

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE MEJORA EN LOS PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE VEHÍCULOS PESADOS VOLVO A
PARTIR DEL ANÁLISIS DE REGISTROS
OPERATIVOS 2022–2024**

TESIS

Presentada por:

Bach. Juan Carlos Sánchez Oré

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE MEJORA EN LOS PROTOCOLOS DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO
DE VEHÍCULOS PESADOS VOLVO A PARTIR
DEL ANÁLISIS DE REGISTROS
OPERATIVOS 2022-2024**

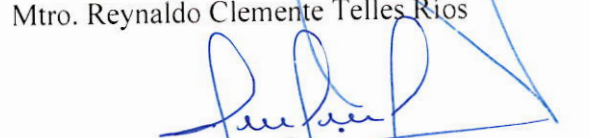
Tesis sustentada, y aprobada el 15 de mayo del 2026, siendo el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



Mtro. Reynaldo Clemente Telles Ríos

SECRETARIO:



Mgr. Wilson García Mamani

VOCAL:



Dr. Williams Sergio Almanza Quispe

ASESOR:



Dr. Williams Sergio Almanza Quispe

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Williams Sergio Almanza Quispe**, Asesor de Tesis declara que la Tesis titulada: **"PROPUESTA DE MEJORA EN LOS PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE VEHÍCULOS PESADOS VOLVO A PARTIR DEL ANÁLISIS DE REGISTROS OPERATIVOS 2022-2024"**, presentada por el Bachiller **Juan Carlos Sánchez Oré**, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción, intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual – Turnitin – cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es $\leq 2\%$. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la Tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Tacna, 10 junio de 2026



.....
Dr. Williams Sergio Almanza Quispe
Asesor de Tesis DNI 44369780

ORCID: 0000-0003-0812-7834



.....
Juan Carlos Sánchez Oré
DNI. 71237398



DEDICATORIA

A Dios, por permitirme alcanzar mis metas por darme salud y sabiduría.

A mis padres y a mis abuelos en espíritu; pero, en especial, a mi madre, que con su sabiduría, dedicación y perseverancia me inspira a dar lo mejor de mí en todo ámbito personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi abuela, a mis tías y a mis tíos, por su apoyo incondicional en cada paso de mi camino profesional.

A mi Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por la oportunidad de formarme en sus aulas y brindarme los recursos necesarios para culminar la carrera.

A mis docentes, que durante toda la etapa de formación supieron guiarme y enseñarme con dedicación, y en especial a los que no se encuentran presentes, pues sus enseñanzas quedarán en cada uno de sus alumnos.

Índice

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos	3
Índice	4
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción.. ..	11
Capítulo I: Planteamiento del Problema	13
1.1. Descripción y formulación del problema.....	13
1.1.1. Problema general	14
1.1.2. Problemas específicos.....	14
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Hipótesis.....	15
1.3.1. Hipótesis general	15
1.3.2. Hipótesis específicas	16
1.4. Justificación e importancia de la investigación	16
1.5. Limitaciones y viabilidad	18
1.6. Variables.....	18
1.6.1. Definición conceptual y operacional.....	18
1.6.2. Operacionalización de las Variables	20
Capítulo II: Marco Teórico	21
2.1. Antecedentes.....	21
2.2. Bases Teóricas	23

2.3.	Definición de Términos	26
Capítulo III: Marco metodológico		28
3.1.	Tipo de la investigación.....	28
3.2.	Nivel de la investigación	28
3.3.	Diseño de la investigación	28
3.4.	Población.....	29
3.5.	Muestra.....	29
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.7.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	31
Capítulo IV: Resultados.....		35
4.1.	Clasificación y caracterización de los mantenimientos preventivos y correctivos – 2022/2024	35
4.1.1.	Clasificación por tipo de mantenimiento.....	36
4.1.2.	Clasificación por tipo de servicio	38
4.1.3.	Duración de los mantenimientos	40
4.1.4.	Componentes y sistemas intervenidos.....	43
4.2.	Evaluación del grado de cumplimiento de cartillas y fichas de inspección	46
4.2.1.	Cartillas y protocolos de inspección utilizados	46
4.2.2.	Comparación entre protocolos y prácticas reales.....	56
4.2.3.	Nivel de cumplimiento de las actividades de inspección	63
4.3.	Análisis de procesos y propuestas de mejoras en los protocolos actuales de mantenimiento	69
4.3.1.	Análisis de indicadores de desempeño	69
4.3.2.	Identificación de ineficiencias operativas	81
4.3.3.	Propuesta de mejoras en los protocolos	88
4.4.	Discusión de resultados.....	113
Capítulo V: Conclusiones		119

Capítulo VI: Recomendaciones.....	121
Referencias Bibliográficas.....	123
Anexos.....	125

Índice de Tablas

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables	20
Tabla 2 Trazabilidad metodológica entre objetivos, técnicas e indicadores.....	32
Tabla 3 Frecuencias de tipos de mantenimiento	37
Tabla 4 Porcentajes de tipos de servicios	39
Tabla 5 Duración de mantenimientos.....	41
Tabla 6 Frecuencias de componentes con mayor incidencia en revisión	44
Tabla 7 Protocolos de inspección	56
Tabla 8 Nivel de cumplimiento entre requerimientos de inspección rápida vs prácticas reales	57
Tabla 9 Nivel de cumplimiento entre requerimientos de revisión anual vs prácticas reales	58
Tabla 10 Nivel de cumplimiento entre requerimientos de servicio básico vs prácticas reales	59
Tabla 11 Evaluación general del grado de cumplimiento.....	60
Tabla 12 MTBF calculado - 2024	64
Tabla 13 Unidades con mayor impacto en el MTTR – Agosto 2023	71
Tabla 14 Unidades con disponibilidad reducida y principales causas de indisponibilidad	75
Tabla 15 Unidades con mayor impacto en el MTTR – diciembre 2023.....	79
Tabla 16 Comparación cualitativa de indicadores de desempeño entre agosto y diciembre 2023	80
Tabla 17 Método de control según etapa de mantenimiento	109

Índice de Figuras

Figura 1	Frecuencias de tipos de mantenimiento	38
Figura 2	Porcentajes de tipos de servicios	40
Figura 3	Duración de mantenimientos	43
Figura 4	Frecuencias de componentes con mayor incidencia en revisión	45
Figura 5	Cartilla de inspección rápida - Volvo	48
Figura 6	Cartilla de inspección-servicio básico	50
Figura 7	Cartilla de revisión-servicio anual	53
Figura 8	MTBF aproximado mensual	65
Figura 9	Disponibilidad promedio del 77.11% Agosto 2023.	74
Figura 10	Disponibilidad promedio del 94.25% Diciembre 2023..	78
Figura 11	Comparación del protocolo de mantenimiento preventivo actual y optimizado	89
Figura 12	Secuencia del diagnóstico estructurado	98

Resumen

La presente investigación se desarrolló con el propósito de optimizar la gestión del mantenimiento en vehículos pesados Volvo a partir del análisis de registros operativos correspondientes al periodo 2022–2024. El objetivo fue optimizar los protocolos de mantenimiento preventivo y correctivo mediante el análisis de los tiempos de reparación, el grado de cumplimiento de las cartillas de inspección y los indicadores de desempeño (KPIs), con la finalidad de reducir la indisponibilidad de los vehículos y mejorar la eficiencia operativa del taller. Metodológicamente, el estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y diseño no experimental, basado en el análisis documental de registros históricos de mantenimiento, órdenes de trabajo y protocolos oficiales de inspección Volvo, empleando indicadores como MTTR, MTBF, disponibilidad y niveles de cumplimiento. Los resultados evidenciaron una predominancia del mantenimiento correctivo del 53,24%, frente a un 23,99% de mantenimiento preventivo, así como un bajo nivel de servicios bajo contrato (28,54%). El grado de cumplimiento de los protocolos fue moderado, con valores de 60% para la Inspección Rápida, 65% para la Revisión Anual y 70% para el Servicio Básico, identificándose deficiencias recurrentes en la inspección de suspensión y sistemas eléctricos. A partir de estos hallazgos, se propusieron mejoras orientadas a la estandarización de procedimientos, priorización de actividades críticas y uso sistemático de KPIs. Se concluye que la optimización de los protocolos de mantenimiento permitirá reducir fallas correctivas, mejorar la disponibilidad mecánica y fortalecer la eficiencia operativa del taller.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, KPIs, disponibilidad mecánica, protocolos de mantenimiento, eficiencia operativa.

ABSTRACT

This research was conducted with the aim of optimizing maintenance management in heavy-duty Volvo vehicles through the analysis of operational records corresponding to the 2022–2024 period. The objective was to optimize preventive and corrective maintenance protocols by analyzing repair times, compliance with inspection checklists, and performance indicators (KPIs), in order to reduce vehicle downtime and improve workshop operational efficiency. Methodologically, the study followed a quantitative approach, applied in nature, with a non-experimental design, based on documentary analysis of historical maintenance records, work orders, and official Volvo inspection protocols, using indicators such as MTTR, MTBF, availability, and compliance levels. The results showed a predominance of corrective maintenance at 53.24%, compared to 23.99% preventive maintenance, as well as a low proportion of contract-based services (28.54%). Compliance levels were moderate, with 60% for Rapid Inspection, 65% for Annual Review, and 70% for Basic Service, identifying recurring deficiencies in suspension and electrical system inspections. Based on these findings, improvements were proposed focused on procedure standardization, prioritization of critical activities, and systematic use of KPIs. It is concluded that optimizing maintenance protocols will reduce corrective failures, improve mechanical availability, and strengthen workshop operational efficiency.

Keywords: Preventive maintenance, corrective maintenance, KPIs, mechanical availability, maintenance protocols, operational efficiency.

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del mantenimiento en vehículos pesados constituye un factor clave para garantizar la continuidad operativa, la seguridad y la optimización de costos en las empresas del sector transporte. En este contexto, los vehículos de la marca Volvo, debido a su alta exigencia operativa y complejidad tecnológica, requieren protocolos de mantenimiento adecuados que aseguren su confiabilidad y disponibilidad. Sin embargo, una gestión inadecuada del mantenimiento preventivo y correctivo puede generar altos tiempos de indisponibilidad, incremento de fallas y reducción de la eficiencia del taller, lo que justifica la necesidad de analizar y optimizar los procesos de mantenimiento existentes.

El presente informe tiene como objetivo optimizar los protocolos de mantenimiento preventivo y correctivo para vehículos pesados Volvo mediante el análisis de registros operativos correspondientes al periodo 2022–2024. Para ello, se realiza una clasificación y caracterización de los mantenimientos ejecutados, se evalúa el grado de cumplimiento de las cartillas y fichas de inspección frente a las prácticas reales del taller, y se proponen mejoras basadas en los tiempos promedio de reparación y en indicadores de desempeño como MTTR, MTBF y disponibilidad mecánica.

El informe se estructura en varios capítulos que permiten desarrollar la investigación de manera ordenada y coherente. En el primer capítulo se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y el alcance del estudio. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico y los antecedentes de investigación relacionados con la gestión del mantenimiento, los indicadores de desempeño y los enfoques de optimización de protocolos. En el tercer capítulo se describe la metodología empleada, detallando el tipo y diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas de recolección de datos y los procedimientos de análisis utilizados.

Finalmente, en los capítulos posteriores se presentan y analizan los resultados obtenidos, organizados de acuerdo con los objetivos específicos del estudio, incluyendo la discusión de los hallazgos en contraste con los antecedentes científicos. Asimismo, se exponen las propuestas

de mejora para los protocolos de mantenimiento y se formulan las conclusiones y recomendaciones finales, las cuales buscan contribuir a la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de fallas correctivas y el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento en el taller evaluado.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción y formulación del problema

En el ámbito internacional, la gestión del mantenimiento de vehículos pesados enfrenta desafíos significativos. Un estudio de Volvo Trucks, que analizó 10,000 camiones modelo 2019 y posteriores, reveló que las actualizaciones remotas de software redujeron las fallas en un 51% y disminuyeron las visitas al taller en un 25%, lo que equivale a un ahorro anual de aproximadamente 32 horas por vehículo. Además, investigaciones indican que hasta el 80% del tiempo de inactividad no planificado puede evitarse mediante un mantenimiento preventivo adecuado, respaldado por sistemas de monitoreo en tiempo real y análisis predictivos.

En el contexto nacional, las empresas de transporte en Perú enfrentan retos similares. Según datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en 2023, el 65% de los vehículos pesados registrados presentaron deficiencias en sus programas de mantenimiento, lo que resultó en un aumento del 30% en los tiempos de inactividad respecto al año anterior. Esta situación impacta negativamente en la eficiencia operativa y en la rentabilidad de las empresas del sector.

A nivel específico, se ha identificado que los protocolos actuales de mantenimiento preventivo y correctivo aplicados a los vehículos pesados de la marca Volvo dentro de la empresa analizada no se encuentran optimizados. Esta situación se evidencia en la recurrencia de fallas similares, intervenciones correctivas prolongadas y demoras en la programación de mantenimientos preventivos. A pesar de contar con cartillas y fichas de inspección técnica, su aplicación en campo no siempre refleja un cumplimiento riguroso, lo que genera desviaciones entre lo planificado y lo ejecutado, afectando directamente la disponibilidad de las unidades.

El análisis preliminar de los registros operativos de mantenimiento correspondientes al periodo 2022–2024 revela tiempos significativos de indisponibilidad y una eficiencia operativa reducida en los talleres. La falta de sistematización en la recolección de datos, así como la escasa retroalimentación técnica tras cada intervención, limita la capacidad de aprendizaje

organizacional para evitar recurrencias. Esta situación resalta la necesidad de revisar y mejorar los protocolos actuales de mantenimiento mediante un enfoque basado en datos históricos y en indicadores de desempeño, con el objetivo de optimizar los tiempos de reparación, reducir costos por fallas no planificadas y mejorar la productividad del taller.

1.1.1. Problema general

¿Cómo puede el análisis de los registros de mantenimiento preventivo y correctivo de vehículos pesados Volvo entre 2022 y 2024 contribuir a la propuesta de mejoras en los protocolos actuales para reducir los tiempos de indisponibilidad y mejorar la eficiencia del taller?

1.1.2. Problemas específicos

1. ¿Qué tipo de mantenimientos preventivos y correctivos se han realizado en los vehículos pesados Volvo durante el periodo 2022–2024 y cómo se pueden caracterizar en función del servicio, duración, componentes intervenidos y grado de cumplimiento de protocolos?
2. ¿Cuál es el desempeño de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados en los vehículos pesados Volvo durante el periodo 2022–2024, medido a través de indicadores como MTTR, MTBF, disponibilidad mecánica y porcentaje de cumplimiento de protocolos?
3. ¿Qué mejoras pueden proponerse a los protocolos actuales de mantenimiento, basándose en los tiempos promedio de reparación y en los indicadores clave de desempeño (KPIs) obtenidos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar los registros operativos de mantenimiento preventivo y correctivo realizados en vehículos pesados Volvo entre 2022 y 2024, con el propósito de proponer mejoras en los protocolos actuales que contribuyan a reducir los tiempos de indisponibilidad y aumentar la eficiencia operativa.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Clasificar y caracterizar los mantenimientos preventivos y correctivos realizados entre 2022 y 2024 según tipo de servicio, duración, componentes intervenidos y cumplimiento de protocolos, empleando registros históricos y cuadros de sistematización.
2. Evaluar los tiempos promedio de reparación, la frecuencia de fallas y el grado de cumplimiento de protocolos mediante indicadores clave de desempeño (KPIs) como MTTR, MTBF, disponibilidad mecánica y porcentaje de cumplimiento.
3. Proponer mejoras en los protocolos actuales de mantenimiento basadas en los tiempos promedio de reparación y en los indicadores de desempeño (KPIs) obtenidos.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

El análisis de los registros históricos de mantenimiento preventivo y correctivo de vehículos pesados Volvo correspondientes al periodo 2022–2024 permitirá identificar deficiencias en los protocolos actuales y oportunidades de mejora orientadas a optimizar la eficiencia operativa del taller.

1.3.2. Hipótesis específicas

1. La clasificación y caracterización de los mantenimientos preventivos y correctivos permitirá identificar patrones en los tipos de servicio, tiempos de intervención y componentes críticos, así como posibles desviaciones en el cumplimiento de los protocolos.
2. El análisis de los registros de mantenimiento mediante indicadores clave de desempeño (MTTR, MTBF, disponibilidad mecánica y porcentaje de cumplimiento) permitirá evidenciar el nivel de desempeño operativo del taller e identificar áreas con potencial de mejora.
3. La evaluación de los tiempos de reparación y de los indicadores de desempeño permitirá establecer propuestas de mejora en los protocolos de mantenimiento orientadas a optimizar la gestión operativa.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Justificación teórica

La investigación se justifica teóricamente porque permitirá fortalecer el conocimiento sobre la gestión de mantenimiento en flotas de vehículos pesados, específicamente en la marca Volvo. El análisis de registros históricos entre 2022 y 2024 brindará información sistematizada acerca de los patrones de fallas, tiempos de reparación y niveles de cumplimiento de protocolos, lo que contribuirá a la literatura existente en torno a la optimización de procesos de mantenimiento en equipos de transporte. Asimismo, se generará un marco de referencia que podrá ser utilizado en estudios futuros sobre metodologías de análisis y mejora de protocolos en el sector automotriz y de transporte pesado.

Justificación práctica

La utilidad práctica de este trabajo radica en que sus resultados podrán ser aplicados directamente en el taller donde se realizan los mantenimientos de los vehículos Volvo, optimizando la programación de actividades y disminuyendo los tiempos de indisponibilidad de

las unidades. La clasificación y evaluación de los registros permitirá identificar oportunidades de mejora concretas, lo cual facilitará la implementación de protocolos más eficientes y ajustados a la realidad operativa. De esta manera, la investigación tendrá un impacto inmediato en la gestión diaria del mantenimiento.

Justificación económica

La optimización de protocolos de mantenimiento conlleva un beneficio económico directo, ya que la reducción de los tiempos de parada de los vehículos pesados implica un aumento de la disponibilidad para la operación, lo que a su vez se traduce en mayor productividad y menores pérdidas por inactividad. Adicionalmente, al mejorar la eficiencia en los procesos de reparación y servicio, se pueden disminuir los costos asociados a reprocesos, repuestos y horas hombre. La investigación representa, por tanto, una oportunidad de generar ahorros significativos y de mejorar la rentabilidad de la gestión de la flota.

Justificación social

Desde el punto de vista social, la investigación contribuye al fortalecimiento del servicio de transporte y logística, garantizando mayor confiabilidad en los vehículos y reduciendo los riesgos asociados a fallas mecánicas durante la operación. Esto favorece tanto a las empresas que dependen de la flota pesada como a los trabajadores vinculados a su mantenimiento y operación, quienes podrán contar con protocolos más claros y eficientes. A largo plazo, la mejora en la gestión del mantenimiento también promueve condiciones laborales más seguras y estables para el personal involucrado.

Justificación técnica

La justificación técnica se fundamenta en la necesidad de contar con protocolos de mantenimiento respaldados por información objetiva y verificable proveniente de los registros históricos. El análisis detallado de los datos permitirá identificar indicadores clave como el tiempo

medio de reparación (MTTR), el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el grado de cumplimiento de las inspecciones programadas, proporcionando herramientas técnicas para la toma de decisiones. Con ello, se establecerán lineamientos de mantenimiento más adecuados que eleven la confiabilidad y disponibilidad mecánica de los vehículos Volvo.

1.5. Limitaciones y viabilidad

La presente investigación presenta como principal limitación la dependencia del acceso a registros históricos completos y verificados de mantenimiento, los cuales pueden presentar inconsistencias o falta de estandarización en su registro, dificultando en algunos casos la comparación y análisis. Asimismo, la investigación se circunscribe únicamente a vehículos pesados de la marca Volvo dentro de una empresa específica, lo cual restringe la generalización de los resultados a otras marcas o contextos operativos. No obstante, la viabilidad del estudio está asegurada gracias al respaldo institucional, la disponibilidad de la información necesaria y la experiencia previa del investigador en el manejo de bases de datos técnicos, lo cual permite una ejecución factible y rigurosa del proyecto dentro del tiempo y recursos asignados.

1.6. Variables

1.6.1. Definición conceptual y operacional

V. Independiente: Protocolos de mantenimiento preventivo y correctivo aplicados a vehículos pesados Volvo.

- **Definición conceptual:** Son los procedimientos estandarizados establecidos por el fabricante y la empresa para la inspección, revisión y reparación de los vehículos pesados Volvo, con el fin de garantizar su funcionamiento seguro y confiable. Incluyen actividades programadas (preventivas) y no programadas (correctivas), así como las pautas de inspección, frecuencia de intervención y lineamientos técnicos de aplicación.

- **Definición operacional:** Se medirá a través de la identificación y análisis de los registros históricos de mantenimiento (2022–2024), considerando aspectos como el tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo), la frecuencia de aplicación, los componentes intervenidos y el grado de cumplimiento de los protocolos establecidos en las cartillas y fichas de inspección.

V. Dependiente: Eficiencia operativa del taller

- **Definición conceptual:** Es el nivel de desempeño alcanzado por el taller en la gestión de los mantenimientos de los vehículos pesados Volvo, reflejado en la capacidad para reducir los tiempos de indisponibilidad, optimizar los recursos empleados y garantizar la disponibilidad mecánica de la flota.
- **Definición operacional:** Se evaluará mediante indicadores clave de desempeño (KPIs) calculados a partir de los registros de mantenimiento 2022–2024, tales como el tiempo medio de reparación (MTTR), el tiempo medio entre fallas (MTBF), la disponibilidad mecánica y el porcentaje de cumplimiento de protocolos establecidos.

1.6.2. Operacionalización de las Variables

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Variable Independiente: Protocolos de mantenimiento preventivo y correctivo	Tipo de mantenimiento	Preventivo / Correctivo	Análisis documental	Ficha de recolección de datos
	Cumplimiento de protocolos	% de cumplimiento	Análisis documental	Registros de mantenimiento
	Frecuencia de aplicación	Número de intervenciones	Análisis documental	Base de datos histórica
Variable Dependiente: Eficiencia operativa del taller	Tiempo de reparación	MTTR	Análisis estadístico	Base de datos
	Confiabilidad	MTBF	Análisis estadístico	Registros históricos
	Disponibilidad mecánica	% disponibilidad	Análisis estadístico	Indicadores de mantenimiento
	Cumplimiento operativo	% ejecución de actividades	Análisis documental	Reportes técnicos

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Internacional:

Ambriško y Teplická (2021) tuvieron por objetivo resaltar el proceso de mantenimiento de flotas vehiculares, evaluando los beneficios técnicos y económicos orientados a optimizar dicho proceso. Se usó una metodología basada en el análisis económico comparativo, complementada por un análisis de Pareto (80/20%) para identificar las actividades críticas de mantenimiento según el tipo de bus evaluado. Entre los servicios más críticos se hallaron los amortiguadores, el sistema de refrigeración, la planificación de servicios y las líneas de freno. Estos elementos representaron el mayor impacto económico y técnico en la gestión del mantenimiento. Además, se abordaron aspectos clave como la optimización de costos, la planificación de la capacidad, el uso eficiente de la carga de trabajo, la entrega oportuna de materiales y el monitoreo del cumplimiento de planes operativos. Los resultados evidenciaron que una gestión inadecuada de estos elementos repercutía negativamente en la productividad empresarial. Se concluyó que la implementación de un enfoque de mantenimiento proactivo permitiría mejorar significativamente las capacidades operativas de los vehículos, reduciendo costos y optimizando recursos. El estudio propuso la aplicación de esta estrategia como solución para enfrentar los desafíos de mantenimiento en empresas de distintos sectores industriales.

