidos en los puños de unión balde-pantógrafo con un NPR de 80. Se contempla que las medidas correctivas, poseen un cambio significativo en el NPR dejándolo en el nivel mínimo. Señalando que las pautas asociadas al sistema de lubricación son efectivas y deben mantenerse permanente en cada inspección al equipo. Evidentemente con estas acciones se logrará mitigar los riesgos de ocurrencia de estos imprevistos.

En la tabla 2.9 (pág. 81) se puede observar el análisis al sistema asociado a fallas al sistema hidráulico, entre los más críticos se encuentra la “Pérdida de presión en el sistema hidráulico” con un NPR Inicial 120 (Crítico), el impacto en la producción es alta, en efecto al presentar problemas de presión hidráulica en el circuito principal de levante y volteo, el equipo queda fuera de servicio. Visto de esta forma, la inclusión de pruebas dinámicas en pauta y tomar parámetros de trabajo comparándolos con datos del equipo, se reducirán los riesgos de fallas del sistema, dejando el NPR (8) en un nivel aceptable.

Modo de falla asociado al sistema de dirección del cargador, este es un sistema crítico para la operación del equipo, en donde la pérdida de referencia para la dirección tendrá graves consecuencias, al detectarse con un NPR 180, y con el plan de acción se reduce considerablemente el indicador, aunque al ser un sistema crítico en el cargador, requiere de un monitoreo constante.

- Acción correctiva recomendada: implementación de un cambio de sellos cada 1.000 horas de operación.
- NPR Después de la acción correctiva: 12 (aún es un valor alto, pero ha descendido considerablemente).

Modo de falla por exceso de temperatura en el aceite hidráulico, lo que posee una severidad elevada y la diminuta ocurrencia y la detectabilidad, reducen el riesgo de fallas en el sistema hidráulico por alta temperatura del fluido, lo que puede provocar daños irreversibles en el cargador.

Como plan de acción correctivo, se recomienda revisar las condiciones de operación y limpieza de radiador cada 500 horas. Además, el uso adecuado de lubricantes según el indicado por el fabricante del equipo.

Modo de falla por roturas de flexibles hidráulicos, está asociado al roce que posee el flexible con la estructura equipo y otros componentes, esta categorizado con un alto riesgo, esto se debe a la severidad de los derrames de fluidos, como acción correctiva implementada es realizar inspecciones visuales del estado que se encuentren estos, teniendo un indicador inicial NPR Inicial 90. Con el plan de acción se logrará reducir a NPR 12.

Sistema	Número	Falla Funcional	Número	Modos de falla	Efecto	S (Severidad)	Causa	O (Ocurrencia)	Controles	D (Detectabilidad)	NPR(Número prioridad de Riesgo)	Acciones recomendadas	S (Severidad)	O (Ocurrencia)	D (Detectabilidad)	NPR (Después de las acciones correctivas)	
Sistema Hidráulico (Valvulas de alivios, valvulas del sistema de dirección, rotura de flexibles, valvula ajuste presión,	2A	Perdida de presión en sistema hidráulico	2A.1	Sin movimientos principales en equipo (dirección, levante y volteo).	Pérdida de tiempo mientras se repara el imprevisto	6	Falla de bomba hidráulica.	4	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	5	120	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	2	2	2	8	
			perdida de producción														
		Fugas en circuito hidráulico	2A.2	Derrame de fluidos, contaminación medio ambiental.	contaminación ambiental.	10	Daños de sellos mecánicos, rotura de componentes hidráulicos.	4	Señaléticos de prevención en el área de trabajo; Control de ingreso con EPP al área de trabajo y mantener medidas de mitigación y/o contención.	2	80	Se deberá realizar cambio de sellos hidráulicos, en bridas y valvulas cada 10000 hrs	3	1	2	6	
		Fallas sistema de dirección	2A.3	Equipo sin sistema de dirección.	perdida de control de dirección del equipo. Choques	9	Falla sensor de posición de dirección	4	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	5	180	implementación por mc cambio de sellos cada 1000 hrs de operación de equipo.	2	2	3	12	
		Falla en sistema de pilotaje	2A.4	Movimientos lentos de equipo	movimientos lentos en actuadores.	3	Falla en regulador de presión	3		3	27	Realizar auditorías al cumplimiento del programa de mantenimiento	1	2	1	2	
		Exceso de temperatura en el aceite hidráulico	2A.5	alarma roja, equipo se detiene por seguridad.	Daño en fan blower de equipo.	10	exceso de contaminación el celdas de radiador ( presencia de borra)	1	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	2	20	Implementar mecanismo de parada automático	5	1	2	10	
		Contaminación del fluido hidráulico con grasa	2A.6	Traspaso de grasa al sistema hidráulico general.	Contaminación de circuito hidráulico, fallas en sellos.	5	Falla de sellos retenedores de grasa y polvo	4	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	3	60	Evitar correo electrónico automático al cliente con su orden de pedido	2	2	2	8	
		Baja presión de presurización sistema hidráulico.	2A.7	alarma roja, equipo se detiene por seguridad.	Aumenta el tiempo de espera del cliente	5	Válvula de presurización estanque hidráulico en posición abierta	4	Operador cada vez que se va a subir al equipo, debe verificar posición de válvula.	4							
		Falla en cilindros hidráulicos	2A.8	by pass interno del actuador, movimientos lentos.	equipo opera de manera inadecuada, con movimientos lentos, provocando cuñidos de brazos de levante.	3	Falla de sellos internos	5	realizar prueba de estanqueidad interna.	6	30	Agregar reglas de validación al software	1	2	2	4	
		Fallas en solenoide de electroválvulas	2A.9	Sin movimientos secundarios en sistema hidráulico	Pérdida de tiempo mientras se realiza reparación de avería	10	Falla suministro de energía desde caja Turk.	3	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	5	150	Realizar auditorías al cumplimiento del programa de mantenimiento	1	1	2	2	
		Problemas en válvulas relief	2A.10	Falla en válvula de seguridad del sistema hidráulico (relief)	Fluido hidráulico retorna a tanque.	6	Falla de componente mecánico (válvula defectuosa)	3	Verificar funcionamiento de válvula a través de Linco.	3	54	Implementar lista de comprobación antes de enviar a empaque	1	1	3	3	
		Roturas de flexibles hidráulicos	2A.11	fugas de fluidos descontroladas.	contaminación ambiental.	10	Mal ruteo de líneas hidráulicas, falta de protección de flexibles con Covertec.	3	Durante ejecución de punto diario, se deberá revisar estado de flexibles y punto de conexión de líneas hidráulicas.	3	30	Evitar correo electrónico automático al cliente con su orden de pedido	1	1	3	3	
problemas de regulación de válvulas compensadoras de bombas principales.	2A.12	bajo flujo en sistema hidráulico	aviso en sistema Linco.	6	Alojamiento de contratuerca de regulador.	3	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	3	54	Implementar lista de comprobación antes de enviar a empaque	2	1	2	4			

Tabla 2.9 AMEF de sistema “hidráulico” cargador frontal.

Fuente: elaboración propia, información obtenida muestra año 2023.

En la tabla 2.10 (pág. 83) se puede observar el análisis al sistema asociado a fallas al sistema eléctrico, entre los más críticos se encuentran se encuentra la “Apagado intermitente en pantalla interfaz Lincs” problemas de conexión eléctrica, que pueden afectar la operación de la interfaz. Sistema crítico, con un NPR inicial (100) debido a que el equipo no posee suministro de energía en el monitor de interfaz, en efecto el equipo no puede operar, por no contar con visual de variables de trabajo, por ende, el equipo queda fuera de servicio. Como plan de acción, en cada mantenimiento se realizará la inspección asociada al circuito eléctrico de control 24V. En caso de encontrarse algún componente del circuito con daño, se deberá generar un backlog eléctrico para realizar la programación y cambio del componente dañado.

Modo de Falla en programa de Lincs, este es una falla crítica para la operatividad del equipo, el no almacenar información sobre las condiciones de trabajo y la interrupción intermitente por fallas en drive del programa, lo deja fuera de servicio NPR Inicial 80. Como acción correctiva es mantener actualizado el programa, verificando siempre la versión del software, NPR después de la acción correctiva 4, cada vez que se realice la actualización del software, el técnico deberá ocuparse de que la unidad USB, esta solo posea el ejecutable del documento a instalar, para evitar traspaso de virus hacia el sistema de navegación Lincs.

Modo de Falla en paradas de emergencias del cargador frontal, este dispositivo representa un impacto importante de seguridad operacional del cargador y a su vez la seguridad del operador, con un NPR Inicial 30, como plan de acción es poder verificar el funcionamiento de cada una de las paradas de emergencias con el equipo en funcionamiento, con esta acción permite corroborar el perfecto funcionamiento, asegurando la operatividad del sistema de seguridad, un NPR después de la Acción Correctiva 4.

Sistema	Número	Falla Funcional	Número	Modos de falla	Efecto	S (Severidad)	Causa	O (Ocurrencia)	Controles	D (Detectabilidad)	NPR(Número prioridad de Riesgo)	Acciones recomendadas	S (Severidad)	O (Ocurrencia)	D (Detectabilidad)	NPR (Después de las acciones correctivas)
Sistema eléctrico (Fusibles, relé, falla panel convertidor, Falla programa Lines, Falla YCU)	3A	Falla cebado generador	3A.1	Warning "Falla generador"	Alarma en pantalla Lines operador	3	corte anticipado de arranque equipo.	4	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	5	60	Realizar auditorías al cumplimiento del programa de mantenimiento	3	2	2	12
		falla motor (1,2,3 Y 4)	3A.2	sin propulsión	Equipo no puede desplazarse, debido a que presenta pérdida de propulsión.	10	Descuido del trabajador; No uso de elementos de protección personal	1	Señalética de prevención en el área de trabajo; Control de ingreso con EPP al área de trabajo	2	20	Implementar mecanismo de parada automática	2	1	2	4
		Apagado intermitente en Pantalla Lines	3A.3	Problema de conexión eléctrica.	operador queda operando sin interfaz	5	Exceso de vibración de cabina, provoca aflojamiento de conexiones eléctricas de pantalla interfaz.	4	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	5	100	Realizar auditorías al cumplimiento del programa de mantenimiento	2	1	5	10
		Falla traductor de corriente panel IGBT	3A.4	Aflojamiento por exceso de vibración y/o movimiento	Excesivas alarmas (Lines) de mantenimiento de problemas de transductor.		Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	2	20	Implementar mecanismo de parada automática	5	1	2	10		
		Falla a tierra	3A.5	Resistencia de aislación deficiente, por debajo de los 3K ohm	Excesivas alarmas de advertencias por falla a tierra(rango de trabajo >300 K ohm	10	Cable conductor positivo se encuentra en contacto con chasis de equipo.	1	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	2	20	Implementar mecanismo de parada automática	5	1	2	10
		Bajo voltaje de bus (línea común)	3A.6	Sin voltaje suficiente en la línea común.	Variación de tensión en la línea común.	6	Fusible de alto voltaje averiado.	4	Verificar continuidad de fusibles en cada pauta eléctrica	3	72	Enviar correo electrónico automático al cliente con su orden de pedido	2	1	2	4
		Falla de programa de Lines	3A.7	Operador con problemas en la operación de equipo.	Equipo no puede seguir operando, por no contar con visualización de parámetros de trabajos.	5	Parámetros fuera de rangos	4	Instalar actualización de software	4	80		3	2	2	12
		Falla en parada de emergencia	3A.8	Pulsador activo	Alarma roja en equipo, sin condición de arranque hasta reponer el pulsador de parada de emergencia.	3	Los campos del formulario en el software cambian por numeración; El trabajador no tiene suficiente destreza con el teclado.	5	Operador cada vez que se va a subir al equipo, debe verificar posición de paradas de emergencias.	6	30	Agregar reglas de validación al software	3	2	2	12
		Problemas de voltaje en condición de partida o arranque de equipo	3A.9	Bajo voltaje de batería	Sin condición de arranque de equipo, el voltaje debe ser superior a los 24V.	3	Problemas en sistema de carga (Alternador)	3	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	5	45	Realizar auditorías al cumplimiento del programa de mantenimiento	2	2	3	12
		Falla RTD	3A.10	Perdida de señal 24V	Problemas de propulsión en equipo.	desconexión eléctrica de sensor RPT.	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido		3	54	Implementar lista de comprobación antes de enviar a empaque	2	2	3	12	
		Alta temperatura en generador, motores eléctricos y paneles IGBT.	3A.11	Perdida señal 24V	Inhibición de propulsión	6	falla resistencia de RTD y/o problemas de baja velocidad Blower.	3	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	3	45	Enviar correo electrónico automático al cliente con su orden de pedido	2	3	2	12
		Joystick sin referencias (Dirección, levante, volteo avance y retroceso)	3A.12	Perdida señal red can	Joystick sin referencia, no generan movimiento alguno	5	Suministro de energía en Red Can	3	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	3	45	Implementar lista de comprobación antes de enviar a empaque	2	2	3	12
		Falla de generación	3A.13	perdida de sincronización sensor RPT	Sin generación	6	Problemas en RPT	3	Realización de mantenimiento preventivo de acuerdo al programa de mantenimiento establecido	3	54		2	2	3	12

**Tabla 2.10** AMEF sistema "eléctrico y control" del cargador frontal

Fuente: elaboración propia, información obtenida muestra año 2023

La adaptación del AMEF al sistema eléctrico y control del cargador frontal WE-2350 representa una contribución metodológica significativa al incorporar criterios específicos para la evaluación de componentes de alto voltaje operando en condiciones de altura y polvo característicos de la faena. Los parámetros de ocurrencia fueron ajustados basándose en datos históricos exclusivos de esta flota, estableciendo rangos probabilísticos que reflejan el comportamiento real de componentes críticos como los paneles convertidores IGBT y unidad VCU bajo las condiciones operativas particulares de la faena. La evaluación de la detectabilidad incluyó la consideración de las capacidades reales de monitoreo telemétrico mediante la plataforma Prevail-Grafana, permitiendo valoraciones más precisas que las obtenibles mediante criterios genéricos. El análisis integró, además, la evaluación de modos de falla específicos del sistema Lincs II versión 5.9, estableciendo un precedente analítico para la evaluación de sistemas de control avanzados en equipos de carguío de alta tecnología operando en ambientes mineros extremos.

### **2.16.5 Adaptaciones metodológicas para cargadores frontales P&H WE-2350**

La aplicación del AMEF en los cargadores frontales P&H WE-2350 presentes en Minera Caserones exigió una adaptación sustancial de la metodología convencional, atendiendo a las particularidades técnicas y operativas de estos equipos de carguío. La complejidad inherente a la tecnología híbrida diésel-eléctrica del modelo WE-2350, sumada a las exigentes condiciones operativas a 4600 m.s.n.m., demandó modificaciones significativas tanto en los criterios de evaluación como en los umbrales de aceptabilidad establecidos por la metodología tradicional.

¿Cómo abordar adecuadamente los modos de falla exclusivos de un sistema de propulsión eléctrica que opera bajo ciclos de carga intensivos y en condiciones ambientales extremas?

La respuesta implicó personalizar los criterios de severidad, adaptándolos a las consecuencias específicas que una falla genera en la operación minera continua. Por ejemplo, en el caso del sistema eléctrico de alto voltaje, los criterios convencionales resultaban insuficientes, por lo que fue necesario desarrollar parámetros que consideraran no solo el impacto inmediato de la indisponibilidad del equipo, sino también los efectos en la cadena productiva completa y los tiempos de respuesta condicionados por la ubicación remota de la operación. Los criterios de ocurrencia también demandaron ajustes significativos, pues la base de datos histórica revelaba patrones de falla particulares asociados a la interacción entre sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos en esta configuración específica. La valoración de ocurrencia incorporó factores como la altura geográfica, temperaturas extremas y las cargas de trabajo cíclicas que caracterizan la operación, generando rangos diferenciados que permitieran una evaluación más precisa de la probabilidad real de materialización de cada modo de falla.

La incorporación del análisis distribución de Weibull como complemento al AMEF tradicional constituye otra innovación metodológica significativa en este estudio. La integración de parámetros de forma ( $\beta$ ) y escala ( $\eta$ ) derivados del comportamiento histórico específico de la flota permitió una caracterización más precisa del comportamiento de falla, permitiendo establecer

umbrales NPR dinámicos en función del régimen de desgaste particular de cada sistema. Las ponderaciones relativas entre los tres factores del NPR también fueron recalibradas, asignando un peso adicional a la severidad en sistemas críticos como el hidráulico y el eléctrico, dada su incidencia directa en la seguridad operacional además del impacto productivo. Esta modificación responde directamente a la naturaleza de la operación minera, donde ciertos modos de falla no solo afectan la disponibilidad, sino que también pueden comprometer aspectos de seguridad, especialmente en un equipo de las dimensiones y características del WE-2350. El resultado de estas adaptaciones es un AMEF personalizado que trasciende la aplicación mecánica de la metodología convencional, ofreciendo una herramienta de análisis altamente sensible a las particularidades técnicas y operativas de los cargadores frontales P&H WE-2350 en el contexto minero de alta cordillera, y estableciendo precedentes metodológicos valiosos para futuros análisis en equipos de similares características dentro de la industria.

## **2.17 Conclusiones de análisis modo efecto fallas (AMEF) en cargador frontal.**

La finalidad de realizar este análisis AMEF en los imprevistos de los sistemas críticos del equipo, que poseen un elevado indicador de horas asociados a imprevistos, ha logrado indicar y precisar cuáles son los sistemas más determinantes de causantes de fallas. Con estas consideraciones se logrará obtener una nueva estrategia y mejorar el programa de mantenimiento para los cargadores frontales. Señalando las causas principales de fallas, su criticidad medida en número de prioridad de riesgo (NPR), y las acciones correctivas necesarias para reducir el NPR y el número de fallas.

Entre las dallas más críticas, según el indicador otorgado por NPR, se destacan aquellas asociadas a componentes mayores, se puede destacar las fallas ocurridas en los sellos mecánicos de los cilindros hidráulicos de levante y volteo.

El análisis AMEF desarrollado en este trabajo se aplica a la flota de cargadores frontales WE-2350 que operan en Minera Caserones, siendo uno de los equipos de carguío más expuesto a trabajos en condiciones extremas de carga y ciclos de trabajo.

Es importante indicar que se logran identificar “modos de falla específicos” que afectan a los diferentes sistemas y subsistemas del cargador frontal. Entre los tres sistemas con mayor cantidad de horas por detenciones no programadas.

A partir de este análisis detallado para los sistemas eléctricos, hidráulicos y componentes mayores del equipo, se propone una serie de desarrollos propios enfocados en reducir el NPR (Número de Prioridad de Riesgo) de los ítems más críticos.

1.- Instalación de sensores Ibutton en las articulaciones, donde se realizan grandes esfuerzos de cargas que permitirá anticipar fallas por fricción anómala o pérdida de lubricación mediante la obtención del histórico de las temperaturas hasta de una semana de trabajo.

2.- Las fallas asociadas al segundo sistema más crítico, se encuentra el sistema hidráulico, por lo que existen fallas de alto impacto en el circuito hidráulico, entre ellas se encuentran la pérdida de presión en el circuito, roturas de flexibles por roce con estructura de equipo. Lo cual afectan directamente la operatividad del equipo, provocando la indisponibilidad del equipo.

3.- Finalizando con el sistema eléctrico de potencia y control. Fallas ligadas a problemas con la interfaz del equipo (HMI), problemas recurrentes en el software Lincs y activación de paradas de emergencias. Lo que afectan la seguridad y disponibilidad del cargador.

Siendo estas propuestas de mejoras, se logrará convertir el análisis de criticidad en intervenciones generadas en las inspecciones diarias programadas en el equipo, por lo que con estas prácticas será fortalecida la estrategia de mantenimiento predictivo, donde se verá reflejado el indicador de confiabilidad operativa para la flota de cargadores presentes en faena.

### **2.17.1 Recomendaciones técnicas**

- Implementar el sistema de monitoreo remoto.
- Otorgar capacitaciones técnicas a los electromecánicos.
- Mejorar los procesos de mantenimiento.

- Realizar revisión de manera regular el AMEF.

## 2.18 Conclusión de objetivo específico capítulo 2

“Mejorar las técnicas de monitoreo de condiciones y análisis de datos telemétricos, para perfeccionar la precisión sobre las predicciones de fallas, optimizando el recurso de planificación, creando una estrategia de precisión en esa área”.

En conclusión, en este capítulo se define el mejoramiento continuo, a su vez dan a conocer nuevas metodologías para implementar y cómo implementar propuesta de mejoras efectivas para ser implementadas dentro del contrato de servicio. Además, se realiza un estudio detallado sobre los planes de mantenimiento existentes en Joy Global. Siendo IPSECA, la metodología de mantenimiento utilizada, permitiendo identificar las limitaciones críticas en la gestión actual del mantenimiento. En donde se detectan una baja capacidad como poder predecir fallas, por lo que los tiempos de respuestas son elevados, frente a una falla y la deficiencia en el uso de recursos tecnológicos para realizar un monitoreo.

En efecto para comprender el gran impacto de estas deficiencias, se da a conocer un comparativo de benchmarking <sup>5</sup>por lo que señala la ubicación a nivel nacional en que se encuentra posicionada la faena Caserones, posicionándose a nivel nacional en los últimos lugares según los indicadores de mantenimiento. Esto resulta y señala la urgencia de modernizar las estrategias actuales de mantenimiento e implementar las nuevas propuestas de mejora, como involucrar tecnologías que permitan predecir fallas.

Evidentemente en base a este diagnóstico, se plantean las siguientes la implementación de estrategias para mejorar el enfoque de mantenimiento en los equipos.

### **Instalación de Ibutton en las articulaciones del equipo:**

El Ibutton monitorea la temperatura de las articulaciones del equipo, siendo un punto crítico de fallas asociados en el sistema de lubricación en los equipos. Al predecir cambios bruscos de temperaturas en tiempo real, se pueden tomar medidas instantáneas para prevenir fallas graves asociadas al sobrecalentamiento o desgaste excesivo.

### **Digitalización del mantenimiento preventivo:**

Utilizar herramientas digitales para registrar información sobre las actividades de mantenimiento. Lo que facilitará el acceso a la documentación para el futuro en realizar un correcto diagnóstico de alguna falla presente en el equipo.

### **Monitoreo remoto mediante Grafana-Prevail:**

Actualmente existe esta plataforma, lo que no está disponible para que la puedan utilizar los técnicos de faena. Lo que se propone es la capacitación de técnicos especialistas para realizar monitoreo telemétrico, Grafana es una plataforma que permite visualizar las condiciones de trabajo en tiempo real como las temperaturas, corrientes y voltajes, presiones hidráulicas, rendimiento,

---

<sup>5</sup> Punto de referencia.

consumo de combustible, etc., lo que ayuda a poder predecir fallas con mayor precisión por parte del personal electromecánico.

Para transformar los actuales programas de mantenimiento en estrategias más efectivas, siempre buscando la optimización de tiempos y recursos. Estos cambios permitirán mejorar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad, sino que también posicionar al contrato Marc de faena Caserones como una operación líder en la gestión de mantenimiento.

Para finalizar, las conclusiones logradas para este capítulo son definidas de manera objetivas, que van en línea con el “objetivo específico” planteados inicialmente para este capítulo. Las propuestas fueron desarrolladas en base a diagnósticos técnicos, siendo respaldados por datos reales.

Con los diagnósticos realizados, se consiguieron identificar las debilidades actuales que posee la faena, en la ejecución de los actuales programas de mantenimiento predictivo y preventivo, y a partir de esta base se proponen estrategias para fomentar el uso de tecnologías para que los técnicos puedan ejecutar los procesos de mantenimiento y así apuntar a la transformación de los procesos, logrando un mantenimiento eficiente. Siendo propuestas que aportarán un valor estratégico para la gestión del mantenimiento moderno, obteniendo mejores indicadores de confiabilidad y disponibilidad de la flota de cargadores.