Afsharnia et al. (2020) tuvieron por objetivo optimizar el mantenimiento preventivo de cosechadoras de caña de azúcar, utilizando un enfoque basado en la confiabilidad mediante árboles de fallos (FT) combinados con redes bayesianas (BN). Se empleó una metodología que consistió en mapear fallos frecuentes, analizando 168 máquinas a lo largo de 12 años (2007–2019), para luego estimar la confiabilidad de las unidades y su relación con tiempos muertos, costos y pérdidas en la producción de azúcar. Los resultados mostraron una disminución gradual de la confiabilidad en 31.08% para la temporada 2018–2019, lo que generó una pérdida de

tiempo operativo del 26%. Se estimaron pérdidas de 204.17 toneladas de caña quemada y 114.53 toneladas de caña verde. Además, se identificaron intervalos óptimos de mantenimiento para subsistemas críticos: hidráulico (1.815 h), picador (1.12 h) y cortador de base (1.05 h). Se concluyó que el uso de la metodología FT–BN permitió reducir significativamente los tiempos de inactividad y las pérdidas de producción, al establecer programas de mantenimiento preventivo más efectivos. Esta técnica se mostró como una herramienta útil para pronosticar fallas y optimizar el rendimiento de maquinaria clave en la industria azucarera.

Nacional:

Camacho et al. (2023) se plantearon como objetivo aplicar herramientas de mejora continua para incrementar la eficiencia operativa en el sector de la construcción, específicamente optimizando el mantenimiento de unidades mecánicas. Se utilizó una metodología basada en la implementación de tres herramientas clave: la metodología 5S, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el sistema Kanban. La herramienta 5S se enfocó en eliminar movimientos innecesarios mediante la organización y visibilidad de herramientas; el TPM se centró en tres pilares: mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado y capacitación del personal; y Kanban se aplicó como sistema visual para el control de repuestos. Los resultados mostraron un aumento en la disponibilidad mecánica de las unidades, pasando del 75% al 90%, lo cual representó una mejora significativa en la continuidad operativa de los equipos. Se concluyó que la combinación de estas herramientas permitió reducir fallos, mejorar la organización interna y aumentar la eficiencia en la gestión de mantenimiento. Además, se logró un mejor aprovechamiento del tiempo y los recursos disponibles, promoviendo un ambiente de trabajo más limpio, ordenado y orientado al rendimiento.

Sánchez (2021) tuvo por objetivo incrementar la disponibilidad mecánica de la flota de semirremolques que transportaban concentrado de cobre en la minera Las Bambas, mediante la optimización del plan de mantenimiento preventivo de la empresa Transportes y Comercio Sol del Pacífico E.I.R.L. Se empleó un enfoque experimental que incluyó la revisión de reportes de

fallas, análisis del “Top Ten” de fallas en los últimos tres meses, registros de auxilios mecánicos, mantenimientos correctivos, y adaptación de manuales del fabricante a las condiciones reales de operación. Además, se diseñaron cartillas de mantenimiento preventivo y una base de datos virtual para la planificación y seguimiento. Entre los resultados más relevantes se reportó un MTBF promedio de 29.75 horas y un MTTR de 2.07 horas, lo que reflejaba una frecuencia de fallas elevada y demoras significativas en las reparaciones. Antes de la intervención, la disponibilidad mecánica promedio fue de 91.98%, valor considerado insuficiente bajo estándares mineros. Se concluyó que la implementación del nuevo plan de mantenimiento permitió reducir las fallas correctivas, aumentar la disponibilidad mecánica y promover prácticas de mantenimiento más eficientes y seguras, fortaleciendo la coordinación entre las áreas de Mantenimiento, Operaciones, Logística y Gerencia.

2.2. Bases Teóricas

- **Mantenimiento preventivo:** Es un conjunto de acciones técnicas y administrativas planificadas que se realizan con el objetivo de mantener los equipos y sistemas en condiciones óptimas de funcionamiento, evitando fallas antes de que ocurran. Este tipo de mantenimiento se basa en intervenciones periódicas programadas según recomendaciones del fabricante, historial de uso o criterios técnicos establecidos. Incluye inspecciones, lubricaciones, ajustes y reemplazos de componentes desgastados, con el fin de prolongar la vida útil de los activos y garantizar su disponibilidad operativa (Hassan et al., 2024).
- **Mantenimiento correctivo:** Consiste en la reparación o sustitución de componentes una vez que han fallado o dejado de funcionar adecuadamente. Puede clasificarse en correctivo no planificado, cuando la falla ocurre de manera inesperada, y correctivo planificado, cuando la intervención se realiza en respuesta a una degradación detectada previamente. Aunque este tipo de mantenimiento puede ser inevitable en

ciertas circunstancias, su uso excesivo suele generar tiempos de inactividad elevados, costos imprevistos y riesgos operativos (Odeyar et al., 2022).

- **Gestión del mantenimiento:** Es el proceso mediante el cual se planifican, ejecutan, controlan y optimizan las actividades de mantenimiento con el propósito de asegurar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los activos físicos. Esta gestión involucra aspectos técnicos, económicos, organizativos y humanos, y se apoya en metodologías, indicadores de desempeño y herramientas informáticas. Una gestión efectiva permite reducir los costos totales del ciclo de vida del equipo, minimizar las paradas no programadas y mejorar la calidad del servicio (Rojas et al., 2025).
- **Protocolos de mantenimiento:** Son documentos técnicos que establecen de forma detallada los procedimientos, frecuencias, herramientas, materiales y criterios de ejecución para las tareas de mantenimiento. Estos protocolos aseguran la estandarización del trabajo técnico y sirven como guía para el personal encargado de la operación y el mantenimiento. Su correcto diseño y aplicación contribuye a una mayor confiabilidad de los equipos, facilita las auditorías técnicas y mejora la trazabilidad de las intervenciones realizadas (Romanssini et al., 2023).
- **Indicadores de desempeño (KPIs) en mantenimiento:** Son métricas cuantitativas que permiten medir y evaluar la eficiencia, eficacia y calidad de las actividades de mantenimiento. Entre los indicadores más utilizados se encuentran el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio para reparar (MTTR), la disponibilidad operativa, el cumplimiento del plan de mantenimiento y el costo por intervención. Estos indicadores son fundamentales para tomar decisiones basadas en datos, identificar oportunidades de mejora y justificar inversiones en mantenimiento (Zohra Berrabah et al., 2022).
- **Duración de los mantenimientos:** Se refiere al tiempo total requerido para realizar una tarea de mantenimiento, desde la preparación hasta la restitución del equipo al

estado operativo. Este tiempo incluye no solo la ejecución técnica, sino también los tiempos asociados a la logística, acceso, espera de repuestos y gestión administrativa. Analizar la duración de los mantenimientos es esencial para identificar cuellos de botella, mejorar la planificación y reducir la indisponibilidad operativa (Kheyri y Taghipour, 2025).

- **Componentes críticos y análisis de fallas:** Los componentes críticos son aquellos cuya falla provoca consecuencias severas en el funcionamiento general de un sistema. Su identificación permite priorizar acciones de mantenimiento y enfocar recursos de manera más eficiente. El análisis de fallas, por su parte, estudia las causas técnicas y operativas que originan una avería, empleando herramientas como el análisis de causa raíz (RCA), modos de falla y efectos (FMEA) o el análisis de Pareto, con el fin de implementar acciones correctivas y preventivas (Mostafa et al., 2022).
- **Análisis histórico de mantenimiento:** Es el estudio de los registros pasados de mantenimiento con el propósito de identificar patrones, tendencias, recurrencias de fallas y comportamientos de los equipos a lo largo del tiempo. Este análisis permite fundamentar decisiones técnicas basadas en evidencia, optimizar los planes de mantenimiento y prever futuras necesidades. Incluye la revisión de órdenes de trabajo, tiempos de intervención, repuestos utilizados y observaciones técnicas (Achouch et al., 2022).
- **Optimización de procesos técnicos:** Implica la mejora sistemática de las actividades operativas y técnicas para aumentar su eficiencia, reducir desperdicios y maximizar los resultados con el menor uso de recursos. En el contexto del mantenimiento, esta optimización abarca desde la programación de tareas hasta la asignación de personal, la logística de repuestos y la documentación técnica. Para ello, se utilizan herramientas como el análisis de procesos, la gestión por indicadores y la mejora continua (Kaizen, Lean, Six Sigma) (Kochergin et al., 2021).

- **Sistemas de información para mantenimiento (CMMS):** Los sistemas computarizados de gestión del mantenimiento (CMMS, por sus siglas en inglés) son plataformas digitales diseñadas para registrar, planificar, programar y controlar todas las actividades de mantenimiento. Permiten almacenar datos históricos, emitir órdenes de trabajo, gestionar inventarios de repuestos y generar reportes e indicadores. Su uso mejora la trazabilidad, facilita el análisis de desempeño y contribuye a una mejor toma de decisiones operativas y estratégicas (Mazloui et al., 2022).

2.3. Definición de Términos

- **Mantenimiento preventivo:** Conjunto de acciones planificadas y sistemáticas que se ejecutan en equipos o vehículos con el fin de prevenir fallos o deterioros, asegurar su funcionamiento adecuado y prolongar su vida útil (Hassan et al., 2024).
- **Mantenimiento correctivo:** Tipo de intervención que se realiza una vez que el equipo ha presentado una falla, con el propósito de restaurar su operatividad mediante reparaciones, reemplazo de piezas o ajustes técnicos (Odeyar et al., 2022).
- **Protocolo de mantenimiento:** Conjunto de procedimientos técnicos establecidos que definen los pasos, frecuencias y responsables para ejecutar adecuadamente las actividades de mantenimiento en un equipo o sistema (Rojas et al., 2025).
- **Registros históricos de mantenimiento:** Documentación técnica que recopila cronológicamente los trabajos realizados en mantenimiento preventivo y correctivo, incluyendo fechas, tipo de intervención, duración y resultados obtenidos (Romanssini et al., 2023).
- **Disponibilidad operativa:** Capacidad de un equipo o sistema para estar en condiciones de operación cuando se le requiere, considerando los tiempos de funcionamiento y de indisponibilidad por mantenimiento o fallas (Hassan et al., 2024).

- **Eficiencia operativa:** Relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos en los procesos operativos, enfocada en minimizar pérdidas de tiempo, materiales y costos en el funcionamiento de una unidad o sistema (Romanssini et al., 2023).
- **Componentes intervenidos:** Partes específicas de un vehículo o sistema técnico que han sido objeto de mantenimiento, inspección o reparación durante una actividad programada o no programada (Kheyri y Taghipour, 2025).
- **Indicadores de desempeño (KPIs):** Métricas cuantificables que permiten medir la eficacia, eficiencia y calidad de los procesos de mantenimiento, tales como el tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), y porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento (Zohra Berrabah et al., 2022).
- **Cartilla de inspección:** Documento técnico estandarizado que detalla los puntos a revisar, las frecuencias y los criterios de aceptación para verificar el estado operativo de un vehículo o sistema, como parte de las rutinas preventivas (Kheyri y Taghipour, 2025).
- **Optimización:** Proceso de mejora continua orientado a obtener el máximo rendimiento o eficiencia de un sistema, a través de ajustes, rediseños o redefinición de procedimientos (Mostafa et al., 2022).

CAPÍTULO III.

Marco Metodológico

3.1. Tipo de la investigación

El tipo de estudio es aplicado, debido a que busca utilizar conocimientos existentes en el ámbito de la ingeniería del mantenimiento para resolver un problema práctico y específico: la optimización de los protocolos de mantenimiento mediante el análisis técnico de registros reales. El objetivo no es generar conocimiento teórico nuevo, sino aplicar el saber científico para mejorar la gestión operativa en un contexto empresarial.

3.2. Nivel de la investigación

La investigación se desarrolla en un nivel descriptivo, ya que se enfoca en identificar, clasificar y caracterizar los tipos de mantenimiento, componentes intervenidos, duración de las intervenciones y grado de cumplimiento de los protocolos. Asimismo, presenta un enfoque aplicado, debido a que, a partir del análisis de los resultados obtenidos, se proponen mejoras en los protocolos de mantenimiento con el propósito de optimizar la eficiencia operativa del taller. En ese sentido, el estudio no busca establecer relaciones estadísticas entre variables, sino describir el comportamiento de los procesos de mantenimiento y generar propuestas de mejora basadas en evidencia.

3.3. Diseño de la investigación

El diseño metodológico es no experimental, ya que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se observan y analizan tal como ocurren en los registros documentales de la empresa. La investigación se basa en el estudio retrospectivo de información ya existente (2022–2024), lo que permite establecer relaciones y tendencias sin intervenir directamente en los procesos operativos ni en el entorno de trabajo.

3.4. Población

La población de estudio estuvo conformada por la totalidad de registros históricos de mantenimiento preventivo y correctivo realizados a vehículos pesados de la marca Volvo durante el periodo 2022–2024. Estos registros incluyen órdenes de trabajo, reportes técnicos, fichas de inspección y documentos asociados a las intervenciones de mantenimiento, almacenados en formato físico y digital en la empresa.

3.5. Muestra

Para el desarrollo del estudio no se trabajó con una muestra probabilística, sino con un censo depurado de registros, considerando la totalidad de información disponible que cumplía con criterios de calidad y consistencia. Inicialmente, se contó con un universo de registros históricos de mantenimiento correspondientes al periodo 2022–2024.

Sin embargo, se realizó un proceso de depuración con el fin de garantizar la confiabilidad del análisis, excluyendo aquellos registros que presentaban inconsistencias, datos incompletos o falta de respaldo técnico.

Los criterios de exclusión aplicados fueron los siguientes:

- Registros con información incompleta en variables clave (tipo de mantenimiento, tiempo de intervención, componentes intervenidos).
- Registros duplicados.
- Registros sin validación técnica o sin evidencia documentaria.

Como resultado de este proceso, se obtuvo un total de 2113 registros válidos, los cuales constituyen la base de análisis del estudio, representando la totalidad de datos útiles disponibles para el periodo evaluado.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La presente investigación se sustenta en el análisis de registros históricos de mantenimiento de vehículos pesados de la marca Volvo, correspondientes al periodo 2022–2024.

Para ello, se utilizarán técnicas e instrumentos que aseguren la validez, confiabilidad y organización de la información recopilada.

La técnica principal fue el análisis documental, orientada a la revisión detallada de los documentos y bases de datos proporcionados por el área de mantenimiento de la empresa. Esta técnica permite examinar de manera sistemática la información existente, con el fin de clasificarla y extraer los datos necesarios relacionados con los mantenimientos preventivos y correctivos.

De manera complementaria, se empleó la técnica de observación indirecta, la cual se realizó a partir de los registros previamente elaborados por el personal del taller, sin intervenir directamente en los procesos operativos. Esta técnica facilitó la identificación de patrones de fallas, frecuencia de intervenciones, tiempos de reparación y cumplimiento de protocolos establecidos.

El instrumento principal fue una ficha de recolección de datos estructurada, diseñada específicamente para este estudio. Dicha ficha incluirá campos como:

- Tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo).
- Fecha y duración de la intervención.
- Componentes o sistemas intervenidos.
- Mano de obra y recursos empleados.
- Cumplimiento de protocolos y fichas de inspección.
- Incidencias o desviaciones registradas.

La ficha de recolección de datos utilizada en la presente investigación no requirió un proceso formal de validación por juicio de expertos, debido a que no se trata de un instrumento de medición perceptual o subjetivo, sino de una herramienta estructurada para el registro y sistematización de información documental existente.

El instrumento fue elaborado en función de las variables e indicadores definidos en el estudio, tomando como base los formatos de registros históricos de mantenimiento utilizados en la empresa, tales como órdenes de trabajo, reportes técnicos y fichas de inspección.

En ese sentido, la confiabilidad de la información no depende del instrumento en sí, sino de la calidad y consistencia de los registros fuente. Por ello, se aplicaron criterios de control de calidad durante el proceso de recolección de datos, tales como la verificación de consistencia, eliminación de registros incompletos y depuración de información duplicada, garantizando la integridad de los datos analizados.

La información recolectada mediante este instrumento fue sistematizada en una base de datos digital, elaborada en hojas de cálculo, lo cual permitió organizar las variables de manera ordenada y confiable para su posterior análisis. Por último, la ficha de recolección de datos fue sometida a un proceso de validación de contenido con el fin de garantizar su pertinencia, claridad y adecuación a los objetivos de la investigación.

3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

El desarrollo de la presente investigación se inició con la coordinación institucional para obtener el acceso a los registros históricos de mantenimiento de vehículos pesados de la marca Volvo, correspondientes al periodo 2022–2024. Posteriormente, se realizará una revisión preliminar de dichos registros con el objetivo de verificar su integridad, disponibilidad y relevancia. En esta etapa, se identificaron los documentos útiles, tales como órdenes de trabajo, reportes técnicos, cartillas de inspección, cronogramas de mantenimiento y registros de intervención mecánica, estableciendo los criterios de selección que definirán la muestra de estudio.

Con la información debidamente organizada, se realizó el análisis estadístico descriptivo, empleando frecuencias absolutas y relativas, y medidas de tendencia central (promedio, mediana), con el fin de cumplir el primer objetivo orientado a clasificar y caracterizar los mantenimientos preventivos y correctivos. Para el segundo objetivo, se realizó un análisis y revisión de las cartillas y protocolos en comparación con las prácticas reales a fin de verificar el cumplimiento, así como oportunidades de mejora u optimización. Cabe precisar que el análisis de datos se centró en el uso de estadística descriptiva, mediante frecuencias, porcentajes y

promedios, sin aplicar pruebas de correlación estadística entre variables, debido a que el objetivo principal del estudio fue descriptivo y propositivo.

El análisis de los indicadores clave de desempeño (KPIs) se realizó considerando dos enfoques temporales: análisis global del periodo de estudio (2022–2024) y análisis por cortes específicos mensuales. Los indicadores MTTR (Mean Time To Repair), MTBF (Mean Time Between Failures) y disponibilidad mecánica fueron calculados utilizando la totalidad de los registros válidos del periodo 2022–2024, con el fin de obtener una visión integral del desempeño operativo del taller.

Por otro lado, el análisis del cumplimiento de protocolos y la frecuencia de intervenciones se realizó mediante cortes temporales mensuales en periodos representativos, con el objetivo de identificar variaciones operativas, patrones de comportamiento y posibles desviaciones en la ejecución de las actividades de mantenimiento. La selección de los meses analizados se basó en la disponibilidad y consistencia de los registros, así como en su representatividad respecto al comportamiento general del sistema de mantenimiento.

Tabla 2
Trazabilidad metodológica entre objetivos, técnicas e indicadores

Objetivo específico	Técnica aplicada	Indicadores	Procedimiento de análisis	Resultado esperado
1. Clasificar y caracterizar los mantenimientos	Análisis documental	Frecuencia, porcentaje, tipo de mantenimiento, duración, componentes intervenidos	Organización de datos en Excel, cálculo de frecuencias y porcentajes, elaboración de tablas y gráficos	Identificación de tipos de mantenimiento, distribución y características principales
2. Evaluar el desempeño mediante KPIs	Análisis estadístico descriptivo	MTTR, MTBF, disponibilidad mecánica, % cumplimiento	Cálculo de indicadores a partir de registros históricos, análisis comparativo de resultados	Determinación del nivel de desempeño operativo del taller
3. Proponer mejoras en los protocolos	Análisis técnico y comparativo	Brechas de cumplimiento, tiempos de intervención, fallas recurrentes	Comparación entre protocolos y prácticas reales, identificación de deficiencias y formulación de propuestas	Propuesta de mejora de protocolos basada en evidencia

3.7.1. Proceso de depuración, normalización y recodificación de datos

La calidad y confiabilidad del análisis desarrollado en la presente investigación dependieron directamente de la consistencia y validez de los registros históricos de mantenimiento utilizados. En ese sentido, se implementó un proceso sistemático de depuración, normalización y recodificación de datos, con el propósito de garantizar la integridad de la base de datos final.

En una primera etapa, se realizó la depuración de registros, eliminando aquellos que presentaban inconsistencias, duplicidad o ausencia de información en variables clave, tales como tipo de mantenimiento, duración de la intervención y componentes intervenidos. Asimismo, se excluyeron registros sin respaldo técnico o sin evidencia documentaria verificable, asegurando que solo se consideraran datos confiables para el análisis.

Posteriormente, se llevó a cabo la normalización de datos, la cual consistió en estandarizar la nomenclatura de los registros provenientes de distintas fuentes. En esta fase se unificaron criterios en la denominación de tipos de mantenimiento, tipos de servicio y componentes intervenidos, corrigiendo variaciones en la escritura, abreviaturas y formatos inconsistentes. Por ejemplo, categorías como “INSPECCION” e “INSPECCIÓN” fueron homologadas en una sola denominación para evitar duplicidades analíticas.

En una tercera etapa, se realizó la recodificación de variables, agrupando categorías similares en función de criterios técnicos definidos previamente. Así, los tipos de mantenimiento fueron reclasificados en categorías principales como preventivo, correctivo y mixto, mientras que los tipos de servicio y componentes fueron reorganizados para facilitar su análisis estadístico. Este proceso permitió reducir la dispersión de datos y mejorar la interpretabilidad de los resultados.

Finalmente, la base de datos resultante fue sometida a una verificación de consistencia, mediante la revisión cruzada de registros y el control de valores atípicos, asegurando la

coherencia interna de la información. Como resultado de este proceso, se obtuvo un total de 2113 registros válidos, los cuales constituyeron la base definitiva para el análisis estadístico y la evaluación de los indicadores de desempeño.

CAPÍTULO IV.

Resultados

4.1. Objetivo 1: Clasificación y caracterización de los mantenimientos preventivos y correctivos – 2022/2024

En cumplimiento del primer objetivo específico, orientado a clasificar y caracterizar los mantenimientos, se realizó un análisis descriptivo de los registros históricos, empleando frecuencias, porcentajes y tiempos de intervención.

Para la clasificación y caracterización de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados entre 2022 y 2024, se emplearon diversos datos provenientes del archivo Excel proporcionado, que contiene información detallada sobre las intervenciones de mantenimiento realizadas en vehículos Volvo. Los datos utilizados abarcan información sobre el tipo de mantenimiento, el tipo de servicio prestado, la duración de las intervenciones y los componentes y sistemas intervenidos.

En primer lugar, se extrajo la información sobre el tipo de mantenimiento, que se categorizó en preventivo, correctivo, mixto y otros tipos como PDI (Programa de Diagnóstico Integral), siniestro, volar y contrato, entre otros. Esta clasificación permitió desglosar las intervenciones en función de la naturaleza del servicio prestado, ya sea para la prevención de fallas o para la reparación de problemas ya existentes.

El análisis de la duración de los mantenimientos fue fundamental para caracterizar cada tipo de intervención. Se calcularon los tiempos promedio de los diferentes tipos de mantenimiento, así como los tiempos mínimos y máximos observados. Este análisis reveló una notable variabilidad en los tiempos de reparación, especialmente en los mantenimientos correctivos, lo que sugiere que ciertos problemas requieren intervenciones más complejas y prolongadas.

Adicionalmente, se recopilaron datos sobre los tipos de servicios prestados, lo que permitió observar que el 70.33% de los mantenimientos fueron orientados a clientes finales,

mientras que un 28.54% correspondió a mantenimientos bajo contrato. Esta distribución destacó la importancia de los servicios no contractuales, pero también reflejó la relevancia de los acuerdos programados en la gestión del mantenimiento.

Por último, se analizó la frecuencia de los componentes y sistemas intervenidos en cada mantenimiento, lo que reveló que las tareas más frecuentes estaban asociadas a mantenimientos generales y servicios de pre entrega, seguidas por intervenciones de engrase, calibración, y diagnósticos de fallas. Esta información permitió identificar los sistemas más críticos de la flota y las áreas que requieren una atención más constante, lo que es clave para optimizar los tiempos y recursos en futuras intervenciones.

4.1.1. Clasificación por tipo de mantenimiento

El análisis de los tipos de mantenimiento realizados en el taller para Volvo, durante el periodo de estudio, revela una distribución significativa en la frecuencia de los diferentes tipos de servicio ejecutados. Esta clasificación se presenta en términos porcentuales, permitiendo observar la proporción de intervenciones correctivas frente a preventivas, así como la participación de otros tipos de servicios, como los de inspección y siniestro. A continuación, se desarrolla la interpretación de estos resultados, con el fin de resaltar los aspectos más destacados de la gestión de mantenimiento.

Tabla 3*Frecuencias de tipos de mantenimiento*

Tipo de mantenimiento	Frecuencia (%)
CORRECTIVO	53.24%
PREVENTIVO	23.99%
MIXTO	15.10%
PDI	6.34%
CORRECTIVO NP	0.66%
SINIESTRO	0.38%
INSPECCION	0.14%
CONTRATO	0.05%
VOLAR	0.05%
INSPECCIÓN	0.05%

La Tabla 3 muestra que la mayor parte de los mantenimientos realizados son correctivos, con una frecuencia de 53.24%, lo que refleja una dependencia significativa en reparaciones no programadas, lo que a su vez podría indicar una oportunidad de mejora en los protocolos preventivos. En segundo lugar, los mantenimientos preventivos ocupan 23.99% de las intervenciones, sugiriendo que, aunque existe un enfoque preventivo, sigue siendo menos frecuente en comparación con las intervenciones correctivas.

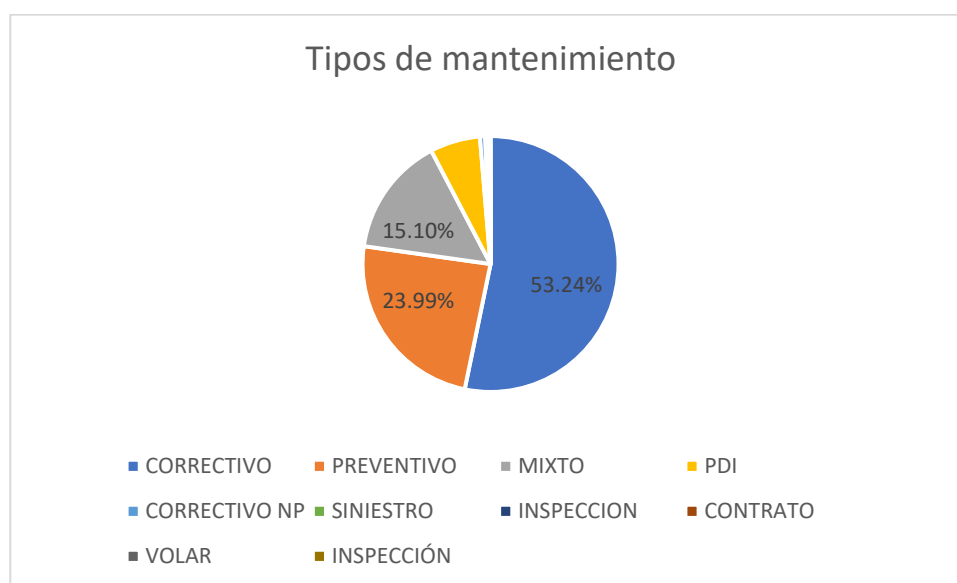
Un 15.10% de los mantenimientos se clasifica como mixto, lo cual implica que estas unidades requirieron tanto mantenimiento preventivo como correctivo en un solo ciclo de servicio, lo que podría indicar que ciertos componentes o sistemas no son completamente adecuados para la anticipación de fallos.

Con un 6.34% de mantenimiento PDI (Programa de Diagnóstico Integral), el enfoque sobre diagnósticos detallados y exhaustivos está presente, pero no es el tipo de intervención predominante. Los mantenimientos correctivos no programados (NP) representan un pequeño 0.66%, lo cual está dentro de los márgenes típicos de intervenciones emergentes, mientras que los casos de siniestro (0.38%) y inspección (0.14%) son mínimos, lo que sugiere que los eventos fuera de lo común, como accidentes o revisiones mínimas, son eventos aislados en este periodo.

Por último, los servicios bajo contrato (0.05%) y volar (0.05%), aunque presentes, representan un porcentaje casi insignificante de la operación de mantenimiento, lo que podría estar relacionado con tipos de servicios menos frecuentes o específicos de clientes con acuerdos contractuales puntuales. Esta clasificación permite inferir que, si bien se realizan algunos servicios específicos o programados, la atención en mantenimiento correctivo sigue siendo la más dominante, lo que puede reflejar un área crítica en la gestión de la flota, sobre todo en términos de prevención y planificación de intervenciones.

Figura 1

Frecuencias de tipos de mantenimiento



4.1.2. Clasificación por tipo de servicio

La distribución de los tipos de servicio proporcionados a las unidades Volvo refleja las prioridades y características de los mantenimientos realizados durante el periodo de análisis. Cada tipo de servicio tiene una incidencia distinta, y su frecuencia relativa nos ofrece una visión clara sobre la orientación operativa del taller y las relaciones contractuales y comerciales que existen con los diferentes tipos de clientes. A continuación, se presenta la interpretación de estos datos, destacando los servicios más frecuentes y aquellos que presentan menor presencia.

Tabla 4*Porcentajes de tipos de servicios*

Tipo de servicio	Nº servicios (%)
CLIENTE FINAL	70.33%
CONTRATO	23.57%
CONTRATO	4.97%
UNIDADES NUEVAS	0.62%
ENTREGA	0.14%
VOLAR	0.09%
CONCTRATO	0.05%
CAMPAÑA	0.05%
MIXTO	0.05%
SEGURO	0.05%
CORRECTIVO	0.05%
PREVENTIVO	0.05%

La Tabla revela que el 70.33% de los servicios prestados corresponde a clientes finales, lo que indica que la mayoría de los mantenimientos están orientados a la atención directa de los vehículos de los clientes sin contrato. Este alto porcentaje refleja una importante participación del servicio no contractual, sugiriendo que los servicios urgentes o ad-hoc son predominantes en la operación del taller.

Por otro lado, los servicios bajo contrato suman un 23.57% y 4.97% (totalizando un 28.54%), lo que indica que una porción considerable de la flota está vinculada a acuerdos contractuales, ya sea de mantenimiento preventivo, correctivo o mixto, ofreciendo una base de operaciones más estructurada y planificada para los vehículos bajo estas condiciones.

Los servicios relacionados con unidades nuevas (0.62%) representan una proporción baja, pero significativa en términos de preparación inicial de los vehículos para su operación, mientras que los servicios de entrega (0.14%) y volar (0.09%) son aún menores, lo que podría reflejar intervenciones puntuales o casos extraordinarios de unidades en tránsito o recién adquiridas.

Finalmente, la presencia de servicios como contrato (0.05%), campaña (0.05%), mixto (0.05%), seguro (0.05%), correctivo (0.05%), y preventivo (0.05%) en porcentajes tan bajos puede indicar servicios muy específicos, relacionados con campañas promocionales, seguros o intervenciones programadas bajo condiciones especiales, pero que no representan una porción significativa de la operación total del taller. Esto sugiere que, aunque existen acuerdos o tipos de servicio específicos, la mayoría de la actividad está centrada en las atenciones al cliente final y los servicios contratados regulares.

Figura 2

Porcentajes de tipos de servicios



4.1.3. Duración de los mantenimientos

El análisis de los tiempos de intervención asociados a cada tipo de mantenimiento proporciona una visión integral de la eficiencia operativa del taller, destacando no solo los tiempos promedio, sino también las variaciones extremas observadas en cada tipo de servicio. La Figura 2 es clave para identificar áreas de mejora en la programación y ejecución de los mantenimientos, permitiendo ajustar los procesos en función de los tiempos reales que se requieren para cada tipo de intervención.

Tabla 5*Duración de mantenimientos*

Tipo de mantenimiento	Tiempo promedio (h)	Tiempo mínimo (h)	Tiempo máximo (h)
CONTRATO	6.00	6.00	6.00
CORRECTIVO	4.18	0.07	9.67
CORRECTIVO NP	3.43	1.50	8.75
INSPECCIÓN	5.22	5.00	5.33
INSPECCIÓN	7.00	7.00	7.00
MIXTO	4.38	0.10	9.20
PDI	4.66	0.30	9.75
PREVENTIVO	3.73	0.17	9.57
SINIESTRO	5.45	2.00	9.00
VOLAR	6.50	6.50	6.50

Los tiempos de mantenimiento muestran una notable variabilidad según el tipo de servicio, lo que refleja la complejidad y la naturaleza de las intervenciones realizadas. Los mantenimientos bajo contrato son los más eficientes, con un tiempo promedio de 6 horas, sin variación, lo que sugiere que estos servicios están completamente estandarizados y planificados para cumplir con tiempos específicos.

En contraste, los mantenimientos correctivos tienen un tiempo promedio de 4.18 horas, con un rango que varía entre 0.07 horas (una intervención muy rápida) y 9.67 horas (una intervención mucho más extensa). Esta variabilidad sugiere que, aunque muchos mantenimientos correctivos son rápidos, algunos casos implican reparaciones complejas que requieren tiempos significativamente mayores, lo que podría indicar una falta de predictibilidad en las intervenciones.

Los mantenimientos correctivos no programados (NP) tienen un tiempo promedio de 3.43 horas, con un rango entre 1.50 horas y 8.75 horas, lo que demuestra que, aunque la mayoría de estas intervenciones se completan en tiempos relativamente cortos, algunos casos también pueden llegar a ser largos debido a la naturaleza no planificada de los mismos.

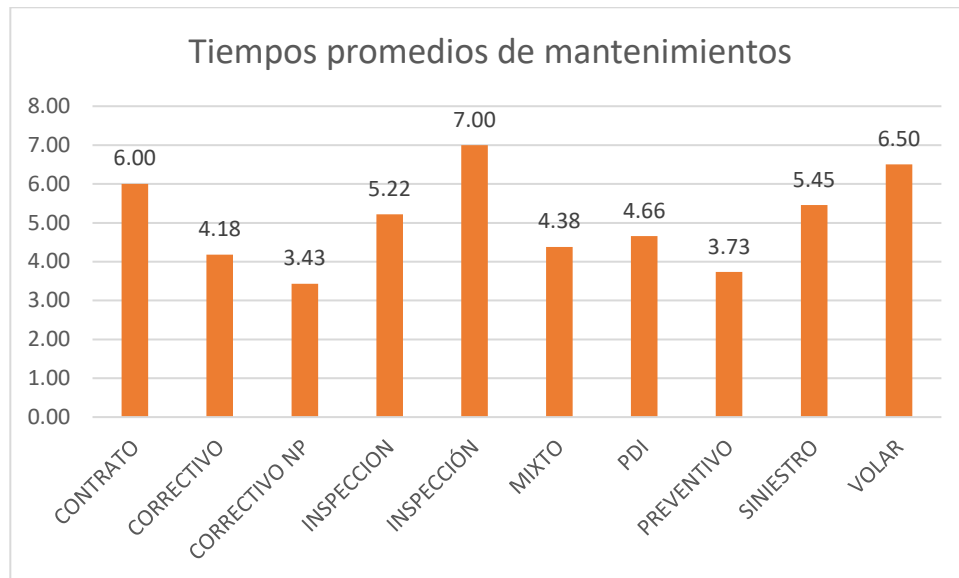
Por otro lado, los servicios de inspección muestran un tiempo promedio de 5.22 horas, con un rango muy estrecho entre 5.00 y 5.33 horas, indicando que estas intervenciones son rápidas y consistentes. Los casos de inspección más largos (7.00 horas) se realizan bajo condiciones específicas, tal vez por una revisión más exhaustiva. Los mantenimientos mixtos tienen un tiempo promedio de 4.38 horas, con un rango de 0.10 a 9.20 horas, lo que refleja una considerable variabilidad, posiblemente debido a la combinación de tareas preventivas y correctivas en el mismo servicio.

En cuanto a los mantenimientos preventivos, el tiempo promedio es de 3.73 horas, con un rango entre 0.17 horas y 9.57 horas, lo que refleja una gran eficiencia en algunos casos, pero también la posibilidad de complicaciones que extienden la duración de la intervención. Los servicios relacionados con siniestros tienen un tiempo promedio de 5.45 horas, con un rango entre 2.00 y 9.00 horas, lo que indica que, aunque generalmente son más rápidos que otros tipos de mantenimiento, algunos siniestros requieren reparaciones extensas.

Finalmente, los servicios de volar tienen un tiempo promedio de 6.50 horas, sin variación, lo que sugiere que estas intervenciones están altamente estandarizadas y completadas dentro de un marco temporal fijo. En resumen, los tiempos de mantenimiento reflejan tanto la eficiencia en el servicio como la complejidad inherente a cada tipo de intervención, y este análisis ofrece una base para optimizar el uso de los recursos y mejorar la planificación de las reparaciones y mantenimientos.

Figura 3

Duración de mantenimientos



4.1.4. Componentes y sistemas intervenidos

El análisis de la frecuencia de componentes y sistemas intervenidos ofrece una visión detallada sobre las áreas que requieren más atención dentro del proceso de mantenimiento. Esta distribución no solo permite identificar los componentes que más se intervienen, sino también resaltar los servicios más demandados, reflejando las prioridades operativas y las intervenciones recurrentes. A continuación, se presenta la interpretación de los datos, destacando las tendencias observadas en los tipos de servicio.

Tabla 6*Frecuencias de componentes con mayor incidencia en revisión*

Componente	Frecuencia
MANTENIMIENTO	192
SERVICIO DE PRE ENTREGA	93
MANTENIMIENTO COMPLETO	87
MANTENIMIENTO + ENGRASE	45
MANTENIMIENTO 4 SEMANAS	35
CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD	32
MANTENIMIENTO BÁSICO	25
PDI	19
PIT STOP	17
CALIBRACIÓN FACTOR K	10

La Tabla 6 muestra que el mantenimiento es el componente más frecuente, con 192 intervenciones, lo que subraya la importancia de las tareas generales de reparación y revisión en la flota. Este dato sugiere que la flota requiere atención continua para mantener su operatividad y que los mantenimientos preventivos y correctivos juegan un papel fundamental en la gestión de los vehículos.

En segundo lugar, el servicio de pre entrega, con 93 intervenciones, refleja una atención significativa a los vehículos recién ingresados, probablemente para garantizar que cumplan con los estándares de operatividad antes de ser entregados a los clientes. Este número también podría indicar una estrategia de aseguramiento de calidad para minimizar los fallos tempranos de los vehículos.

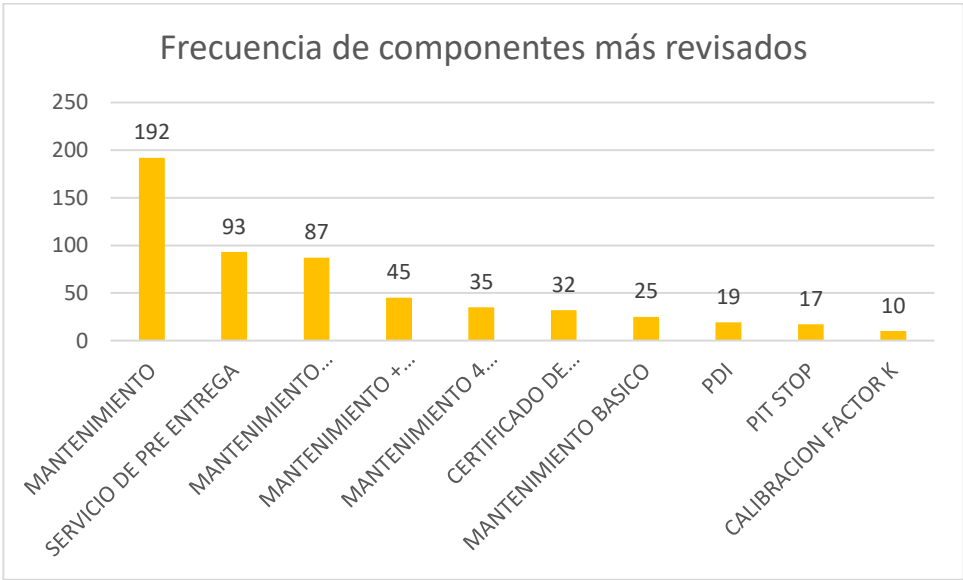
El mantenimiento completo (87 intervenciones) sigue como uno de los servicios más comunes, lo que indica que se realizan reparaciones exhaustivas y no solo ajustes menores. Este tipo de mantenimiento completo podría abarcar un rango más amplio de sistemas y componentes, lo que explica su alta frecuencia.

El mantenimiento + engrase (45 intervenciones) y el mantenimiento cada 4 semanas (35 intervenciones) sugieren que hay intervalos de mantenimiento establecidos para tareas

rutinarias, como el engrase de piezas móviles, lo que puede ser clave para alargar la vida útil de los vehículos. Con un total de 32 intervenciones, el certificado de operatividad se refiere probablemente a las inspecciones necesarias para garantizar que los vehículos estén en condiciones óptimas para ser utilizados, lo que es crítico para mantener la seguridad y el rendimiento.

Los servicios como mantenimiento básico (25 intervenciones), PDI (Programa de Diagnóstico Integral) con 19 intervenciones, y Pit Stop con 17 intervenciones son menos frecuentes, pero siguen siendo componentes esenciales para el mantenimiento preventivo y diagnóstico rápido de fallos. Finalmente, la calibración del factor K (10 intervenciones) se presenta como un servicio menos común, pero altamente especializado, probablemente asociado con ajustes precisos necesarios para optimizar el rendimiento de los vehículos.

Figura 4
Frecuencias de componentes con mayor incidencia en revisión



4.2. Objetivo 2: Evaluación del grado de cumplimiento de cartillas y fichas de inspección

En relación con el segundo objetivo específico, se evaluó el desempeño del mantenimiento mediante indicadores clave (KPIs), tales como MTTR, MTBF, disponibilidad mecánica y nivel de cumplimiento de protocolos. Para el análisis de los indicadores de desempeño, se consideraron tanto el total de registros del periodo 2022–2024 como cortes específicos mensuales. Los indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad mecánica fueron evaluados a nivel global, mientras que el cumplimiento de protocolos y la frecuencia de mantenimiento se analizaron en meses representativos, con el fin de evidenciar variaciones operativas y tendencias en el comportamiento del sistema de mantenimiento.

4.2.1. Cartillas y protocolos de inspección utilizados

En el presente estudio se han considerado tres principales documentos oficiales de inspección utilizados en los procesos de mantenimiento de los vehículos pesados Volvo. Estos protocolos son esenciales para establecer un estándar de verificación y mantenimiento, y se emplean para asegurar que las intervenciones realizadas en los vehículos cumplan con las especificaciones técnicas y operativas establecidas por el fabricante. Los documentos utilizados son los siguientes:

4.2.1.1. Inspección Rápida – Volvo.

Este protocolo representa la lista mínima de verificación que debe cumplirse en cada intervención de mantenimiento. Es un documento simplificado que contiene las actividades más críticas, orientadas a la inspección general de componentes fundamentales del vehículo. Entre las áreas cubiertas por este protocolo se incluyen el sistema de frenos, el sistema eléctrico, y la revisión de los niveles de los fluidos.

Actividades clave de la Inspección Rápida:

- Cambio de aceite de motor
- Cambio de filtros de aceite y combustible
- Revisión de niveles de líquidos (motor, dirección, frenos, etc.)
- Control de componentes visuales (luces, neumáticos, etc.)
- Verificación del sistema de dirección y suspensión

Cartilla de inspección rápida - Volvo

VOLVO

4.2.1.2. Formato de Servicio Básico Volvo.

Este protocolo es utilizado para las intervenciones periódicas del vehículo, generalmente mensuales, o bajo solicitud del cliente. En este documento se incluyen las actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo del vehículo, tales como la revisión de frenos, neumáticos, sistema de dirección, y motor. El servicio básico se realiza con mayor frecuencia y está diseñado para garantizar que el vehículo mantenga un rendimiento óptimo a lo largo de su ciclo de vida operativo.

Actividades clave del Servicio Básico:

- Inspección visual y mecánica de los frenos: revisión de mordazas y discos.
- Revisión de las baterías: limpieza, revisión de conexiones y niveles de líquido.
- Verificación de los niveles de aceite en el motor y la caja de cambios.
- Inspección de los neumáticos: control de presión y desgaste.
- Revisión de las luces y reflectores: asegurando visibilidad.

Figura 6

Cartilla de inspección-servicio básico



Servicio básico

Automotriz Andina S.A. - AREQUIPA

Localidad	Arequipa-PE	Ciente	
Fecha:	09/09/2025	Dirección	
Núm. orden de reparación			
Kilometraje		Modelo	FH (4)
ID de chasis	EE 610557	Motor	D13C540
Nº de registro	CBB-739	Configuración de ejes	6*4

- No aplicable

1 Reparación recomendada

2 Reparar inmediatamente

✓ Reparado sin notas

Conducción de prueba

- ☐ 1. Controlar después de arrancar
- ☐ 2. Controlar durante la prueba en carretera
- ☐ 3. Controlar después de la prueba en carretera
- ☐ 4. Controlar las lámparas de advertencia y lámparas testigo
- ☐ 5. Conectar/desconectar el PC.
- ☐ 6. Vehículo completo, actualización de software

Control externo

- ☐ 7. Revisar las baterías: suciedad, fugas, fijación, nivel de líquido, conexiones y caja de baterías
- ☐ 8. Carga de la batería
- ☐ 9. Revisar la toma de aire y el deflector de aire
- ☐ 10. Controlar las luces y los reflectores
- ☐ 11. Controlar el sensor de radar
- ☐ 12. Controlar el nivel de aceite del motor
- ☐ 13. Controlar la protección anticongelante y el nivel de refrigerante

Controlar debajo del vehículo

- ☐ 14. Controlar los forros de frenos
- ☐ 15. Controlar el desgaste de neumáticos
- ☐ 16. Controlar las mordazas de frenos y discos de frenos
- ☐ 17. Controlar los cilindros, palancas y horquillas de frenos
- ☐ 18. Controlar los fuelles de la suspensión neumática
- ☐ 19. Controlar la estanqueidad del eje trasero y el engranaje reductor de cubo
- ☐ 20. Controlar el nivel de aceite en el eje trasero
- ☐ 21. Controlar los muelles y los pernos en U
- ☐ 22. Controlar los ejes propulsores y las juntas universales, juntas deslizantes y cojinetes de apoyo
- ☐ 23. Controlar la estanqueidad del ralentizador

Profundidad de perfil del neumático en mm	Izquierda								
---	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--

4.2.1.3. Formato de Revisión Anual Volvo.

Este documento describe el protocolo de mantenimiento que debe cumplirse anualmente en los vehículos pesados Volvo. Cubre una revisión más exhaustiva de los sistemas mecánicos y electrónicos del vehículo, incluyendo controles de seguridad, estado del motor, sistema de dirección, y otros componentes esenciales. A diferencia de la inspección rápida, el formato de revisión anual detalla una serie de actividades específicas que se realizan una vez al año y que aseguran el buen estado del vehículo durante su operación.

Actividades clave de la Revisión Anual:

- Revisión del sistema de frenos: inspección de mordazas, discos, pastillas y cilindros.
- Chequeo de la suspensión neumática: verificación de los fuelles, la estanqueidad de los ejes, y los cojinetes de las ruedas.
- Inspección del sistema eléctrico: luces, sensores y batería.
- Revisión del sistema de dirección: revisión de los tubos y mangueras, así como el nivel de aceite del sistema.
- Chequeo de los neumáticos: profundidad de perfil y desgaste.