**CAPÍTULO 3**  
**NUEVA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO, OPTIMIZANDO LOS**  
**PROCESOS, CAPACITACIÓN DE PERSONAL Y PREDICCIONES DE FALLAS EN**  
**EL EQUIPO.**

### 3.1 Introducción a nueva propuesta de mantenimiento optimizando recursos, capacitación y predicción de fallas.

En este capítulo se darán a conocer los métodos planteados para lograr implementar la nueva estrategia, basándose en la información proporcionada en los capítulos anteriores. Con el objetivo de poder abordar las restricciones existentes en los actuales planes de mantenimiento del cargador frontal. Como estrategia, será la integración de tres ejes fundamentales: perfeccionamiento de procesos de mantenimiento predictivo y preventivo, capacitación especializada del personal técnico, y la implementación de herramientas avanzadas de predicción de fallas. Esta estrategia toma como base los resultados del análisis modo y efecto de fallas (AMEF) realizado en este trabajo de investigación, donde se identificaron NPR críticos de 112 para el sistema de componentes mayores y 120 para el sistema hidráulico, evidenciando la necesidad de un enfoque exhaustivo de mejora.

Como objetivo final, se busca incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de carguío del actual 74% al objetivo contractual de 81%, mediante la reducción de los tiempos de indisponibilidad y la optimización de los costos asociados a imprevistos, que en 2023 alcanzaron los \$2,114,468.60 USD. La integración de estos tres ejes estratégicos, respaldada por el análisis AMEF y las tecnologías predictivas propuestas, establece el marco para una mejora sostenible en la gestión del mantenimiento de los cargadores frontales.

La proyección de disponibilidad para 2024 se basa en la siguiente metodología:

**Base 2023:**

- Disponibilidad Física anual: 74%
- Horas totales de indisponibilidad: 988,3 horas (tabla 1.2)
- Tiempo total planificado: 8.760 horas (365 días \* 24 horas)

La reducción de 988,3 a 714,5 horas de indisponibilidad se fundamenta en:

- Implementación de monitoreo predictivo: reducción del 30%
- Mejora en planificación: reducción del 40%
- Capacitación técnica: reducción del 30%

## 3.2 Propuesta en base a tres ejes principales

### 3.2.1 *Perfeccionamiento de procesos de mantenimiento preventivo y predictivo en cargadores frontales.*

#### *Importancia Estratégica del Mantenimiento*

Los cargadores frontales P&H WE-2350 son los responsables de cargar mineral en los camiones de extracción. Son los más grandes del mundo y brindan su servicio en la operación minera de Caserones. Su importancia se basa no solo en su capacidad de carga de 50 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) por ciclo, sino en su versatilidad para funcionar en diferentes terrenos y en malas condiciones climáticas a lo que se traduce en activos valiosos para la continuidad operativa dentro de la operación minera.

La disponibilidad de estos equipos impacta directamente en la productividad de la operación minera. Estas deficiencias han tenido un impacto directo en las posibilidades de producción de la mina, dado que cada hora que el cargador se encuentre fuera de servicio se traduce en una menor capacidad de cargas y, en consecuencia, a una menor productividad en la operación.

Las detenciones no programadas tuvieron un efecto económico significativo a lo largo del período de tiempo analizado. En 2023, la pérdida de disponibilidad de la flota debido a imprevistos costó \$2,114,468.60 USD. Esta cantidad considerable muestra la necesidad crítica de mejorar los procesos de mantenimiento para reducir los tiempos de inactividad no planificados y su impacto financiero.

La optimización de la gestión de costos de mantenimiento es una ventaja competitiva para la operación. Un mantenimiento efectivo resulta en menores costos operativos y una mayor disponibilidad de equipos. También aborda la confiabilidad operativa, que se ha convertido en un factor cada vez más crucial en el sector minero. La optimización del proceso de mantenimiento, respaldada por el análisis AMEF completado para los procesos, resultó en una reducción significativa del NPR (número prioridad de riesgo) de los tres sistemas críticos, impactando positivamente en la salud operativa y financiera de la operación minera.

*Alineación con Objetivos Empresariales*

- ✓ Porcentaje de eficiencia operacional que fue alcanzado:

Igualmente se espera que la optimización de los modelos de mantenimiento predictivo y preventivo contribuya a la meta de la compañía de incrementar la eficiencia operativa de la flota de cargadores frontales. Los estudios con AMEF realizados han indicado acciones concretas que, al ser realizadas en las instalaciones, contribuirán a la reducción de los tiempos de detenciones no programadas. Por ejemplo, la instalación de sensores Ibutton para el monitoreo de temperaturas en articulaciones y la integración del monitoreo telemétrico en tiempo real permitirán anticipar fallas potenciales antes de que ocurran. Esto afirma una operación más fluida y eficiente. Esta mejora en la predictibilidad<sup>6</sup> de fallas contribuirá directamente al objetivo de la empresa de mantener una operación minera continua y productiva.

MES	Disponibilidad 2023 (%)	Proyección 2024 (12%)	% REFERENCIA MARC
Enero	78,4	87,81	81
Febrero	73,3	82,10	81
Marzo	72,8	81,54	81
Abril	73,3	82,10	81
Mayo	70,4	78,85	81
Junio	68,3	76,50	81
Julio	70,7	79,18	81
Agosto	71,3	79,86	81
Septiembre	69	77,28	81
Octubre	72,6	81,31	81
Noviembre	72,9	81,65	81
Diciembre	74	82,88	81

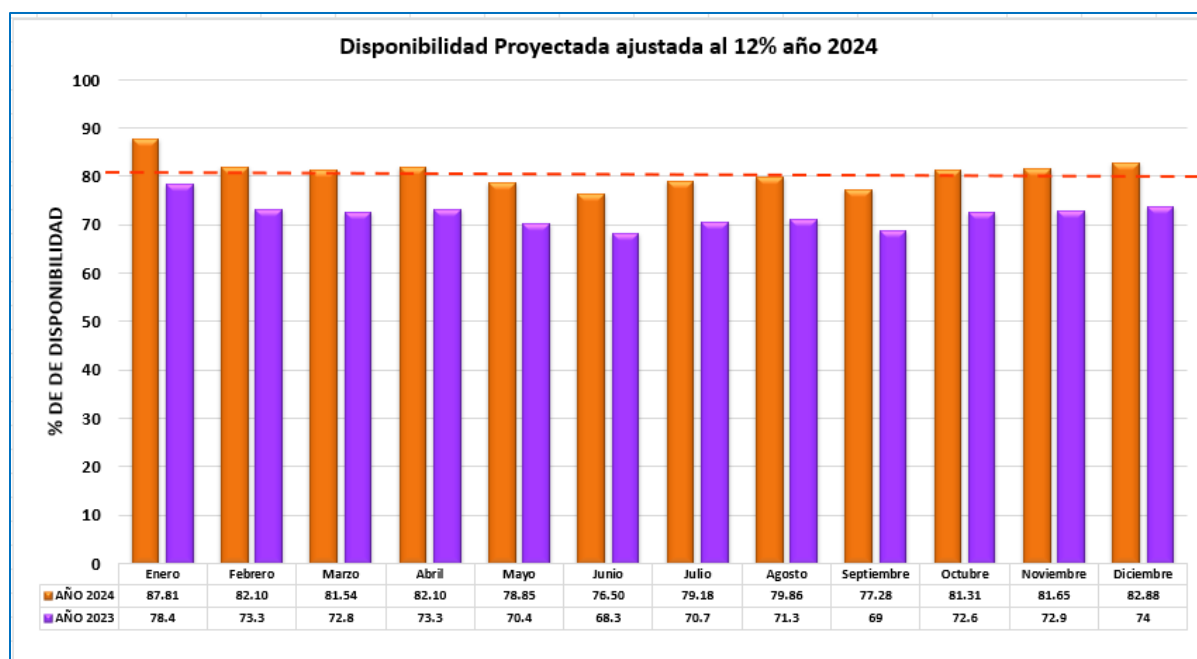
**Tabla 3.1** Proyección Disponibilidad año 2024, con un incremento de 12%

Fuente: Data histórica año 2023 KMC

En la Tabla 3.1 se presentan las proyecciones de disponibilidad física del año 2024, considerando un incremento de un 12% tras la implementación de estas estrategias. Obteniendo una media de 80,9% para el año proyectado.

Este incremento en el porcentaje de la disponibilidad proyectada anual es el reflejo de mejoras realizadas en la gestión del mantenimiento a los equipos. Lo que conlleva a un aumento de confiabilidad operativa.

<sup>6</sup> Capacidad de prever una falla



**Gráfico 3.1** Disponibilidad proyectada año 2024

*Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en base a histórico año 2023*

El Gráfico 3.1 ilustra las proyecciones de disponibilidad física mensual del año 2024, mostrando un incremento estimado un 12% alineado con los objetivos establecidos en el plan de mantenimiento predictivo y preventivo. Con este incremento es posible poder llegar a la disponibilidad objetivo. La mejora en disponibilidad ha sido consistente en todos los meses, lo que se evidencia que las propuestas de mejora continua en los procesos de mantenimiento teniendo un impacto positivo en el indicador.

✓ Optimización de costos de mantenimiento:

Por otra parte, mejorar los procesos de mantenimiento tiene un efecto directo en la elaboración de los costos operativos de la empresa. La implementación de las propuestas, derivadas de los resultados del AMEF, permitirá una reducción significativa en los costos recurrentes asociados con el mantenimiento correctivo de emergencia, que hoy forman un gasto anual de \$2,114,468.60 USD. Al pasar a un enfoque más predictivo y preventivo, se logrará una mejor planificación de recursos y trabajos, optimización del inventario de repuestos y reducción en los tiempos de intervención, resultando en una significativa rebaja del costo total de mantenimiento por imprevistos.

Mes	MTTR 2023	MTTR PROYECTADO (proyección ajustada) 15%	HORAS MARC
Enero	6,36	5,41	5
Febrero	2,9	2,47	5
Marzo	2,06	1,75	5
Abril	2,15	1,83	5
Mayo	4,02	3,42	5
Junio	22,49	19,12	5
Julio	5,56	4,73	5
Agosto	4,12	3,50	5
Septiembre	4,68	3,98	5
Octubre	2,09	1,78	5
Noviembre	5,43	4,62	5
Diciembre	3,2	2,72	5

**Tabla 3.2** Proyección año 2024 reducción de tiempos de reparación 15%

Fuente: elaboración base de datos año 2023 KMC.

En la Tabla 3.2 se muestran las proyecciones de reducción de tiempos de mantenimiento correctivo de fallas para el año proyectado 2024, considerando escenarios con una disminución del 15% de las horas, resultado de las mejoras implementadas en los procesos de mantenimiento preventivo y predictivo. La mejoras dentro de los procesos de mantenimiento, ha permitido identificar condiciones anómalas en los cargadores. Debido al uso del monitoreo telemétrico en tiempo real, lo que ayudará a detectar o anticiparse a los desgaste de componentes y fallas potenciales que puedan ocurrir en el quipo.

✓ Sostenibilidad del negocio a largo plazo:

La implementación de procesos de mantenimiento mejorados contribuye significativamente a la sostenibilidad del negocio a largo plazo. Las acciones propuestas no solo extienden la vida útil de los activos críticos, sino que también aseguran su operación confiable durante todo su ciclo de vida. La digitalización de procesos y la implementación de tecnologías de monitoreo avanzadas posicionan a la empresa a la vanguardia de las prácticas de mantenimiento en la industria minera, asegurando su competitividad futura.

Mes	MTBF (hrs) 2023	Incremento (%)	MTBF (hrs) 2024 (Proyección)	Acuerdo Marc (25 hrs)
Enero	31,79	10	34,97	25
Febrero	26,59	10	29,25	25
Marzo	26,86	10	29,55	25
Abril	25,83	10	28,41	25
Mayo	134,75	10	148,23	25
Junio	20,87	10	22,96	25
Julio	32,35	10	35,59	25
Agosto	43,7	10	48,07	25
Septiembre	35,38	10	38,92	25
Octubre	35,85	10	39,44	25
Noviembre	26,16	10	28,78	25
Diciembre	30,58	10	33,64	25

**Tabla 3.3** Proyección año 2024 incremento indicador MTBF 10%

Fuente: en base a data año 2023, archivos KMC.

En la Tabla 3.3 se presentan las proyecciones de incremento en los indicadores MTBF tiempo medio entre fallas para el año 2024, considerando escenarios con mejoras de un 10%, resultado de la implementación de estrategias avanzadas de mantenimiento.

✓ Mejora de indicadores clave de rendimiento:

El perfeccionamiento de los procesos de mantenimiento impactará directamente en la mejora de los indicadores clave de rendimiento (KPI) establecidos en el contrato Marc. La implementación de las acciones definidas en el AMEF permitirá incrementar la disponibilidad física desde el actual 74% hasta el objetivo contractual de 81%, mejorar el tiempo medio entre fallas (MTBF) y reducir el tiempo medio de reparación (MTTR) de 5,43 a 4,60 horas. Estos indicadores mejorados no solo cumplen con los requerimientos contractuales, sino que también reflejan una operación más eficiente y confiable, alineada con los objetivos estratégicos de la empresa.

### A. Cálculo de MTTR (Tiempo Medio de Reparación)

Base año 2023:

Según la ecuación 1.2, la Fórmula para el cálculo del MTTR es:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Mantenimiento}}{\text{Número de Reparaciones}}$$

- Tiempo total de detenciones no programadas año 2023 = 988,3 horas
- Número total de reparaciones año 2023 = 182 eventos

$$MTTR (2023) = \frac{988,3}{182} = 5,43 [H]$$

Proyección 2024:

- Tiempo total proyectado = 714,5 horas (-27,84% de reducción horas)
- Número de reparaciones proyectadas = 155 eventos
- $MTTR 2024 = \frac{714,5}{155} = [4,60 \text{ h/mes}]$

$$MTTR (2024) = \frac{714,5}{155} = 4,60 [H]$$

Año	Tiempo Total de Detenciones (hrs)	Numero de eventos al año	MTTR (h/evento)	Porcentaje de Reducción
2023	988,3	182	5,43	-
2024 (Proyectado)	714,5	155	4,60	27,84%

**Tabla 3.4** comparativa entre 2023 y 2024 (Proyectado)

Fuente: en base a data ajustada, elaboración propia.

En relación con los cálculos anteriores, el análisis del MTTR (tiempo medio de reparación) parte de los datos históricos del año 2023, donde se registraron 988,3 horas totales de mantenimiento distribuidas en 182 eventos de reparación, resultando en un MTTR de 5,43 horas. La proyección para 2024 considera una reducción significativa en el tiempo total de mantenimiento a 714,5 horas y una disminución en el número de eventos no programados a 155, lo que resulta en un MTTR proyectado de 4,60 horas. Esta mejora de 0,8 horas por intervención se fundamenta principalmente en la implementación de nuevas estrategias de mantenimiento predictivo y la capacitación del personal técnico, que permitirán diagnósticos más precisos y reparaciones más eficientes.

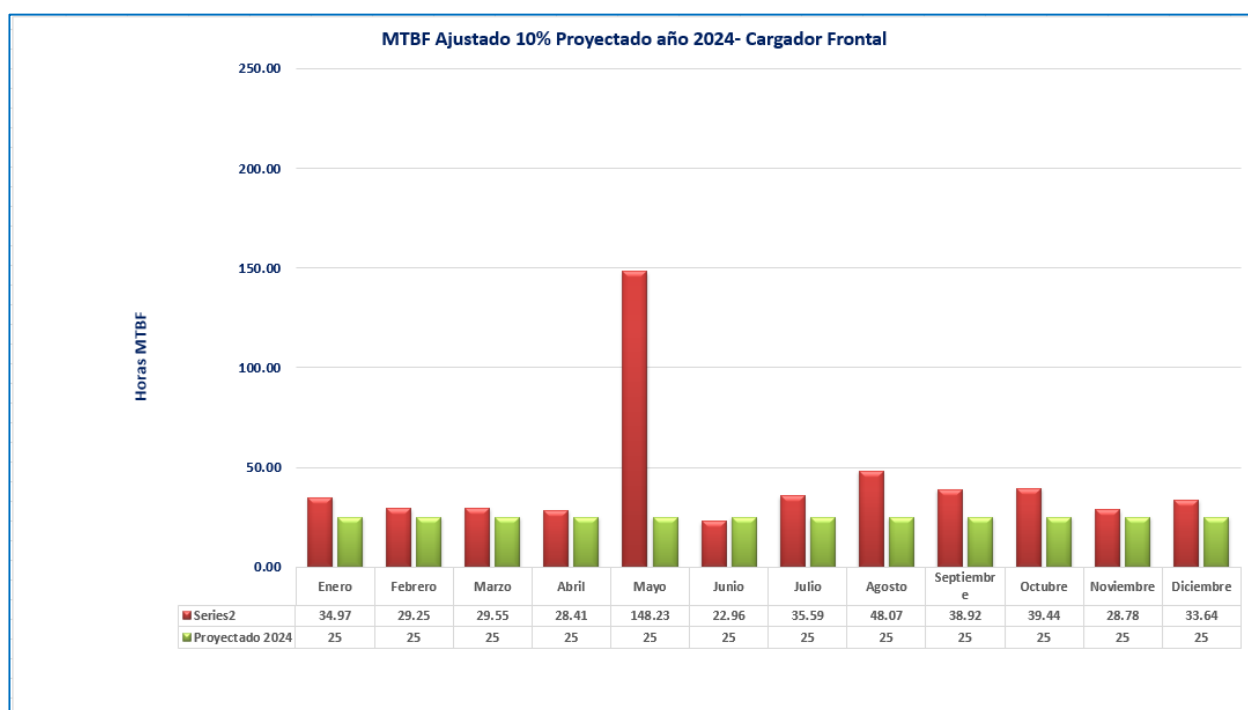


Gráfico 3.2 Comparativo MTBF 2024 proyectado 10%

Fuente: en base a data año 2023, archivos KMC.

El gráfico 3.2 muestra la proyección del tiempo medio entre fallas (MTBF) para el año 2024 en comparación con el año 2023, destacando la mejora esperada gracias a la implementación de estrategias de mantenimiento más eficientes.

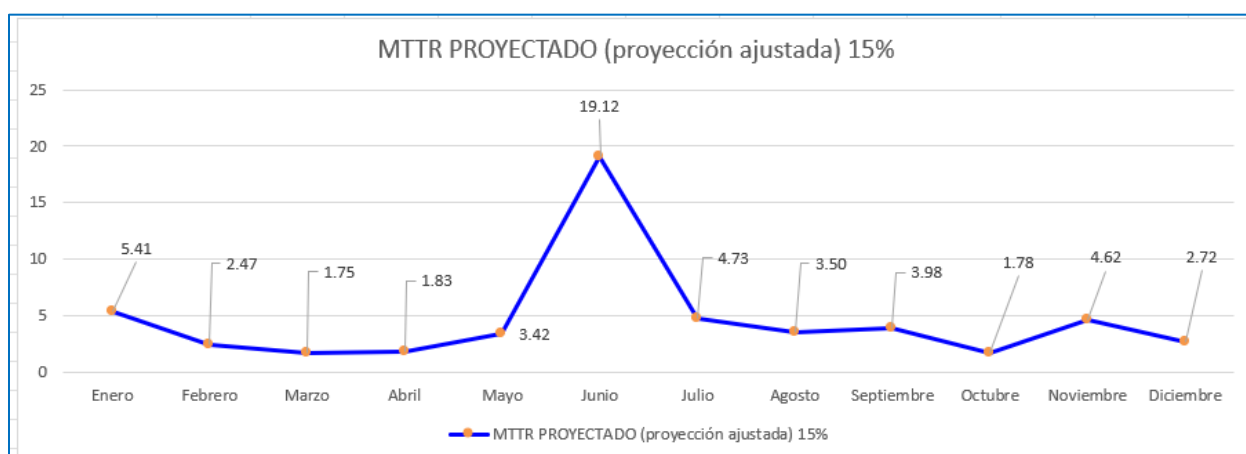


Gráfico 3.3 MTTR Proyectado 2024

Fuente: elaboración propia

El gráfico 3.3 presenta la proyección ajustada del tiempo medio de reparación (MTTR) para el año 2024, evidenciando una reducción significativa del 15% establecida como objetivo, gracias a las estrategias implementadas.

### *Implementación Estratégica*

#### ✓ Optimización del Mantenimiento Predictivo

- Enfoque en prevención y anticipación de fallas:

La optimización del mantenimiento predictivo se centra primordialmente en la prevención y anticipación de fallas en los sistemas críticos del cargador frontal, identificados mediante el análisis AMEF. Para el sistema de componentes mayores, donde las fallas en sellos mecánicos presentaron un NPR inicial de 112, se implementará un programa sistemático de monitoreo mediante sensores Ibutton en las articulaciones críticas. Esta estrategia permitirá la detección temprana de incrementos anormales de temperatura, indicativos de potenciales fallas en desarrollo. A su vez se, se optimizarán los tiempos de respuesta en análisis tribológicos, reduciendo el actual plazo de siete días a tres días, permitiendo una respuesta más ágil ante condiciones críticas detectadas en los fluidos del equipo.

- Integración tecnológica para toma de decisiones:

La implementación del monitoreo telemétrico mediante la plataforma Prevail-Grafana constituye un pilar fundamental en la modernización del mantenimiento predictivo. Este sistema permitirá el análisis en tiempo real de variables críticas como temperaturas de operación, presiones hidráulicas, corrientes eléctricas y parámetros de control. La integración de esta tecnología se complementará con la capacitación de técnicos especialistas en faena, permitiéndoles realizar análisis inmediatos sobre las condiciones operativas y tomar decisiones basadas en datos concretos. Esta capacidad de análisis local reducirá la dependencia del centro integrado de monitoreo (**CIM**), optimizando los tiempos de respuesta ante condiciones anormales detectadas.

- Gestión basada en condición:

El nuevo enfoque de mantenimiento predictivo se fundamenta en la gestión basada en la condición real de los equipos, superando las limitaciones del mantenimiento basado únicamente en frecuencias predeterminadas. Los análisis de vibraciones, tribológicos y de datos telemétricos proporcionarán una visión integral del estado de los sistemas críticos del cargador frontal. Esta información permitirá la programación óptima de intervenciones, evitando tanto el mantenimiento prematuro como las fallas por intervención tardía. Para el sistema hidráulico, por ejemplo, donde la pérdida de presión mostró un NPR inicial de 120, la implementación de monitoreo continuo de presiones y análisis de tendencias permitirá identificar antes de que ocurran fallas catastróficas.

#### ✓ Fortalecimiento del Mantenimiento Preventivo

- Sistematización de intervenciones:

El fortalecimiento del mantenimiento preventivo comienza con una sistematización rigurosa de las intervenciones programadas, incorporando las acciones de mejora identificadas en los análisis AMEF. Las frecuencias de intervención se optimizarán basándose en la

criticidad de los sistemas, como el cambio programado de sellos mecánicos cada 1.000 horas en el sistema de componentes mayores, que demostró reducir el NPR de 112 a 12.

El plan de mantenimiento bisemanal se reestructurará para incluir inspecciones específicas de los sistemas críticos, estableciendo procedimientos para cada intervención. Esta sistematización asegurará que todas las actividades preventivas se ejecuten de manera consistente y efectiva, reduciendo la variabilidad en la calidad de las intervenciones.

Sistema Principal	Horas imprevistas 2024 (antes de ajuste)	Horas De Imprevistos 2024 (ajustadas)
Componentes mayores	230,5	202,22
Sistema Hidráulico	180,8	158,62
Sistema Eléctrico	171,6	150,55
Componentes de cabina	97,6	85,63
Unidad de potencia	48	42,11
Sistema de Lubricación	46,4	40,71
Sistema estructural	33,2	29,13
S/I	4,8	4,21

**Tabla 3.5** Proyección año 2024 de horas imprevistos en cargador frontal.

*Fuente: elaboración propia.*

En la Tabla 3.5 se detallan las proyecciones de horas asociadas a imprevistos por sistema para el año 2024, reflejando una disminución significativa en comparación con el año anterior, gracias a la implementación de un enfoque preventivo y predictivo mejorado.