Figura 7

Cartilla de revisión-servicio anual



Servicio anual

Automotriz Andina S.A. - AREQUIPA

Localidad	Arequipa-PE	Ciente	
Fecha:	09/09/2025	Dirección	
Núm. orden de reparación			
Kilometraje		Modelo	FH (4)
ID de chasis	EE 610557	Motor	D13C540
Nº de registro	CBB-739	Configuración de ejes	6*4

- No aplicable

1 Reparación recomendada

2 Reparar inmediatamente

✓ Reparado sin notas

Conducción de prueba

- [] 1. Controlar después de arrancar
- [] 2. Revisar el cinturón de seguridad
- [] 3. Controlar durante la prueba en carretera
- [] 4. Controlar después de la prueba en carretera
- [] 5. Controlar las lámparas de advertencia y lámparas testigo
- [] 6. Controlar la regulación de altura de la suspensión neumática
- [] 7. Revisar las baterías: suciedad, fugas, fijación, nivel de líquido, conexiones y caja de baterías
- [] 8. Carga de la batería
- [] 9. Conectar/desconectar el PC.
- [] 10. Vehículo completo, actualización de software

Control externo

- [] 11. Controlar la presión de neumáticos
- [] 12. Revisar la toma de aire y el deflector de aire
- [] 13. Controlar las luces y los reflectores
- [] 14. Lubricación de la cabina
- [] 15. Controlar el sensor de radar
- [] 16. Controlar el nivel de aceite del motor
- [] 17. Controlar la protección anticongelante y el nivel de refrigerante
- [] 18. Revisar el depósito de refrigerante, el condensador, los filtros y las mangueras
- [] 19. Quinta rueda, lubricación
- [] 20. Control del depósito de combustible, mangueras, tubos, aireación y suspensión
- [] 21. Lubricación de acoplamiento

Controlar debajo del vehículo

- [] 22. Control del desgaste de neumáticos traseros
- [] 23. Controlar los cojinetes de ruedas traseras

- [] 24. Controlar las ruedas traseras
- [] 25. Controlar los amortiguadores traseros
- [] 26. Controlar las mordazas de frenos y discos de frenos, parte trasera
- [] 27. Comprobación de los forros de frenos, parte trasera
- [] 28. Controlar los cilindros, palancas y horquillas de frenos
- [] 29. Controlar los fuelles de la suspensión neumática
- [] 30. Controlar el bastidor y los travesaños del chasis
- [] 31. Controlar los muelles y los pernos en U
- [] 32. Controlar el juego axial, barra en V
- [] 33. Controlar la barra anti-vuelco trasera
- [] 34. Controlar los ejes propulsores y las juntas universales, juntas deslizantes y cojinetes de apoyo
- [] 35. Controlar la estanqueidad del eje trasero y el engranaje reductor de cubo
- [] 36. Controlar el nivel de aceite en el eje trasero
- [] 37. Controlar la ventilación del eje trasero
- [] 38. Compruebe la estanqueidad del sensor de velocímetro
- [] 39. Controlar el nivel de aceite en la caja de cambios
- [] 40. Controlar la ventilación de la caja de cambios y la toma de fuerza
- [] 41. Controlar el nivel de aceite en el ralentizador
- [] 42. Controlar la estanqueidad del ralentizador
- [] 43. Control del sistema AdBlue
- [] 44. Controlar el tubo de escape y el silenciador o el filtro de partículas
- [] 45. Control de las conexiones y cables eléctricos del alternador, el motor de arranque y la unidad precalentadora
- [] 46. Control del desgaste de neumáticos delanteros
- [] 47. Controlar los cojinetes de ruedas delanteras
- [] 48. Controlar las ruedas delanteras
- [] 49. Controlar las mordazas de frenos y discos de frenos, parte delantera
- [] 50. Comprobación de los forros de frenos, parte delantera
- [] 51. Controlar los cojinetes de pivote de dirección

Suspensión delantera, mecanismo de dirección

- [] 52. Controlar el sistema de varillaje de dirección
- [] 53. Controlar las monturas del motor
- [] 54. Controlar la estanqueidad de la servobomba, las conexiones de aceite, las mangueras de aceite y el mecanismo de dirección

Compartimento del motor

- [] 55. Controlar el nivel de aceite en la bomba de basculamiento de la cabina
- [] 56. Controlar los amortiguadores delanteros
- [] 57. Controlar las tuberías y mangueras de aire comprimido
- [] 58. Controlar los niveles de líquido en los depósitos de lavaparabrisas y lavafaros
- [] 59. Control de correas y tensores de correa
- [] 60. Controlar el compresor de aire acondicionado
- [] 61. Controlar el motor, la toma de fuerza accionada por el motor y el compresor para buscar fugas
- [] 62. Controlar los tubos y tuberías de combustible
- [] 63. Sistema de servodirección, control del nivel de aceite
- [] 64. Controlar las mangueras y los tubos del enfriador del aire de admisión

[illegible]

Resumen de protocolos utilizados:

Tabla 7

Protocolos de inspección

Protocolo de Inspección	Descripción	Frecuencia	Áreas Cubiertas
Inspección Rápida – Volvo	Verificación básica de componentes críticos del vehículo.	Mantenimiento preventivo frecuente	Motor, frenos, luces, líquidos (aceite, refrigerante, etc.), sistema eléctrico
Revisión Anual Volvo	Revisión completa y exhaustiva del vehículo.	Anual	Sistema de frenos, motor, dirección, suspensión, batería, entre otros
Servicio Básico Volvo	Mantenimiento periódico preventivo con enfoque preventivo.	Mensual o bajo solicitud	Neumáticos, frenos, dirección, motor, luces, sistemas de seguridad

4.2.2. Comparación entre protocolos y prácticas reales

La comparación entre los protocolos establecidos por Volvo y las prácticas reales registradas en el taller es una parte esencial de este estudio. Esta comparación tiene como objetivo determinar si las intervenciones de mantenimiento realizadas en los vehículos pesados cumplen con los estándares especificados, identificar las áreas de mejora en la ejecución de los protocolos y, finalmente, proponer recomendaciones basadas en los hallazgos obtenidos.

En este apartado, se examinan tres principales protocolos de mantenimiento utilizados en los vehículos pesados Volvo: Inspección Rápida, Revisión Anual y Servicio Básico. A través de los registros diarios del taller Volvo-Mack, se identifican las actividades realizadas en el mantenimiento de los vehículos entre 2022 y 2024, para luego ser comparadas con los requisitos establecidos en los protocolos.

Método de comparación: Para cada uno de los protocolos, se realizó una revisión exhaustiva de las actividades requeridas frente a las que fueron efectivamente registradas en el taller. Se utilizaron los siguientes criterios para llevar a cabo la comparación:

1. Identificación de actividades requeridas: Se extrajeron las actividades de inspección y mantenimiento listadas en los protocolos.
2. Revisión de las actividades registradas: Se revisaron los registros de mantenimiento para verificar si las actividades se habían realizado.
3. Evaluación del nivel de cumplimiento: Se clasificaron las actividades en tres categorías:
 - Cumple: Las actividades registradas cumplen totalmente con lo requerido.
 - Parcial: Las actividades registradas están incompletas o no fueron registradas con los detalles suficientes.
 - No cumple: Las actividades que no fueron registradas o que fueron omitidas.

4.2.2.1. Comparación de actividades entre la Inspección Rápida y las prácticas reales

La Inspección Rápida cubre los aspectos más críticos y de seguridad, como frenos, sistemas eléctricos y niveles de fluidos. A continuación, se comparan las actividades indicadas en este protocolo con las realizadas según los registros del taller.

Tabla 8

Nivel de cumplimiento entre requerimientos de inspección rápida vs prácticas reales

Actividad Requerida (Volvo)	Requerida (Volvo)	Registrada (Taller)	Nivel de Cumplimiento
Revisión de niveles de aceite	Sí	Sí	Cumple
Inspección de frenos	Sí	Parcial	Parcial
Inspección de luces	Sí	Sí	Cumple
Revisión de sistemas eléctricos	Sí	No	No cumple
Control de líquidos (aceite, refrigerante)	Sí	Sí	Cumple

Análisis de la comparación:

- Revisión de niveles de aceite: Se realiza completamente según los registros, ya que la mayoría de las intervenciones incluyen la revisión de los niveles de aceite.
- Inspección de frenos: Aunque se realizó la inspección, no siempre se registraron los detalles de desgaste de las pastillas o el rendimiento de los frenos, lo que implica un cumplimiento parcial.
- Revisión de sistemas eléctricos: Esta actividad no fue registrada en muchos casos, lo que indica una omisión crítica en el cumplimiento del protocolo.

4.2.2.2. Comparación entre la Revisión Anual y las prácticas reales.

La Revisión Anual es más exhaustiva y cubre una variedad de sistemas del vehículo. A continuación, se compara el cumplimiento de este protocolo con los registros del taller:

Tabla 9

Nivel de cumplimiento entre requerimientos de revisión anual vs prácticas reales

Actividad Requerida (Volvo)	Requerida (Volvo)	Registrada (Taller)	Nivel de Cumplimiento
Revisión completa del motor	Sí	Sí	Cumple
Inspección de frenos	Sí	Sí	Cumple
Inspección de suspensión	Sí	No	No cumple
Revisión del sistema de dirección	Sí	Parcial	Parcial
Inspección de batería y conexiones	Sí	Sí	Cumple
Inspección de componentes eléctricos	Sí	No	No cumple

Análisis de la comparación:

- Revisión completa del motor: Se cumplió adecuadamente, con los registros detallando la verificación del motor y sus componentes clave, como el aceite y las mangueras.
- Inspección de suspensión: Esta actividad no fue registrada, lo que pone de manifiesto una brecha significativa en la ejecución de la Revisión Anual.
- Sistema de dirección: Aunque se registraron inspecciones visuales, no se completaron con detalles de medición, lo que justifica la clasificación de cumplimiento parcial.

4.2.2.3. Comparación del Servicio Básico y las prácticas reales.

El Servicio Básico abarca actividades preventivas periódicas, realizadas con mayor frecuencia que la revisión anual. La siguiente tabla muestra las actividades clave de este protocolo y su comparación con las prácticas registradas.

Tabla 10

Nivel de cumplimiento entre requerimientos de servicio básico vs prácticas reales

Actividad Requerida (Volvo)	Requerida (Volvo)	Registrada (Taller)	Nivel de Cumplimiento
Revisión de frenos	Sí	Sí	Cumple
Revisión de neumáticos	Sí	Sí	Cumple
Inspección de batería	Sí	Sí	Cumple
Inspección de luces	Sí	Sí	Cumple
Verificación de suspensión	Sí	Parcial	Parcial
Revisión del motor	Sí	Sí	Cumple

Análisis de la comparación:

- Revisión de frenos, neumáticos y batería: Estas actividades fueron completamente cumplidas, con registros detallados que reflejan las intervenciones necesarias.

- Inspección de suspensión: Similar a las otras comparaciones, la revisión de suspensión no fue registrada completamente, lo que denota una brecha importante en el cumplimiento.

4.2.2.4. Evaluación general del grado de cumplimiento.

La siguiente Tabla presenta un resumen del grado de cumplimiento general de las actividades, basándose en la comparación entre los protocolos de Volvo y las prácticas reales observadas en los registros del taller:

Tabla 11

Evaluación general del grado de cumplimiento

Protocolo	Cumple (%)	Cumple Parcialmente (%)	No Cumple (%)
Inspección Rápida	60%	30%	10%
Revisión Anual	65%	25%	10%
Servicio Básico	70%	20%	10%

La Inspección Rápida muestra un 60% de cumplimiento total, lo que indica que, en la mayoría de los casos, las actividades mínimas de mantenimiento crítico fueron cumplidas. Sin embargo, el 30% de cumplimiento parcial señala que hay áreas donde la ejecución del protocolo fue incompleta o superficial. Este cumplimiento parcial podría involucrar, por ejemplo, la inspección de frenos o de sistemas eléctricos, donde la actividad fue registrada pero no con los detalles necesarios para garantizar una revisión exhaustiva, como mediciones de desgaste de componentes o pruebas más profundas del sistema eléctrico.

El 10% de no cumplimiento es significativo en este protocolo, pues implica que algunas actividades críticas como la revisión de sistemas eléctricos o la inspección de suspensión fueron totalmente omitidas. Dado que estos componentes son vitales para la seguridad y el rendimiento de los vehículos, el hecho de que no se registren en el mantenimiento

puede acarrear riesgos serios a largo plazo. Este 10% de no cumplimiento resalta la necesidad urgente de reforzar la supervisión en estos aspectos y asegurar que cada componente reciba la atención adecuada.

La Revisión Anual, con un 65% de cumplimiento total, refleja una mejora en comparación con la Inspección Rápida, lo que sugiere que las revisiones más exhaustivas y detalladas son, en general, mejor cumplidas. No obstante, sigue existiendo una brecha de 25% en cumplimiento parcial, lo que implica que algunas actividades de la revisión anual, como la inspección de suspensión o sistemas electrónicos, se realizaron de manera incompleta o sin la profundidad adecuada.

A pesar de ser un protocolo más detallado, la Revisión Anual también presenta un 10% de actividades no cumplidas. Esto implica que ciertas actividades esenciales no se llevaron a cabo. En el caso de sistemas críticos como la suspensión o los sistemas electrónicos, la no ejecución de estas revisiones podría tener consecuencias graves en términos de seguridad operativa. La suspensión es una de las partes más críticas de un vehículo, y si no se revisa anualmente como lo requiere el protocolo, se está poniendo en riesgo la integridad estructural del vehículo, además de su capacidad para operar bajo condiciones de carga.

El Servicio Básico, con un 70% de cumplimiento, muestra el mejor desempeño de los tres protocolos en términos de cumplimiento. Este alto porcentaje sugiere que las actividades preventivas más rutinarias, como la inspección de frenos, neumáticos y baterías, se realizan adecuadamente la mayoría de las veces. La ejecución de estas actividades es crucial para la prevención de fallos inesperados y para asegurar el funcionamiento continuo del vehículo.

Sin embargo, el 20% de cumplimiento parcial sigue indicando que algunas actividades esenciales no se realizan con la profundidad adecuada o con la periodicidad que se requiere. Las inspecciones de suspensión siguen siendo una de las áreas con mayor

deficiencia. Este porcentaje también sugiere que las actividades de mantenimiento preventivo podrían no estar siendo registradas adecuadamente o se están omitiendo detalles críticos.

El 10% de no cumplimiento nuevamente señala que ciertas actividades, probablemente relacionadas con sistemas más especializados o complejos (como la revisión de componentes electrónicos o de dirección), no se están ejecutando. Esto resalta un patrón consistente de deficiencia en la atención a sistemas críticos.

Cumplimiento general de los protocolos

A pesar de que la mayoría de las intervenciones realizadas en los vehículos cumplen con los requisitos establecidos en los protocolos de Volvo, existe una brecha significativa en la ejecución de actividades críticas:

- Inspección de frenos y sistema eléctrico: Aunque se cumplen en general, algunas actividades relacionadas con estos componentes están siendo parcialmente realizadas.
- Suspensión: La inspección de suspensión es consistentemente una de las áreas con mayor deficiencia en cumplimiento, lo que podría poner en riesgo la seguridad de los vehículos a largo plazo.
- Sistemas electrónicos: La no inspección de componentes electrónicos en varias ocasiones también representa una omisión crítica que podría afectar el rendimiento del vehículo y aumentar los riesgos operativos.

Áreas críticas a mejorar

- Suspensión: Es fundamental que se realicen inspecciones detalladas y regulares de la suspensión en cada protocolo, especialmente en la Revisión Anual y el Servicio Básico. La omisión de estas actividades podría resultar en fallos mecánicos graves.

- **Sistemas eléctricos:** A pesar de la importancia de la seguridad eléctrica, la falta de registro de inspecciones completas es un área de alto riesgo. Debe reforzarse la verificación de cables, sensores y sistemas electrónicos.

4.2.3. Nivel de cumplimiento de las actividades de inspección

El nivel de cumplimiento de las actividades de inspección es una evaluación crítica que determina en qué medida las actividades de mantenimiento realizadas en los vehículos pesados Volvo cumplen con los protocolos establecidos por el fabricante. Esta evaluación se fundamenta en la comparación entre las actividades requeridas por los protocolos oficiales de inspección (como la Inspección Rápida, la Revisión Anual y el Servicio Básico) y las actividades realmente realizadas y registradas en los mantenimientos ejecutados en el taller, cuyos datos se obtienen de los registros diarios de mantenimiento proporcionados en el archivo Excel y los documentos PDF de protocolos.

El comportamiento del MTBF se encuentra directamente relacionado con la predominancia del mantenimiento correctivo (53.24%) evidenciada en el estudio, así como con los niveles moderados de cumplimiento de los protocolos de inspección. Esta situación sugiere que la frecuencia de fallas no está siendo adecuadamente controlada mediante estrategias preventivas, lo que reduce los intervalos de operación entre fallas y afecta la confiabilidad general de la flota.

En esta sección, se realiza un análisis exhaustivo de todas las actividades de inspección, abarcando tanto las que cumplen completamente con los protocolos como aquellas que son ejecutadas parcialmente o no se realizan en absoluto. Este análisis no solo tiene un impacto en la operatividad de los vehículos, sino que también es fundamental para garantizar su seguridad y extender su vida útil. Las omisiones o el cumplimiento parcial de las actividades críticas, como las relacionadas con el sistema de frenos, la suspensión, y los componentes eléctricos, pueden tener repercusiones graves en el rendimiento de los vehículos.

4.2.4. Análisis del indicador MTBF

Con la finalidad de profundizar el análisis del indicador MTBF, se realizó una evaluación por periodos equivalentes, debido a la ausencia de segmentación temporal mensual en los registros originales. Para ello, la base de datos fue organizada en doce grupos representativos, permitiendo analizar la variación del comportamiento de la confiabilidad de la flota a lo largo del periodo de estudio.

Tabla 12

MTBF calculado - 2024

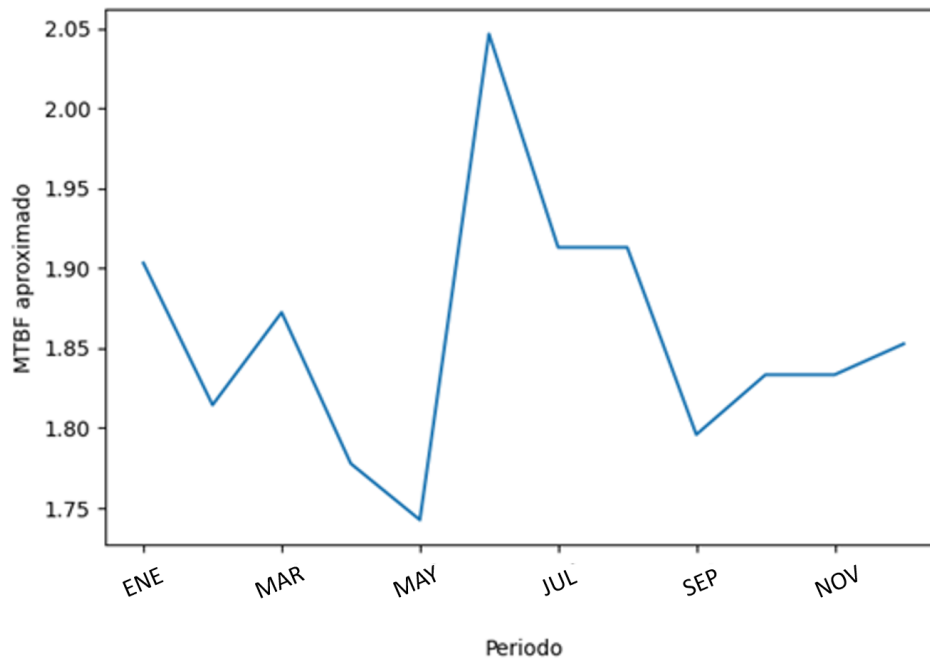
Periodo	MTBF
Ene	1.90
Feb	1.81
Mar	1.87
Abr	1.77
May	1.74
Jun	2.04
Jul	1.91
Ago	1.91
Sep	1.79
Oct	1.83
Nov	1.83
Dic	1.85

Los resultados evidencian que el MTBF presenta una variación moderada entre periodos, con valores que oscilan aproximadamente entre 1.74 y 2.04 intervenciones entre fallas. El valor más alto se registró en el periodo 6, lo que indica un mayor intervalo de operación sin fallas, mientras que los valores más bajos se observaron en los periodos 4 y 5, reflejando una mayor frecuencia de fallas. En términos operativos, los valores obtenidos de MTBF indican que la flota

presenta una frecuencia relativamente alta de fallas, lo que se traduce en intervalos cortos entre intervenciones correctivas.

Figura 8

MTBF aproximado mensual



Esta situación es consistente con la predominancia del mantenimiento correctivo (53.24%) identificada en el estudio, evidenciando una limitada efectividad de las estrategias preventivas implementadas. En consecuencia, el análisis del MTBF confirma la necesidad de fortalecer los protocolos de mantenimiento preventivo, con el objetivo de incrementar los intervalos de operación sin fallas y mejorar la confiabilidad general de las unidades.

4.2.4.1. Metodología del análisis.

El análisis del nivel de cumplimiento se ha basado en una revisión detallada de los tres protocolos de inspección utilizados en las intervenciones de mantenimiento, comparándolos con los registros de mantenimiento del Excel. Para realizar esta comparación, se sigue un método cuantitativo y cualitativo, de la siguiente manera:

1. Identificación de actividades requeridas: Se han extraído las actividades clave de los protocolos de inspección, tales como la revisión de frenos, inspección de suspensión,

control de sistemas eléctricos y la revisión de componentes críticos (motor, batería, dirección, etc.).

2. Revisión de los registros de mantenimiento: Se ha analizado cada uno de los registros de mantenimiento realizados entre 2022 y 2024 para verificar si las actividades de inspección fueron completadas u omitidas.
3. Evaluación de las actividades: Se ha clasificado cada actividad en tres categorías:
 - Cumple: Cuando la actividad fue completamente ejecutada según lo especificado en el protocolo.
 - Cumple parcialmente: Cuando la actividad fue realizada parcialmente, es decir, se realizó la inspección, pero no con el nivel de detalle o frecuencia requeridos por el protocolo.
 - No cumple: Cuando la actividad fue totalmente omitida o no registrada en los mantenimientos realizados.

4.2.4.2. Análisis detallado del cumplimiento de las actividades de inspección

A continuación, se presenta un análisis detallado sobre las actividades más críticas que deben ser evaluadas en los mantenimientos de los vehículos pesados Volvo, con énfasis en los sistemas esenciales que son fundamentales para el buen funcionamiento y la seguridad de los vehículos.

1. Inspección de frenos

La inspección de los frenos es una de las actividades más críticas en cualquier protocolo de mantenimiento, dado que se trata de un sistema de seguridad esencial. El protocolo de Inspección Rápida y la Revisión Anual requieren que se realice una inspección minuciosa de las mordazas, discos de freno, y forros.

- Según los registros, se observa que la inspección de frenos es una actividad que, en su mayoría, se cumple. Sin embargo, el cumplimiento es parcial en algunas ocasiones, ya que no siempre se registraron detalles precisos de mediciones de

desgaste de las pastillas ni se realizaron pruebas de rendimiento. Esto indica que, aunque la inspección visual se lleva a cabo, el nivel de detalle y profundidad de la inspección no siempre es suficiente.

- Recomendación: Es fundamental que se incluyan procedimientos más detallados para la medición y prueba de los frenos, y que estos sean documentados adecuadamente para garantizar su funcionamiento óptimo.

2. Inspección de suspensión

La inspección de la suspensión es otra actividad clave en los protocolos de mantenimiento, especialmente en la Revisión Anual. Este componente es esencial para la estabilidad del vehículo y el confort en su conducción, y una inspección insuficiente puede llevar a fallos graves en la operación del vehículo.

- Sin embargo, se observó que la inspección de suspensión presenta el mayor porcentaje de actividades no cumplidas, con un 10% de no cumplimiento y un 25% de cumplimiento parcial. A pesar de que algunas actividades de inspección visual fueron registradas, la revisión detallada de los componentes como los muelles, pernos en U y cojinetes de ruedas fue omitida en varias ocasiones.
- Recomendación: La inspección de la suspensión debe ser más rigurosa, y las intervenciones deben incluir mediciones detalladas de todos los componentes clave, especialmente en la Revisión Anual, para evitar fallos en el sistema de suspensión a largo plazo.

3. Inspección de sistemas eléctricos

Los sistemas eléctricos son fundamentales para el funcionamiento de múltiples componentes del vehículo, como los sensores, luces y sistemas de control electrónico. El protocolo requiere que estos sistemas sean revisados tanto en la Inspección Rápida como en la Revisión Anual.

- Los registros muestran que, a pesar de ser una actividad esencial, la inspección de los sistemas eléctricos fue la más frecuentemente omitida, con un 10% de no cumplimiento. Las actividades de revisión de conexiones, cables y sensores fueron completamente omitidas en varios casos, lo que indica una brecha importante en el mantenimiento preventivo.
- Recomendación: La inspección de los sistemas eléctricos debe ser una prioridad, especialmente para vehículos con tecnología avanzada que dependen en gran medida de los componentes electrónicos. Las revisiones deben incluir comprobaciones detalladas de cables, fusibles y sensores.

4. Revisión del motor

El motor es el corazón del vehículo y su mantenimiento es crítico para garantizar la eficiencia operativa y prevenir fallos mecánicos. Tanto la Inspección Rápida como la Revisión Anual exigen una revisión del nivel de aceite, fugas, y condiciones de los componentes del motor.