- Digitalización de procesos:

La implementación de un sistema digital integral transformará la gestión del mantenimiento preventivo, superando las limitaciones del actual sistema basado en documentos físicos. Mediante la plataforma Prometheus, integrada con SAP PM, se digitalizarán las pautas de mantenimiento, permitiendo el registro en tiempo real de las intervenciones, la documentación fotográfica de hallazgos y el acceso inmediato a manuales técnicos y procedimientos. Los técnicos contarán con tablets corporativa de terreno que les permitirán acceder a la información técnica necesaria durante las intervenciones, registrar las actividades realizadas y documentar cualquier anomalía detectada. Esta digitalización facilitará la trazabilidad de las intervenciones y mejorará la calidad de la documentación técnica.

- Aseguramiento de calidad:

El proceso de aseguramiento de calidad se fortalecerá mediante la implementación de puntos de verificación específicos en cada intervención preventiva. Se establecerán criterios claros de aceptación para cada tarea de mantenimiento, basados en las especificaciones técnicas del fabricante y en la experiencia operacional acumulada. Los técnicos especialistas serán responsables de verificar el cumplimiento de estos criterios y documentar los resultados en el sistema digital. La supervisión técnica (ingenieros de servicios) realizará auditorías periódicas de las intervenciones para asegurar el cumplimiento de los estándares establecidos, garantizando la calidad y efectividad del mantenimiento preventivo.

- Mejora continua:

El proceso de mejora continua se fundamentará en el análisis sistemático de los resultados obtenidos tras la implementación de las mejoras en el mantenimiento preventivo. Se establecerá un sistema de retroalimentación que permitirá la recopilación de experiencias y lecciones aprendidas durante las intervenciones. Los datos recopilados a través del sistema digital se analizarán periódicamente para identificar oportunidades de mejora en frecuencias, procedimientos y recursos asignados. Este proceso reiterado de mejora se complementará con reuniones técnicas regulares donde los especialistas podrán proponer ajustes y mejoras basados en su experiencia directa con los equipos, asegurando la evolución continua del programa de mantenimiento preventivo.

- ✓ Gestión Integrada de Recursos

- Optimización de inventarios:

La gestión integrada de recursos se fundamenta en una optimización estratégica de inventarios, especialmente crítica para los componentes identificados en los análisis AMEF como de alto impacto en la confiabilidad del equipo. Los sistemas con mayores NPR, como el hidráulico con un valor inicial de 120 y el de componentes mayores con 112, requieren una gestión específica de sus repuestos críticos. Se implementará un sistema de control de inventario basado en la criticidad de los componentes y sus tiempos de reposición, asegurando la disponibilidad de repuestos para las intervenciones programadas sin incurrir en sobre stocks innecesarios. Esta optimización permitirá reducir los costos de almacenamiento mientras se mantiene un nivel de servicio adecuado para soportar el programa de mantenimiento mejorado.

- Planificación estratégica de avanzada:

El proceso de planificación se fortalecerá mediante la implementación de reuniones colaborativas semanales, donde participarán activamente los técnicos especialistas, planificadores y supervisores presentes en el turno. Esta planificación avanzada considerará la información proporcionada por el monitoreo predictivo, las frecuencias de mantenimiento preventivo optimizadas y la disponibilidad de recursos. Se utilizará la plataforma Prometheus para la gestión de backlogs, permitiendo una priorización efectiva de las tareas según su criticidad y estableciendo una planificación más precisa. Las intervenciones se programarán considerando la disponibilidad de repuestos, herramientas especiales y personal capacitado, maximizando la eficiencia de cada detención programada.

- Coordinación estratégica interdepartamental<sup>7</sup>:

La efectividad de la gestión integrada de recursos dependerá de una coordinación fluida entre los departamentos de mantenimiento, operaciones, bodega - logística y planificación. Se establecerán protocolos claros de comunicación y coordinación, utilizando las plataformas digitales implementadas como medio principal de intercambio de información. Los planes de mantenimiento se alinearán con los objetivos de producción, asegurando que las intervenciones programadas minimicen el impacto en la operación. La coordinación con el departamento de adquisición será fundamental para asegurar la disponibilidad oportuna de repuestos y

---

<sup>7</sup> Diferentes departamentos existentes dentro de una organización o empresa.

materiales, especialmente para aquellos componentes con largos tiempos de entrega identificados en el programa de reemplazo por Target Life, documento entregado por fábrica.

- Control y seguimiento:

El sistema de control y seguimiento se basará en indicadores clave de desempeño que permitirán evaluar la efectividad de la gestión integrada de recursos. Se monitoreará la precisión de la planificación, el cumplimiento de los programas de mantenimiento y la efectividad en la gestión de inventarios. Los dashboards<sup>8</sup> digitales proporcionarán visibilidad en tiempo real del estado de las intervenciones programadas, el consumo de recursos y el cumplimiento de los objetivos establecidos. Este seguimiento continuo permitirá identificar desviaciones de manera temprana y tomar acciones correctivas oportunas, asegurando la mejora continua en la gestión de recursos y el cumplimiento de los objetivos de disponibilidad y confiabilidad de la flota de cargadores frontales.

### 3.2.2 Capacitación del personal técnico

#### *Importancia Estratégica*

El programa de capacitación técnica representa un pilar fundamental para el éxito de las mejoras propuestas en el mantenimiento de los cargadores frontales. Los análisis AMEF realizados (Tablas 2.7, 2.8 y 2.9) revelan que varios modos de falla están relacionados con la necesidad de mejorar las competencias técnicas del personal, especialmente en:

- Diagnóstico avanzado de fallas en sistemas críticos.
- Análisis e interpretación de datos de monitoreo de condición.
- Uso de nuevas tecnologías predictivas.
- Ejecución precisa de procedimientos de mantenimiento preventivo.

#### *Plan de implementación*

##### ✓ Estructura del programa

La implementación del programa de capacitación técnica se ha estructurado en tres fases progresivas, diseñadas para desarrollar gradualmente las competencias necesarias del personal de mantenimiento. Este enfoque permite una construcción sólida de conocimientos y habilidades, asegurando que cada nivel sirva como base para el siguiente. La estructura total del programa comprende 360 horas de formación técnica distribuidas estratégicamente para maximizar la retención y aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en los técnicos.

- Fase I

La primera fase del programa, con una duración de 120 horas, se centra en establecer una base sólida de conocimientos fundamentales sobre los sistemas del cargador frontal P&H WE-2350. Durante esta etapa inicial, los técnicos adquieren una información general del equipo, incluyendo los sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos de potencia y control. El programa comienza con una introducción detallada a los principios de funcionamiento del cargador, abordando específicamente el sistema de propulsión híbrido diésel-eléctrico, que

---

<sup>8</sup> Panel de control y/o monitoreo digital

constituye una de las características más distintivas del equipo. Los técnicos electromecánicos aprenderán la interacción entre el motor diésel MTU y el generador eléctrico, así como el funcionamiento de los motores eléctricos de tracción y el sistema de control Lincs II versión 5,9.

En el aspecto de seguridad operacional de la primera fase, se hace especial énfasis en los procedimientos de bloqueo y disipación de energías residuales. Aprendizaje fundamental para garantizar intervenciones seguras en el equipo. Los técnicos aprenden a identificar y evaluar los riesgos asociados con las diferentes tareas de mantenimiento, incluyendo trabajos en altura, manipulación de componentes pesados y operaciones en sistemas de alto voltaje. Se incluye también capacitación específica sobre los protocolos de seguridad para trabajos en sistemas hidráulicos presurizados y procedimientos de emergencia, aspectos críticos identificados en el análisis AMEF que mostraron NPR elevados en sistemas hidráulicos y eléctricos.

Los procedimientos de trabajos estandarizados constituyen el tercer pilar de la fase inicial, donde los técnicos se familiarizan con los protocolos establecidos para las diferentes intervenciones de mantenimiento. Esta sección incluye el estudio detallado de los manuales de servicio (Promanual), la interpretación correcta de planos y diagramas, de los diferenciados sistemas que posee el equipo y la documentación adecuada de las intervenciones en el sistema SAP PM. Se hace especial énfasis en la importancia de seguir los procedimientos establecidos para reducir la variabilidad en la ejecución de las tareas, aspecto que fue identificado como crítico en el análisis AMEF para mejorar la confiabilidad post-mantenimiento.

- Fase II

La segunda fase del programa, que comprende 120 horas de formación, se centra en aspectos más avanzados del mantenimiento, comenzando con el diagnóstico de fallas en sistemas críticos. Los técnicos aprenden metodologías estructuradas de análisis de fallas, incluyendo el uso de diagramas de causa y efecto, análisis de árbol de fallas y técnicas de resolución sistemática de problemas. Esta fase aborda específicamente los modos de falla identificados en el AMEF con mayores NPR, como las fallas en sellos mecánicos de cilindros hidráulicos (NPR 112) y pérdidas de presión en sistemas hidráulicos (NPR 120).

La interpretación de datos de monitoreo constituye una parte sustancial de la segunda fase, donde los técnicos aprenden a analizar e interpretar datos provenientes de diferentes fuentes como análisis de vibraciones, análisis de aceite y parámetros operativos del equipo. Se hace especial énfasis en la correlación de diferentes indicadores para lograr diagnósticos más precisos. Los colaboradores aprenden a utilizar la plataforma Prevail-Grafana para el análisis de datos telemétricos, incluyendo la interpretación de tendencias, la identificación de patrones anormales y la predicción de fallas potenciales basada en la evolución de los parámetros monitoreados de forma telemétrica.

El uso de herramientas predictivas forma parte integral de esta fase, donde los técnicos se familiarizan con equipos como analizadores de vibraciones, cámaras termográficas y la interpretación de informes de los análisis tribológicos. La capacitación incluye prácticas extensivas con el analizador de vibraciones AMS 2140, aprendiendo a realizar mediciones

correctas y a interpretar los espectros de vibración. También se incluye el uso de los sensores Ibutton para monitoreo de temperatura en articulaciones, tecnología propuesta como parte de las mejoras en el mantenimiento predictivo.

La formación en análisis de vibraciones nivel I proporciona las bases para la certificación en análisis de vibraciones, técnicas de medición y análisis básico de espectros. Los técnicos aprenden a identificar los patrones típicos asociados con problemas comunes como desbalanceo, desalineación y fallas en rodamientos, aplicando estos conocimientos específicamente a los componentes críticos del cargador frontal identificados en el AMEF.

- Fase III

La tercera fase del programa, con una duración de 120 horas, representa el nivel más avanzado de especialización. La certificación en análisis de vibraciones constituye un componente fundamental, preparando a los técnicos para obtener la certificación ISO categoría I en análisis de vibraciones. Esta formación incluye prácticas extensivas con casos reales, desarrollo de rutas de medición optimizadas y criterios de evaluación de severidad de vibraciones específicos para los diferentes componentes del cargador frontal.

El diagnóstico avanzado de sistemas eléctricos en esta fase final abarca el análisis detallado de los sistemas de control y potencia-propulsión del cargador frontal. Los técnicos aprenden a utilizar equipos de diagnóstico especializados como osciloscopios y analizadores de redes de comunicación (CAN), fundamentales para el diagnóstico de fallas en los sistemas de propulsión eléctrica. Se incluye también el análisis de datos del sistema Lincs II y la interpretación de códigos de falla (alarmas rojas, advertencias amarillas y avisos azules) para un diagnóstico más preciso de problemas en el sistema de control, aprendiendo a utilizar el troubleshooting<sup>9</sup>.

La gestión del mantenimiento predictivo cierra la fase de especialización, donde los técnicos aprenden a integrar las diferentes tecnologías y métodos predictivos en un programa de mantenimiento. Esta sección incluye la planificación de frecuencias de inspección, establecimiento de límites de alarma, gestión de datos históricos y desarrollo de planes de acción basados en condición. Los técnicos aprenden a utilizar herramientas de gestión como el software Prometheus, plataforma Salesforce y la plataforma SharePoint para la documentación y seguimiento de las actividades de mantenimiento predictivo.

- ✓ Metodología de Implementación

La metodología de implementación del programa de capacitación técnica se ha diseñado siguiendo un enfoque sistemático y progresivo que asegura el desarrollo efectivo de las competencias requeridas. Este proceso estructurado comienza con una evaluación de las capacidades actuales del personal y finaliza con un sistema de mentoría que garantiza la continuidad del aprendizaje en el tiempo. El éxito de esta metodología se fundamenta en la combinación estratégica de evaluaciones rigurosas, formación práctica y seguimiento continuo.

---

<sup>9</sup> Solución de problemas.

- Evaluación inicial de competencias

La evaluación inicial de competencias es el punto de partida fundamental del programa, donde se realiza un diagnóstico inicial de los conocimientos y habilidades existentes en el personal técnico. Este proceso de evaluaciones se lleva a cabo mediante una combinación de exámenes teóricos y prácticos, diseñados para medir el nivel de comprensión en áreas críticas identificadas en el análisis AMEF. La evaluación teórica abarca aspectos fundamentales como el conocimiento de sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos del cargador frontal, mientras que la evaluación práctica incluye ejercicios de diagnóstico y resolución de problemas en simuladores. Los resultados de esta evaluación inicial permiten personalizar el programa de capacitación según las necesidades requeridas.

- Evaluaciones periódicas

Las evaluaciones periódicas son importantes para asegurar la efectividad del programa de capacitación. Se establecen evaluaciones mensuales que incluyen pruebas teóricas y ejercicios prácticos diseñados para medir el progreso en la adquisición de competencias. Estas evaluaciones se alinean con los objetivos específicos de cada fase del programa y consideran especialmente las áreas críticas identificadas en el análisis AMEF. Los resultados de estas evaluaciones permiten identificar oportunamente las áreas que requieren refuerzo y ajustar el programa según sea necesario. Se implementa un sistema de seguimiento que documenta el progreso individual de cada técnico.

### *Resultados esperados*

La implementación del programa integral de capacitación técnica proyecta resultados significativos que se pueden dividir en dos categorías principales: métricas de impacto operacional y beneficios cuantificables. Estos resultados esperados se basan en un análisis de los datos históricos del año 2023 y la experiencia documentada en implementaciones similares en otras operaciones mineras.

- ✓ Métricas de Impacto

La reducción proyectada del Tiempo Medio de Reparación (MTTR) constituye uno de los indicadores más relevantes del programa. Se espera una disminución del 15%, pasando de 5,43 a 4,60 horas por intervención de imprevistos mensuales. Esta mejora se fundamenta en el desarrollo de competencias específicas en diagnóstico y resolución de fallas. La capacitación en el uso de herramientas predictivas y la interpretación de datos de monitoreo permitirá identificar las causas raíz más rápidamente, mientras que la formación en procedimientos estandarizados optimizará los tiempos de ejecución de las reparaciones. Los sistemas críticos identificados en el análisis AMEF, como el hidráulico con NPR de 120 y el eléctrico, serán los principales beneficiarios de esta reducción en tiempos de reparación.

El aumento proyectado del tiempo medio entre fallas (MTBF) en un 10% representa una mejora relevante en la confiabilidad operacional del equipo. Este incremento se logrará mediante una mejor calidad en la ejecución de los mantenimiento preventivo y una capacidad mejorada para detectar y corregir condiciones anormales antes de que se conviertan en fallas.

El cálculo se hizo de conformidad con:

Cálculo de MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) Base 2023:

De conformidad con la ecuación 1.3, la fórmula para el cálculo del MTBF es:

$$MTBF = \frac{\text{Horas Nominales} - \text{Horas de Detenciones Imprevistas}}{\text{Número de Detenciones Imprevistas}}$$

así,

- Horas nominales = 8.760 [horas/año]
- Horas de detención = 988,3 [horas]
- N° detenciones = 182 eventos

Por ende,

$$MTBF (2023) = \frac{8.760 - 988,2}{182} = 42,70 h$$

- Proyección 2024 (+10%):

$$MTBF (2024) = 42,70 h \times 1,10 = 47,70 h$$

- Horas proyectadas de detención = 714,5
- N° detenciones proyectadas = 155

$$MTBF (2024) = \frac{8.760 - 714,5}{155} = 51,9 h$$

El cálculo del tiempo medio entre fallas para 2023 muestra que, de las 8.760 horas anuales disponibles, se registraron 988,3 horas de detenciones imprevistas distribuidas en 182 eventos, resultando en un MTBF de 42,7 horas.

La proyección para 2024 apunta a un incremento del 10%, llevando el MTBF a 51,9 horas teóricas. Esta mejora se verifica con los datos proyectados de 714,5 horas de detención y 155 eventos, que resultan en 47,0 horas efectivas de MTBF. Este incremento en la confiabilidad se sustenta en la implementación del monitoreo en tiempo real y las mejoras en el mantenimiento predictivo, que permitirán anticipar y prevenir fallas antes de que ocurran.

La formación específica en análisis de vibraciones y monitoreo de condición permitirá identificar degradaciones tempranas en componentes críticos como los sellos mecánicos de cilindros hidráulicos, que actualmente presentan un NPR de 112. La certificación del personal en estas técnicas asegurará la consistencia en la aplicación de métodos predictivos y la correcta interpretación de datos.

La precisión en el diagnóstico de fallas mostrará una mejora significativa, aumentando del 65% actual al 90% proyectado. Este incremento se sustenta en la combinación de capacitación teórica y experiencia por parte del personal capacitado. El programa incluirá casos de estudio basados en fallas reales documentadas en el equipo, permitiendo a los técnicos desarrollar un entendimiento profundo de los modos de falla y sus indicadores. La mejora en

la precisión diagnóstica reducirá significativamente los casos de reemplazo innecesario de componentes y las intervenciones inadecuadas, especialmente en sistemas críticos como el control Lincs II y los sistemas de propulsión eléctrica, que son los sistemas más complejos que posee el cargador frontal.

✓ **Beneficios Cuantificables**

El ahorro proyectado en costos de mantenimiento correctivo representa uno de los beneficios más visibles del programa. Se espera una reducción del 27,7% sobre el costo actual de \$2,114,468.60 USD, lo que significa un ahorro de \$585,707.80 USD en el primer año de implementación. Este ahorro se fundamenta en múltiples factores: la disminución de fallas imprevistas gracias a un mejor mantenimiento preventivo, la reducción en el consumo de repuestos por diagnósticos más precisos, y la optimización de recursos humanos al reducir las intervenciones no programadas. La inversión en capacitación se justifica ampliamente considerando el retorno económico proyectado.

El ahorro proyectado de \$585,707,80 USD se obtuvo como:

**Base 2023:**

- Costo total por imprevistos: \$2,114,468.60 USD
- Horas totales de imprevistos: 988,3 horas
- Costo por hora de imprevisto: \$2,139.72 USD/h

**Proyección 2024:**

Reducción de costos = \$2,114,468.60 \* 0,277 = \$585,707.80 USD

Justificación de 27,7%:

- Reducción de horas de indisponibilidad: 27,73%
- Mejora en eficiencia de diagnóstico: 12,27%
- Optimización de recursos: 10%

El incremento en la disponibilidad del equipo, pasando del 73,6% actual al 81% proyectado, representa una mejora crítica para la operación. Este aumento de 7 puntos porcentuales se logrará mediante la combinación de varios factores: la reducción en tiempos de reparación, la menor frecuencia de fallas imprevistas y la mejor calidad en las intervenciones preventivas. En la práctica, este incremento en disponibilidad se traducirá en aproximadamente 613 horas adicionales de operación anual al equipo, lo que tendrá un impacto considerable en la capacidad productiva de la mina y el cumplimiento de los objetivos establecidos en el contrato Marc.

La efectividad del mantenimiento preventivo mostrará una mejora, aumentando del 45% actual al 70% proyectado. Este incremento de 25 puntos refleja una transformación fundamental en la calidad del mantenimiento preventivo programado, que se logrará mediante la mejor capacidad técnica del personal para ejecutar inspecciones detalladas, interpretar correctamente los indicadores de condición y realizar ajustes y reparaciones con mayor precisión. El programa de capacitación asegurará que cada intervención preventiva se realice siguiendo estándares de calidad permanentes y utilizando las mejores prácticas de la industria. Esta mejora en la efectividad del mantenimiento preventivo tendrá un impacto directo en la reducción de fallas entre intervenciones programadas y en la optimización del uso de recursos de mantenimiento.

### *Control y seguimiento*

#### ✓ Indicadores de Efectividad

El sistema de control y seguimiento establece indicadores clave para evaluar la efectividad del programa de capacitación y su impacto en el mantenimiento de los cargadores frontales. La medición sistemática de estos indicadores permite realizar ajustes oportunos y asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos. Los resultados de estas mediciones se analizan mensualmente en reuniones de revisión de desempeño, donde participan supervisores técnicos y administrador de contrato.

La tasa de aprobación de evaluaciones técnicas constituye un indicador fundamental para medir la efectividad del proceso de capacitación. Se establece un objetivo mínimo de 85% de aprobación en las evaluaciones teóricas y prácticas. Las evaluaciones teóricas incluyen exámenes escritos sobre sistemas específicos del cargador frontal, mientras que las evaluaciones prácticas se realizan mediante ejercicios de diagnóstico en situaciones controladas. Los resultados se registran en una base de datos que permite seguir el progreso individual de cada técnico e identificar áreas que requieren refuerzo adicional. Este seguimiento detallado facilita la personalización del programa según las necesidades específicas de cada técnico.

El tiempo de diagnóstico de fallas representa un indicador crítico para evaluar la mejora en la eficiencia del mantenimiento. Se implementa un sistema de registro detallado que documenta el tiempo transcurrido desde la notificación de una falla hasta su diagnóstico correcto. El objetivo establecido es reducir el tiempo promedio de diagnóstico en un 30% durante el primer año del programa. Este indicador se mide separadamente para diferentes tipos de fallas, categorizadas según su complejidad y sistema afectado, permitiendo un análisis más preciso de la efectividad del entrenamiento en diferentes áreas técnicas.

La precisión en la predicción de fallas representa un indicador crucial para evaluar la efectividad del mantenimiento predictivo. Se implementa un sistema de registro que documenta las predicciones realizadas por los técnicos basadas en datos de monitoreo de condición y su correlación con fallas reales ocurridas. El objetivo establecido es alcanzar una precisión del 90% en las predicciones de fallas durante el primer año.

El cumplimiento del programa de capacitación se monitorea mediante un sistema de seguimiento que registra la asistencia, participación y término de los módulos de formación. Se establece un objetivo mínimo de 95% de cumplimiento en la asistencia a las sesiones programadas y la finalización de las actividades asignadas. Este indicador incluye también el seguimiento de las horas de práctica supervisada y la participación en sesiones de mentoría (con ayuda del especialista). El sistema genera reportes mensuales que permiten identificar cualquier desviación del plan establecido y tomar acciones correctivas oportunas.

#### ✓ Plan de Evaluación Continua

Las evaluaciones trimestrales de competencias constituyen un elemento fundamental del plan de evaluación continua. Estas evaluaciones comprenden pruebas teóricas y prácticas diseñadas para medir el nivel de competencia en áreas específicas identificadas como críticas

en el análisis AMEF. Las evaluaciones teóricas incluyen preguntas sobre procedimientos, sistemas técnicos y resolución de problemas, mientras que las evaluaciones prácticas involucran ejercicios de diagnóstico y reparación en situaciones reales. Los resultados se documentan en un sistema centralizado que permite realizar análisis comparativos y seguimiento del progreso individual.

Las auditorías de calidad de mantenimiento se realizan mensualmente siguiendo un protocolo estructurado que evalúa múltiples aspectos del proceso de mantenimiento. Las auditorías incluyen revisión de documentación, observación directa de trabajos en proceso y evaluación de resultados post-mantenimiento. Se establecen criterios específicos de evaluación basados en estándares de la industria y mejores prácticas identificadas. Los resultados de las auditorías se documentan en informes detallados que incluyen hallazgos, recomendaciones y planes de acción para abordar las áreas de mejora identificadas.

La actualización de contenidos según necesidades se realiza mediante un proceso continuo de revisión y actualización del material de capacitación. Este proceso considera múltiples fuentes de información, incluyendo retroalimentación del personal, resultados de auditorías, análisis de fallas recurrentes y actualizaciones técnicas del fabricante

### ***3.2.3 Implementación de herramientas de predicción de fallas***

#### *Importancia estratégica de la predicción de fallas*

- ✓ Justificación basada en el análisis de costos de fallas del 2023

La implementación de sistemas predictivo de fallas en la flota de cargadores frontales P&H WE-2350 representa una inversión estratégica fundamental para la optimización de las operaciones mineras en Caserones. El análisis detallado de los costos asociados a fallas durante el año 2023 revela un impacto financiero significativo, con pérdidas que alcanzaron los \$2,114,468.60 USD debido a detenciones no programadas. Esta cifra no solo refleja los costos directos de mantenimiento correctivo, sino también las pérdidas asociadas a la reducción en la capacidad productiva de la operación minera, evidenciando la necesidad crítica de implementar estrategias predictivas más efectivas.