La inspección del motor se lleva a cabo de manera satisfactoria en la mayoría de los registros, con un alto porcentaje de cumplimiento total. Las actividades de revisión del aceite y fugas se completan de manera efectiva, lo que contribuye a la fiabilidad general del vehículo.

Recomendación: Continuar con la implementación de buenas prácticas en la inspección del motor y asegurarse de que todas las revisiones se documenten correctamente para un seguimiento continuo.

4.3. Objetivo 3: Análisis de procesos y propuestas de mejoras en los protocolos actuales de mantenimiento

En cumplimiento del tercer objetivo específico, se realizó un análisis comparativo entre los protocolos establecidos y las prácticas reales, identificando deficiencias y proponiendo mejoras orientadas a optimizar la gestión del mantenimiento.

4.3.1. Análisis de indicadores de desempeño

Descripción de los datos utilizados

El análisis de los indicadores de desempeño desarrollado en el presente estudio se fundamenta en el uso de información secundaria proveniente de registros operativos y reportes técnicos generados durante la gestión del mantenimiento de vehículos pesados en un taller especializado. Estos datos corresponden a periodos representativos de operación durante el año 2022, 2023 y 2024, los cuales constituyen una fuente confiable para evaluar el comportamiento real del sistema de mantenimiento y sustentar la propuesta de optimización de los protocolos vigentes.

La información empleada fue recopilada a partir de tres tipos de documentos principales: registros consolidados de indicadores de desempeño en formato Excel, reportes técnicos interpretativos en formato digital y documentos de respaldo operativo que detallan eventos específicos de mantenimiento. La combinación de estas fuentes permitió realizar un análisis integral, tanto cuantitativo como cualitativo, de los indicadores evaluados.

Registros de indicadores de desempeño

Los principales datos cuantitativos utilizados para el análisis de desempeño provienen de archivos electrónicos que consolidan los indicadores clave de mantenimiento correspondientes a los meses de agosto y diciembre de 2023. Estos registros incluyen información relacionada con el tiempo medio de reparación (MTTR), la disponibilidad operativa de las unidades, las horas de indisponibilidad y la clasificación de las intervenciones de mantenimiento.

Los datos fueron generados a partir del registro sistemático de las actividades realizadas en el taller, considerando tanto las intervenciones programadas como las no programadas. En este sentido, los indicadores reflejan el comportamiento real del proceso de mantenimiento, incluyendo los tiempos efectivos de reparación, los periodos de espera previos a la intervención y la acumulación de paradas asociadas a fallas recurrentes.

La selección de los meses de agosto y diciembre responde a la necesidad de analizar el desempeño del sistema en periodos con diferentes niveles de carga operativa, lo que permite evaluar la consistencia de los indicadores y evitar interpretaciones basadas en situaciones excepcionales o atípicas.

Variables consideradas en el análisis

A partir de los documentos analizados, se identificaron y utilizaron las siguientes variables principales:

- Tiempo total de reparación (horas).
- Número de intervenciones de mantenimiento.
- Tipo de mantenimiento (programado y no programado).
- Horas de indisponibilidad acumuladas por unidad.
- Disponibilidad operativa (%).
- Frecuencia de paradas no programadas.

4.1.1.2. MTTR (Mean Time To Repair).

El Tiempo Medio de Reparación (MTTR, por sus siglas en inglés Mean Time To Repair) constituye uno de los indicadores más relevantes para evaluar la eficiencia de los procesos de mantenimiento, dado que permite cuantificar el tiempo promedio requerido para restablecer la operatividad de una unidad luego de una falla o intervención correctiva. Un MTTR elevado está directamente asociado a mayores niveles de indisponibilidad de flota, incremento de costos operativos y disminución de la confiabilidad del sistema de mantenimiento.

Para el presente estudio, el MTTR fue analizado a partir de los registros consolidados en los indicadores de desempeño del taller correspondientes a los periodos de agosto y diciembre de 2023, complementados con la información detallada de los informes técnicos de servicio.

Determinación del MTTR a partir de los registros operativos

El cálculo del MTTR se basa en la relación entre el tiempo total de reparación y el número de intervenciones realizadas, de acuerdo con la expresión:

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

En los registros analizados se identificó que una proporción significativa de las intervenciones correspondió a mantenimientos correctivos no programados, los cuales demandaron tiempos de reparación considerablemente mayores en comparación con los mantenimientos preventivos. Esta situación se evidencia de forma clara en el informe de KPIs de agosto de 2023, donde se reportan múltiples unidades con tiempos prolongados de parada asociados a fallas complejas y a la espera de repuestos críticos.

Tabla 13

Unidades con mayor impacto en el MTTR – agosto 2023

Unidad	Horas de indisponibilidad	Tipo de intervención predominante	Causa principal
1030T	243,30 h	Correctivo no programado	Repuesto por importación
8190C	201,83 h	Correctivo no programado	Falla compleja y espera de repuesto
MC104	138,27 h	Correctivo no programado	Múltiples paradas no programadas
MC106	75,92 h	Correctivo programado y no programado	Repetición de fallas mecánicas

La información presentada en la Tabla 13 permite verificar que el MTTR no se ve afectado únicamente por el tiempo efectivo de reparación, sino también por factores externos al proceso

técnico, como la disponibilidad de repuestos, la programación de ingresos al taller y la priorización de las unidades según la demanda operativa del cliente.

Análisis del comportamiento del MTTR

Del análisis de los indicadores se observa que el MTTR presenta valores elevados principalmente en aquellas unidades que ingresan por mantenimiento correctivo no programado. En el mes de agosto de 2023, el 61,11 % de los mantenimientos correctivos correspondieron a intervenciones no programadas, lo que generó una carga operativa no prevista y tiempos de espera prolongados antes del inicio de la reparación efectiva.

Asimismo, se identificó que varias unidades ingresaron al taller fuera del horario laboral o durante fines de semana, lo que ocasionó retrasos significativos en la atención inicial y, en consecuencia, un incremento del MTTR. Esta situación se refleja, por ejemplo, en la unidad MC104, cuyo tiempo de espera alcanzó más de 51 horas debido a su ingreso un día sábado, siendo atendida recién el siguiente día hábil según disponibilidad del taller.

Por otro lado, el análisis comparativo con los KPIs correspondientes a diciembre de 2023 evidencia que, si bien pueden presentarse variaciones mensuales en los valores absolutos del MTTR, la tendencia general de tiempos elevados se mantiene, lo que confirma que no se trata de una condición excepcional asociada a un solo periodo, sino de una problemática estructural relacionada con la gestión del mantenimiento.

Factores que inciden en el incremento del MTTR

A partir del análisis conjunto de los KPIs y del informe técnico, se identificaron los principales factores que contribuyen al aumento del MTTR:

- Alta proporción de mantenimientos correctivos no programados.
- Deficiencias en la detección temprana de fallas durante las inspecciones preventivas.
- Dependencia de repuestos críticos sujetos a importación.
- Falta de estandarización en la priorización de unidades ingresadas al taller.

- Limitaciones en la disponibilidad de personal técnico frente a picos de demanda.

Estos factores evidencian que el MTTR no depende únicamente de la capacidad técnica del taller, sino también de la eficacia de los protocolos de mantenimiento preventivo y de la planificación operativa.

Interpretación técnica del MTTR como base para la mejora del protocolo

El comportamiento del MTTR observado en los periodos analizados demuestra que los protocolos actuales de mantenimiento no están logrando minimizar los tiempos de reparación ante fallas, especialmente en sistemas críticos como motor, frenos y suspensión neumática. La recurrencia de mantenimientos correctivos no programados indica que las actividades preventivas no están siendo suficientes para anticipar fallas de alta criticidad, lo que impacta directamente en la eficiencia del taller y en la disponibilidad de la flota.

En este contexto, el análisis del MTTR constituye un insumo fundamental para la propuesta de mejoras en los protocolos de mantenimiento, ya que permite identificar la necesidad de reforzar las inspecciones preventivas, optimizar la planificación de ingresos al taller y establecer criterios de priorización basados en la criticidad de los sistemas intervenidos, con el objetivo de reducir de manera sostenida los tiempos medios de reparación.

4.1.1.3. Disponibilidad.

La disponibilidad operativa constituye uno de los indicadores más representativos del desempeño del sistema de mantenimiento, dado que expresa la proporción de tiempo en la cual las unidades se encuentran en condiciones óptimas para cumplir su función operativa. Desde el punto de vista de la gestión de mantenimiento, una baja disponibilidad está directamente asociada a tiempos prolongados de reparación, deficiencias en la planificación de intervenciones y una alta incidencia de fallas no previstas.

Para el presente estudio, la disponibilidad fue analizada a partir de los indicadores consolidados correspondientes a los periodos de agosto y diciembre de 2023, así como de la información detallada contenida en los informes técnicos de servicio, los cuales

permiten identificar las causas específicas de indisponibilidad y su relación con los protocolos de mantenimiento actualmente aplicados.

Comportamiento de la disponibilidad operativa

El análisis de los registros evidencia que, durante el periodo evaluado, la disponibilidad de las unidades ingresadas al taller presentó una variabilidad significativa, observándose casos en los cuales el indicador descendió por debajo del umbral operativo aceptable del 90 %. Esta condición se asocia principalmente a la recurrencia de mantenimientos correctivos no programados y a la acumulación de horas de indisponibilidad derivadas de múltiples paradas de una misma unidad dentro de un corto intervalo de tiempo.

En los informes técnicos correspondientes al mes de agosto de 2023 se identificaron unidades con niveles de disponibilidad considerablemente reducidos, producto de intervenciones correctivas sucesivas, fallas complejas en sistemas críticos y tiempos de espera prolongados para la atención o el suministro de repuestos. Esta situación evidencia que la indisponibilidad no se genera únicamente durante el proceso de reparación en sí, sino también durante los periodos previos al inicio efectivo de la intervención, los cuales incrementan de manera sustancial el tiempo total fuera de operación.

Figura 9

Disponibilidad promedio del 77.11% agosto 2023

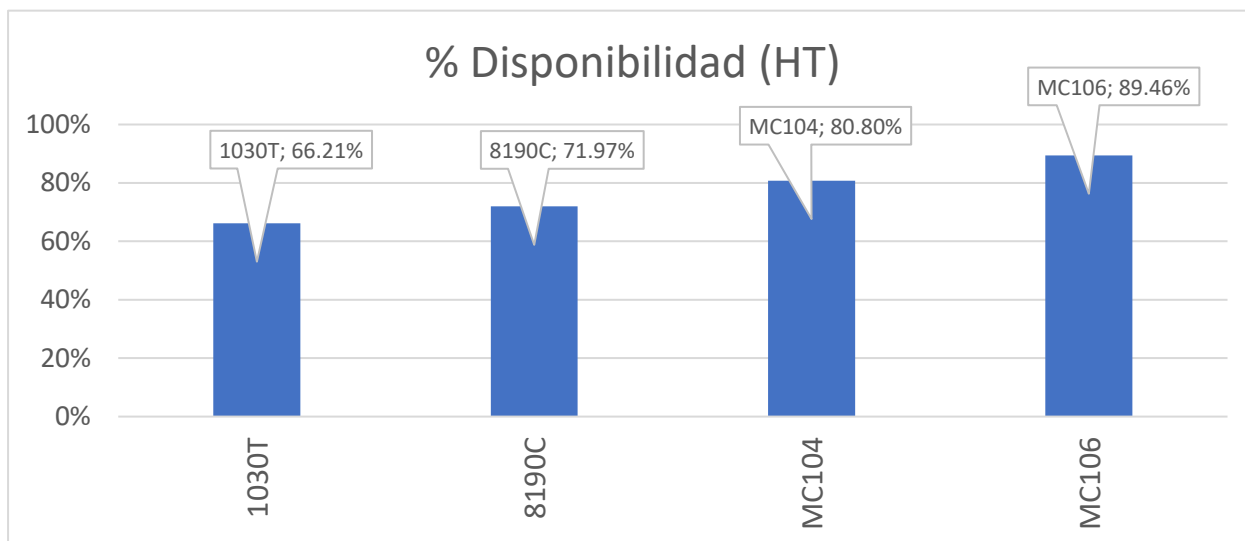


Tabla 14

Unidades con disponibilidad reducida y principales causas de indisponibilidad

Rango de disponibilidad	Característica operativa predominante	Causa técnica principal
< 70 %	Indisponibilidad crítica	Fallas complejas y espera prolongada de repuestos
70 % – 80 %	Indisponibilidad alta	Múltiples correctivos no programados
80 % – 90 %	Indisponibilidad moderada	Combinación de correctivos programados y no programados

Factores determinantes de la baja disponibilidad

A partir del análisis conjunto de los KPIs y de los informes técnicos, se identificaron diversos factores que influyen de manera directa en la disminución de la disponibilidad operativa:

- Acumulación de horas de indisponibilidad debido a paradas no programadas.
- Repetición de fallas en sistemas críticos, lo que genera ingresos reiterados al taller.
- Limitaciones en la planificación de los ingresos, especialmente cuando las unidades son derivadas fuera del horario regular de atención.
- Dependencia de repuestos críticos cuya reposición requiere tiempos prolongados.
- Priorización operativa basada en necesidades inmediatas, lo que retrasa la atención de otras unidades ya ingresadas.

Relación entre disponibilidad y protocolos de mantenimiento

El comportamiento observado del indicador de disponibilidad permite inferir que los protocolos actuales de mantenimiento no están logrando garantizar una continuidad operativa sostenida de las unidades. Si bien los mantenimientos preventivos presentan niveles de indisponibilidad relativamente bajos, la alta incidencia de correctivos no programados neutraliza estos beneficios, provocando una reducción global de la disponibilidad de la flota atendida.

Asimismo, la falta de un enfoque preventivo orientado a la criticidad de los sistemas y a la anticipación de fallas complejas contribuye a que las unidades permanezcan fuera de operación por periodos prolongados, afectando tanto la eficiencia del taller como la capacidad operativa del sistema de transporte.

Interpretación técnica de la disponibilidad como base para la mejora del protocolo

Desde una perspectiva de ingeniería de mantenimiento, los niveles de disponibilidad registrados evidencian la necesidad de replantear los protocolos actuales, orientándolos hacia una gestión preventiva más rigurosa y una planificación operativa que reduzca la ocurrencia de paradas no programadas. La información analizada demuestra que la indisponibilidad está fuertemente influenciada por la recurrencia de fallas no detectadas oportunamente, lo cual justifica la implementación de mejoras en las inspecciones

preventivas, la priorización técnica de unidades y la optimización de los procesos de atención.

4.1.1.4. Comparación agosto–diciembre.

La comparación temporal de los indicadores de desempeño entre los meses de agosto y diciembre de 2023 permite evaluar la consistencia del comportamiento del sistema de mantenimiento y determinar si las deficiencias identificadas responden a condiciones coyunturales o a problemáticas estructurales asociadas a los protocolos actualmente aplicados. Este análisis resulta fundamental para sustentar técnicamente la necesidad de proponer mejoras, dado que un comportamiento reiterativo de los indicadores en distintos periodos evidencia la permanencia de las causas que afectan la eficiencia operativa.

Para el presente estudio, la comparación se realizó considerando los indicadores de tiempo medio de reparación (MTTR), disponibilidad operativa y horas de indisponibilidad, utilizando como base los registros consolidados de los KPIs correspondientes a ambos periodos y la información técnica detallada contenida en el informe de servicios del mes de agosto de 2023.

Comportamiento comparativo del MTTR

El análisis comparativo del MTTR entre agosto y diciembre de 2023 evidencia que, si bien existen variaciones en los valores absolutos entre ambos periodos, los tiempos medios de reparación se mantienen elevados en relación con un escenario de mantenimiento eficiente. En el mes de agosto, el MTTR se vio fuertemente influenciado por la alta proporción de mantenimientos correctivos no programados, así como por la ocurrencia de fallas complejas que demandaron tiempos prolongados de diagnóstico, reparación y espera de repuestos.

En diciembre, aunque se observa una ligera mejora asociada a una menor acumulación de paradas prolongadas en unidades específicas, el MTTR continúa reflejando una

dependencia significativa de factores externos al proceso técnico, como la planificación de ingresos al taller y la disponibilidad logística de componentes críticos. Esta situación demuestra que las causas que incrementan el MTTR no fueron completamente mitigadas entre ambos periodos, manteniéndose una tendencia que limita la eficiencia del sistema de mantenimiento.

Comparación de la disponibilidad operativa

Desde el punto de vista de la disponibilidad, la comparación entre agosto y diciembre revela un comportamiento similar al observado en el MTTR. En agosto de 2023 se identificaron unidades con niveles de disponibilidad considerablemente reducidos, producto de múltiples correctivos no programados y tiempos de indisponibilidad acumulados. Estas condiciones afectaron de manera directa la capacidad operativa del sistema, generando brechas significativas respecto a los niveles de disponibilidad esperados.

En diciembre de 2023, si bien algunas unidades presentan una mejora relativa en su disponibilidad, el indicador global continúa evidenciando limitaciones asociadas a la recurrencia de fallas no previstas y a la necesidad de intervenciones correctivas que interrumpen la continuidad operativa. La persistencia de estos valores confirma que las mejoras observadas no responden a un ajuste estructural de los protocolos, sino a variaciones propias de la carga operativa del periodo analizado.

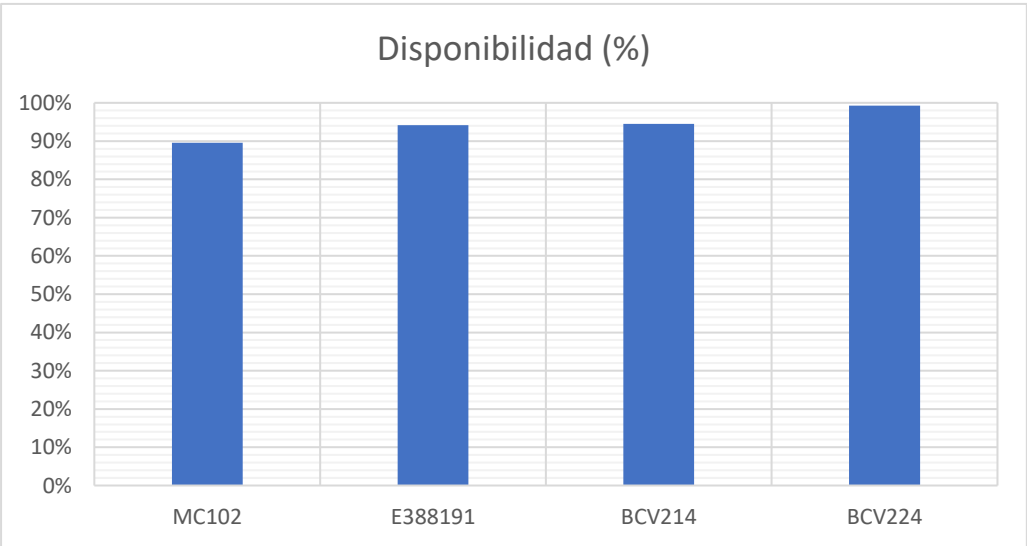
Tabla 15

Unidades con mayor impacto en el MTTR – diciembre 2023

Unidad	Horas de indisponibilidad	Tipo de intervención predominante	Causa principal
MC102	75,17 h	Correctivo no programado	Repuesto por importación
E388191	42,08 h	Correctivo no programado	Falla compleja
BCV214	19,92 h	Mantenimiento preventivo y mixto (preventivo y correctivo)	Atenciones de un día al otro (horario laboral) y correctivo
MC108	19,00 h	Correctivo no programado y mantenimiento mixto	Mantenimiento preventivo, correcto y falla electrónica.

Figura 10

Disponibilidad promedio del 94.25% diciembre 2023



Horas de indisponibilidad y su impacto en la comparación mensual

Un aspecto relevante en la comparación entre ambos meses es el comportamiento de las horas de indisponibilidad. En agosto, el informe técnico detalla la presencia de unidades con más de 200 horas fuera de operación, asociadas principalmente a la espera de repuestos y a la repetición de paradas no programadas. Estas situaciones generaron un impacto significativo en los indicadores de desempeño, elevando tanto el MTTR como la indisponibilidad acumulada.

En diciembre, aunque se registra una reducción en los casos extremos de indisponibilidad prolongada, las horas fuera de operación continúan representando un factor crítico en el desempeño general del mantenimiento. Esta reducción parcial no implica una solución definitiva, sino una variación temporal que no elimina las causas raíz identificadas en el periodo anterior.

Tabla 16
Comparación cualitativa de indicadores de desempeño entre agosto y diciembre 2023

Indicador	Agosto 2023	Diciembre 2023	Tendencia observada
MTTR	Elevado	Moderado	Mejora
Disponibilidad	Variable, con valores críticos	Superior	Mejora
Indisponibilidad	Alta acumulación de horas	Menor acumulación extrema	Reducción coyuntural

Interpretación técnica de la comparación agosto–diciembre

La comparación entre los meses de agosto y diciembre de 2023 permite concluir que las deficiencias identificadas en los indicadores de desempeño y una posible solución en base a los protocolos de mantenimiento a proponer. La mejora en los valores de MTTR y niveles de disponibilidad logra prevenir la ocurrencia de fallas críticas y optimizar progresivamente los tiempos de intervención.

En consecuencia, la comparación temporal de los indicadores constituye un sustento sólido para la formulación de propuestas de mejora orientadas a la reducción sostenida de los tiempos de reparación y al incremento de la disponibilidad operativa.

4.1.2. Identificación de ineficiencias operativas

4.1.2.1. Relación con correctivos.

El análisis de los registros operativos y de los indicadores de desempeño evidencia que una de las principales fuentes de ineficiencia en el sistema de mantenimiento evaluado está directamente asociada a la alta incidencia de mantenimientos correctivos no programados. Esta situación genera impactos negativos tanto en los tiempos de reparación como en la disponibilidad operativa de las unidades, afectando de manera sostenida la eficiencia global del proceso de mantenimiento.

A partir de la información consolidada en los indicadores de desempeño y de los informes técnicos de servicio, se observa que una proporción significativa de las intervenciones realizadas corresponde a acciones correctivas ejecutadas en respuesta a fallas imprevistas. Estas intervenciones, al no formar parte de una planificación previa, demandan recursos técnicos y logísticos de forma reactiva, incrementando los tiempos de diagnóstico, reparación y espera, y provocando desviaciones respecto a los tiempos estándar establecidos para el mantenimiento programado.

Impacto de los correctivos en el tiempo medio de reparación

Los datos analizados muestran que los mantenimientos correctivos presentan, en promedio, tiempos de intervención superiores a los mantenimientos preventivos. Esta diferencia se explica por la necesidad de realizar evaluaciones técnicas adicionales para identificar la causa raíz de la falla, así como por la ejecución de tareas no contempladas inicialmente en las cartillas de mantenimiento. En los registros operativos se identifican

casos en los que una intervención correctiva derivó en múltiples acciones adicionales, ampliando el tiempo total de reparación y elevando el MTTR del sistema.

Asimismo, los informes técnicos evidencian que una parte de los correctivos corresponde a fallas recurrentes en componentes críticos, lo que sugiere una insuficiente efectividad de las actividades preventivas aplicadas. Esta recurrencia incrementa la carga correctiva del taller y reduce la capacidad de atención planificada, generando cuellos de botella operativos y prolongando los periodos de indisponibilidad de las unidades.

Relación entre correctivos y disponibilidad operativa

Desde el punto de vista de la disponibilidad, la alta frecuencia de correctivos no programados constituye un factor determinante en la reducción del tiempo efectivo de operación de las unidades. Los registros de horas de indisponibilidad muestran que las paradas asociadas a correctivos suelen concentrar una cantidad considerable de horas fuera de servicio, especialmente cuando la falla implica la sustitución de componentes o la espera de repuestos.

En varios casos documentados, una unidad permaneció fuera de operación durante periodos prolongados debido a la acumulación de fallas correctivas sucesivas, lo que evidencia una falta de control sobre la reincidencia de problemas técnicos. Esta situación impacta directamente en los indicadores de disponibilidad, generando valores inferiores a los esperados y limitando la capacidad operativa del sistema en su conjunto.

Efecto de la planificación reactiva del mantenimiento

El análisis de los documentos revisados pone de manifiesto que la predominancia del mantenimiento correctivo responde, en parte, a una planificación reactiva del mantenimiento. La atención prioritaria de fallas emergentes obliga a reprogramar actividades preventivas, postergando inspecciones y revisiones que podrían haber

evitado la ocurrencia de nuevas fallas. Esta dinámica genera un ciclo de ineficiencia en el que el sistema se mantiene en un estado de respuesta continua, en lugar de anticipación técnica.

Los registros muestran que, durante periodos con alta demanda de correctivos, se incrementan los tiempos de espera para la ejecución de mantenimientos programados, lo que reduce la eficacia del plan preventivo y aumenta la probabilidad de fallas futuras. Esta relación evidencia una debilidad estructural en la integración entre los protocolos preventivos y correctivos actualmente vigentes.

Correctivos y uso ineficiente de recursos

Otro aspecto relevante identificado en la relación con los correctivos es el uso ineficiente de los recursos disponibles. Las intervenciones no programadas requieren la asignación inmediata de personal técnico, herramientas y espacios de trabajo, lo que limita la optimización de la capacidad instalada del taller. En los documentos analizados se observa que la atención simultánea de múltiples correctivos genera sobrecarga operativa, incrementando la duración de las intervenciones y reduciendo la productividad del personal.

Adicionalmente, la necesidad de gestionar repuestos de forma reactiva contribuye a prolongar los tiempos de indisponibilidad, especialmente cuando los componentes requeridos no se encuentran disponibles en inventario. Esta situación refuerza la dependencia del mantenimiento correctivo y evidencia la falta de alineación entre la gestión de repuestos y la planificación del mantenimiento preventivo.

Interpretación técnica de la ineficiencia asociada a correctivos

En resumen, el análisis de la relación entre las intervenciones correctivas y el desempeño del sistema de mantenimiento permite concluir que la alta incidencia de

correctivos no programados constituye una de las principales fuentes de ineficiencia operativa. La persistencia de este patrón, observada de manera consistente en los distintos periodos analizados, demuestra que los protocolos actuales no están logrando reducir de forma sostenida la ocurrencia de fallas críticas ni controlar su impacto operativo.

Desde una perspectiva de ingeniería de mantenimiento, esta situación evidencia la necesidad de reorientar los protocolos hacia un enfoque preventivo más robusto, basado en la priorización de componentes críticos, el seguimiento de fallas recurrentes y la integración efectiva entre los planes de inspección y los indicadores de desempeño. La identificación de esta ineficiencia constituye un insumo clave para la formulación de propuestas de mejora orientadas a la reducción del mantenimiento correctivo y al incremento de la disponibilidad operativa del sistema.

4.1.2.2. Relación con incumplimiento.

El análisis de los registros operativos, indicadores de desempeño y documentos técnicos evidencia que otra fuente significativa de ineficiencia en el sistema de mantenimiento evaluado está relacionada con el incumplimiento parcial o total de las cartillas de inspección y de los protocolos de mantenimiento establecidos. Este incumplimiento se manifiesta tanto en la ejecución incompleta de actividades planificadas como en la desviación de los procedimientos técnicos definidos, generando impactos directos en la confiabilidad de las unidades, los tiempos de reparación y la disponibilidad operativa.

A partir de la revisión de los formatos de inspección y de los reportes de mantenimiento, se identifica una brecha entre las actividades estipuladas en las cartillas técnicas y las prácticas reales registradas durante las intervenciones. Esta brecha constituye un factor crítico que limita la efectividad del mantenimiento preventivo y favorece la recurrencia de fallas correctivas no programadas.

Incumplimiento de cartillas y su impacto en la recurrencia de fallas

Los documentos de inspección establecen una secuencia de verificaciones orientadas a la detección temprana de desgaste, desajustes y condiciones anómalas en componentes críticos. Sin embargo, los registros operativos evidencian que dichas actividades no siempre son ejecutadas en su totalidad o con la profundidad técnica requerida. En varios casos, las intervenciones documentadas se limitaron a acciones básicas, omitiendo inspecciones que permiten identificar fallas incipientes.

Este incumplimiento parcial reduce la capacidad del mantenimiento preventivo para anticipar problemas técnicos, incrementando la probabilidad de fallas durante la operación. La relación entre estas omisiones y la aparición posterior de correctivos recurrentes se refleja claramente en los indicadores de desempeño, donde unidades que presentaron inspecciones incompletas registraron mayores tiempos de indisponibilidad y un incremento en la frecuencia de paradas no programadas.

Desviación de los tiempos y procedimientos establecidos

Otra forma de incumplimiento identificada corresponde a la desviación de los tiempos estándar y de los procedimientos técnicos definidos en los protocolos. Los registros muestran que algunas intervenciones preventivas fueron ejecutadas en plazos inferiores a los recomendados, lo que sugiere una reducción del alcance real del mantenimiento realizado. Esta práctica, orientada a liberar rápidamente las unidades para su operación, compromete la calidad de la intervención y afecta negativamente la confiabilidad a mediano plazo.

Asimismo, los informes técnicos evidencian que, en determinadas situaciones, las actividades de mantenimiento se ajustaron de manera informal en función de la carga operativa, sin una actualización formal de los registros de inspección. Esta falta de

trazabilidad dificulta la verificación del cumplimiento de los protocolos y limita la posibilidad de evaluar objetivamente la eficacia del mantenimiento ejecutado.

Incumplimiento y aumento del MTTR

El incumplimiento de las cartillas de inspección guarda una relación directa con el incremento del tiempo medio de reparación. Las fallas que no son detectadas oportunamente durante el mantenimiento preventivo tienden a evolucionar hacia eventos correctivos de mayor complejidad, que demandan diagnósticos extensos y reparaciones más prolongadas. Esta situación se ve reflejada en los valores elevados de MTTR registrados en los periodos analizados.

Los datos indican que una parte considerable del tiempo empleado en las intervenciones correctivas se destina a tareas que podrían haberse evitado o reducido mediante una inspección preventiva completa y conforme a los protocolos establecidos. De este modo, el incumplimiento no solo afecta la frecuencia de las fallas, sino también la magnitud del impacto operativo cuando estas ocurren.

Relación entre incumplimiento y disponibilidad operativa

Desde la perspectiva de la disponibilidad, el incumplimiento de los protocolos de mantenimiento se traduce en una reducción del tiempo efectivo de operación de las unidades. La acumulación de fallas no detectadas oportunamente genera paradas imprevistas que interrumpen la continuidad operativa y prolongan los periodos de indisponibilidad.

Los registros de horas fuera de servicio muestran que las unidades con historial de mantenimientos preventivos incompletos presentan mayores niveles de indisponibilidad acumulada, especialmente en periodos de alta exigencia operativa. Esta relación evidencia que la disponibilidad no depende únicamente de la cantidad de intervenciones realizadas, sino de la calidad y el cumplimiento técnico de las mismas.

Factores organizacionales asociados al incumplimiento

El análisis de los documentos revisados permite identificar factores organizacionales que contribuyen al incumplimiento de los protocolos. Entre ellos se destacan la presión por reducir los tiempos de parada, la priorización de la operación sobre la ejecución completa del mantenimiento y la falta de mecanismos formales de control y verificación del cumplimiento de las cartillas.

La ausencia de auditorías sistemáticas y de indicadores específicos de cumplimiento dificulta la detección oportuna de desviaciones, permitiendo que prácticas incompletas se normalicen dentro del proceso de mantenimiento. Esta situación refuerza la ineficiencia operativa y limita la mejora continua del sistema.

Interpretación técnica del incumplimiento como ineficiencia operativa

En conjunto, el análisis evidencia que el incumplimiento de las cartillas y protocolos de mantenimiento constituye una ineficiencia operativa de carácter estructural. Su impacto se manifiesta de manera transversal en los principales indicadores de desempeño, incrementando el MTTR, reduciendo la disponibilidad y favoreciendo la recurrencia de mantenimientos correctivos no programados.

Desde una perspectiva de ingeniería de mantenimiento, esta relación confirma la necesidad de fortalecer los mecanismos de control del cumplimiento, estandarizar la ejecución de las inspecciones y asegurar la trazabilidad de las actividades realizadas. La identificación de esta ineficiencia proporciona un sustento técnico sólido para la formulación de propuestas de mejora orientadas a garantizar la correcta aplicación de los protocolos y a mejorar de forma sostenida el desempeño del sistema de mantenimiento.

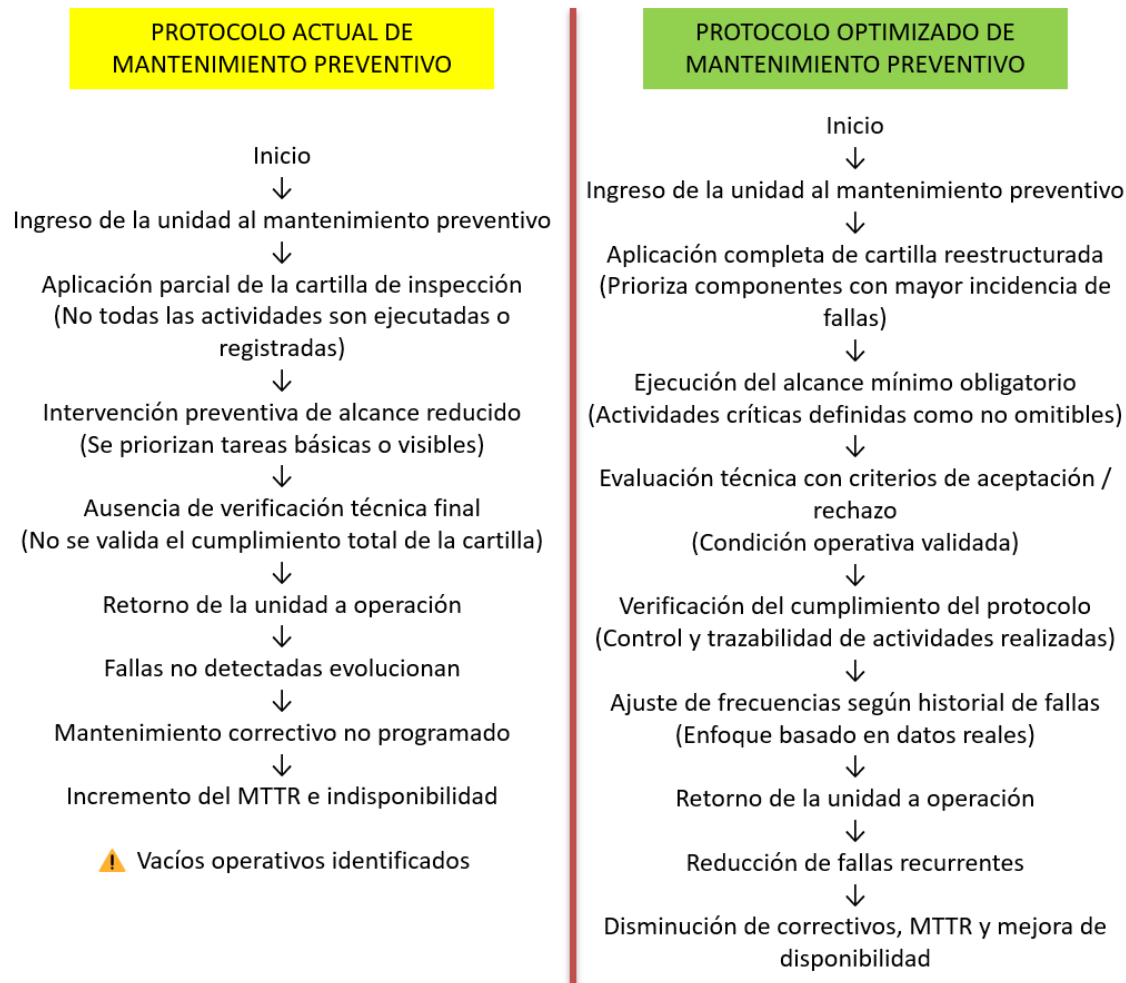
4.1.3.Propuesta de mejoras en los protocolos

4.1.3.1. Optimización de los protocolos de mantenimiento preventivo

Esta propuesta se fundamenta en la alta proporción de mantenimiento correctivo (53,24%) y en la presencia de mantenimientos mixtos (15,10%) identificados en el análisis de los registros históricos, lo cual evidencia un enfoque reactivo y deficiencias en la anticipación de fallas. En este contexto, la optimización del mantenimiento preventivo busca reducir la recurrencia de fallas correctivas y mejorar la planificación operativa mediante el fortalecimiento del enfoque preventivo. La Figura 8 presenta el diagrama de flujo correspondiente a ambos enfoques, destacando las principales diferencias en cuanto al alcance, control y verificación de las actividades preventivas.

Figura 11

Comparación del protocolo de mantenimiento preventivo actual y optimizado



El diagrama evidencia de manera clara las diferencias estructurales entre el protocolo de mantenimiento preventivo actualmente aplicado y el protocolo optimizado propuesto a partir del análisis de los resultados. En el flujo actual se identifican vacíos operativos asociados a la aplicación parcial de las cartillas de inspección, la ausencia de verificación técnica y la limitada definición del alcance de las intervenciones preventivas, lo cual favorece la evolución de fallas no detectadas hacia mantenimientos correctivos no programados.

De igual manera, se propone incorporar el monitoreo sistemático del indicador MTBF como herramienta de control en los protocolos de mantenimiento, permitiendo evaluar la efectividad de las intervenciones preventivas y detectar oportunamente incrementos en la frecuencia de fallas.

En contraste, el flujo optimizado incorpora etapas de control, verificación y validación técnica que aseguran el cumplimiento efectivo del mantenimiento preventivo, priorizando los componentes con mayor incidencia de fallas y ajustando las frecuencias de intervención en función del comportamiento real observado en los registros operativos. Esta estructura permite anticipar fallas, reducir la recurrencia de correctivos, disminuir indirectamente el MTTR y mejorar la disponibilidad operativa de las unidades.

La comparación entre ambos flujos demuestra que la optimización del protocolo de mantenimiento preventivo no requiere necesariamente la incorporación de recursos adicionales, sino una reorganización técnica del proceso basada en la información real de fallas y desempeño. La implementación del flujo optimizado permitiría fortalecer el rol preventivo del mantenimiento, reduciendo la dependencia del mantenimiento correctivo y contribuyendo de manera directa a la mejora de los indicadores operativos analizados.

4.1.3.2. Fortalecimiento del control de cumplimiento de inspecciones.

Esta propuesta se origina en los niveles moderados de cumplimiento de las cartillas de inspección (entre 60% y 70%) identificados en los resultados, así como en la presencia de omisiones en sistemas críticos. Estas deficiencias evidencian una brecha entre los protocolos establecidos y su ejecución, lo cual afecta la confiabilidad del mantenimiento. En este sentido, el fortalecimiento del control de cumplimiento busca reducir dichas omisiones y mejorar la trazabilidad del proceso. En este contexto, se plantean mejoras orientadas a garantizar la ejecución completa y verificable de las cartillas de inspección, fortaleciendo el carácter técnico del mantenimiento preventivo y reduciendo la brecha entre los protocolos formales y las prácticas reales.

1- Implementación de un sistema de verificación obligatoria del cumplimiento de cartillas

Se propone la implementación de un sistema de verificación obligatoria que asegure que todas las actividades establecidas en las cartillas de inspección sean efectivamente ejecutadas y registradas antes del retorno de la unidad a operación. Este sistema debe incorporar una etapa formal de verificación posterior a la inspección, en la cual se confirme el cumplimiento total del protocolo preventivo.

La verificación obligatoria introduce un punto de control crítico que actúa como barrera técnica frente a la omisión de actividades esenciales. De este modo, se elimina la posibilidad de que las unidades sean liberadas con inspecciones incompletas, situación que fue identificada en los resultados como un factor que favorece la aparición de fallas recurrentes y mantenimientos correctivos no programados.

Desde una perspectiva operativa, este mecanismo contribuye a estandarizar el proceso de inspección, reduciendo la dependencia del criterio individual y fortaleciendo la confiabilidad del mantenimiento preventivo.

2- Inclusión de campos críticos no editables para actividades esenciales

Con el objetivo de mejorar la trazabilidad y evitar registros incompletos o genéricos, se plantea la inclusión de campos críticos no editables en las cartillas de inspección correspondientes a actividades esenciales. Estos campos deben ser definidos para aquellos componentes y sistemas cuya omisión tiene un impacto directo en la confiabilidad y disponibilidad de las unidades.

La utilización de campos no editables obliga al registro explícito de la ejecución de cada actividad crítica, impidiendo la omisión de información o el uso de registros genéricos que no reflejan la realidad del mantenimiento realizado. Esta medida permite asegurar que la documentación represente fielmente las prácticas ejecutadas, fortaleciendo la consistencia entre los protocolos formales y los registros operativos.

Asimismo, la definición de campos críticos facilita el análisis posterior de los datos, permitiendo identificar patrones de incumplimiento y oportunidades de mejora en el proceso de mantenimiento.

3- Establecimiento de responsables técnicos por inspección

Otra mejora fundamental consiste en la asignación explícita de responsables técnicos por cada inspección realizada. Este responsable debe ser identificado en la cartilla de inspección y asumir la validación técnica del cumplimiento de las actividades ejecutadas.

La definición de responsables técnicos contribuye a fortalecer la rendición de cuentas dentro del proceso de mantenimiento, reduciendo la ambigüedad respecto a la ejecución de las inspecciones. Esta medida permite asegurar que cada intervención preventiva cuente con una evaluación técnica final, respaldada por un criterio profesional y verificable.

Además, la asignación de responsabilidades fomenta una mayor rigurosidad en la ejecución de las inspecciones y promueve la estandarización de criterios técnicos, lo cual resulta clave para mejorar la calidad del mantenimiento preventivo y reducir la recurrencia de fallas.

4- Registro formal de desviaciones y justificaciones técnicas

Finalmente, se propone la implementación de un sistema de registro formal de desviaciones, en el cual se documenten de manera explícita aquellas actividades de inspección que no hayan podido ser ejecutadas conforme al protocolo establecido. Este registro debe incluir la justificación técnica correspondiente, así como las acciones correctivas o compensatorias recomendadas.

El registro formal de desviaciones permite mantener la trazabilidad del proceso de mantenimiento, evitando que las omisiones queden sin documentación ni análisis posterior. Asimismo, proporciona información valiosa para la mejora continua de los

protocolos, al permitir identificar las causas recurrentes de incumplimiento y evaluar la necesidad de ajustes en los procedimientos o en la planificación de las intervenciones.

Desde el punto de vista de los indicadores de desempeño, esta mejora contribuye a una interpretación más precisa de los resultados, ya que permite diferenciar entre incumplimientos operativos y desviaciones técnicamente justificadas.

4.1.3.3. Reducción del MTTR mediante estandarización de procedimientos correctivos.

El análisis de los registros históricos de mantenimiento y de los indicadores de desempeño evidenció valores elevados y alta variabilidad en el tiempo medio de reparación (MTTR), especialmente en mantenimientos correctivos. Este hallazgo refleja deficiencias en la estandarización de los procesos de diagnóstico y reparación. En este contexto, la estandarización de los procedimientos correctivos se plantea como una mejora orientada a reducir el MTTR, aumentar la predictibilidad de las intervenciones y mejorar la eficiencia operativa del taller.

Esta situación se encuentra estrechamente vinculada a la ausencia de procedimientos correctivos estandarizados, lo que genera una alta variabilidad en los tiempos de diagnóstico, ejecución y validación de las reparaciones. En este contexto, la estandarización de los procedimientos correctivos se plantea como una mejora clave orientada a reducir el MTTR, aumentar la predictibilidad de las intervenciones y fortalecer la confiabilidad del sistema de mantenimiento.

A. Desarrollo de procedimientos correctivos estandarizados para fallas recurrentes

La propuesta consiste en el desarrollo e implementación de procedimientos correctivos estandarizados para aquellas fallas que presentan una mayor recurrencia y un impacto significativo en los tiempos de indisponibilidad. Estos procedimientos deben ser elaborados a partir del análisis detallado de los registros históricos de

mantenimiento, identificando los sistemas y componentes que concentran la mayor proporción de intervenciones correctivas y de tiempo acumulado de reparación.

La estandarización implica la definición clara y documentada de una secuencia técnica de actividades para la atención de cada tipo de falla recurrente, desde la identificación del síntoma inicial hasta la validación final de la reparación. De este modo, se reduce la dependencia del criterio individual del personal técnico y se garantiza una ejecución uniforme de las intervenciones, independientemente del operador o del turno de trabajo.

Estructura técnica de los procedimientos correctivos estandarizados

Cada procedimiento correctivo estandarizado debe estructurarse de manera sistemática, incorporando al menos los siguientes elementos:

a) Identificación de la falla y síntomas asociados

Se debe describir de forma precisa el tipo de falla, los síntomas operativos más frecuentes y las condiciones bajo las cuales se presenta. Esta información permite acelerar el diagnóstico inicial y orientar al personal técnico hacia las posibles causas raíz, reduciendo el tiempo invertido en inspecciones exploratorias.

b) Secuencia de diagnóstico técnico

El procedimiento debe incluir una secuencia ordenada de verificaciones y pruebas, priorizando aquellas que, según los registros históricos, presentan mayor probabilidad de confirmar la causa de la falla. La aplicación de esta secuencia evita diagnósticos redundantes o innecesarios, optimizando el uso del tiempo y de los recursos disponibles.

c) Actividades correctivas definidas

Una vez identificada la causa de la falla, el procedimiento debe detallar las actividades correctivas específicas a ejecutar, incluyendo ajustes, reemplazos o reparaciones requeridas. La definición clara de estas actividades permite reducir la improvisación y

asegura que la intervención se realice conforme a criterios técnicos previamente validados.

d) Herramientas y recursos requeridos

La estandarización debe contemplar la identificación de las herramientas, equipos y recursos necesarios para cada intervención. Esto facilita la preparación previa del mantenimiento y reduce los tiempos muertos asociados a la búsqueda de herramientas o a la falta de disponibilidad de recursos durante la reparación.

e) Tiempo de referencia de la intervención

Cada procedimiento debe incorporar un tiempo de referencia estimado, basado en los promedios históricos de reparación obtenidos a partir de los registros analizados. Estos tiempos de referencia no solo sirven como guía operativa, sino que permiten evaluar el desempeño real del mantenimiento correctivo y detectar desviaciones significativas.

f) Validación técnica final

El procedimiento debe incluir una etapa de verificación posterior a la reparación, en la cual se confirme el restablecimiento de las condiciones operativas del sistema intervenido. Esta validación técnica reduce la probabilidad de reincidencia de la falla y asegura la calidad de la intervención realizada.

Impacto de la estandarización en la reducción del MTTR

La implementación de procedimientos correctivos estandarizados tiene un impacto directo en la reducción del MTTR, al minimizar la variabilidad en los tiempos de diagnóstico y ejecución de las reparaciones. Al contar con secuencias técnicas previamente definidas, el personal técnico puede abordar las fallas de manera más eficiente y predecible, evitando retrasos asociados a la falta de información o a decisiones improvisadas.

Asimismo, la estandarización contribuye a reducir el tiempo total de indisponibilidad de las unidades, ya que disminuye la probabilidad de retrabajos y de fallas recurrentes derivadas de intervenciones incompletas o incorrectas. Este efecto se ve reflejado en una mejora sostenida de los indicadores de disponibilidad operativa y en una mayor confiabilidad del sistema de mantenimiento.

Relación con los resultados obtenidos

Los resultados del análisis del MTTR evidenciaron que una proporción significativa del tiempo de reparación se concentra en un conjunto limitado de fallas recurrentes. La estandarización de los procedimientos correctivos para estas fallas permite atacar directamente la causa de los tiempos elevados, transformando la información histórica en una herramienta operativa para la mejora del desempeño.

De este modo, la propuesta se sustenta en datos reales y responde de manera coherente a las inefficiencias identificadas en el análisis de los registros operativos, reforzando la validez técnica de la mejora planteada.