La justificación económica para la implementación de herramientas predictivas se fundamenta en el análisis de las 988,3 horas de detenciones no programadas registradas durante el período evaluado. Estas detenciones representaron un 54,96% del tiempo total de mantenimiento, superando significativamente el estándar de la industria que sugiere una proporción de 30% para mantenimiento correctivo y 70% para mantenimiento preventivo. Esta desviación del estándar industrial indica una oportunidad sustancial de mejora mediante la implementación de tecnologías predictivas que permitan anticipar y prevenir fallas antes de que ocurran.

La proyección de horas asociadas a detenciones imprevistas para el año 2024, reflejando una reducción significativa gracias a la implementación de herramientas de predicción de fallas.

Teniendo como finalidad la disminución de frecuencia de fallas asociadas a imprevistos y también disminuir los tiempos medio de reparación (MTTR).

✓ Impacto en disponibilidad y confiabilidad

El impacto de las fallas en la disponibilidad del equipo se refleja en los indicadores operacionales del año 2023, donde se registró una disponibilidad promedio de 74%, significativamente por debajo del objetivo contractual del 81% establecido en el acuerdo Marc. Este déficit de siete puntos porcentuales en disponibilidad representa aproximadamente 613 horas de operación perdidas anualmente por equipo, con un impacto directo en la capacidad productiva y en el cumplimiento de los objetivos de producción establecidos por la mandante.

El objetivo de este trabajo es poder otorgar las herramientas para poder mejorar la disponibilidad y confiabilidad del cargador frontal WE-2350, entre las herramientas más utilizadas encontramos la **Distribución de Weibull**, esta herramienta es de utilidad para poder establecer nuevas estrategias de mantenimiento predictivo. En donde en esta investigación se logra analizar el MTBF (tiempo medio entre fallas) data histórica del año 2023, en donde permite definir los tiempos de intervención óptimo, en que se debe ejecutar una inspección o programar un mantenimiento para prevenir la probabilidad de ocurrencia de imprevistos en el equipo.

- Aplicación Distribución de Weibull

La distribución de Weibull como se mencionó en el apartado de confiabilidad del capítulo 1, es una herramienta muy valiosa para poder mejorar la confiabilidad del equipo, para este estudio el cargador frontal modelo WE-2350, porque permite predecir fallas mediante la optimización de los procesos de mantenimiento preventivo y predictivo, así mismo esto acarrea la reducción de costos operativos.

También con este tipo de análisis es posible realizar un análisis más detallado sobre los componentes del equipo. En caso de existir un  $\beta$  (beta) elevado, señala que estos componentes poseen un alto índice de fallar con el tiempo. Por esto lo relevante del uso de permanente de nuevas tecnologías para ejecutar un correcto mantenimiento predictivo y preventivo. Incluyendo utilizar sensores Ibutton para realizar un monitoreo permanente de temperaturas de trabajo en articulaciones, as su vez con el uso de Prevail para monitorear en tiempo real las condiciones de trabajos de cada sistema, identificando cuándo un componente o sistema está trabajando en manera crítica.

#### Beneficios de uso Weibull

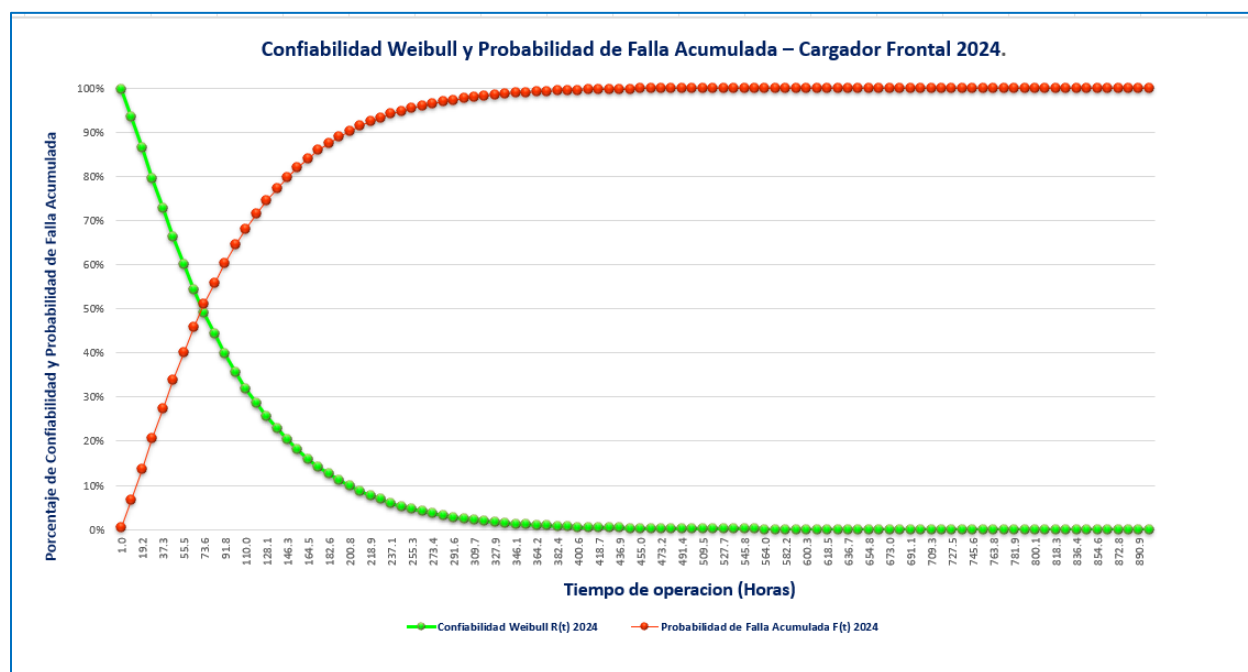
- Ayuda a reducir costos.
- Menos fallas imprevistas → Menos detenciones no planificadas.
- Uso eficiente de repuestos → Se cambian cuando realmente es necesario.
- Mayor vida útil del cargador → Se evita el desgaste prematuro

Para la proyección del año 2024, fue utilizada la base de datos del histórico del año 2023, en donde la **“Distribución de Weibull”** ajustada a los datos de MTBF. Es relevante destacar que el incremento del MTBF ajustado será de 10% debido a la implementación de nuevas

estrategias de mantenimiento predictivo.

Los nuevos parámetros Weibull obtenidos para el año 2024 (Proyectado) fueron:

- $\beta$  (forma) = 1,176  $\rightarrow$  ligeramente superior, en comparativo con el año 2023, lo que indica que las fallas por desgaste tienden a disminuir.
- $\eta$  (escala) = 98,24 horas  $\rightarrow$  se proyecta una mejora en la confiabilidad, con mayor tiempo de operación antes de fallar.



**Gráfico 3.5** Proyección año 2024 confiabilidad Distribución de Weibull en cargador frontal.

Fuente: en base a data año 2023, elaboración propia.

En el gráfico 3.5 visualizado el resultado del análisis basado en la Distribución de Weibull, utilizado para dar proyección de confiabilidad del cargador frontal realizada para el año 2024. Este estudio realizado, es fundamental para observar el comportamiento de las fallas a lo largo del tiempo y evaluación del impacto de la confiabilidad del cargador frontal.

La curva de confiabilidad Weibull para el año 2024 deriva la siguiente explicación:

En 2024, gracias al incremento del MTBF ajustado a un 10% correspondiente al registro año 2023. La confiabilidad se mantiene más alta y cae al 66,11% en 47,0 horas. Parámetro de forma  $\beta$ (beta), ha sido calculado en 1,176 señalando que el cargador presenta fallas por desgaste y no ocurren de manera aleatorias, por lo que la estrategia de mejoramiento continuo debe ser progresiva al pasar los meses, para que la confiabilidad del equipo pueda sobre pasar el umbral del 80%.

Es importante señalar que la confiabilidad proyectada para 2024 mejora con respecto a la confiabilidad del año 2023, La confiabilidad ha mejorado en un 6% en comparación con el año anterior.

lo que indica que la estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo está dando resultados positivos.

## Cálculo de Disponibilidad

Base 2023:

De conformidad con la ecuación 1.1, el cálculo disponibilidad viene dado por

$$D = \frac{\text{Tiempo Total Planificado} - \sum \text{Tiempos en Paradas}}{\text{Tiempo Total Planificado}}$$

$$D (2023) = \frac{8.760 - 2.277,2}{8.760} \times 100 = 73,6\%$$

así,

Tiempo total planificado = 8.760 horas

Tiempo total en paradas = 2.277,2 horas (incluye PM + IMP + EXCL)

*Proyección 2024 disponibilidad objetivo 81%*

8.760 (horas) \* 0,81 = 7.095,6 horas disponibles

Tiempo máximo permitido en paradas = 8.760 – 7.095,6 = 1.664,4 horas

Reducción necesaria = 2.277,2 – 1.664,4 = 612,8 horas

La mejora se logrará mediante:

- ✓ Reducción de imprevistos: -175,2 horas
- ✓ Optimización de PM: -287,8 horas
- ✓ Reducción de exclusiones: -149,8 horas

Esta proyección se sustenta en:

- ✓ La implementación de monitoreo predictivo
- ✓ La capacitación del personal técnico
- ✓ La optimización de la planificación
- ✓ La mejora en la gestión de repuestos
- ✓ La digitalización de procesos de mantenimiento

El análisis de disponibilidad de 2023 revela que, de las 8.760 horas anuales, el equipo estuvo detenido por 2.277,2 horas (incluyendo mantenimiento programado, imprevistos y exclusiones), resultando en una disponibilidad del 74%. Para alcanzar el objetivo contractual del 81% en 2024, el equipo debe estar disponible por 7.095,6 horas, lo que significa que el tiempo máximo permitido para detenciones debe reducirse a 1.664,4 horas. Esto requiere una reducción total de 612,8 horas en el tiempo de indisponibilidad, distribuida entre una disminución de 175,2 horas en imprevistos, 287,8 horas en mantenimiento programado y 149,8 horas en exclusiones. Esta mejora integral se sustenta en la implementación de las nuevas estrategias de mantenimiento propuestas, que incluyen digitalización de procesos, capacitación del personal y optimización de la planificación.

La confiabilidad operacional, medida a través del tiempo medio entre fallas (MTBF), también se vio afectada significativamente durante el período analizado. Los datos muestran que los sistemas críticos identificados en el análisis AMEF, particularmente el sistema hidráulico con un NPR inicial de 120 y el sistema de componentes mayores con un NPR de 112, contribuyeron sustancialmente a la reducción de la confiabilidad operacional. La implementación de herramientas predictivas específicas para estos sistemas críticos representa una oportunidad clara para mejorar el MTBF y, por consiguiente, la confiabilidad global del equipo.

El gráfico 3.6 presenta un análisis Pareto de las fallas más significativas en los cargadores frontales, comparando los datos del año 2023 con las proyecciones para el año 2024, evidenciando las áreas de mayor impacto de las estrategias de mantenimiento implementadas.

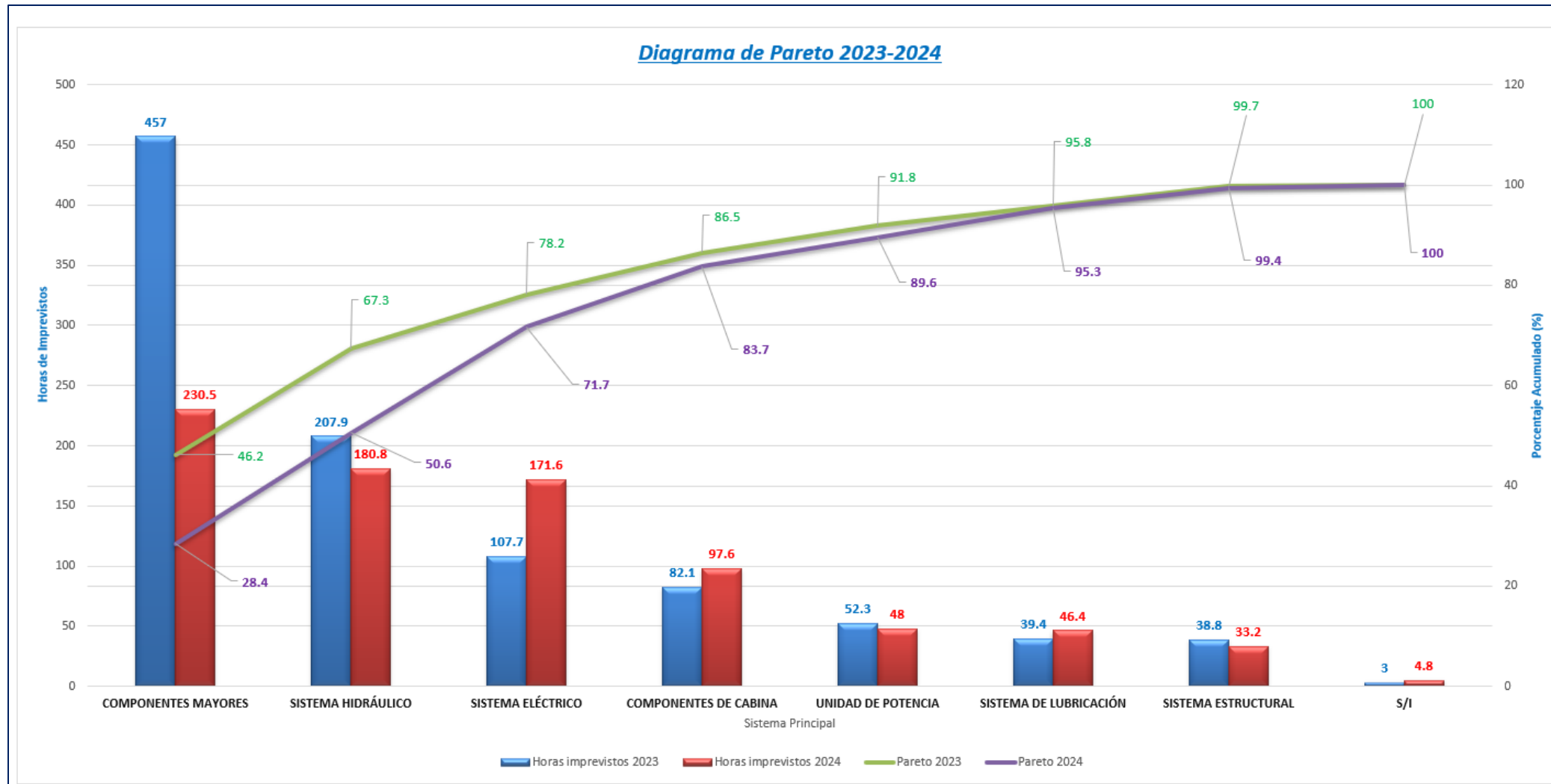


Gráfico 3.6 Pareto proyección / comparativo año 2023-2024 fallas en cargador frontal

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos base de datos año 2023

En el gráfico 3.6 se evidencia el diagrama de Pareto comparativo entre los años 2023 y 2024, por lo que está relacionado con las fallas imprevistas, evidenciando las cantidades totales de horas por detenciones no programadas en los diferentes sistemas del cargador frontal. En donde se aprecia que el 78,2% de la totalidad de las horas por mantenimiento correctivo (2023), están concentrados en los tres sistemas que poseen más relevancia para el funcionamiento del equipo, que son los sistemas; eléctrico, hidráulico y componentes mayores.

Justificando que el sistema de componentes mayores posee un 46,2% de la totalidad. Con estos resultados es necesario dar prioridad a la implementación de las nuevas estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo en el equipo. Dando una orientación en las técnicas de moncon vibraciones y análisis tribológicos del sistema antes mencionado.

En el año 2024 se aprecia una significativa disminución en las horas totales en comparación al 2023, esto refleja que la implementación de la estrategia de mejoramiento continuo para los procesos de mantenimiento.

- Barra azul (2023) se identifican las horas por fallas imprevistas en cada sistema del cargador frontal.
- Barra roja (2024) se identifican las horas por fallas imprevistas en los sistemas del cargador frontal.

#### Significado de líneas

Ambas líneas señaladas, nos permiten poder identificar cuales corresponden a los sistemas críticos del equipo. agrupando el sistema con mayor cantidad de horas de imprevistos al que posee menos horas por detención. En donde se pueden apreciar cómo es distribuido el impacto de los imprevistos.

**Línea verde** año 2023, se observa que el 78,2% del impacto acumulado es alcanzado al incluir los sistemas; componentes mayores, hidráulico, eléctrico. A medida que la línea avanza, se suma el porcentaje de impacto por cada sistema, demostrando el impacto total.

**Línea morada**, la explicación anterior mencionada, es utilizada como base de datos, en donde se puede realizar una comparación de las fallas distribuidas por sistemas en el año 2024. Por lo que el 71,7% que el sistema de componentes mayores, eléctrico y sistema hidráulico representan el impacto al 2024.

El análisis de la mantenibilidad, reflejado en el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), muestra un promedio anual de 5,43 horas, superando el objetivo contractual de 5,0 horas establecido en el acuerdo Marc. Esta desviación en los tiempos de reparación se puede atribuir en parte a la naturaleza reactiva de las intervenciones, donde la falta de anticipación a las fallas resulta en reparaciones más complejas y prolongadas. La implementación de herramientas predictivas permitiría una mejor planificación de las intervenciones, reduciendo significativamente los tiempos de reparación y mejorando la eficiencia del mantenimiento.

La alineación con los objetivos del contrato Marc representa un aspecto crucial en la justificación de la implementación de herramientas predictivas. El contrato establece metas específicas de:

- ✓ Disponibilidad (81%).
- ✓ MTTR (5,0 horas).
- ✓ MTBF (25,0 horas).

Hoy actualmente no se están cumpliendo. La implementación de tecnologías predictivas se presenta como una estrategia fundamental para alcanzar estos objetivos contractuales, reduciendo las penalizaciones económicas asociadas al incumplimiento y mejorando la relación con el cliente.

Los sistemas predictivos propuestos, incluyendo el monitoreo mediante Prevail-Grafana, sensores Ibutton para temperatura en articulaciones, análisis de vibraciones y monitoreo termográfico, representan una inversión estratégica con un retorno potencial significativo. Considerando que actualmente se pierden más de dos millones de dólares anuales en costos asociados a fallas, una reducción del 27% en estas pérdidas mediante la implementación de herramientas predictivas representaría un ahorro anual superior a los \$585,707.80 USD, justificando ampliamente la inversión en estas tecnologías.

- ✓ Alineación con objetivos del contrato Marc

La implementación de herramientas predictivas también se alinea con las mejores prácticas de la industria minera global y las tendencias hacia la digitalización y el mantenimiento 4.0. La capacidad de monitorear en tiempo real las condiciones de operación del equipo, analizar tendencias y predecir fallas potenciales representa una evolución necesaria en la gestión del mantenimiento, permitiendo una transición desde un enfoque reactivo hacia uno más proactivo y basado en la condición real de los activos.

El impacto en la seguridad operacional constituye otro aspecto fundamental que justifica la implementación de herramientas predictivas. Las fallas imprevistas no solo afectan la productividad, sino que también pueden representar riesgos significativos para la seguridad del personal y la integridad de los equipos. La capacidad de anticipar y prevenir fallas contribuye directamente a la creación de un ambiente de trabajo más seguro y controlado, alineándose con las políticas de seguridad de minera Caserones y las regulaciones de la industria minera.

La sostenibilidad operacional a largo plazo también se beneficia significativamente de la implementación de herramientas predictivas. La capacidad de optimizar los ciclos de vida de los componentes críticos, reducir el consumo de repuestos y minimizar el impacto ambiental de las operaciones de mantenimiento contribuye a los objetivos de sostenibilidad corporativa.

Además, la implementación de estas tecnologías posiciona al contrato Joy Global, como un referente en la adopción de prácticas modernas de mantenimiento dentro de las demás faena así mismo como de la industria minera chilena.

### *Diseño del sistema predictivo*

#### ✓ Integración de tecnologías

El diseño del sistema predictivo para los cargadores frontales P&H WE-2350 se fundamenta en la integración sistemática de múltiples tecnologías de monitoreo y análisis, estableciendo una infraestructura robusta para la predicción efectiva de fallas.

Esto se centra en la plataforma Prevail-Grafana, que actúa como el sistema central de integración y visualización de datos, permitiendo la consolidación de información proveniente de diversas fuentes de monitoreo en tiempo real. Esta plataforma ha demostrado su capacidad para procesar y analizar grandes volúmenes de datos operacionales, facilitando la identificación temprana de modos y tendencias que podrían indicar el desarrollo de fallas potenciales en los sistemas del equipo.

- Sistema Prevail-Grafana

Por tales razones, la implementación del sistema Prevail-Grafana representa una evolución significativa en la capacidad de monitoreo de la flota de cargadores. Esta plataforma permite la visualización en tiempo real de parámetros críticos como temperaturas de operación, presiones hidráulicas, corrientes eléctricas y variables de control del sistema LINC II. La interfaz de fácil entendimiento, Grafana facilita la creación de dashboards personalizados que permiten al personal técnico monitorear eficientemente los indicadores clave de desempeño y recibir alertas tempranas cuando los parámetros se desvían de los rangos normales de operación.

- Red de sensores (Ibutton)

La instalación de sensores Ibutton constituye un componente crucial en el diseño del sistema predictivo, específicamente funcional para el monitoreo continuo de temperaturas en las articulaciones críticas del cargador frontal. Estos sensores, con capacidad para registrar temperaturas en un rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$  y una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , proporcionan datos vitales para la detección temprana de problemas en componentes mecánicos. La implementación estratégica de estos sensores en puntos críticos como las articulaciones del pantógrafo, articulaciones superior e inferior, base de cilindros de levante, eje oscilante de bastidor, y los sistemas de dirección permite un monitoreo preciso y continuo de las condiciones de operación del equipo.

- Análisis de vibraciones

El sistema de análisis de vibraciones se integra como un elemento fundamental en el mantenimiento predictivo, utilizando el analizador AMS 2140 para la recolección y análisis de datos vibracionales. Este sistema permite la medición precisa de vibraciones en componentes críticos como motores eléctricos, bombas hidráulicas y sistemas de transmisión. La capacidad de realizar mediciones simultáneas y análisis espectral avanzado facilita la identificación temprana de problemas como desalineación, desbalance, fallas en rodamientos, entre otros,

permitiendo intervenciones preventivas antes de que ocurran fallas catastróficas.

- Monitoreo termográfico

El monitoreo termográfico se incorpora mediante cámaras especializadas Fluke PTi120, que permiten la inspección no invasiva de componentes eléctricos y mecánicos. Esta tecnología resulta particularmente valiosa para la detección de puntos calientes en sistemas eléctricos de alto voltaje, conexiones defectuosas y problemas de aislamiento. La capacidad de generar imágenes térmicas detalladas con una resolución de 120 x 90 píxeles facilita la identificación precisa de anomalías térmicas que podrían indicar el desarrollo de fallas potenciales.

- Análisis tribológico

El análisis tribológico complementa los sistemas mencionados con anterioridad, mediante el monitoreo sistemático de la condición de lubricantes en sistemas críticos. La optimización de los tiempos de respuesta en los análisis, reduciéndolos de siete a tres días, permite una identificación más rápida de problemas como contaminación, degradación del lubricante y desgaste de componentes. Esta mejora en la velocidad de respuesta resulta crucial para la toma de decisiones oportunas en el mantenimiento preventivo.

- ✓ Gestión de datos

La gestión de datos se estructura en tres niveles fundamentales: recolección y almacenamiento, procesamiento y análisis, y visualización y reportes. El proceso de recolección y almacenamiento se realiza mediante una plataforma centralizada que permite la captura automática de datos desde los diferentes sistemas de monitoreo. Los datos provenientes de sensores Ibutton, análisis de vibraciones, imágenes termográficas y análisis tribológicos se almacenan en servidores dedicados, asegurando la integridad y accesibilidad de la información histórica de cada sistema correspondiente al cargador frontal.