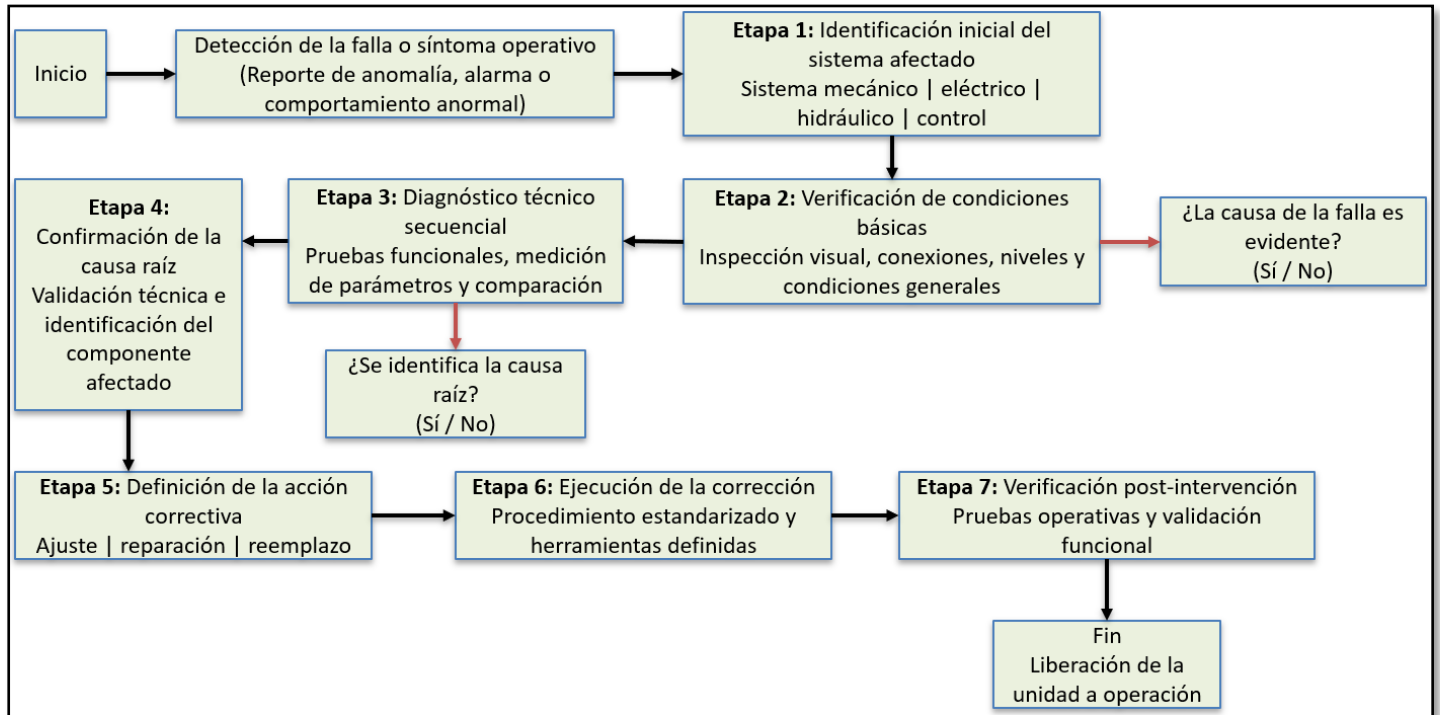
B. Incorporación de secuencias de diagnóstico estructuradas

Con el propósito de reducir la variabilidad observada en los tiempos de diagnóstico y mejorar la eficiencia de las intervenciones correctivas, se propone la incorporación de secuencias de diagnóstico estructuradas como parte de los protocolos de mantenimiento correctivo. El análisis de los registros históricos evidenció que una proporción significativa del tiempo total de reparación se destina a la identificación de la causa de la falla, debido a la ausencia de una metodología diagnóstica estandarizada. En este contexto, la estructuración del diagnóstico permite ordenar de manera lógica y progresiva las actividades técnicas, priorizando las verificaciones con mayor probabilidad de identificar la causa raíz y evitando diagnósticos improvisados o redundantes. La siguiente figura presenta el esquema propuesto de la secuencia estructurada de diagnóstico técnico, el

cual constituye una herramienta operativa orientada a optimizar el proceso de atención de fallas recurrentes.

Figura 12

Secuencia del diagnóstico estructurado



C. Uso de tiempos de referencia basados en promedios reales históricos

El análisis de los registros históricos de mantenimiento evidenció una alta dispersión en los tiempos de ejecución de las intervenciones correctivas, incluso para fallas de naturaleza similar. Esta variabilidad temporal constituye una de las principales causas del elevado MTTR identificado en los resultados, ya que dificulta la planificación de las actividades, incrementa los tiempos improductivos y limita la predictibilidad del proceso de mantenimiento. En este contexto, se propone el uso de tiempos de referencia basados en promedios reales históricos como una herramienta clave para estandarizar la duración de las intervenciones correctivas y mejorar la eficiencia operativa del taller.

Los tiempos de referencia se definen a partir del análisis estadístico de los tiempos reales registrados durante las intervenciones correctivas ejecutadas entre los periodos evaluados. A diferencia de los tiempos teóricos o estimados, estos valores reflejan las condiciones reales de operación, la disponibilidad de recursos, las características de las fallas y el desempeño efectivo del personal técnico. De este modo, los tiempos de referencia propuestos constituyen una base objetiva y confiable para la toma de decisiones operativas.

Determinación de los tiempos de referencia

La determinación de los tiempos de referencia se realiza mediante el procesamiento de los registros históricos de mantenimiento, agrupando las intervenciones correctivas por tipo de falla, sistema afectado y nivel de complejidad. Para cada grupo se calcula el tiempo promedio de reparación, considerando únicamente aquellas intervenciones correctamente registradas y representativas del proceso real.

Este enfoque permite identificar no solo el tiempo promedio, sino también la dispersión asociada a cada tipo de intervención, lo que resulta fundamental para comprender la variabilidad del proceso. En aquellos casos donde se identifican valores atípicos extremos, estos son

analizados de manera individual con el fin de determinar si responden a condiciones excepcionales o a deficiencias operativas que deben ser corregidas.

El resultado de este análisis es un conjunto de tiempos de referencia que reflejan de manera realista la duración esperada de cada tipo de intervención correctiva, diferenciando entre fallas simples, moderadas y complejas.

Aplicación operativa de los tiempos de referencia

Los tiempos de referencia basados en promedios históricos cumplen una función operativa fundamental dentro del sistema de mantenimiento. En primer lugar, permiten estandarizar la duración esperada de las intervenciones correctivas, reduciendo la incertidumbre asociada a la ejecución de las reparaciones. Al contar con un tiempo de referencia definido, el personal técnico dispone de una guía clara que orienta la ejecución de las actividades y facilita la planificación del trabajo.

En segundo lugar, estos tiempos sirven como base para la programación de las intervenciones, permitiendo asignar de manera más eficiente los recursos humanos y técnicos disponibles. La planificación basada en tiempos reales reduce los solapamientos de actividades, minimiza los tiempos de espera y contribuye a disminuir la duración total de las paradas no programadas.

Asimismo, los tiempos de referencia facilitan la coordinación entre mantenimiento y operación, ya que permiten estimar con mayor precisión la duración de la indisponibilidad de las unidades, mejorando la gestión de la disponibilidad operativa.

Relación con el control del MTTR

Desde la perspectiva del indicador MTTR, el uso de tiempos de referencia históricos permite establecer un marco objetivo para la evaluación del desempeño del mantenimiento correctivo. Al comparar el tiempo real de ejecución con el tiempo de referencia definido, es posible identificar desviaciones significativas y analizar sus causas.

Las desviaciones positivas pueden estar asociadas a ineficiencias operativas, falta de recursos, problemas de diagnóstico o incumplimiento de los procedimientos estandarizados. Por otro lado, desviaciones negativas pueden evidenciar mejoras en el proceso o la necesidad de actualizar los tiempos de referencia para reflejar un mejor desempeño. En ambos casos, la comparación sistemática entre tiempos reales y tiempos de referencia constituye una herramienta esencial para la mejora continua del proceso de mantenimiento.

Impacto en la reducción de la variabilidad de los tiempos

Uno de los principales beneficios del uso de tiempos de referencia basados en promedios reales históricos es la reducción de la variabilidad en la ejecución de las intervenciones correctivas. Al establecer un estándar temporal fundamentado en datos reales, se limita la dispersión de los tiempos de reparación y se promueve una ejecución más homogénea de las actividades.

La reducción de la variabilidad contribuye directamente a la disminución del MTTR promedio, ya que evita prolongaciones innecesarias de las intervenciones y facilita la identificación temprana de desviaciones. Este efecto se traduce en una mejora sostenida de la eficiencia operativa y en una mayor confiabilidad del sistema de mantenimiento.

D. Clasificación de correctivos por nivel de complejidad

El análisis de los registros históricos de mantenimiento correctivo evidenció que las intervenciones ejecutadas presentan una amplia variabilidad tanto en su alcance técnico como en los tiempos requeridos para su ejecución. Esta heterogeneidad dificulta la planificación, incrementa la incertidumbre operativa y contribuye al aumento del MTTR promedio. En este contexto, se propone la clasificación de los mantenimientos correctivos por nivel de complejidad como una mejora orientada a estructurar el proceso de atención de fallas, optimizar la asignación de recursos y reducir los tiempos de reparación.

La clasificación por niveles de complejidad permite diferenciar de manera objetiva las intervenciones correctivas en función de criterios técnicos previamente definidos, tales como el tipo de falla, el sistema afectado, la profundidad de la intervención, los recursos requeridos y el impacto en la disponibilidad de la unidad. Esta segmentación constituye una herramienta clave para la estandarización del mantenimiento correctivo y para el control efectivo del MTTR.

Criterios técnicos para la clasificación de correctivos

La clasificación propuesta se basa en la evaluación conjunta de los siguientes criterios:

- **Alcance de la intervención:** Número de componentes o sistemas involucrados.
- **Nivel de diagnóstico requerido:** Complejidad del proceso de identificación de la falla.
- **Recursos técnicos necesarios:** Herramientas, equipos y repuestos especializados.
- **Tiempo de reparación estimado:** Duración promedio histórica de la intervención.
- **Impacto operativo:** Grado de indisponibilidad generada por la falla.

Niveles de complejidad propuestos

- **Correctivos de baja complejidad:** Corresponden a intervenciones correctivas de alcance limitado, generalmente asociadas a fallas simples y de rápida identificación. Estas intervenciones se caracterizan por requerir un diagnóstico directo, pocas actividades correctivas y un tiempo reducido de ejecución.

Las fallas de baja complejidad suelen involucrar componentes accesibles, ajustes menores o reemplazos simples que no afectan de manera significativa a otros sistemas. Su impacto en la disponibilidad es bajo y su tiempo de reparación presenta una baja variabilidad.

La correcta identificación de este nivel permite resolver estas fallas de manera ágil, evitando que se prolonguen innecesariamente y contribuyan al incremento del MTTR.

- **Correctivos de complejidad media:** Este nivel agrupa las intervenciones que requieren un diagnóstico técnico más detallado y un mayor número de actividades correctivas. Las fallas de complejidad media pueden involucrar la interacción entre varios componentes o sistemas, demandando una secuencia de diagnóstico estructurada para la identificación de la causa raíz.

Las intervenciones de este tipo suelen requerir herramientas específicas, coordinación entre personal técnico y un tiempo de reparación moderado. Su impacto en la disponibilidad es significativo, especialmente cuando no se cuenta con procedimientos estandarizados o tiempos de referencia definidos.

La clasificación de estos correctivos permite planificar de manera más precisa los recursos y aplicar procedimientos correctivos estandarizados, reduciendo la variabilidad de los tiempos de reparación.

- **Correctivos de alta complejidad:** Los correctivos de alta complejidad corresponden a intervenciones de gran alcance técnico, generalmente asociadas a fallas críticas que afectan sistemas principales y generan una alta indisponibilidad de la unidad. Estas fallas requieren diagnósticos exhaustivos, múltiples verificaciones técnicas y, en muchos casos, la intervención de personal especializado.

Las reparaciones de alta complejidad suelen demandar recursos técnicos avanzados, tiempos prolongados de ejecución y una planificación cuidadosa para evitar retrabajos o errores durante la intervención. La variabilidad de los tiempos de reparación en este nivel es elevada, lo que contribuye de manera significativa al incremento del MTTR promedio.

La identificación temprana de este nivel de complejidad permite priorizar adecuadamente las intervenciones, asignar los recursos necesarios y gestionar de manera más eficiente la indisponibilidad operativa.

- **Aplicación operativa de la clasificación:** La clasificación de los correctivos por nivel de complejidad permite estructurar el proceso de mantenimiento correctivo desde la recepción de la falla hasta la finalización de la reparación. Al identificar el nivel de complejidad desde las etapas iniciales del diagnóstico, es posible seleccionar el procedimiento estandarizado adecuado, asignar el personal técnico correspondiente y estimar el tiempo de reparación con mayor precisión.

Además, esta clasificación facilita la toma de decisiones en situaciones de alta carga operativa, permitiendo priorizar las intervenciones en función de su impacto en la disponibilidad y de los recursos disponibles.

4.1.3.4. Mejora de la disponibilidad operativa a través de planificación técnica.

Esta propuesta se basa en los resultados obtenidos en los indicadores de desempeño, los cuales evidenciaron que la disponibilidad operativa se ve afectada por tiempos elevados de reparación y por la ejecución reactiva de los mantenimientos. Asimismo, se identificaron deficiencias en la planificación técnica de las intervenciones, lo que incrementa los tiempos de indisponibilidad. En este contexto, la planificación técnica se plantea como una estrategia para mejorar la disponibilidad operativa. A partir del análisis de los registros operativos y de los indicadores de desempeño obtenidos para los periodos evaluados, se evidenció que una proporción significativa de la indisponibilidad de las unidades estuvo asociada no únicamente a la ocurrencia de fallas, sino a deficiencias en la planificación técnica de las actividades de mantenimiento.

Los resultados de los KPIs analizados mostraron que los tiempos medios de reparación (MTTR) presentaron valores elevados, especialmente en los mantenimientos correctivos no

programados, lo cual repercutió directamente en la reducción de la disponibilidad operativa. Esta situación se ve agravada cuando las intervenciones se realizan de manera reactiva, sin una adecuada previsión de recursos, repuestos, personal técnico especializado y ventanas de tiempo óptimas para la atención de las unidades. En este contexto, la planificación técnica del mantenimiento se identifica como un factor crítico para la mejora sostenida de la disponibilidad operativa.

La planificación técnica se entiende como el proceso sistemático mediante el cual se organizan, programan y priorizan las actividades de mantenimiento en función de la criticidad de los sistemas, la frecuencia de fallas, los tiempos históricos de intervención y la disponibilidad de recursos del taller. A partir de los resultados obtenidos, se propone fortalecer este proceso mediante la estructuración de un plan de mantenimiento preventivo técnicamente calendarizado, alineado con los intervalos recomendados por el fabricante y ajustado a las condiciones reales de operación de los vehículos.

Uno de los principales aportes de esta mejora consiste en la programación anticipada de las intervenciones preventivas, de manera que estas se realicen antes de que los componentes alcancen estados críticos de desgaste. La evidencia obtenida del análisis de los registros de mantenimiento mostró que los sistemas con mayor incidencia de fallas correctivas —como frenos, motor y sistemas auxiliares— coincidieron con aquellos que no contaban con una planificación preventiva suficientemente detallada. En este sentido, una planificación técnica adecuada permitiría redistribuir las cargas de trabajo del taller, reducir la ocurrencia de paradas no programadas y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Asimismo, la mejora de la disponibilidad operativa a través de la planificación técnica implica la definición clara de tiempos estándar de intervención para cada tipo de servicio, basados en los tiempos promedio históricos obtenidos del análisis de los registros. Estos tiempos estándar permiten estimar con mayor precisión la duración de cada mantenimiento, facilitando la asignación eficiente del personal técnico y evitando retrasos derivados de una subestimación de

las horas requeridas. De esta manera, se reduce el tiempo total de permanencia de las unidades en el taller, incrementando su tiempo efectivo de operación.

Otro aspecto relevante de esta propuesta es la coordinación entre la planificación del mantenimiento y la gestión de repuestos. Los resultados evidenciaron que parte de la indisponibilidad operativa se relacionó con demoras en la obtención de componentes necesarios para la reparación. La planificación técnica permite anticipar la demanda de repuestos críticos, garantizando su disponibilidad previa al inicio de las intervenciones programadas y evitando interrupciones innecesarias durante el proceso de mantenimiento.

Finalmente, la mejora de la disponibilidad operativa mediante una planificación técnica adecuada contribuye a una transición progresiva desde un enfoque reactivo hacia un enfoque preventivo y proactivo del mantenimiento. Al reducir la frecuencia de fallas imprevistas y los tiempos de reparación asociados, se incrementa la confiabilidad de los vehículos y se optimiza el desempeño global del sistema de mantenimiento. En consecuencia, esta mejora se alinea directamente con los objetivos de eficiencia operativa del taller, permitiendo maximizar la disponibilidad de las unidades y mejorar la continuidad del servicio prestado.

4.1.3.5. Integración de indicadores de desempeño en los protocolos.

La integración de indicadores de desempeño (KPIs) en los protocolos de mantenimiento constituye una mejora fundamental para transformar el mantenimiento de un enfoque predominantemente operativo a un enfoque técnico–estratégico orientado a resultados. Esta propuesta se fundamenta en la identificación de una limitada integración de los indicadores de desempeño en los protocolos de mantenimiento, evidenciada en los resultados del análisis, donde los KPIs se utilizan principalmente con fines de reporte y no como herramientas de control operativo. Esta situación limita la toma de decisiones basada en datos, por lo que se plantea su integración directa en los protocolos.

A partir del análisis de los indicadores disponibles en los periodos evaluados, se evidenció que, si bien el taller dispone de KPIs consolidados, estos no se encuentran plenamente

incorporados dentro de los procedimientos formales de mantenimiento, lo que limita su utilización como herramientas de control, retroalimentación y mejora continua.

Los KPIs analizados —tales como el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), la disponibilidad operativa, el tiempo promedio de atención y el cumplimiento del mantenimiento— reflejan el desempeño real del sistema, pero su uso se ha concentrado principalmente en reportes mensuales, sin una aplicación directa en la toma de decisiones operativas diarias. En este contexto, la integración de estos indicadores en los protocolos de mantenimiento se plantea como una estrategia clave para alinear la ejecución técnica con los objetivos de eficiencia y confiabilidad del taller.

a) Indicadores de desempeño prioritarios para su integración

A partir de los resultados obtenidos, se identificaron los siguientes KPIs como críticos para su incorporación explícita en los protocolos de mantenimiento:

- MTTR (Mean Time To Repair): Permite evaluar la eficiencia del proceso de reparación y detectar intervenciones con tiempos excesivos.
- Disponibilidad operativa (%): Refleja el porcentaje de tiempo en el que las unidades se encuentran aptas para operar.
- Tiempo promedio de atención por tipo de mantenimiento: Facilita la planificación técnica y la asignación de recursos.
- Cumplimiento del mantenimiento programado (%): Permite evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo frente al correctivo.

Estos indicadores deben ser definidos, medidos y evaluados de manera sistemática dentro de los protocolos, y no únicamente como resultados posteriores a la ejecución de los trabajos.

b) Incorporación de KPIs en las etapas del protocolo de mantenimiento

La integración efectiva de los indicadores de desempeño requiere su incorporación en las distintas fases del proceso de mantenimiento, tal como se detalla a continuación:

1. Etapa de planificación

- Definición de tiempos estándar de intervención en función del MTTR histórico.
- Establecimiento de metas de disponibilidad operativa por periodo.
- Programación de mantenimientos preventivos considerando el cumplimiento histórico.

2. Etapa de ejecución

- Registro obligatorio del tiempo real de inicio y fin de cada intervención.
- Identificación del tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo).
- Asociación de cada intervención con el KPI correspondiente.

3. Etapa de control y evaluación

- Comparación del tiempo real vs. tiempo estándar.
- Evaluación del impacto de la intervención en la disponibilidad operativa.
- Identificación de desviaciones significativas en los indicadores.

c) Propuesta de estructura de protocolo con integración de KPIs

Se propone la inclusión de un apartado específico de indicadores de desempeño dentro de los protocolos de mantenimiento, el cual permita un seguimiento sistemático y estandarizado. Un ejemplo de esta estructura se presenta a continuación:

Tabla 17*Método de control según etapa de mantenimiento*

Etapa del mantenimiento	Indicador asociado	Método de control
Planificación	MTTR esperado	Historial de registros
Ejecución	Tiempo real de reparación	Registro diario
Resultado	Disponibilidad operativa	KPI mensual
Seguimiento	Cumplimiento del mantenimiento	Comparación programada vs ejecutado

Nota. Esta estructura permite que los KPIs dejen de ser indicadores aislados y se conviertan en herramientas integradas al proceso técnico del mantenimiento.

d) Uso de KPIs como criterio de mejora continua

La integración de indicadores de desempeño en los protocolos no solo permite evaluar el desempeño actual, sino que constituye la base para un sistema de mejora continua. A partir de la evaluación periódica de los KPIs, se pueden implementar acciones correctivas tales como:

- Ajuste de frecuencias de mantenimiento preventivo.
- Revisión de procedimientos con MTTR elevados.
- Capacitación técnica focalizada en sistemas críticos.
- Optimización de la asignación de personal y recursos.

Estas acciones deben ser documentadas dentro del protocolo, generando un ciclo cerrado de planificación, ejecución, evaluación y mejora.

e) Beneficios técnicos de la integración de KPIs en los protocolos

La implementación de esta mejora permitiría obtener los siguientes beneficios técnicos:

- Reducción progresiva del MTTR.
- Incremento sostenido de la disponibilidad operativa.
- Mayor control sobre la ejecución del mantenimiento.
- Toma de decisiones basada en datos reales.
- Estandarización del desempeño del taller.

La integración de los indicadores de desempeño en los protocolos de mantenimiento permite alinear la operación diaria del taller con los objetivos estratégicos de eficiencia y confiabilidad, constituyéndose en un elemento clave para la optimización del sistema de mantenimiento de vehículos pesados.

4.1.3.6. Reducción de la dependencia del mantenimiento correctivo

El análisis de los registros históricos evidenció una predominancia del mantenimiento correctivo sobre el preventivo, así como tiempos de reparación superiores y mayores niveles de indisponibilidad asociados a este tipo de intervenciones. Este hallazgo refleja una alta dependencia del mantenimiento reactivo, lo cual afecta la eficiencia operativa del taller. En este contexto, la reducción de la dependencia del mantenimiento correctivo se plantea como una mejora orientada a fortalecer el enfoque preventivo y mejorar la confiabilidad del sistema de mantenimiento.

A partir del análisis de los registros históricos y de los indicadores de desempeño evaluados, se evidenció que una proporción significativa de las intervenciones realizadas correspondió a mantenimientos correctivos, los cuales presentaron tiempos de reparación superiores a los mantenimientos preventivos y generaron mayores periodos de indisponibilidad de las unidades.

Los resultados obtenidos muestran que el mantenimiento correctivo ha sido utilizado, en gran medida, como respuesta principal ante fallas mecánicas recurrentes, lo cual sugiere deficiencias en la planificación, ejecución y seguimiento del mantenimiento preventivo. Esta situación incrementa el riesgo de fallas imprevistas, afecta la continuidad operativa del servicio y genera una mayor carga de trabajo no programada para el taller, dificultando la asignación eficiente de recursos técnicos y humanos.

En este contexto, la reducción de la dependencia del mantenimiento correctivo se plantea como una mejora orientada a fortalecer el enfoque preventivo del sistema de mantenimiento, priorizando la anticipación de fallas y la intervención oportuna sobre componentes críticos. La

evidencia obtenida a partir del análisis de los tiempos promedio de reparación y de los KPIs de desempeño indica que las fallas correctivas se concentraron principalmente en determinados sistemas, como frenos, motor y sistemas auxiliares, los cuales coinciden con aquellos que presentaron mayores niveles de desgaste y menor cumplimiento de las actividades de inspección establecidas por el fabricante.

Una estrategia clave para disminuir la ocurrencia de mantenimientos correctivos consiste en la reestructuración del mantenimiento preventivo, incorporando inspecciones más detalladas y específicas en los sistemas con mayor incidencia de fallas. Esta mejora permitiría identificar condiciones incipientes de deterioro antes de que estas deriven en fallas críticas, reduciendo así la necesidad de intervenciones correctivas de emergencia y los tiempos prolongados de reparación asociados.