La visualización y generación de reportes se centraliza en la plataforma Prevail-Grafana, que proporciona una interfaz unificada para el acceso a toda la información del sistema predictivo. Los dashboards interactivos permiten diferentes niveles de visualización, desde resúmenes ejecutivos hasta análisis técnicos detallados. La capacidad de generar reportes automáticos facilita la comunicación efectiva entre los diferentes niveles de la organización y la documentación sistemática de las condiciones de los equipos. La trazabilidad de todas las acciones realizadas en el sistema permite mantener un registro detallado de las intervenciones y decisiones tomadas, basadas en la información predictiva.

### *Proceso de predicción de fallas*

El proceso de predicción de fallas para los cargadores frontales se fundamenta en un enfoque sistemático que integra el monitoreo en tiempo real, el análisis predictivo avanzado y un protocolo para la toma de decisiones. Este proceso se ha diseñado considerando las particularidades de los sistemas críticos identificados en el análisis AMEF, donde componentes como el sistema hidráulico y eléctrico mostraron NPR iniciales de 120 y 112 respectivamente, evidenciando la necesidad de un monitoreo riguroso y continuo.

✓ Monitoreo en tiempo real

El monitoreo en tiempo real se centra en el monitoreo continuo de variables críticas específicas para cada sistema del cargador frontal. En el sistema hidráulico, se monitorizan presiones de operación, temperaturas de fluidos y eficiencia volumétrica de las bombas principales, señales de carga de bomba (LS) y presión de suministro de pilotaje. Para el sistema eléctrico de alto voltaje, se supervisan corrientes de operación que pueden alcanzar los 1.2 kA, temperaturas en conexiones críticas y parámetros de control del sistema Lincs II. El sistema mecánico requiere el seguimiento de variables como vibraciones en componentes rotativos, temperaturas en articulaciones y parámetros del sistema automático de lubricación.

Se implementan tres niveles de alertas: precaución (nivel amarillo), advertencia (nivel naranja) y crítico (nivel rojo). Para el sistema hidráulico, por ejemplo, tendrá un rango de trabajo  $\pm 50$  psi en las presiones normales de los circuitos mencionados, sobre pasando este límite activa una alerta de precaución, mientras que variaciones superiores o inferiores a los 50 psi generan alertas críticas que requieren intervención inmediata.

El sistema de alarmas y alertas se configura en la plataforma Prevail-Grafana, estableciendo notificaciones automáticas que se distribuyen según la criticidad del evento. Las alertas de primer nivel se dirigen al personal técnico en faena, las de segundo nivel incluyen a supervisores. Este sistema de escalamiento asegura una respuesta oportuna y proporcionada a cada situación detectada.

✓ Análisis predictivo

Los modelos predictivos implementados se basan en técnicas estadísticas avanzadas y machine learning<sup>10</sup>, adaptados específicamente para cada tipo de falla identificada en el análisis AMEF. Para el sistema de componentes mayores, donde las fallas en sellos mecánicos mostraron un NPR inicial de 112, se implementa un modelo que correlaciona temperaturas, vibraciones y parámetros de lubricación para predecir deterioros prematuros. En el sistema hidráulico, los modelos analizan tendencias en presiones, temperaturas y eficiencia volumétrica para anticipar pérdidas de rendimiento.

✓ Toma de decisiones

Los protocolos de respuesta se estructuran en función de la criticidad de las alertas generadas por el sistema predictivo. Para cada nivel de alerta, se establecen procedimientos específicos que definen las acciones requeridas, los responsables de su ejecución y los tiempos de respuesta esperados. Las alertas de nivel precaución generalmente requieren un incremento en la frecuencia de monitoreo y la programación de inspecciones detalladas. Las alertas críticas pueden desencadenar la detención inmediata del equipo para prevenir fallas catastróficas.

Los niveles de criticidad se establecen considerando tanto el impacto potencial de la falla como la urgencia de la intervención requerida. Se definen tres niveles principales: bajo (requiere seguimiento, pero permite operación normal), medio (requiere programación de intervención en el corto plazo) y alto (requiere intervención inmediata). Cada nivel de criticidad está asociado a un conjunto específico de acciones y recursos necesarios para abordar

---

<sup>10</sup> aprendizaje automático

la situación detectada.

El flujo de comunicación es jerárquico pero ágil, asegurando que la información crítica llegue oportunamente a todos los involucrados en el proceso de toma de decisiones. Los técnicos especialistas en faena son los primeros en recibir las alertas del sistema predictivo, realizando una evaluación inicial de la situación. Según la criticidad del evento, la información se escala a supervisores, planificadores y línea de ingeniería, siguiendo protocolos establecidos que aseguran una comunicación efectiva y una respuesta coordinada.

La integración con el sistema SAP PM y Prometheus aseguran que las alertas predictivas se traduzcan efectivamente en órdenes de trabajo y actividades de mantenimiento programado. Esta integración permite una gestión eficiente de recursos, asegurando la disponibilidad de repuestos, herramientas y personal técnico necesario para las intervenciones planificadas. La coordinación entre el sistema predictivo y la planificación de mantenimiento ha demostrado ser fundamental para optimizar los tiempos de respuesta y minimizar el impacto en la operación.

La efectividad del proceso de predicción de fallas se evalúa mediante métricas específicas como la precisión de las predicciones, el tiempo de anticipación a las fallas y la reducción en el número de fallas imprevistas. El seguimiento continuo de estos indicadores permite ajustar y optimizar el proceso, asegurando su mejora continua y su alineación con los objetivos estratégicos del mantenimiento predictivo.

#### *Métricas de efectividad*

##### ✓ KPI específicos de predicción

Las métricas de efectividad del sistema predictivo implementado en los cargadores frontales P&H WE-2350 se fundamentan en un conjunto de indicadores clave de desempeño (KPI), diseñados específicamente para evaluar y optimizar la capacidad predictiva del sistema. Estos indicadores se establecen considerando los objetivos contractuales del acuerdo MARC y los resultados del análisis AMEF, donde sistemas críticos como el hidráulico y eléctrico mostraron NPR iniciales significativamente altos de 120 y 112 respectivamente, evidenciando la necesidad de un seguimiento riguroso de la efectividad de las predicciones.

La precisión del mantenimiento predictivo constituye el primer indicador fundamental, estableciendo como objetivo una tasa mínima del 90% de exactitud en las predicciones de fallas. Este indicador se calcula mediante la comparación entre las fallas anunciadas y las fallas reales ocurridas. Durante el período de implementación inicial, se espera alcanzar una precisión del 85% en los primeros seis meses, incrementando progresivamente hasta alcanzar el objetivo del 90% al finalizar el primer año de operación.

##### ✓ Sistema de seguimiento

El tiempo de anticipación a las fallas representa otro indicador crítico, midiendo el intervalo entre la primera detección de funcionamiento anormal de un sistema y la ocurrencia potencial de la falla. El objetivo establecido es lograr un tiempo mínimo de anticipación de 72 horas para fallas críticas, permitiendo una planificación adecuada de las intervenciones necesarias. Este

indicador se divide según la criticidad de los sistemas, requiriendo mayores tiempos de anticipación para componentes con mayor impacto operacional como el sistema hidráulico y los componentes mayores y sistema eléctrico de alto y bajo voltaje.

La determinación del tiempo de anticipación de 72 horas se basa en un análisis multifactorial que considera el comportamiento histórico de fallas y la implementación de nuevas tecnologías predictivas, tal como se detalla a continuación:

#### **A. Línea Base 2023 - Tiempos Actuales:**

- ✓ Detección de Falla:
  - Tiempo promedio de identificación: 2,5 horas
  - Tiempo de diagnóstico inicial: 3,0 horas
  - Total, tiempo de detección: 5,5 horas
- ✓ Proceso de Planificación:
  - Evaluación técnica: 8 horas
  - Gestión de recursos: 10 horas
  - Disponibilidad de repuestos: 6 horas
  - Total, tiempo de planificación: 24 horas

#### **B. Factores de Mejora con Nuevas Tecnologías:**

- ✓ Monitoreo en Tiempo Real (Prevail-Grafana):
  - Reducción en tiempo de detección: 80%
  - Nueva capacidad de anticipación: 20 horas
- ✓ Sensores Ibutton en Articulaciones:
  - Anticipación de fallas mecánicas: 28 horas
  - Detección temprana de desgaste: 12 horas
- ✓ Análisis de Vibraciones:
  - Predicción de fallas en componentes rotativos: 12 horas

#### **C. Cálculo del Tiempo de Anticipación:**

Tiempo Total de Anticipación =  $\Sigma$  (Tiempos de Detección Temprana)

Donde:

- Monitoreo tiempo real = 20 horas
- Sensores Ibutton = 40 horas
- Análisis vibraciones = 12 horas

Total = 72 hrs de anticipación

#### **D. Validación del Tiempo Proyectado:**

- ✓ Por Sistema Crítico:
  - Sistema Hidráulico: 65-75 horas
  - Sistema Eléctrico: 70-80 horas
  - Componentes Mayores: 60-70 horas
- ✓ Factor de Confiabilidad:
  - Precisión del diagnóstico actual: 65%
  - Precisión proyectada: 90%
  - Mejora en confiabilidad: 25%

Este tiempo de anticipación de 72 horas se establece como un objetivo alcanzable basado en:

- ✓ La implementación del monitoreo telemétrico a través de Prevail-Grafana.
- ✓ La instalación de sensores Ibutton en puntos críticos.
- ✓ La capacitación del personal técnico.
- ✓ La mejora en la gestión de planificación.
- ✓ La optimización del proceso de diagnóstico.

La validación de este tiempo se sustenta en la reducción del MTTR de 5,43 a 4,60 horas y la disminución proyectada de 988,3 a 714,5 horas de indisponibilidad anual.

La reducción en el tiempo medio de reparación (MTTR) se establece como uno de indicadores claves, con el objetivo de disminuir de 5,43 a 4,60 horas mensuales por reparación, representando una mejora del 15%. Esta reducción se fundamenta en la capacidad del sistema predictivo para identificar problemas en etapas tempranas, permitiendo intervenciones más efectivas y mejor planificadas. El seguimiento mensual de este indicador permite evaluar la efectividad de las predicciones en la optimización de los tiempos de mantenimiento.

El incremento en el tiempo medio entre fallas (MTBF) constituye otro indicador esencial, con una meta de mejora del 10% respecto a los valores actuales. Este objetivo se alinea con los requerimientos del contrato Marc y se monitorea mediante el seguimiento detallado de los intervalos entre fallas para cada sistema crítico del equipo. La efectividad del sistema predictivo debe reflejarse en un aumento sostenido del MTBF, evidenciando una mejora en la confiabilidad operacional del equipo.

El retorno sobre la inversión (ROI) del sistema predictivo se evalúa mediante el seguimiento de la reducción en costos por mantenimiento correctivo, estableciendo como objetivo una disminución del 27,7% sobre el costo actual de \$2,114,468.60 USD, lo que representa un ahorro proyectado de \$585,707.80 USD durante el primer año de implementación. Este indicador financiero justifica la inversión en tecnología predictiva y demuestra su impacto en la optimización de costos operacionales.

- ✓ Proceso de mejora continua

Las reuniones de seguimiento se estructuran en tres niveles: operativo (diario), táctico (semanal) y estratégico (mensual). En el nivel operativo, se revisan las alertas activas y se coordinan las respuestas inmediatas. Las reuniones tácticas evalúan la efectividad de las predicciones y ajustan los planes de mantenimiento según sea necesario. Las revisiones estratégicas mensuales analizan los KPI generales y definen acciones de mejora a largo plazo.

El proceso de mejora continua se fundamenta en el ciclo de Deming PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), estableciendo un marco sistemático para la optimización constante del sistema predictivo. La fase de planificación incluye la revisión mensual de los indicadores y la identificación de oportunidades de mejora. La fase de ejecución implementa las mejoras propuestas, mientras que la verificación evalúa su efectividad mediante el seguimiento de los KPI establecidos.

La retroalimentación continua del personal técnico constituye un elemento fundamental del proceso de mejora, estableciendo canales formales para la recopilación de sugerencias y observaciones sobre el funcionamiento del sistema predictivo. Esta información se analiza en las reuniones de mejora continua, donde se evalúan las propuestas y se definen planes de acción para implementar las mejoras validadas.

La capacitación continua del personal técnico en la interpretación y utilización del sistema predictivo asegura la optimización constante de su efectividad. Se establecen programas regulares de actualización que incorporan las lecciones aprendidas y las mejoras implementadas, manteniendo al equipo técnico actualizado sobre las capacidades y limitaciones del sistema.

El benchmarking con otras operaciones mineras que utilizan sistemas similares proporciona referencias valiosas para la mejora continua. La comparación sistemática de indicadores y prácticas permite identificar oportunidades de mejora y adoptar las mejores prácticas de la industria, contribuyendo al perfeccionamiento continuo del sistema predictivo.

### 3.3 Conclusión objetivo específico capítulo 3

“Proponer un plan de mejoramiento continuo, en donde se incluya la optimización de procesos de mantenimiento, capacitación del personal técnico y el uso de nuevas herramientas de predicción como es “Prevail - Grafana”, con la finalidad de mejorar los indicadores claves del mantenimiento”.

El objetivo específico del capítulo 3 se centró en proponer un plan de mejoramiento continuo integrando tres ejes estratégicos: optimización de procesos de mantenimiento, capacitación del personal técnico y la implementación de herramientas predictivas. Los resultados obtenidos del desarrollo e integración de estos tres ejes demuestran la viabilidad y efectividad de la propuesta para mejorar los indicadores claves de mantenimiento.

En cuanto a la optimización de procesos de mantenimiento, el análisis AMEF realizado permitió identificar y abordar los modos de falla críticos. Para el sistema de componentes mayores, donde se identificó un NPR inicial de 112 en fallas de sellos mecánicos, la implementación de las acciones propuestas reduce el NPR a 12. Similar mejora se observa en el sistema hidráulico, donde el NPR inicial de 120 para pérdidas de presión se reduce significativamente mediante la implementación de monitoreo continuo y análisis de tendencias.

La estrategia de capacitación técnica propuesta, estructurada en tres niveles progresivos con 360 horas totales de formación, asegura el desarrollo de competencias críticas en el personal. Este programa abarca desde fundamentos básicos hasta certificaciones especializadas en análisis de vibraciones y diagnóstico avanzado, proporcionando las habilidades necesarias para la implementación efectiva de las mejoras propuestas.

La implementación de herramientas predictivas, centrada en la plataforma Prevail-Grafana y complementada con sensores Ibutton y análisis termográfico, establece una infraestructura robusta para la predicción de fallas. Esta integración tecnológica permite un monitoreo en tiempo real de parámetros críticos y la detección temprana de anomalías.

Los resultados cuantitativos proyectados para el primer año de implementación son:

- ✓ Incremento en la disponibilidad del equipo de 74,08% a 80,9%
- ✓ Incremento en la confiabilidad del cargador de aumentó de 43 horas (2023) a 48,0 horas (2024). Incremento del 6%
- ✓ Reducción del MTTR de 5,43 a 4,60 horas (15% de mejora)
- ✓ Incremento del MTBF en un 10%
- ✓ Reducción del 27,7% en costos de mantenimiento correctivo, representando un ahorro proyectado de \$585,707.80 USD.

La integración de estos tres ejes estratégicos establece un marco comprensivo para el mejoramiento continuo del mantenimiento de los cargadores frontales. Los resultados proyectados demuestran no solo el cumplimiento del objetivo específico planteado, sino también su alineación con los requerimientos del contrato Marc y las mejores prácticas de la industria minera.

### 3.4 conclusión objetivo general

“Implementar una estrategia sobre el mejoramiento continuo, en los planes de mantenimiento predictivo y preventivo, aplicados en cargadores frontales WE-2350, con el fin de buscar la optimización de recursos, así mismo buscar perfeccionar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos”.

La presente investigación ha logrado desarrollar e implementar una estrategia integral de mejoramiento continuo para los planes de mantenimiento predictivo y preventivo de los cargadores frontales WE-2350, correspondiente al contrato Marc Joy Global, situado en minera Caserones, alcanzando los objetivos propuestos a través de un enfoque sistemático y cuantificable.

El diagnóstico inicial realizado en el Capítulo I identificó indicadores críticos que evidenciaban la necesidad de mejora:

- ✓ Disponibilidad física promedio de 74,08%, por debajo del objetivo contractual de 81%
- ✓ MTTR de 5,42 horas, superando el límite establecido de 5,0 horas.
- ✓ Costos por indisponibilidad de \$2,114,468.60 USD en 2023.
- ✓ 988,3 horas de detenciones no programadas.
- ✓ Proporción desfavorable de 54,96% de mantenimiento correctivo vs 45,04% preventivo.

El análisis AMEF desarrollado en el Capítulo II permitió identificar los sistemas críticos y establecer acciones de mejora específicas:

- ✓ Sistema de componentes mayores: reducción del NPR de 112 a 12 para fallas en sellos mecánicos.
- ✓ Sistema hidráulico: reducción del NPR de 120 a 8 para pérdidas de presión.
- ✓ Sistema eléctrico y control: reducción del NPR de 100 a 10 para fallas en interfaz LINCS.

La estrategia de mejora propuesta en el Capítulo III, fundamentada en tres ejes principales, proyecta los siguientes resultados cuantificables:

- ✓ Optimización de procesos de mantenimiento:
  - Incremento de disponibilidad al 80,9% (mejora de 7 puntos porcentuales)
  - Reducción del MTTR a 4,60 horas (mejora del 15%)
  - Aumento del MTBF en 10% por mes.
- ✓ Capacitación técnica del personal:
  - 360 horas de formación estructurada.
  - Mejora en precisión diagnóstica del 65% al 90%.
  - Reducción del 40% en repetición de fallas.
- ✓ Implementación de herramientas predictivas:
  - Monitoreo en tiempo real de variables críticas mediante Prevail-Grafana.
  - Reducción del tiempo de respuesta en análisis tribológicos de 7 a 3 días.
  - Sistema de alerta temprana con sensores Ibutton para articulaciones críticas
- ✓ El impacto financiero proyectado de la implementación de estas mejoras incluye:
  - Reducción del 27,7% en costos de mantenimiento correctivo.
  - Ahorro anual estimado de \$585,707.80USD.

- ROI positivo considerando la inversión en tecnología y capacitación
- ✓ La viabilidad de la estrategia propuesta se fundamenta en:
  - Alineación con objetivos del contrato Marc.
  - Uso de tecnologías probadas en la industria minera.
  - Programa estructurado de capacitación técnica.
  - Sistema robusto de medición y control de resultados.

La investigación demuestra que la implementación de esta estrategia de mejoramiento continuo no solo es viable, sino que además entregará beneficios cuantificables en términos de disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operacional. La integración de mantenimiento predictivo avanzado, capacitación técnica especializada y optimización de procesos establece una base sólida para la gestión sostenible de los activos críticos en la operación minera.

Por lo que es posible poder realizar la transformación sobre la gestión del mantenimiento industrial a través de una estrategia estructurada basada en datos, tecnologías ya establecidas y un enfoque de mejora continua permanente durante la ejecución de cada actividad planificada.

El diagnóstico realizado identificó indicadores críticos que fundamentaron la necesidad de intervención, incluyendo una disponibilidad física promedio de 74,08%, un MTTR de 5,42 horas y costos por indisponibilidad de \$2,114,468.60 USD durante el año 2023. El análisis AMEF adaptado específicamente para esta flota permitió identificar los sistemas críticos y establecer acciones de mejora personalizadas para las condiciones operativas particulares de Caserones, incorporando factores únicos como la operación a 4600 m.s.n.m., ciclos de carga específicos y la tecnología híbrida diésel-eléctrica del modelo WE-2350. La estrategia propuesta, fundamentada en tres ejes complementarios, constituye una solución integral a las deficiencias identificadas. La optimización de procesos de mantenimiento establece mecanismos para incrementar la disponibilidad al 80,9% y reducir el MTTR a 4,60 horas. La capacitación técnica especializada desarrolla las competencias necesarias para implementar y sostener las mejoras, incrementando la precisión diagnóstica del 65% al 90%. La implementación de herramientas predictivas avanzadas establece un sistema de monitoreo continuo que permite la detección temprana de anomalías y la programación óptima de intervenciones. El impacto proyectado de esta estrategia trasciende los aspectos técnicos para generar beneficios económicos sustanciales, con una reducción del 27,7% en costos de mantenimiento correctivo y un ahorro anual estimado de \$585,707.80 USD. La viabilidad técnica y económica demostrada, junto con el enfoque adaptado específicamente a las condiciones operativas de Caserones, hacen de esta propuesta una contribución significativa a la gestión del mantenimiento de activos críticos en la industria minera, estableciendo precedentes metodológicos valiosos para operaciones similares.

Al realizar el cambio de la lógica operativa del mantenimiento, pasando de una cultura reactiva a una preventiva y predictiva. Los resultados alcanzados reflejan un impacto directo en los indicadores de desempeño (disponibilidad, confiabilidad), aunque también en la motivación y competencias del equipo técnico.

Además, se evidencia que este modelo propuesto puede ser replicado en otras faenas mineras con equipos de carguíos similares, sirviendo como referente de gestión de activos en

entornos de alta exigencia como lo es en la operación de Minera Caserones.

Considerado lo anterior, se concluye que la estrategia propuesta representa un avance con enfoque técnico moderno y eficiente, alineado con los principios de confiabilidad, sustentabilidad operativa y gestión de activos bajo estándares internacionales como ISO 55000 (Gestión de activos) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

### **3.5 Recomendaciones finales**

Como se presentó en este trabajo de investigación, dado los escenarios proyectados para lograr el incremento de indicadores de disponibilidad y confiabilidad de la flota analizada para este trabajo.

Se recomienda realizar las siguientes acciones presentadas en este escrito:

Realizar ajuste en los procesos de mantenimiento preventivo y predictivo, siendo la digitalización de pautas de mantenimiento preventivo y el uso de tecnologías para predecir fallas en los diferentes sistemas del equipo.

Ampliar el uso de tecnologías de monitoreo telemétrico como Prevail-Grafana, incorporando tableros personalizados para cada equipo WE-2350. Esto permitirá que técnicos posean acceso a la información de manera ordenada y la toma de decisiones basadas en la colección de datos, optimizando la capacidad de respuesta frente a condiciones de fallas imprevistas.

Fortalecer los actuales programas de capacitaciones y especialización para los técnicos, priorizando el diagnóstico de fallas hidráulicas, eléctricas -control y análisis de vibraciones. Esto no solo mejora el diagnóstico de fallas, sino que también reduce la dependencia de terceras personas para realizar la reparación de un imprevisto.

Formar una estrategia de mejora continua, manteniendo una trazabilidad, con el fin de documentar toda implementación y modificaciones realizadas. Esta documentación debe ser accesible y servir como fuente de lecciones aprendidas y sacar aprendizajes en cada tarea ejecutada.

Dado los análisis, se recomienda mantener la desviación como máximo en un 15% sobre la precisión de servicio, para incrementar el target Life de cada componente del cargador.

Realizar un análisis anual del AMEF, ajustando las valoraciones de NPR según los datos reales coleccionados durante la operación. Con esto se asegurará que los planes de mantenimiento se mantengan actualizados y adaptados a la evolución de las condiciones operativas del cargador.

## Bibliografía

(s.f.).

ASANA. (s.f.). Recuperado el 19 de octubre de 2024, de ASANA:  
<https://asana.com/es/resources/pareto-principle-80-20-rule>

Atahualpa, C. F. (2019). *Mejoramiento continuo de procesos de calidad* (Primera Edición ed.).  
 Guayaquil: Grupo Compas. Recuperado el diciembre de 2024

Atlas.ti. (s.f.). Recuperado el 10 de diciembre de 2024, de Atlas.ti: <https://atlasti.com/es/research-hub/investigacion-descriptiva>

Atlassian . (s.f.). Recuperado el 15 de octubre de 2024, de Atlassian :  
<https://www.atlassian.com/es/agile/project-management/continuous-improvement>

AULA 21. (s.f.). Recuperado el 18 de octubre de 2024, de AULA 21:  
<https://www.cursosaula21.com/como-se-aplica-la-mejora-continua-en-el-mantenimiento/>

consejo minero. (s.f.). Recuperado el 10 de octubre de 2024, de consejo minero:  
<https://consejominero.cl/mineria-en-chile/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>

Dehesa, R. F. (s.f.). Digitalización del mantenimiento preventivo. *Digitalización del mantenimiento preventivo*. Ciudad de Mexico.

Fractal. (s.f.). Recuperado el 14 de octubre de 2024, de Fractal:  
<https://www.fractal.com/es/mantenipedia/que-es-la-confiabilidad-en-el-mantenimiento-y-como-calcularla>

Fractal. (s.f.). Recuperado el 18 de octubre de 2024, de Fractal:  
<https://www.fractal.com/es/blog/digitalizacion-del-mantenimiento>

Fractal. (s.f.). Recuperado el 18 de octubre de 2024, de Fractal:  
<https://www.fractal.com/es/blog/principios-planificacion-mantenimiento>

García, M. Q. (1994). *Mejora Continua de la calidad en los procesos*.

Guerrero, C. R. (s.f.). Propuesta Técnica de mejora en la planificación. *Artículo original*, pág. 19.  
 Recuperado el 25 de octubre de 2024

Guía de la calidad. (s.f.). Recuperado el 5 de noviembre de 2024, de Guía de la calidad:  
<https://guiadelacalidad.com/sistema-de-gestion/mejora-continua-ciclo-pdca/>

INFRASPEAK. (s.f.). Recuperado el 18 de octubre de 2024, de <https://blog.infraspeak.com/es/mttr/>

INFRASPEAK. (s.f.). Recuperado el 18 de octubre de 2024, de INFRASPEAK:  
<https://blog.infraspeak.com/es/analisis-fmea-amfe/>

Márquez, C. A. (2019). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*.

Mobley, K. (s.f.). *Maintenance Engineering Handbook*.

Moubray, J. (s.f.). *Mantenimiento Centrado en La Confiabilidad* (Segunda Edición ed.).  
 Recuperado el noviembre de 2024

Moubray, J. (s.f.). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)*.

P QuestionsPro. (s.f.). Recuperado el diciembre de 2024, de P QuestionsPro:  
<https://www.questionpro.com/blog/es/metodo-analitico/>

Pascual, R. (2008). *El Arte de Mantener*.

Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de mantenimiento Ingeniería, Gestión y Mantenimiento*.  
 Recuperado el 3 de noviembre de 2024, de <https://bibliotecadigital.usm.cl/info/manual-de->

mantenimiento-ingenieria-gestion-y-organizacion-00565786

Pulido, H. G. (s.f.). *Calidad Total y Productividad* (3 ed.). Recuperado el 30 de octubre de 2024

*Salesforce Latam*. (s.f.). Recuperado el 6 de noviembre de 2024, de Salesforce Latam:

[https://www.salesforce.com/mx/blog/que-es-benchmarking-y-como-](https://www.salesforce.com/mx/blog/que-es-benchmarking-y-como-aplicarlo/#:~:text=El%20benchmarking%20(en%20espa%C3%B1ol%20punto,atraer%20al%20p%C3%ABlico%20y%20reconquistarlo)

[aplicarlo/#:~:text=El%20benchmarking%20\(en%20espa%C3%B1ol%20punto,atraer%20al%20p%C3%ABlico%20y%20reconquistarlo](https://www.salesforce.com/mx/blog/que-es-benchmarking-y-como-aplicarlo/#:~:text=El%20benchmarking%20(en%20espa%C3%B1ol%20punto,atraer%20al%20p%C3%ABlico%20y%20reconquistarlo)

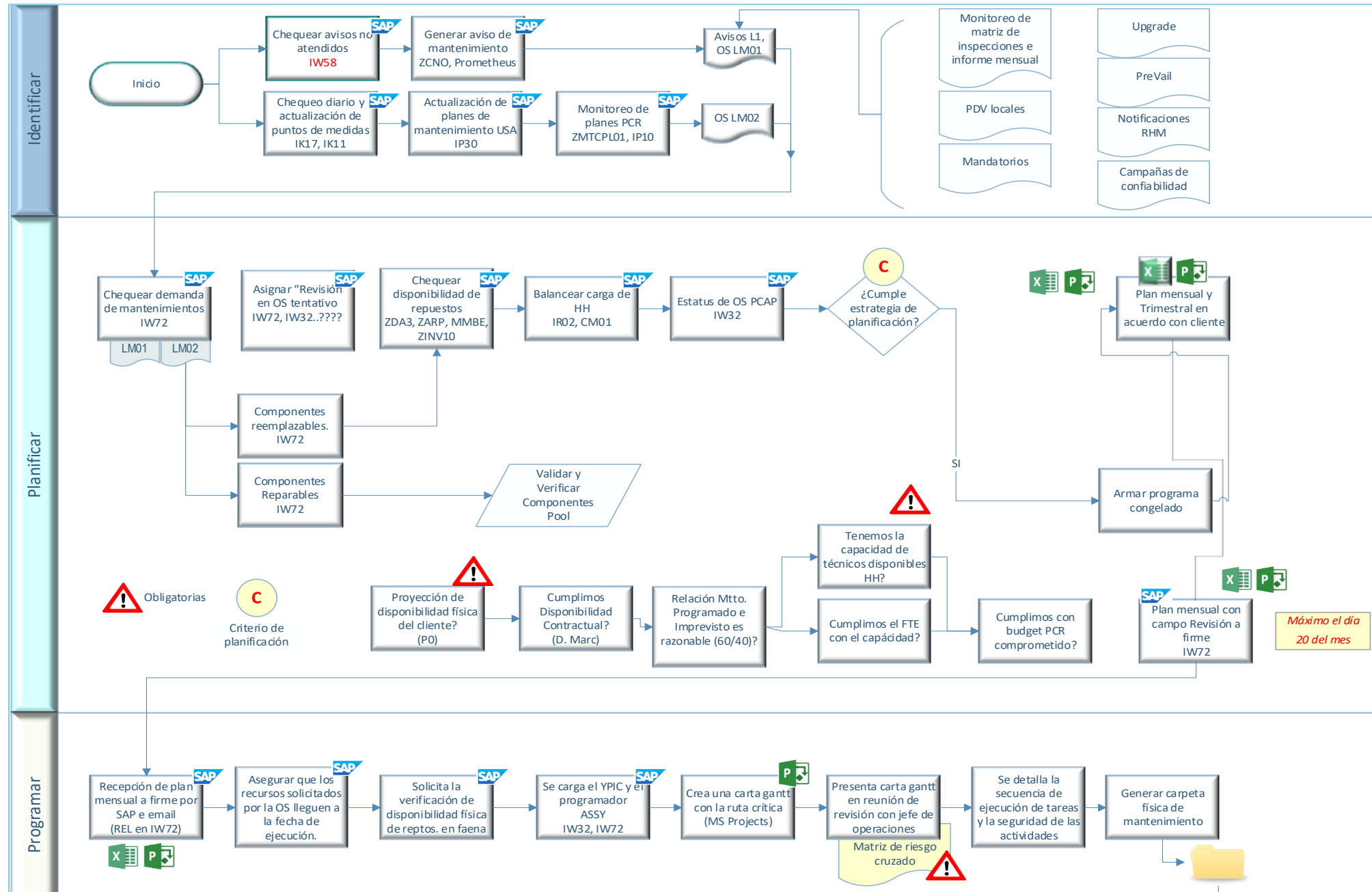
*Sistemas OEE*. (s.f.). Recuperado el 17 de octubre de 2024, de Sistemas OEE:

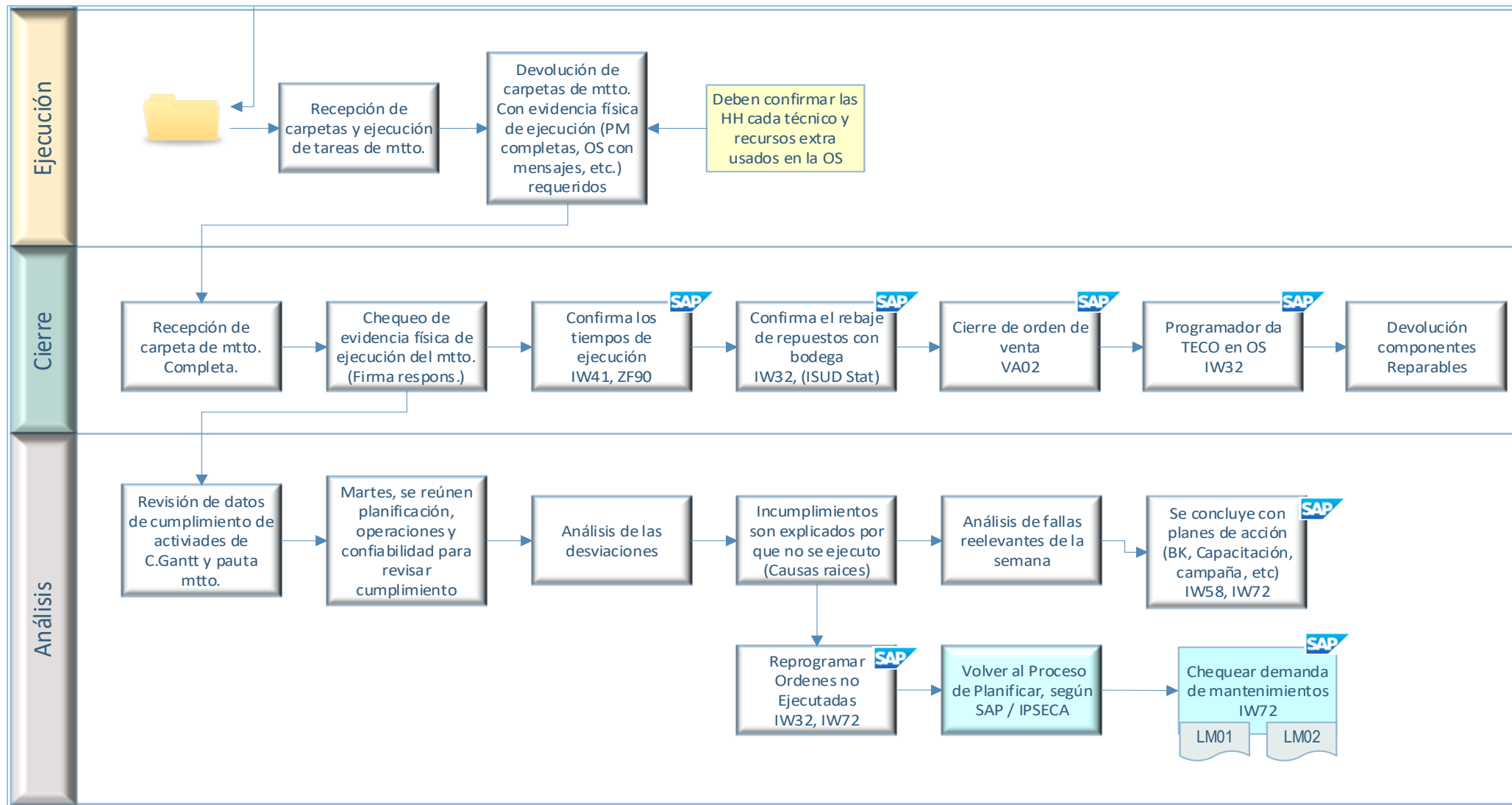
[https://www.sistemasoe.com/lean-](https://www.sistemasoe.com/lean-manufacturing/#:~:text=El%20Lean%20Manufacturing%2C%20o%20tambi%C3%A9n,tipo%20de%20valor%20al%20proceso)

[manufacturing/#:~:text=El%20Lean%20Manufacturing%2C%20o%20tambi%C3%A9n,tipo%20de%20valor%20al%20proceso](https://www.sistemasoe.com/lean-manufacturing/#:~:text=El%20Lean%20Manufacturing%2C%20o%20tambi%C3%A9n,tipo%20de%20valor%20al%20proceso)

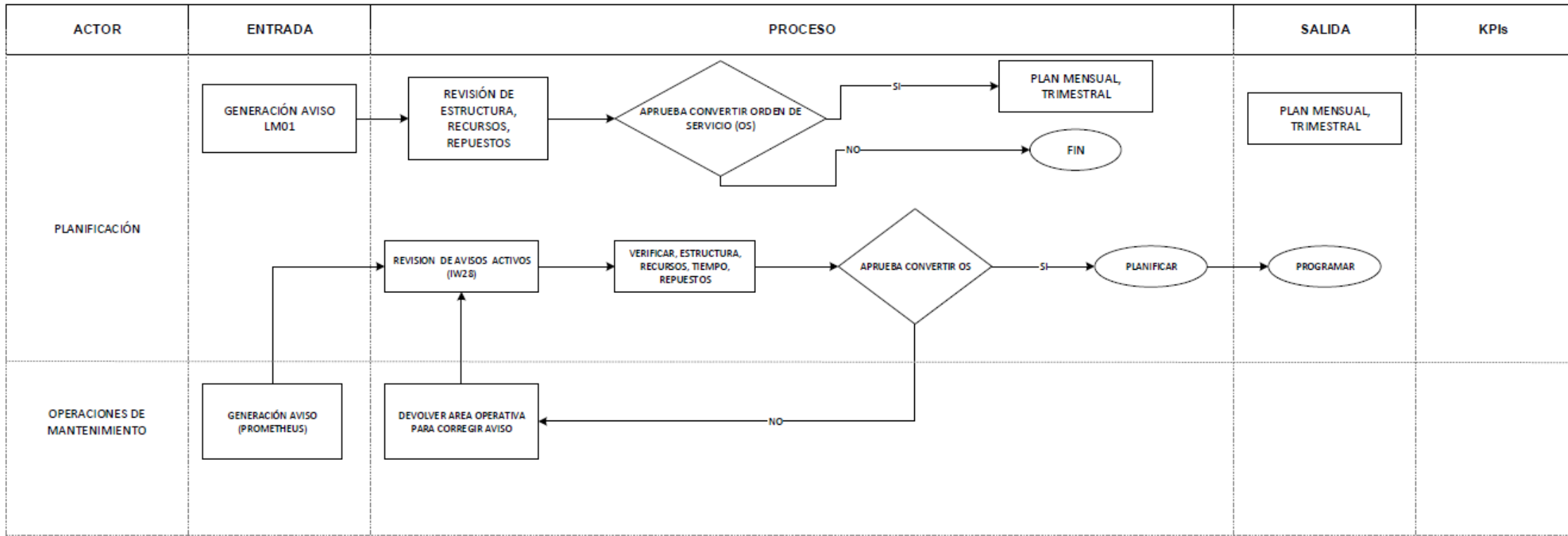
Tavares, L. A. (1996). *Administración Moderna de Mantenimiento*.

Anexos

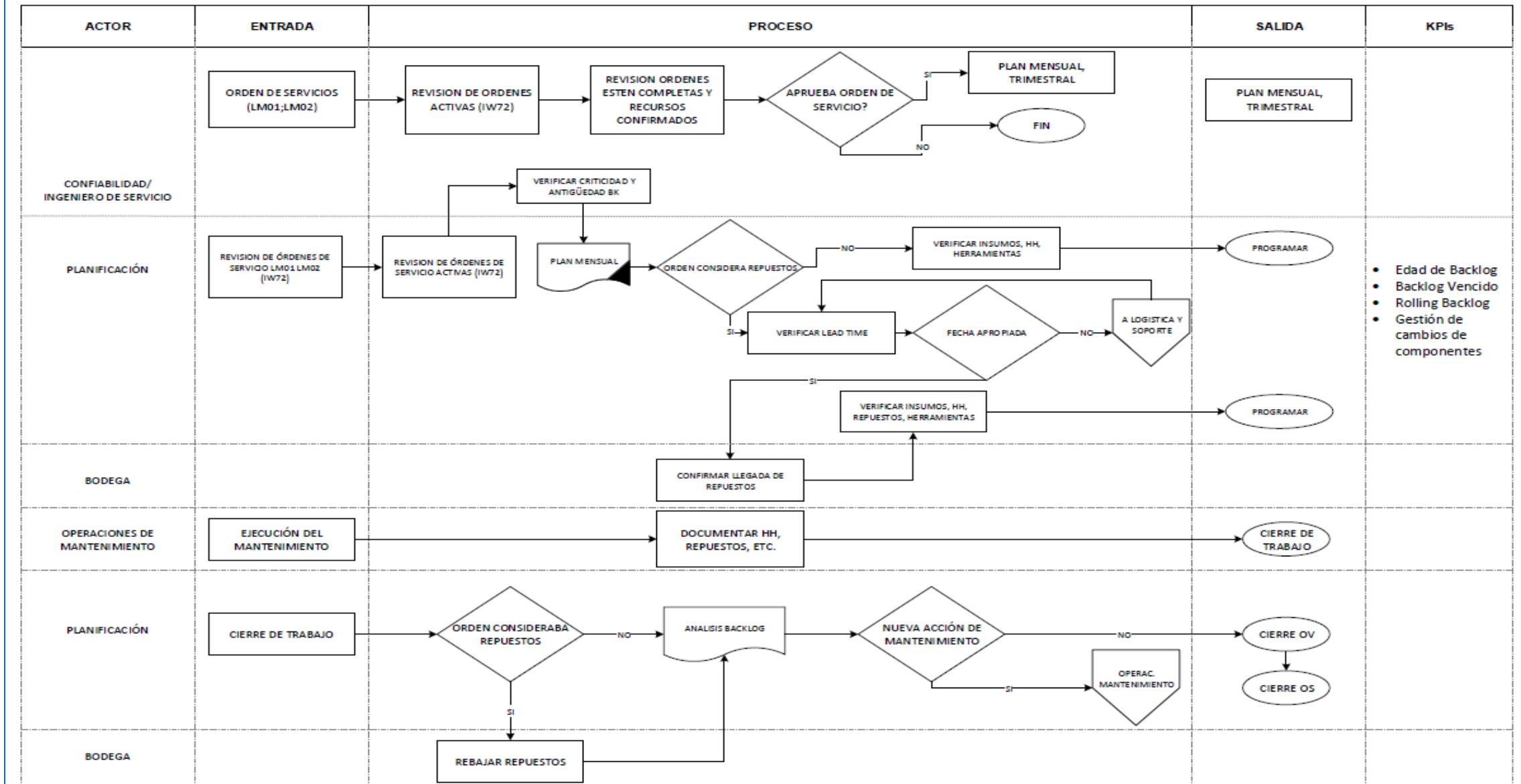




## GENERACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AVISO (PROMETHEUS)



## CICLO DE VIDA DEL BACKLOG



**a.2) Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF):**

La Contratista deberá cumplir mensualmente, al menos, con el “Tiempo Medio Entre Fallas” (“TMEF”) que se establece a continuación:

Equipos Marca Komatsu	Modelo	TMEF (horas) 2022	TMEF (horas) 2023	TMEF (horas) 2024 - 2027
Perforadoras eléctricas	P&H 320 XPC	35-40	35-40	35-40
Cargadores Frontales	Le tourneau L2350 GII HL	20-25	25-30	30-35
Palas de Cable	4100 XPC-AC	30-35	30-35	35-40

**a.1) Disponibilidad Contractual (DC):**

La Contratista deberá cumplir mensualmente, al menos, con la “Disponibilidad Contractual” (“DC”) que se establece a continuación:

Equipos Marca Komatsu	Modelo	DC desde (%) para todo el contrato
Perforadoras eléctricas	P&H 320 XPC	86,0
Cargadores Frontales	Le Tourneau L2350 GII HL	81,0
Palas de Cable	4100 XPC-AC	85,0

Año	Periodo Mes	Fecha	FECHA/HORA INICIO	FECHA/HORA TÉRMINO	Tiempo de Atención	Descripción Falla	Tipo de Detención	Sistema Principal	Sub Sistema
2023	Enero	04/01/2023	04/01/2023 19:06	05/01/2023 00:03	4.96	Balde golpea pantografo al hacer volteo, se ajusta presion de valvula de alivio de volteo Falla: bajo flujo lubricación mandos traseros Causa: conectores card4 en tarjeta digital aislada Solución : se cambian 2 conectores Np R 4289002 Se realiza retorque correspondiente 24 horas a cilindro levante izq. Se realiza reparación al brazo limpiaparabrisa frontal	RI	Hydraulic_Air_Components	Bucket_Circuit
2023	Enero	06/01/2023	06/01/2023 09:52	06/01/2023 12:18	2.42	Chequeo elemento de desgaste	RI	Electric_Control_Components	Low_Voltage_Control_Cabinet
2023	Enero	07/01/2023	07/01/2023 20:00	07/01/2023 22:50	2.84	Relleno niveles grasa 100%, aceite motor 100%, hidraulico 100%, Falla: Fuga de refrigerante Causa: golpe en radiador, en investigación Solucion : se retira celda fisurada, se retira celda	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Enero	08/01/2023	08/01/2023 08:00	08/01/2023 10:31	2.53	fuga hidraulica por linea de pilotaje, se cambia linea	RI	S/I	
2023	Enero	11/01/2023	11/01/2023 03:35	11/01/2023 05:10	1.59	falla: alta presion de aceite de motor. Causa: sensor aislado. Solucion, se realiza limpieza de conectores y pruebas de funcionamiento	RI	Hydraulic_Air_Components	Pilot_Circuit
2023	Enero	16/01/2023	16/01/2023 04:25	16/01/2023 05:52	1.46	Falla fuga x enfriador Causa panel de enfriador de aceite fisurado Solucion se instala modulo nuevo Se rellena con la pto con aceite Se realizan las pruebas correspondiente al equipo sin desviaciones	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Enero	16/01/2023	16/01/2023 09:48	16/01/2023 15:45	5.94	Falla fuga x enfriador Causa panel de enfriador de aceite fisuradoSolucion se instala modulo nuevoSe rellena con la pto	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Enero	16/01/2023	16/01/2023 15:47	16/01/2023 16:02	0.25	Falla: temperatura de convertidor igbt 1,2,3,4 Causa: aire en sistema de refrigeración Solucion: se realiza purgado de sistema de refrigeración de igbt, se rellena refrigerante, se realizan pruebas	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Enero	16/01/2023	16/01/2023 21:23	17/01/2023 00:35	3.20	Mantencion 2100 SISTEMA ELECTRICO DE EQUIPO (Indicar comentario)	RI	Electric_Control_Components	SR_Converter_Cabinet_1350
2023	Enero	17/01/2023	17/01/2023 10:32	17/01/2023 18:23	7.86	Mantencion 101 MANTENCION NO PROGRAMADA	RI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Enero	17/01/2023	17/01/2023 18:39	17/01/2023 19:12	0.56	Falla: temperatura de convertidor igbt 1,2,3,4 Causa: aire en sistema de refrigeración Solucion: se verifica posibles obstrucciones no encontrando desviaciones, se invierten flexibles de desaire invertidos. Se realiza purga de aire sistema refrigeracion paneles igbt. Se realiza traslado R3 y se realiza prueba operativas por 30 minutos con carga no arrojando alarmas	CRI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Enero	17/01/2023	17/01/2023 19:12	17/01/2023 23:25	4.22	Falla de comunicación VCU y HMI	RI	Electric_Control_Components	SR_Converter_Cabinet_1350
2023	Enero	20/01/2023	20/01/2023 11:03	21/01/2023 07:59	20.93	falla sistema de control lincs II, cambio de VCU, carga de programa ver 3.22, cambio de baterias, ajustes de pedal acele	RI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Enero	21/01/2023	21/01/2023 08:00	21/01/2023 16:20	8.33	Revisión de fuga refrigerante por linea de intercooler	CRI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Enero	22/01/2023	22/01/2023 21:48	22/01/2023 22:00	0.20	Cambio de cañeria refrigerante intercooler, relleno de refrigerante	RI	Hydraulic_Air_Components	Fan_Circuit
2023	Enero	22/01/2023	22/01/2023 22:53	22/01/2023 23:31	0.63	fuga hidraulica, causa de la fuga es por corte de perno en brida de bomba de levante rapido, se saca bloque por no poder retirar perno cortado, se normaliza condicon cambiando ambas bridas, pernos, goliillas y sello, relleno de lubricantes, equipo queda para entrega turno B	CRI	Hydraulic_Air_Components	Fan_Circuit
2023	Enero	23/01/2023	23/01/2023 10:03	23/01/2023 20:00	9.95	Fuga hidráulica, reparación de brida bomba de levante	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Enero	23/01/2023	23/01/2023 20:00	23/01/2023 23:23	3.38	Sin levante de balde, se detecta baja presión de pilotaje	CRI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Enero	24/01/2023	24/01/2023 00:11	24/01/2023 08:00	7.82		RI	Hydraulic_Air_Components	Pilot_Circuit

2023	Febrero	01/02/2023	01/02/2023 20:27	01/02/2023 23:10	2.72	Baja presion deaceite PTO, causa: bajo nivel de aceite, se hace relleno, se verifican posibles fugas, se entrega equipo	RI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
2023	Febrero	03/02/2023	03/02/2023 11:21	03/02/2023 14:01	2.66	reparacion limites de pantografo	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Febrero	03/02/2023	03/02/2023 23:31	03/02/2023 23:33	0.03	operador informa equipo detenido con alarma roja, se autoriza a resetear para sacar el equipo de la frente	RI	Power_Unit_Components	Power_Unit_Installation
2023	Febrero	03/02/2023	03/02/2023 23:33	03/02/2023 23:36	0.04	sin atencion por parte de mantencion	CRI	Power_Unit_Components	Power_Unit_Installation
2023	Febrero	04/02/2023	04/02/2023 21:57	04/02/2023 22:20	0.38	detencion por plumilla limpia parabrisas, equipo sin atencion por falta HH	RI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Febrero	07/02/2023	07/02/2023 14:32	07/02/2023 17:41	3.15	FALLA EN MOVIMIENTO DE LEVANTE	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Febrero	07/02/2023	07/02/2023 21:39	07/02/2023 22:10	0.51	baja presion de aire estanque hidraulico, cable cortado en valvula de alimentacion de aire al estanque, normalizacion del sistema	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Febrero	08/02/2023	08/02/2023 08:40	08/02/2023 10:36	1.93	falla: presurizacion de tanque hidraulico, causa: desregulado, solucion: se regula presion de trabajo quedando equipo operativo	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Febrero	08/02/2023	08/02/2023 10:36	08/02/2023 10:38	0.04	equipo en pruebas	CRI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Febrero	08/02/2023	08/02/2023 12:31	08/02/2023 14:37	2.09	falla: presurizacion de tanque hidraulico, causa: desregulado, solucion: se regula presion de trabajo, se mejora condicion de mangueras de aire quedando equipo operativo	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Febrero	11/02/2023	11/02/2023 23:39	12/02/2023 04:00	4.35	Falla: alarma temperatura pto. Causa: se detecta flexible con fuga. Solucion: se realiza cambio de flexible	RI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
2023	Febrero	15/02/2023	15/02/2023 21:12	15/02/2023 21:59	0.79	BAJO NIVEL ACEITE MOTOR/ se rellena con 30 lts, se miden gets	RI	Power_Unit_Components	Power_Unit_Installation
2023	Febrero	20/02/2023	20/02/2023 01:05	20/02/2023 02:51	1.76	bajo flujo de aire en cabina, flujo de aire se pierde por rotura de linea flexible de salida ventilador de calefaccion, se repara condicion ord:000300269422	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Febrero	20/02/2023	20/02/2023 10:48	20/02/2023 10:54	0.10	Retorqueo	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Febrero	20/02/2023	20/02/2023 13:14	20/02/2023 15:52	2.63	Alarma roja motor diesel, alta presion de inyeccion en sistema de combustible. Se realiza limpieza valvula moduladora y filtro de malla ingreso a bba, chequeo electrico conectres de v/v moduladora. Equio recupera condicion nprmal de operacion	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Febrero	20/02/2023	20/02/2023 20:24	20/02/2023 22:44	2.34	Falla: Sin referencia joystick derecho por mando aislado. Se realiza mantenimiento a conector, se realiza mantenimiento a conector, se realizan pruebas y queda operativo. Se realiza medicion de elementos de desgaste.	RI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Febrero	20/02/2023	20/02/2023 23:30	21/02/2023 01:38	2.13	Perdida de referencia de joystick izquierdo, conflicto interno en joystick. Se cambia mando	RI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Febrero	21/02/2023	21/02/2023 02:21	21/02/2023 07:59	5.65	Falla direccion	CRI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Febrero	21/02/2023	21/02/2023 08:00	21/02/2023 18:12	10.21	Falla de direcci3n	CRI	Structural_Components	Rear_Frame
2023	Febrero	23/02/2023	23/02/2023 07:24	23/02/2023 07:59	0.59	FALLA ALARMA ROJA MOTOR. Baja presi3n combustible.	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Febrero	23/02/2023	23/02/2023 08:00	23/02/2023 13:00	5.00	Falla: Alta presion de combustible. Causa: Valvula moduladora averiada. Soluci3n: Se realiza cambio de valvula modul	CRI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Febrero	24/02/2023	24/02/2023 14:04	24/02/2023 14:14	0.16	falla: alarma de baja presion de aire estanque hidraulico causa: desconocida. Solucion: Se insoeccionan llaves de presurizacion todas cerradas. no se detectan anomalias. se abren y cierran. mejorando condicion.	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps

2023	Marzo	02/03/2023	02/03/2023 16:54	02/03/2023 17:36	0.71	alarma amarilla MD , limpieza conectores ecm	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	04/03/2023	05/03/2023 07:06	05/03/2023 07:21	0.26	Lampara amarilla de motor activa	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	05/03/2023	05/03/2023 09:28	05/03/2023 10:10	0.70	baja presion aire tanque hidraulico	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Marzo	05/03/2023	05/03/2023 15:52	05/03/2023 16:02	0.17	Mantencion 2180 CABINA EQUIPO	RI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Marzo	05/03/2023	05/03/2023 20:51	06/03/2023 01:06	4.26	falla de comunicacion entre ECM y VCU en forma intermitente, se hace un chequeo de arnes de control entre interface y ECM, chequeo de linea de comunicacion CAN, encontrando haciendo mal contacto en terminal de entrada gabinete 24V, se recorre todo el cable en busca de roces a tierra y limpieza de conectores. aviso.000300270198	RI	Electric_Control_Components	Low_Voltage_Control_Cabinet
2023	Marzo	05/03/2023	06/03/2023 01:10	06/03/2023 01:35	0.41	alarma roja baja presion estanque hidraulico, equipo se encuentra con baja presion de aire 5 psi con balde abajo, se regula presion de aire a 12 psi y 6 psi con balde en alto, se entrega equipo aviso:000300270196	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Marzo	07/03/2023	07/03/2023 08:09	07/03/2023 12:22	4.21	reparacion fuga aceite caja PTO- Cambio asiento operador	RI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
2023	Marzo	07/03/2023	07/03/2023 15:12	07/03/2023 15:42	0.51	reparacion aire sistema klenz, fuga en fitting	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Marzo	07/03/2023	07/03/2023 17:05	07/03/2023 18:26	1.34	ruido extraño motor diesel	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	11/03/2023	11/03/2023 20:16	11/03/2023 22:35	2.32	Falla: sobre presion de inyeccion combustible. Causa: desconocida. Solucion: al llegar a equipo se verifican arnes de valvula compensadora, y presiones al momento de la alarma donde indica 22ksi. Al realizar prueba en alta y en potencia presion de inyeccion no supera los 14ksi.	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	15/03/2023	16/03/2023 07:23	16/03/2023 07:59	0.61	Al realizar pruebas con carga equipo no sube mas de 12ksi. Se entrega operativo.	RI	Hydraulic_Air_Components	Steering_Circuit
2023	Marzo	16/03/2023	16/03/2023 08:00	16/03/2023 08:14	0.25	MANTENCION NO PROGRAMADA	CRI	Hydraulic_Air_Components	Steering_Circuit
2023	Marzo	22/03/2023	22/03/2023 23:05	22/03/2023 23:27	0.37	Direccion lenta	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	22/03/2023	23/03/2023 02:40	23/03/2023 06:40	4.00	Falla: Alarma roja de motor. Causa: desconocida. Solucion: Se ingresa al equipo y se evalua falla presentada en links y por pc, se da condición de partida sin detectar fallos	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	22/03/2023	23/03/2023 10:39	23/03/2023 14:29	3.83	Falla: Fuga en sistema hidraulico. Causa: rotura de flexible manifold sistema auxiliar. Solucion: se realiza retiro y reemplazo de flexible, se realiza relleno de aceite hidraulico y retorque de 6 hrs.	RI	Hydraulic_Air_Components	Accessory_Circuits
2023	Marzo	23/03/2023	23/03/2023 10:39	23/03/2023 14:29	3.83	Falla: válvula secuencial de enfriador de pto descalibrada. Causa: desconocida. Solucion: se realiza inspección de circuito hidraulico del sistema de refrigeración de pto, se chequea presión de seteo de valvula, se realiza regulación de de valvula secuencial quedando esta en 190 psi aproximadamente. se realizan pruebas. Se entrega equipo	RI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
2023	Marzo	25/03/2023	25/03/2023 12:45	25/03/2023 17:09	4.40	Falla: aire acondicionado no enfria. causa: posteriormente se detecta evaporador congelado. Solucion: se realiza desarme y se aplica calor para descongelar evaporador, ademas se aprecia poco flujo de aire en sector derecho, se realiza desarme y reparación de fugas de aire por conductos. equipo operativo.	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Marzo	26/03/2023	26/03/2023 11:57	26/03/2023 19:22	7.42	Falla: aire acondicionado no enfria. Causa: se detecta VV corte agua calefaccion no cierra. Solucion: se realiza desarme de sistema de aire acondicionado, se realiza limpieza de evaporador y condensador, se chequea valvula de paso calefaccion, encontrandose abierta. se realiza mantencion quedando operativa.	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Marzo	27/03/2023	27/03/2023 16:48	27/03/2023 18:59	2.18	Falla: aire acondicionado no enfria. causa: se detecta VV corte agua calefaccion no cierra. Solucion: se realiza desarme de sistema de aire acondicionado, se realiza limpieza de evaporador y condensador, se chequea valvula de paso calefaccion, encontrandose abierta. se realiza mantencion quedando operativa.	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Marzo	28/03/2023	28/03/2023 06:27	28/03/2023 08:00	1.55	falla de sistema de frenos, no liberan.	RI	Electric_Control_Components	Low_Voltage_Control_Cabinet
2023	Marzo	28/03/2023	28/03/2023 08:00	28/03/2023 08:44	0.73	falla: sistema de freno no liberan. Causa: Se detecta Relé de sistema de frenos aislado. Solución: se verifican param	CRI	Electric_Control_Components	Low_Voltage_Control_Cabinet
2023	Marzo	31/03/2023	31/03/2023 09:35	31/03/2023 09:57	0.36	SISTEMA ELECTRICO DE EQUIPO, SIN BOCINA	RI	Cab_Components_s	Cab_Components_sbs
2023	Marzo	31/03/2023	31/03/2023 14:36	31/03/2023 14:41	0.08	lectura erronea , sensor nivel refrigerante	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	31/03/2023	31/03/2023 14:41	31/03/2023 15:33	0.86	Mantencion 2190 MOTOR (Indicar comentario)	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Marzo	31/03/2023	31/03/2023 23:16	01/04/2023 00:59	1.71	perdida de comunicación ECM, se encuentra aislado conector CAB 6 aviso: 000300271781	RI	Major_Components	Major_Components_sbs

2023	Abril	03/04/2023	04/04/2023 07:20	04/04/2023 07:59	0.65	Bocina	RI	Cab_Components_s	Cab_Components_sbs
2023	Abril	04/04/2023	04/04/2023 08:00	04/04/2023 09:11	1.18	Sistema de aire. Cambio Bocina Causa: alarma roja de motor. Solucion: se apoya partida con cebador manual normalizando condición.	CRI	Cab_Components_s	Cab_Components_sbs
2023	Abril	05/04/2023	05/04/2023 08:16	05/04/2023 10:38	2.36	SIN ATENCION POR FALTA DE HH, DOTACION NO CORREPONDE A IMPREVISTO	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	05/04/2023	06/04/2023 05:39	06/04/2023 05:41	0.02	SIN ATENCION POR FALTA DE HH, DOTACION NO CORREPONDE A IMPREVISTO	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	05/04/2023	06/04/2023 05:41	06/04/2023 07:59	2.31	SIN ATENCION POR FALTA DE HH, DOTACION NO CORREPONDE A IMPREVISTO	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	06/04/2023	06/04/2023 08:00	06/04/2023 08:35	0.59	Equipo repone al darle condición	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	07/04/2023	08/04/2023 04:25	08/04/2023 06:26	2.00	Falla: alarma amarilla de motor activs. Causa: se detecta circuito abierto en v/v moduladora. Solucion: se realiza chequeo de arnés, se verifican soldadura de cables, no encontrando anomalías, se procede a borrar código de falla, no volviéndose a activar.	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	08/04/2023	08/04/2023 11:52	08/04/2023 15:58	4.10	Falla: 1:Alta presión de inyección.2:Largo tiempo de respuesta inyector B2. Causa: 1: Cavidad de sensor alta presión de combustible contaminada.2: Contaminación y aislacion de arnés en ECM. Solución: 1: Se realiza limpieza en cavidad y sensor de alta presión.2: Se retiran conectores, se verifica pines y se realiza limpieza de estos.Se realizan pruebas normalizando condición Equipo se entrega operativo.	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	08/04/2023	08/04/2023 17:38	08/04/2023 18:47	1.15	Falla: 1:Alta presión de inyección.2:Largo tiempo de respuesta inyector B2. Causa: 1: Cavidad de sensor alta presión de combustible contaminada.2: Contaminación y aislacion de arnés en ECM. Solución: 1: Se realiza limpieza en cavidad y sensor de alta presión.2: Se retiran conectores, se verifica pines y se realiza limpieza de estos.Se realizan pruebas normalizando condición Equipo se entrega operativo.	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	10/04/2023	11/04/2023 07:00	11/04/2023 07:59	0.98	Falla nivel hidráulico	RI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
2023	Abril	11/04/2023	11/04/2023 08:00	11/04/2023 14:04	6.08	SISTEMA HIDRAULICO	CRI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
2023	Abril	11/04/2023	11/04/2023 14:11	11/04/2023 15:58	1.78	MOTOR	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	12/04/2023	12/04/2023 19:50	12/04/2023 21:34	1.73	FALLA BOCINA AGUA EN SISTEMA NEUMATICO	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Abril	12/04/2023	13/04/2023 01:49	13/04/2023 02:51	1.03	FALLA BOCINA AGUA EN SISTEMA NEUMATICO	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Abril	12/04/2023	13/04/2023 05:24	13/04/2023 06:31	1.11	FALLA BOCINA , ELECTROVALVULA NEUMATICA CONGELADA	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Abril	13/04/2023	13/04/2023 22:06	13/04/2023 23:39	1.55	SIN BOCINA - CHEQUEO LUZ AMARILLA MD, SE CAMBIA SECADOR DE AIRE Y ELECTROVALVULA	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Abril	14/04/2023	14/04/2023 19:10	14/04/2023 19:24	0.24	Soltura de adapter	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	15/04/2023	15/04/2023 20:13	15/04/2023 22:24	2.18	FALLA PARADA EMERGENCIA -CAMBIO SENSOR NIVEL REFRIGERANTE	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	15/04/2023	16/04/2023 01:18	16/04/2023 02:40	1.37	FALLA DRIVE GENERADOR	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	17/04/2023	17/04/2023 22:49	18/04/2023 00:28	1.64	excesiva drives inactivo Falla: equipo se detiene en operacion Causa:alarma roja, multiples fallas. Solucion: al llegar al equipo se realiza verificacion de codigos activos con personal de detroit, se visualizan multiples alarmas,	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	23/04/2023	23/04/2023 16:40	23/04/2023 18:18	1.62	Alarma roja de motor, generada por bajo nivel de petroleo 17%.	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	24/04/2023	24/04/2023 21:09	24/04/2023 22:04	0.92	Luz roja motor, Perdida de enlace datos motor	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	26/04/2023	26/04/2023 12:06	26/04/2023 13:42	1.60	Fuga línea intercooler	RI	Hydraulic_Air_Components	Oil_Cooling_Circuits
2023	Abril	27/04/2023	27/04/2023 08:13	27/04/2023 11:21	3.15	falla:cargador con baja potencia; causa: alternador en falla; solucion: cambio de alternador (se retira de motor de repuesto)	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Abril	29/04/2023	29/04/2023 21:41	30/04/2023 02:25	4.73	baja presion de aire tanque hidraulico; causa: cable cortado de alimentacion de valvula de despiche de aire; solucion: normalizacion de conexionado	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Abril	29/04/2023	30/04/2023 03:27	30/04/2023 04:02	0.59	Sin direccion hacia lado izquierdo	RI	Hydraulic_Air_Components	Steering_Circuit
2023	Abril	29/04/2023	30/04/2023 07:38	30/04/2023 07:59	0.35	Sin dirección lado izquierdo, cambio de planchas de impacto. Ajustar hora programada desde las 09:30 por cambio de planchas de	CRI	Hydraulic_Air_Components	Steering_Circuit
2023	Abril	30/04/2023	30/04/2023 08:00	30/04/2023 09:30	1.50				
2023	Mayo	24/05/2023	25/05/2023 00:18	25/05/2023 02:28	2.17	Alarma sistema de lubricación, cambio de valvula de venteo	RI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main
2023	Mayo	25/05/2023	25/05/2023 14:27	25/05/2023 19:27	5.01	presenta falla en ciclos de lubricacion	RI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main
2023	Mayo	25/05/2023	26/05/2023 03:39	26/05/2023 07:14	3.58	Fuego de aceite por coneccion brida alimentacion a Bba. Principal falla: pantografo se baja con carga y sin carga cartridge valvula flotación con fuga interna cambio de cartridge	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Mayo	31/05/2023	31/05/2023 10:02	31/05/2023 15:22	5.33	causa: solución: se realiza	RI	Major_Components	Major_Components_sbs

2023	Junio	06/06/2023	06/06/2023 17:12	06/06/2023 17:50	0.64	SISTEMA HIDRAULICO	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Junio	06/06/2023	06/06/2023 17:50	06/06/2023 23:10	5.32	Falla: fuga por flexible lubricacion balancin operación. causa: rotura durante Solucion: se realiza cambio de flexible (flexible relleno con grasa).	RI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main
2023	Junio	07/06/2023	07/06/2023 22:35	07/06/2023 22:55	0.33	chequeo en terreno , ruido extraño en pasador puño balde lado izquierdo	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	08/06/2023	07/06/2023 22:55	08/06/2023 07:59	9.07	chequeo en terreno , ruido extraño en pasador puño balde lado izquierdo	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	08/06/2023	08/06/2023 08:00	08/06/2023 15:00	7.00	separacion de balde de pantografo, para cambio de pasadores puño balde rotos	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	11/06/2023	11/06/2023 22:58	12/06/2023 00:38	1.66	se solicita un chequeo por vibracion en cabina operarador , solo se realiza inspección visual y se entrega operativo	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	11/06/2023	12/06/2023 04:25	12/06/2023 05:22	0.96	se realiza mediciones de vibraciones en sector motor diesel, generador, fan , Equipo se deja operando hasta llegar resultados de análisis	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	13/06/2023	13/06/2023 08:00	14/06/2023 07:59	24.00	CAMBIO DE MOTOR DIESEL	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	14/06/2023	14/06/2023 08:00	15/06/2023 07:59	24.00	CAMBIO DE MOTOR DIESEL	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	15/06/2023	15/06/2023 08:00	16/06/2023 07:59	24.00	CAMBIO DE MOTOR DIESEL	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	16/06/2023	16/06/2023 08:00	17/06/2023 07:59	24.00	CAMBIO DE MOTOR DIESEL	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	17/06/2023	17/06/2023 08:00	18/06/2023 07:59	24.00	CAMBIO DE MOTOR DIESEL	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	18/06/2023	18/06/2023 08:00	19/06/2023 07:59	24.00	CAMBIO DE MOTOR DIESEL	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	19/06/2023	19/06/2023 08:00	20/06/2023 07:59	24.00	CAMBIO DE MOTOR DIESEL	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	20/06/2023	20/06/2023 08:00	21/06/2023 07:59	24.00	Se realiza desmontaje de perifericos de modulo motor y desmontaje de motor generador.	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	21/06/2023	21/06/2023 08:00	22/06/2023 07:59	24.00	Se realiza desmontaje de perifericos de modulo motor y desmontaje de motor generador.	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	22/06/2023	22/06/2023 08:00	23/06/2023 07:59	24.00	Cambio modulo motor generador	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	23/06/2023	23/06/2023 08:00	24/06/2023 07:59	24.00	Cambio de modulo de potencia y generador	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	24/06/2023	24/06/2023 08:00	25/06/2023 00:32	16.54	Cambio de modulo de potencia y generador	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	24/06/2023	25/06/2023 02:24	25/06/2023 04:26	2.04	temperatura drive; causa: por aire en circuito de refrigeracion; solucion: purga de aire en ciercuito de refrigeracion y relleno de refrigerante	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	25/06/2023	26/06/2023 01:11	26/06/2023 02:14	1.04	Falla de generacion; causa. Perdida de sincronizacion sensor RPT; solucion: limpia de conectores, revision de cableado en generador maestro cabina HV	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	25/06/2023	26/06/2023 03:38	26/06/2023 07:17	3.64	Falla de generacion; causa. Perdida de sincronizacion sensor RPT; solucion: limpia de conectores, revision de cableado en generador maestro cabina HV; cambio de sensor RPT, reparacion fuga de aire por manifold neumatico; retorque de pernos capot (sueltos)	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	25/06/2023	26/06/2023 07:21	26/06/2023 07:59	0.64	cambio de modulo de potencia y generador aviso:000300275961	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	26/06/2023	26/06/2023 08:00	26/06/2023 11:52	3.87	FALLA RTP GENERADOR	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Junio	27/06/2023	27/06/2023 18:43	27/06/2023 21:52	3.15	FALLA: EQUIPO SE QUEDA SIN COMBSUTIBLE, FALLA NIVEL DE PTO; CAUSA: FALLA DE SENSOR DE COMBUSTIBLES, NIVEL DE PTO OK	RI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
						Falla baja presión en caja PTO Causa bajo nivel de aceite Solución se rellena caja PTO con 25 litros y se realiza inspección de niveles de aceite grasa ,tanque hidraulico, se realiza toma de medidas de puntas Tx PTO 100% Tanque de grasa ok			
2023	Junio	28/06/2023	28/06/2023 08:22	28/06/2023 13:10	4.81	Tx hidráulico 90%	RI	Hydraulic_Air_Components	Gearbox_Circulation_Circuit
2023	Junio	29/06/2023	29/06/2023 20:19	30/06/2023 02:29	6.17	fuga hidráulica	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Junio	29/06/2023	30/06/2023 06:08	30/06/2023 06:26	0.30	regulación de límites	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit

2023	Julio	01/07/2023	01/07/2023 08:10	01/07/2023 15:13	7.06	falla: baja presion de aire y falla e sistema de aire acondicionado causa: fuga por filtro secador de aire y falla en termistor de sistema de aire acondicionado solucion: se realiza cambio de conjunto de filtro de secador de aire, se deja fuera termistor	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Julio	01/07/2023	01/07/2023 15:48	01/07/2023 17:24	1.61	falla: baja presion de aire de estanque hidraulico causa: cable desconectado en solenoide solucion: se reposiciona cable y se reaprieta en regleta	RI	Hydraulic_Air_Components	Air_System
2023	Julio	05/07/2023	05/07/2023 14:49	05/07/2023 19:02	4.21	baja presion de sistema de lubricacion, equipo sin grasa, se rellena equipo con un 90%, cambio de manguera de pto que estaba filtrando	RI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main
2023	Julio	06/07/2023	06/07/2023 18:28	06/07/2023 18:54	0.45	Falla joystick derecho, causa: falla de joytick, solucion. Cambio de elemento	RI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Julio	10/07/2023	10/07/2023 08:15	10/07/2023 09:59	1.73	Alarma roja motor	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Julio	12/07/2023	12/07/2023 01:15	12/07/2023 02:00	0.75	Plumilla fuera de posicion	RI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Julio	16/07/2023	16/07/2023 03:32	16/07/2023 04:49	1.29	Falla: Cargador f/s sin condición de partida después de cargar combustible. Causa: operador indica que no da condición. Solución : se realiza cebado de sistema , dando condición inmediata. Trabajos realizados por oportunidades : rellenos de niveles, hidráulico y refrigerante.	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Julio	18/07/2023	18/07/2023 16:46	18/07/2023 18:36	1.84	falla: fuga de refrigerante Causa: se detecta fuga por manquito roto sector motor -radiador. Solucion: se realiza cambio de manguito y se realiza relleno de refrigerante.	RI	Power_Unit_Components	Radiator_Piping
2023	Julio	18/07/2023	18/07/2023 21:59	18/07/2023 23:27	1.47	Falla:Equipo se detiene durante operación sin arrojar alarma Causa: conector de arnes ECM con cable cortado Solución se realiza chequeo sin encontrar anomalías al momento de realizar pruebas arroja alarma motor, se chequea conector de ECM se encuentra cable cortado y se realiza cambio de cable y se realizan pruebas quedando operativa ,se realiza inspección de niveles de aceite y grasa estando en óptimas condiciones Se realiza medición de elementos de desgaste	RI	Electric_Control_Components	Controller_Card_Assemblies
2023	Julio	21/07/2023	21/07/2023 07:16	21/07/2023 07:59	0.72	Falla sensor de combustible	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Julio	21/07/2023	21/07/2023 08:00	21/07/2023 10:44	2.74	falla cable sensor nivel combustible- cambio cupling sensor pos pantografo	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Julio	24/07/2023	24/07/2023 02:52	24/07/2023 04:16	1.40	Calibracion balde	RI	Electric_Control_Components	Controller_Card_Assemblies
2023	Julio	24/07/2023	24/07/2023 16:00	24/07/2023 18:50	2.83	SIN AIRE AC, CHEQUEO COMPONENTES	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Julio	25/07/2023	25/07/2023 12:35	25/07/2023 17:05	4.51	REPARACIÓN SISTEMA A/C	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Julio	25/07/2023	25/07/2023 20:13	25/07/2023 20:23	0.17	PANTALLA GUI INTERMITENTE	RI	Cab_Components_s	Cab_Components_sbs
2023	Julio	25/07/2023	25/07/2023 20:53	26/07/2023 01:23	4.49	PANTALLA GUI APAGADA	CRI	Cab_Components_s	Cab_Components_sbs
2023	Julio	26/07/2023	26/07/2023 21:47	27/07/2023 07:59	10.21	EQUIPO FUERA DE SERVICIO POR DIRECCIÓN	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Julio	27/07/2023	27/07/2023 08:00	28/07/2023 07:59	24.00	Falla: equipo queda girado a la izquierda.. Causa: en evaluación.	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Julio	29/07/2023	29/07/2023 08:00	30/07/2023 02:09	18.16	Falla: equipo queda girado a la izquierda.. Causa: Falla en cilindro de dirección izquierdo.	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Julio	31/07/2023	31/07/2023 19:22	01/08/2023 00:16	4.90	FUGA DE ACEITE HIDRÁULICO SECTOR CILINDRO DE DIRECCIÓN LADO IZZQUIERD: ROTIRA DE SELLO EN BLOQUE DE CILINDRO DE DIRECCIÓN , SE REALIZAN EXTRACCIÓN DE BRIDAS Y SELLOS.	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Agosto	01/08/2023	01/08/2023 09:58	01/08/2023 17:17	7.31	Falla: equipo con problemas de aire acondicionado. Causa: falta de gas refrigerante. Solución: se realiza medición de flujo, 17 KM por hora, se recarga con gas refrigerante	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Agosto	02/08/2023	02/08/2023 10:32	02/08/2023 13:27	2.92	sistema de A/C apagado aviso: 300278511	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Agosto	05/08/2023	05/08/2023 15:36	05/08/2023 17:19	1.71	falla sistema A/C	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Agosto	05/08/2023	05/08/2023 19:26	05/08/2023 23:06	3.67	RUIDO EN CONDENSADOR SOBRE CABINA OPERADOR,CAMBIO DE MOTORES DE BLOWER CALEFACCION	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Agosto	10/08/2023	10/08/2023 01:17	10/08/2023 04:15	2.96	Falla: caída de diente posición 2 Causa: desconocida Solución: se repone diente posición número dos	RI	Structural_Components	Bucket_Assy
2023	Agosto	18/08/2023	18/08/2023 16:21	18/08/2023 16:37	0.26	Alarma amarilla intermitente, baja potencia	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Agosto	20/08/2023	20/08/2023 12:21	20/08/2023 12:52	0.52	Revisión sistema A/C	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Agosto	20/08/2023	20/08/2023 17:11	20/08/2023 17:31	0.33	Habilitación sistema calefacción cabina	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Agosto	21/08/2023	21/08/2023 05:44	21/08/2023 06:47	1.05	Retorque de 24 hrs	RI	Structural_Components	Lift_Arms
2023	Agosto	27/08/2023	27/08/2023 19:00	28/08/2023 07:59	13.00	falla: alarma por baja presion autolubricacion Causa: en evaluacion Solucion: se realiza inspeccion de circuito de lubricacion. Se reemplaza bomba de grasa, a espera de pruebas operacionales.	RI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main
2023	Agosto	28/08/2023	28/08/2023 08:00	28/08/2023 15:30	7.50	falla de lubricación	CRI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main

2023	Septiembre	03/09/2023	03/09/2023 22:45	04/09/2023 02:08	3.37	Se cambio coupling 221, estamos esperando terminar petróleo cargador para iniciar pruebas, Inspección balancín cargador frontal	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Septiembre	09/09/2023	09/09/2023 16:58	09/09/2023 19:18	2.33	falla: Alarma rpt generador Causa: Pin aislado, en gabinete AT Panel G1 Solucion: se realiza inspección y mantenimiento a conexiones rpt generador, en gabinete alto voltaje, se realizan pruebas equipo queda operativo	RI	Electric_Control_Components	SR_Converter_Cabinet
2023	Septiembre	12/09/2023	12/09/2023 01:07	12/09/2023 07:41	6.56	FALLA: PANTÓGRAFO SUBE LENTO Y SE BAJA. CAUSA: FALLA EN VÁLVULA CARTUCHO DE ELEMENTO LÓGICO, N.C. SOLUCIÓN: CAMBIAR CARTUCHO DE ELEMENTO LÓGICO.	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Septiembre	12/09/2023	12/09/2023 14:38	13/09/2023 07:59	17.35	Falla: balde sube lento. Causa: falla en BOMBA DE PISTÓN - 260 CM3 M.D. Solución: cambio de BOMBA DE PISTÓN - 260 CM3 M.D.	RI	Power_Unit_Components	Pumps_and_Adapters
2023	Septiembre	13/09/2023	13/09/2023 08:00	13/09/2023 14:05	6.08	Cambio bba levante rápido	CRI	Power_Unit_Components	Pumps_and_Adapters
2023	Septiembre	15/09/2023	15/09/2023 03:46	15/09/2023 07:59	4.23	Desajuste de límites	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Septiembre	15/09/2023	15/09/2023 08:00	15/09/2023 13:40	5.67	Problemas límites movimiento de balde	CRI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Septiembre	15/09/2023	15/09/2023 21:05	15/09/2023 22:16	1.18	falla: generacion: causa: RPT modulo A en falla; solucion: se cambia via software a modulo B	RI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Septiembre	17/09/2023	17/09/2023 12:40	17/09/2023 13:03	0.38	Flujo deficiente en aire acondicionado	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Septiembre	18/09/2023	18/09/2023 08:29	18/09/2023 09:20	0.85	Sin condición de partida, bornes batería sueltos	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Septiembre	18/09/2023	18/09/2023 20:26	18/09/2023 23:39	3.22	Equipo sin condición de partida; causa. Bornes sueltos en baterías; solución: cambio de ambos puentes de batería* cambio de las 4 baterías	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Septiembre	18/09/2023	18/09/2023 23:49	19/09/2023 03:52	4.05	falla: limite de volteo; causa: couplin pantografo cortado; spolucion: cambio de couplin, ajuste de límites	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Bucket_Circuit
2023	Septiembre	19/09/2023	19/09/2023 13:29	19/09/2023 15:24	1.92	Equipo sin bocina	RI	Cab_Components_s	Cab_Assy
2023	Septiembre	19/09/2023	19/09/2023 20:20	19/09/2023 22:10	1.83	falla en volteo y pantografo; causa: limite de pantografo descalibrado; solucion. Calibracion de límites	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Septiembre	20/09/2023	20/09/2023 18:01	20/09/2023 22:19	4.31	Falla: alta rpm ventilador de radiador Causa: desconocida Solución: se realiza regulación de compensador de presión de fan de radiador quedando esta en 745 rpm. Se realiza chequeo de elementos de desgaste encontrándose diente más corto en 12 1/4" y entre diente más corto en 9" posición 6. Se realiza chequeo de niveles encontrándose de la siguiente manera. Aceite motor 100% Aceite hidráulico 80% Pto 80% Tx grasa 50% Igbt 100% Refrigerante 100%	RI	Hydraulic_Air_Components	Fan_Circuit
2023	Septiembre	22/09/2023	22/09/2023 22:02	22/09/2023 23:35	1.55	Falla: fuga de aceite hidráulico. Causa: rotura en oring de solenoide de bomba de engrase. Solucion: se realiza extracción e instalación de oring nuevo en tuerca de respaldo de electro válvula de bomba de engrase. Por oportunidad Se realiza chequeo de elementos de desgaste encontrándose diente más corto en 15 1/4" y entre diente más corto en 9 1/2", lateral en 7 1/4". Se realiza chequeo de niveles encontrando niveles bajos. Se realiza relleno de aceite hidráulico. Motor, pto, refrigerante de radiador, se rellena Tk de grasa. Niveles quedan de la siguiente manera Aceite motor 100% Aceite hidráulico 100% Pto 100% Tx grasa 100% Igbt 100% Refrigerante 100%	RI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main
2023	Septiembre	24/09/2023	24/09/2023 08:14	24/09/2023 16:05	7.83	Equipo presenta fuga hidráulica por oring de solenoide, este se reemplaza, se realiza cambio de 2 baterías por estar en corto, y se continúa con retiro de fitting dañado. Este se genera por golpe con piedra	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Septiembre	28/09/2023	28/09/2023 20:13	28/09/2023 22:18	2.08	Levante plancha desgaste posición n°4	RI	Major_Components	Major_Components_sbs

2023	Octubre	01/10/2023	01/10/2023 22:41	02/10/2023 01:27	2.76	Manguera hidráulica pilotaje dirección válvula PVG con rotura	RI	Hydraulic_Air_Components	Pilot_Circuit
2023	Octubre	06/10/2023	06/10/2023 15:14	06/10/2023 16:05	0.85	Alarma de cebado de generador	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Octubre	08/10/2023	08/10/2023 16:51	08/10/2023 17:33	0.69	falla de a/c	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Octubre	09/10/2023	09/10/2023 16:57	09/10/2023 18:00	1.05	Falla: Sin aire acondicionado Causa: Falla de termistor Solucion:Cambio de repuesto, trabajo queda pendiente.	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Octubre	09/10/2023	09/10/2023 18:00	09/10/2023 19:02	1.03	Falla: Entre diente Pos #6 perforado. Causa: Desgaste operacional Solucion: Cambio de entrediente	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Octubre	12/10/2023	12/10/2023 20:09	12/10/2023 21:35	1.43	Falla comunicacion ECM motor; se encuentra aislado cable de comunicacion	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Octubre	15/10/2023	15/10/2023 02:33	15/10/2023 03:20	0.79	Corte correa del alternador	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Octubre	19/10/2023	19/10/2023 12:35	19/10/2023 13:58	1.38	sin conción de partida	RI	Electric_Control_Components	
2023	Octubre	21/10/2023	21/10/2023 04:07	21/10/2023 06:59	2.88	Falla: Fuga de aceite flexible de pilotaje válvula flotación cilindro lado izquierdo Causa: Desgaste por vibración Solucion: Cambio de flexible	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Octubre	26/10/2023	26/10/2023 05:44	26/10/2023 07:59	2.26	Se retira una sección de protección del FAN y se bajan rpm a 700 pero se mantiene condición de vibración por desvalance	RI	Hydraulic_Air_Components	Fan_Circuit
2023	Octubre	26/10/2023	26/10/2023 08:00	26/10/2023 12:01	4.03	falla: continuacion reparacion aspa motor ventilador radiador; causa: aspa impactada; solucion; se acorta todas las aspas, se hac	CRI	Hydraulic_Air_Components	Fan_Circuit
2023	Octubre	26/10/2023	26/10/2023 14:23	26/10/2023 16:07	1.73	Falla: baja RPM motor; causa: sobre temperatura refrigerante motor; solucion: se aumenta velocidad de motor de ventilacion	RI	Hydraulic_Air_Components	Fan_Circuit
2023	Octubre	26/10/2023	26/10/2023 19:28	26/10/2023 21:53	2.42	Falla comunicación Drive esclavo M4	RI	Electric_Control_Components	Armature_Converter_Panel_N0_4
2023	Octubre	31/10/2023	01/11/2023 04:10	01/11/2023 07:59	3.83	AJUSTE DE BOMBA PRINCIPAL	RI	Power_Unit_Components	Pumps_and_Adapters

2023	Noviembre	01/11/2023	01/11/2023 19:46	02/11/2023 07:59	12.23	Solución: en evaluación	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Bucket_Circuit
2023	Noviembre	03/11/2023	03/11/2023 07:59	03/11/2023 13:59	5.99	Falla funcionamiento levante y bajada pantografo	CRI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Bucket_Circuit
						Falla: Baja velocidad subida de pantógrafo con carga Causa: Regulación de válvula check			
2023	Noviembre	03/11/2023	03/11/2023 17:51	03/11/2023 19:46	1.92	Solución: Se regula queda operativo	CRI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Bucket_Circuit
2023	Noviembre	04/11/2023	04/11/2023 10:26	04/11/2023 14:27	4.02	Movimiento de levante con fuerza disminuida. Desajuste válvula de alivio Husko	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Bucket_Circuit
						Falla: Fuga de aceite hidraulico Causa: Asentamiento valvula Husco con irregularidad			
2023	Noviembre	05/11/2023	05/11/2023 14:40	05/11/2023 18:12	3.55	Solucion: Cambiar valvula Huco y accesorios	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Bucket_Circuit
						Fallas: Problemas en pantografo, este se baja sin aviso. Causa: Falla de transducer linea hidraulica de levante Solucion: Cambio de Transducer			
						Falla: Falla de prpograma de operación Causa: Desconocida			
2023	Noviembre	06/11/2023	06/11/2023 12:00	06/11/2023 20:00	8.00	Solucion: Cambio de HMI ya que no permite reinstalar el programa.	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Bucket_Circuit
						Falla: sistema de pantalla wii con datos erroneo. Causa: falla en pantalla y programa.			
2023	Noviembre	06/11/2023	06/11/2023 20:00	07/11/2023 07:59	12.00	Solución: se cambia HMI y pantallas si obtener resultados, pasa a turno día.	RI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Noviembre	07/11/2023	07/11/2023 08:00	07/11/2023 14:09	6.16	Cambio de HMI, se reprograma y deja operativo con observaciones, equipo queda con Observaciones.Operacion de pantalla con m	CRI	Electric_Control_Components	Lincs_Circuits
2023	Noviembre	08/11/2023	08/11/2023 04:17	08/11/2023 07:59	3.71	Falla: sRuido en cabina por bmbas . Causa: en evaluación. Solución: sno se alcanza a revisar por falla P202, pasa a turno día.	RI	Hydraulic_Air_Components	Bucket_Circuit
2023	Noviembre	08/11/2023	08/11/2023 08:00	08/11/2023 19:25	11.42	Sin pantalla GUI	RI	Electric_Control_Components	Fuse_Panel
2023	Noviembre	08/11/2023	08/11/2023 22:36	09/11/2023 01:49	3.21	RUIDO EN PTO	RI	Hydraulic_Air_Components	Bucket_Circuit
2023	Noviembre	10/11/2023	10/11/2023 11:13	10/11/2023 12:44	1.50	Sin límites pantógrafo, balde	RI	Electric_Control_Components	Wire_and_Cable_Group
2023	Noviembre	10/11/2023	10/11/2023 13:30	10/11/2023 15:21	1.85	Sin límites pantógrafo, balde	CRI	Electric_Control_Components	Wire_and_Cable_Group
2023	Noviembre	13/11/2023	13/11/2023 08:07	13/11/2023 12:56	4.83	Fuga por w danfoss	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Noviembre	14/11/2023	14/11/2023 09:13	14/11/2023 10:17	1.08	Fuga hidráulica	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
						Falla: caída de pernos parte sueprior capot. Causa: caída de pernos capot superior.			
2023	Noviembre	15/11/2023	15/11/2023 16:00	15/11/2023 20:00	3.99	Solución: reponer pernos, cambiar puntas realizar ban a Bba Principal B y de recirculación (5 y 6)	RI	Structural_Components	Rear_Frame
2023	Noviembre	15/11/2023	15/11/2023 20:00	16/11/2023 00:32	4.54	Falla: caída de pernos parte sueprior capot. Causa: caída de pernos capot superior.	CRI	Structural_Components	Rear_Frame
2023	Noviembre	18/11/2023	18/11/2023 04:06	18/11/2023 04:20	0.22	Falla en focos frontales	RI	Electric_Control_Components	Lighting_Circuit
2023	Noviembre	18/11/2023	18/11/2023 05:15	18/11/2023 06:11	0.92	Falla en focos frontales	CRI	Electric_Control_Components	Lighting_Circuit
2023	Noviembre	20/11/2023	20/11/2023 04:25	20/11/2023 06:12	1.78	Se asiste por ruido en pantografo.	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
						Sin personal especilista en aire acondicionado Falla: equipo con poco aire			
2023	Noviembre	20/11/2023	20/11/2023 16:26	20/11/2023 18:13	1.79	acondicionado	RI	Cab_Components_s	Heating_and_AC
2023	Noviembre	21/11/2023	21/11/2023 04:24	21/11/2023 06:05	1.70	Falla: Ruido de aire anormal (indicado por el operador). Causa: Desconocida	CRI	Major_Components	Major_Components_sbs
						capot suelto, A/C baja intensidad; causa: pernos cortados en capot; AC falta de gas; solucion: se cambian pernos en mal estado			
2023	Noviembre	22/11/2023	22/11/2023 14:17	22/11/2023 16:08	1.84	en capot; se hace carga de gas refrigerante en AC	RI	Structural_Components	Rear_Frame
2023	Noviembre	25/11/2023	25/11/2023 05:22	25/11/2023 06:03	0.69	Relleno grasa, chequeo elementos desgaste	RI	Auto_Lube_Components	Auto_Lube_Main

2023	Diciembre	04/12/2023	04/12/2023 16:38	04/12/2023 19:31	2.89	Falla: Equipo presenta falla de sensor de pedal de control de velocidad Causa: Contaminación en conectores y tarjetas Falla: movimiento de levante deficiente Causa: solenoide proporcional de levante abre solo en un 58% Solucion: se limpia conectores electricoy spool de v/v de levante se realiza calibracion, apertura de solenoide post mantencion 68 %	RI	Cab_Components_s	Operator_Controls
2023	Diciembre	06/12/2023	06/12/2023 03:42	06/12/2023 05:54	2.21	Se prueba equipo sin desviaciones	RI	Hydraulic_Air_Components	Hoist_Circuit
2023	Diciembre	06/12/2023	06/12/2023 10:28	06/12/2023 11:56	1.47	ajuste StockBlock balancin	RI	Structural_Components	Pins_and_Bushings
2023	Diciembre	06/12/2023	06/12/2023 20:26	07/12/2023 01:21	4.93	pruebas negativas vuelve a perder los limites, continuacia en evaluacion por parte de tecnicos.	RI	Structural_Components	Pins_and_Bushings
2023	Diciembre	07/12/2023	07/12/2023 01:36	07/12/2023 02:20	0.72	Problema con limites de levante y volteo.	CRI	Structural_Components	Pins_and_Bushings
2023	Diciembre	07/12/2023	07/12/2023 05:33	07/12/2023 06:48	1.26	Ajuste limite de pantografo	RI	Structural_Components	Pins_and_Bushings
2023	Diciembre	07/12/2023	07/12/2023 09:04	07/12/2023 12:54	3.84	Falla: Golpe en movimineto descarga de balde	RI	Structural_Components	Pins_and_Bushings
2023	Diciembre	08/12/2023	08/12/2023 13:13	08/12/2023 14:34	1.35	Temperatura alta de aceite motor diesel, se ajusta velocidad ventilador.	RI	Power_Unit_Components	Air_Cooling_System
2023	Diciembre	09/12/2023	09/12/2023 09:38	09/12/2023 10:08	0.51	Falla en linea de descarga de sistema contra incendio (release)	RI	S/I	
2023	Diciembre	19/12/2023	19/12/2023 13:04	19/12/2023 14:39	1.58	Falla: ruido en pantografo.Causa : falla en cilindro de levante lado derecho.Solucion: se da inicio a desarme equipo para cambio de pasador	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Diciembre	19/12/2023	19/12/2023 15:14	20/12/2023 07:59	16.77	Falla: ruido en pantografo.Causa : falla en cilindro de levante lado derecho.Solucion: se da inicio a desarme equipo para cambio de pasador	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Diciembre	21/12/2023	21/12/2023 08:00	21/12/2023 13:31	5.52	cambio de cilindro de levante, cambio de get y compresor sistema AC	RI	Major_Components	Major_Components_sbs
2023	Diciembre	21/12/2023	21/12/2023 20:24	21/12/2023 23:24	2.99	Operador indica motor diesel no da condicion de partida. Causa: Aire eb el sistema de combustible.	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Diciembre	25/12/2023	25/12/2023 11:46	25/12/2023 13:09	1.37	falla: alarma roja bajo nivel hidraulico	RI	Electric_Control_Components	Controller_Card_Assemblies
2023	Diciembre	25/12/2023	25/12/2023 23:24	26/12/2023 01:51	2.45	Alarma bajo nivel aceite hidráulco (real)	RI	Hydraulic_Air_Components	Hyd_Tank_Pumps
2023	Diciembre	27/12/2023	27/12/2023 16:18	27/12/2023 18:40	2.37	Falla: operador informa que balde golpea en el piso al bajarlo Causa: descalibración de limites Solución: Se realiza revisión del sistema (pruebas dinamicas) y se realiza calibración de limites	RI	Electric_Control_Components	Controller_Card_Assemblies
2023	Diciembre	27/12/2023	27/12/2023 20:35	28/12/2023 00:23	3.79	Falla: equipo sin condicion de partida Causa: se encuetra equipo descebado Solucion: se chequean lineas de combustible por fugas, se cheque valvula check del estanque. No se encuentran desviaciones. Se ceba sistema de combustible y se da partida, se realizan pruebas y se entrega operativo	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Diciembre	28/12/2023	28/12/2023 13:28	28/12/2023 15:30	2.02	Falla: operador informa que tiene balde golpea al levantar balde Causa: stop block con daño. Solución: Al tratar de calibrar lmites se detecta fuga hidraulica en lineas del sistema de dirección, se reemplazan y se rellena aceite hidraulico 800 litros, nos retiramos del equipo por coordinación de tronadura.	RI	Structural_Components	Bucket_Assy
2023	Diciembre	28/12/2023	28/12/2023 17:51	28/12/2023 19:03	1.20	Falla: Se contuna con darle partida al equipo el cual no da condición Causa: Valvula sheck de combustible abierta Solución: Se realiza reemplazo de valvula sheck y se ceba el equipo dando condición y quedando operativo.	RI	Power_Unit_Components	Fuel_System
2023	Diciembre	31/12/2023	31/12/2023 13:33	31/12/2023 15:08	1.59	al realizar chequeo se detecta fuga de aceite en sector árbol de frame trasero, y filtro de recirculacion de pto. Se realiza cambio de sellos.	RI	Hydraulic_Air_Components	Steering_Circuit