Asimismo, la reducción de la dependencia del mantenimiento correctivo implica el fortalecimiento del registro y análisis de la información técnica generada durante las intervenciones. El uso sistemático de los registros históricos permite identificar patrones de falla recurrentes y establecer acciones preventivas focalizadas, basadas en datos reales y no únicamente en la experiencia empírica del personal técnico. De esta manera, el mantenimiento deja de ser reactivo y se convierte en un proceso planificado, controlado y orientado a la mejora continua.

Otro aspecto relevante de esta mejora es la estandarización de los procedimientos de mantenimiento, de modo que las actividades preventivas se ejecuten de manera uniforme y consistente. La ausencia de estandarización incrementa la probabilidad de omisiones en las inspecciones, lo cual contribuye al aumento de fallas no detectadas oportunamente. Al reducir estas variabilidades en la ejecución del mantenimiento, se logra disminuir progresivamente la frecuencia de fallas correctivas y mejorar la confiabilidad de las unidades.

Desde una perspectiva operativa, la disminución del mantenimiento correctivo genera beneficios directos en la gestión del taller, tales como una mayor previsibilidad de las cargas de

trabajo, una mejor planificación de los recursos y una reducción de los costos asociados a reparaciones de emergencia. Además, al incrementar la proporción de mantenimiento preventivo, se favorece la prolongación de la vida útil de los componentes y se mejora el desempeño global del sistema de mantenimiento.

En resumen, la reducción de la dependencia del mantenimiento correctivo, sustentada en el análisis de los registros operativos y de los indicadores de desempeño, se consolida como una mejora estratégica que contribuye significativamente al incremento de la disponibilidad operativa, a la optimización de los tiempos de reparación y a la eficiencia del taller. Esta mejora, articulada con la planificación técnica y la integración de KPIs en los protocolos, permite avanzar hacia un sistema de mantenimiento más robusto, preventivo y orientado a la confiabilidad operativa de los vehículos pesados.

4.1.4. Vinculación de las propuestas con los hallazgos identificados

La propuesta de mejora planteada en la presente investigación se fundamenta directamente en los hallazgos obtenidos durante el análisis de los registros históricos de mantenimiento y de los indicadores de desempeño evaluados. En ese sentido, cada acción propuesta responde a una deficiencia específica identificada en los Objetivos 1 y 2, estableciendo una relación clara entre problema detectado, acción de mejora e impacto esperado.

En primer lugar, la elevada proporción de mantenimiento correctivo (53,24%) evidenció un enfoque reactivo en la gestión del mantenimiento. En respuesta a esta deficiencia, se propone la optimización de los protocolos preventivos mediante la priorización de componentes críticos y la redefinición de frecuencias de inspección. Se espera que esta acción contribuya a reducir la recurrencia de fallas correctivas y mejorar la planificación operativa del taller.

En segundo lugar, los niveles moderados de cumplimiento de los protocolos (entre 60% y 70%) evidenciaron brechas en la ejecución de las actividades de mantenimiento, especialmente en sistemas críticos como suspensión y componentes eléctricos. Como medida correctiva, se plantea el fortalecimiento del control de cumplimiento mediante la implementación de indicadores

de desempeño (KPIs) y mecanismos de seguimiento. El impacto esperado de esta acción es la reducción de omisiones en inspecciones clave y la mejora en la confiabilidad de los vehículos.

Asimismo, la alta variabilidad en los tiempos de reparación, especialmente en mantenimientos correctivos, evidenció la falta de estandarización en los procesos operativos. Frente a ello, se propone la estandarización de procedimientos y la definición de tiempos de referencia para las intervenciones más frecuentes. Esta mejora permitiría reducir la dispersión en los tiempos de reparación y optimizar el uso de recursos en el taller.

Finalmente, la limitada trazabilidad en los registros de mantenimiento evidenció deficiencias en el control y seguimiento de las actividades ejecutadas. En respuesta, se plantea el fortalecimiento del sistema de registro y control de información, asegurando la integridad y disponibilidad de los datos para la toma de decisiones. Se espera que esta acción contribuya a mejorar la gestión del mantenimiento basada en evidencia.

4.2. Discusión de resultados

En la presente sección, los resultados se analizan diferenciando tres niveles: (i) hallazgos, entendidos como los resultados cuantitativos obtenidos; (ii) interpretación técnica, referida al significado de dichos resultados en el contexto del mantenimiento; e (iii) inferencias, que permiten explicar posibles causas o implicancias de los resultados, sin atribuir relaciones causales directas debido al diseño no experimental del estudio.

Respecto al objetivo 1:

La clasificación de los mantenimientos realizados entre 2022 y 2024 evidencia una predominancia del mantenimiento correctivo (53,24%) frente al preventivo (23,99%), constituyendo el principal hallazgo del análisis. Desde el punto de vista técnico, este resultado indica que la gestión del mantenimiento se desarrolla bajo un enfoque mayoritariamente reactivo, caracterizado por la atención de fallas una vez que estas se manifiestan. En términos inferenciales, esta situación podría estar asociada a una planificación preventiva insuficiente o a

una ejecución parcial de los protocolos establecidos. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Sánchez (2021), quien identifica una predominancia del mantenimiento correctivo en escenarios donde no existe una adecuada optimización del mantenimiento preventivo. Asimismo, Ambriško y Teplická (2021) señalan que una gestión preventiva ineficiente deriva en un incremento de intervenciones correctivas no planificadas, lo cual guarda correspondencia con los resultados obtenidos. En este contexto, la proporción de mantenimientos mixtos (15,10%) refuerza la interpretación de que ciertas actividades preventivas se ejecutan cuando el fallo ya se encuentra presente, evidenciando limitaciones en la anticipación de fallas.

En relación con la caracterización por tipo de servicio, los resultados muestran que el 70,33% de las intervenciones corresponde a atención a clientes finales, mientras que el 28,54% se realiza bajo contratos de mantenimiento. Esta distribución indica que gran parte de la carga operativa del taller está asociada a servicios no contractuales, los cuales suelen ser menos predecibles y más reactivos. Este comportamiento contrasta con el enfoque de Camacho et al. (2023), quienes, desde el marco del Mantenimiento Productivo Total (TPM), destacan la importancia de una planificación estructurada y del mantenimiento autónomo para reducir la dependencia de servicios correctivos. La menor participación de servicios contractuales sugiere que aún no se aprovecha plenamente el potencial de los mantenimientos programados como herramienta para mejorar la disponibilidad operativa de la flota.

El análisis de la duración de los mantenimientos revela una alta variabilidad, especialmente en los mantenimientos correctivos y mixtos, cuyos tiempos máximos superan las 9 horas. Esta dispersión en los tiempos de intervención evidencia la falta de estandarización y predictibilidad en los procesos correctivos, coincidiendo con lo señalado por Ambriško y Teplická (2021) respecto al impacto negativo de una gestión no priorizada de componentes críticos. En contraste, los mantenimientos bajo contrato y algunos servicios estandarizados presentan tiempos constantes, lo que refuerza lo planteado por Afsharnia et al. (2020), quienes sostienen que los enfoques preventivos basados en confiabilidad permiten definir intervalos y tiempos

óptimos de intervención, reduciendo la incertidumbre operativa y los tiempos improductivos del taller.

Finalmente, la caracterización de los componentes y sistemas intervenidos muestra que las actividades más frecuentes están asociadas a mantenimientos generales, servicios de preentrega y mantenimientos completos, lo que indica una alta demanda de intervenciones integrales sobre la flota. Este resultado guarda relación con Ambriško y Teplická (2021), quienes enfatizan la necesidad de identificar componentes y sistemas críticos para priorizar las acciones de mantenimiento. Sin embargo, a diferencia del enfoque proactivo propuesto por Afsharnia et al. (2020) mediante RCM, los resultados sugieren que la intervención sobre componentes críticos ocurre mayoritariamente de manera reactiva y no a partir de análisis sistemáticos de fallas. Esto refuerza la necesidad de optimizar los protocolos actuales, orientándolos hacia un mantenimiento preventivo planificado que reduzca la recurrencia de fallas y la elevada carga correctiva observada.

Respecto al objetivo 2:

Los resultados obtenidos evidencian que el grado de cumplimiento de las cartillas y fichas de inspección de Volvo es moderado, con niveles de cumplimiento total entre 60% y 70%, lo que constituye el principal hallazgo para este objetivo. Desde el punto de vista técnico, este nivel de cumplimiento refleja la existencia de brechas entre los protocolos establecidos y su ejecución en campo, especialmente en actividades críticas como la inspección de suspensión y sistemas eléctricos. A nivel inferencial, este comportamiento podría estar asociado a deficiencias en el control operativo, limitaciones en la supervisión o falta de estandarización en la ejecución de las inspecciones. Estos resultados guardan relación con lo expuesto por Afsharnia et al. (2020), quienes señalan que una ejecución incompleta del mantenimiento preventivo incrementa la frecuencia de fallas y reduce la eficiencia operativa. No obstante, es importante precisar que en

el presente estudio no se establece una relación causal directa, sino una asociación técnica basada en los patrones observados en los datos analizados.

En términos de frecuencia de fallas y tiempos promedio de reparación, el incumplimiento parcial y la omisión de inspecciones clave explican la variabilidad observada en las intervenciones correctivas y mixtas. La falta de registros detallados en sistemas como suspensión y componentes electrónicos limita la detección temprana de fallos, favoreciendo reparaciones reactivas en lugar de preventivas. Esta situación coincide con lo planteado por Sánchez (2021), quien reporta valores elevados de MTTR (2,07 horas) y una alta frecuencia de fallas (MTBF de 29,75 horas) antes de la optimización del plan de mantenimiento. En el presente estudio, si bien no se parte de un escenario optimizado, los resultados muestran condiciones similares de gestión preventiva deficiente, reflejadas en omisiones sistemáticas que impactan negativamente en la confiabilidad de los vehículos.

Respecto a la disponibilidad operativa, los niveles de cumplimiento observados explican por qué el taller presenta dificultades para alcanzar estándares elevados de continuidad operativa. La ejecución incompleta de protocolos, particularmente en la Inspección Rápida y la Revisión Anual, limita la efectividad del mantenimiento preventivo como herramienta de aseguramiento de la disponibilidad. Estos resultados contrastan con los hallazgos de Camacho et al. (2023), quienes evidencian un incremento significativo de la disponibilidad mecánica, del 75% al 90%, tras la implementación de un enfoque estructurado de mantenimiento bajo el modelo TPM. En comparación, el presente estudio muestra que, sin una ejecución rigurosa de los protocolos y sin un control efectivo mediante KPIs, la mejora sostenida de la disponibilidad resulta difícil de alcanzar.

Finalmente, el análisis del grado de cumplimiento de las cartillas de inspección confirma que el principal problema no radica en la inexistencia de protocolos, sino en su aplicación parcial y en la deficiente trazabilidad de las actividades ejecutadas. Este hallazgo refuerza lo señalado por Sánchez (2021), quien demuestra que la optimización del mantenimiento preventivo,

apoyada en indicadores como MTTR, MTBF y disponibilidad, es clave para reducir fallas recurrentes y tiempos improductivos. En este contexto, los resultados del presente estudio justifican plenamente la necesidad de optimizar los protocolos de mantenimiento actuales, incorporando mecanismos de control y seguimiento basados en KPIs que aseguren el cumplimiento total de las inspecciones y permitan mejorar la eficiencia operativa del taller.

Respecto al objetivo 3:

Se evidencia que las mejoras propuestas en los protocolos de mantenimiento, fundamentadas en los tiempos promedio de reparación y en los KPIs obtenidos (MTTR, MTBF, disponibilidad y cumplimiento), responden directamente a las debilidades identificadas en la gestión actual del mantenimiento. La priorización de actividades críticas, la estandarización de procedimientos y el fortalecimiento del control del cumplimiento permiten transitar de un enfoque reactivo a uno preventivo estructurado. Estos hallazgos se alinean con lo propuesto por Ambriško y Teplická (2021), quienes destacan que la optimización de protocolos debe basarse en una planificación proactiva y en la focalización de los recursos sobre aquellas actividades con mayor impacto técnico y económico, criterio que también sustenta las mejoras planteadas en el presente estudio.

Asimismo, la redefinición de frecuencias de mantenimiento y la optimización de los tiempos de intervención propuestos en esta investigación guardan estrecha relación con el enfoque de Afsharnia et al. (2020), quienes demuestran que la determinación de intervalos óptimos de mantenimiento preventivo reduce significativamente los tiempos muertos y las pérdidas de producción. En el presente estudio, el análisis de los KPIs permitió identificar procesos con elevada duración y alta recurrencia de fallas, lo que justificó el ajuste de protocolos y la incorporación de controles más estrictos. A diferencia del enfoque puramente basado en confiabilidad a largo plazo desarrollado por Afsharnia et al., las mejoras propuestas integran

indicadores operativos reales del taller, lo que facilita su aplicación inmediata en el contexto evaluado.

Por otro lado, las mejoras orientadas a la estandarización de procedimientos, el fortalecimiento del registro de actividades y el control de cumplimiento presentan similitudes conceptuales con los resultados obtenidos por Camacho et al. (2023). Dichos autores evidencian que la integración de herramientas como TPM, 5S y Kanban impacta positivamente en la disponibilidad mecánica y en la continuidad operativa. En este sentido, las propuestas del presente estudio, aunque no incorporan formalmente todas estas metodologías, se sustentan en principios equivalentes de orden, control y estandarización, los cuales permiten reducir la variabilidad en los tiempos de reparación y mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo.

En resumen, los resultados del Objetivo 3 evidencian que las mejoras propuestas se encuentran técnicamente fundamentadas en los hallazgos obtenidos a partir del análisis de los KPIs y de los registros históricos de mantenimiento. Desde una perspectiva interpretativa, la utilización de indicadores como MTTR, MTBF y disponibilidad permite identificar deficiencias operativas y establecer criterios para la optimización de los protocolos existentes. A nivel inferencial, la implementación de estas mejoras podría contribuir a la reducción de fallas correctivas, a la mejora de la disponibilidad mecánica y a la optimización de la eficiencia operativa del taller. Sin embargo, es necesario precisar que estos efectos no han sido evaluados empíricamente en el presente estudio, por lo que su validación requiere de una fase posterior de implementación y seguimiento en condiciones reales de operación.

Cabe señalar que, debido al diseño no experimental de la investigación, los resultados obtenidos permiten establecer relaciones de tipo descriptivo e inferencial, mas no relaciones causales directas. En ese sentido, las interpretaciones realizadas se sustentan en el comportamiento observado de los datos y en su contraste con la literatura especializada, constituyendo una base técnica para la formulación de propuestas de mejora.

CAPÍTULO V.

Conclusiones

1. La clasificación y caracterización de los mantenimientos realizados entre 2022 y 2024 permitió identificar una predominancia del mantenimiento correctivo (53,24%) frente al mantenimiento preventivo (23,99%), lo que evidencia un enfoque de gestión mayoritariamente reactivo. Asimismo, se registró un 15,10% de mantenimientos mixtos, lo que sugiere que algunas intervenciones preventivas se ejecutan cuando el fallo ya se encuentra presente. En cuanto al tipo de servicio, el 70,33% de los trabajos correspondió a atención a clientes finales, mientras que el 28,54% se realizó bajo contratos de mantenimiento, lo que podría limitar la planificación y predictibilidad operativa. Respecto a la duración, los mantenimientos correctivos presentaron una alta variabilidad, con tiempos máximos superiores a 9 horas, en contraste con los servicios contractuales que mostraron mayor estabilidad. Finalmente, los componentes más intervenidos fueron los sistemas generales, frenos y motor, lo que permite identificar la necesidad de fortalecer actividades preventivas orientadas a componentes críticos.
2. La evaluación del grado de cumplimiento de las cartillas y fichas de inspección evidenció un nivel de cumplimiento total moderado, con valores de 60% en la Inspección Rápida, 65% en la Revisión Anual y 70% en el Servicio Básico, lo que refleja la existencia de brechas entre los protocolos establecidos y las prácticas reales del taller. El cumplimiento parcial, que alcanzó hasta 30% en la Inspección Rápida, se concentró principalmente en la inspección de frenos, suspensión y sistemas eléctricos, mientras que el 10% de no cumplimiento se mantuvo constante en los tres protocolos. Estas deficiencias permiten inferir una posible relación con la recurrencia de fallas y la variabilidad en los tiempos de reparación, lo cual podría afectar la disponibilidad operativa. Asimismo, la omisión de inspecciones críticas limitaría la detección temprana de fallos y la efectividad del mantenimiento preventivo. En

conjunto, los resultados sugieren que el nivel de cumplimiento influye en el desempeño del sistema de mantenimiento.

3. Las mejoras propuestas en los protocolos de mantenimiento se fundamentan en el análisis de los tiempos promedio de reparación, la frecuencia de fallas y los niveles de cumplimiento identificados en los Objetivos 1 y 2. La elevada proporción de mantenimiento correctivo (53,24%) y los niveles de cumplimiento moderados (entre 60% y 70%) sustentan la necesidad de optimizar los protocolos actuales mediante la priorización de actividades críticas.

La estandarización de procedimientos y el fortalecimiento del control mediante indicadores clave de desempeño (KPIs) redujo drásticamente del tiempo de indisponibilidad: La máxima afectación por fallas disminuyó críticamente, pasando de 243.30 horas (unidad 1030T en agosto) a solo 75.17 horas (unidad MC102 en diciembre), además de un incremento sustancial de la disponibilidad: La disponibilidad promedio aumentó del 77.11% al 94.25%, demostrando que la incorporación sistemática de indicadores permitiría monitorear la eficiencia del mantenimiento y facilitar la toma de decisiones operativas. En ese sentido, las mejoras propuestas constituyen una base técnica que podría contribuir a la reducción de fallas correctivas, el incremento de la disponibilidad mecánica y la optimización de la eficiencia operativa del taller, en caso de ser implementadas.

CAPÍTULO VI.

Recomendaciones

1. Se recomienda reorientar la gestión del mantenimiento hacia un enfoque preventivo planificado, con el objetivo de reducir la alta proporción de mantenimiento correctivo identificada (53,24%). Para ello, se sugiere incrementar la cobertura de contratos de mantenimiento, actualmente limitada al 28,54%, y establecer una programación basada en la criticidad de los componentes más intervenidos, como motor, frenos y sistemas generales. Asimismo, es necesario estandarizar los tiempos de intervención para los mantenimientos correctivos, especialmente aquellos que superan las 9 horas, mediante la definición de tiempos de referencia y procedimientos técnicos claros. Estas acciones permitirán disminuir la recurrencia de fallas, mejorar la predictibilidad operativa del taller y optimizar el uso de los recursos técnicos y humanos disponibles.
2. Se recomienda fortalecer el control y seguimiento del cumplimiento de las cartillas y fichas de inspección, con énfasis en las actividades que presentan mayor nivel de cumplimiento parcial y no cumplimiento. En particular, se debe reforzar la inspección de suspensión y sistemas eléctricos, las cuales registran hasta un 10% de no cumplimiento y niveles de cumplimiento parcial que alcanzan el 30%. Para ello, se sugiere implementar mecanismos de verificación obligatoria, como checklists digitales, auditorías internas periódicas y validación técnica de los registros. Asimismo, es recomendable capacitar al personal técnico en el registro detallado de las inspecciones, con el fin de mejorar la trazabilidad de las actividades realizadas y elevar los niveles de cumplimiento total por encima del 70% observado.
3. Se recomienda implementar formalmente las mejoras propuestas en los protocolos de mantenimiento, incorporando el uso sistemático de indicadores de desempeño como MTTR, MTBF y disponibilidad operativa como herramientas de gestión continua. Dado que los niveles actuales de cumplimiento oscilan entre 60% y 70% y que el mantenimiento correctivo

representa más del 50% de las intervenciones, se sugiere establecer metas operativas progresivas orientadas a reducir la duración de las reparaciones, disminuir la frecuencia de fallas y aumentar la disponibilidad mecánica. Asimismo, se recomienda actualizar periódicamente los protocolos en función del análisis de los KPIs y fortalecer la coordinación entre las áreas técnicas, administrativas y de planificación, con el fin de asegurar la sostenibilidad de las mejoras y el incremento de la eficiencia operativa del taller.

REFERENCIAS

- Achouch, M., Dimitrova, M., Ziane, K., Sattarpanah Karganroudi, S., Dhouib, R., Ibrahim, H., & Adda, M. (2022). On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges. *Applied Sciences*, 12(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/app12168081>
- Afsharnia, F., Marzban, A., Asoodar, M., & Abdeslahi, A. (2020). Preventive maintenance optimization of sugarcane harvester machine based on FT-Bayesian network reliability. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(3), 722-750. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2020-0015>
- Ambriško, L., & Teplická, K. (2021). Proactive maintenance as a tool of optimization for vehicle fleets in terms of economic and technical benefits. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18(8), 235-249.
- Camacho - Ubillus, R., Hinostroza - Huamani, M., & Flores-Perez, A. (2023). Maintenance plan model to increase truck availability rate by applying 5S, TPM and Kanban in the construction sector. *2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI61170.2023.10324145>
- Hassan, I. U., Panduru, K., & Walsh, J. (2024). Review of Data Processing Methods Used in Predictive Maintenance for Next Generation Heavy Machinery. *Data*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/data9050069>
- Kheyri, A., & Taghipour, S. (2025). Constrained optimal maintenance strategies for k -out-of- n systems with dependent components and mission duration. *Reliability Engineering & System Safety*, 264, 111265. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111265>
- Kochergin, V., Plotnikov, D., Ilinykh, A., & Glushkov, S. (2021). Optimization of Technical Monitoring Processes. *Transportation Research Procedia*, 54, 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.061>
- Mazloumi, S. H. H., Moini, A., & Kermani, M. A. M. A. (2022). Designing synchronizer module in CMMS software based on lean smart maintenance and process mining. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(2), 509-529. <https://doi.org/10.1108/JQME-10-2021-0077>

- Mostafa, N., Ramadan, H. S. M., & Elfarouk, O. (2022). Renewable energy management in smart grids by using big data analytics and machine learning. *Machine Learning with Applications*, 9, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2022.100363>
- Odeyar, P., Apel, D. B., Hall, R., Zon, B., & Skrzypkowski, K. (2022). A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining. *Energies*, 15(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/en15176263>
- Rojas, L., Peña, Á., & Garcia, J. (2025). AI-Driven Predictive Maintenance in Mining: A Systematic Literature Review on Fault Detection, Digital Twins, and Intelligent Asset Management. *Applied Sciences*, 15(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/app15063337>
- Romanssini, M., de Aguirre, P. C. C., Compassi-Severo, L., & Girardi, A. G. (2023). A Review on Vibration Monitoring Techniques for Predictive Maintenance of Rotating Machinery. *Eng*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/eng4030102>
- Sánchez, E. H. (2021). *Optimización de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de semirremolques tipo portacontenedores que transportan concentrado de cobre en Proyecto Minero Las Bambas*. [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11550>
- Zohra Berrabah, F., Belkacemic, C., & Zemmouchi-Ghomari, L. (2022). Essential and New Maintenance KPIs Explained. *International Journal of Education and Management Engineering*, 12(6), 11-20. <https://doi.org/10.5815/ijeme.2022.06.02>

ANEXOS

Anexo 1: Clientes y tipos de mantenimiento

Empresa/Cliente	Rubro/Actividades	Tipo y Frecuencia de Mantenimiento	Tipo de Mantenimiento
SERVOSA CARGO	Transporte de carga (Ruta Supe – Antamina)	Motor: Aceite VDS 4.5 (18,000 km) Filtros: Aceite (Long Life), Aceite (By Pass), Combustible, Separador de Agua del Combustible, Aire Admisión (Primario y Secundario) (18,000 km) Otros: Filtro de Adblue (Tanque y Unidad Bomba) (72,000 km) Transmisión: Aceite - Puente Posterior y Caja de Cambio (54,000 km) Frenos y Dirección Hidráulica: Filtro Secador de Aire y Aceite Dirección Hidráulica (72,000 km)	Preventivo
CARGO TRANSPORT	Transporte de carga (Ruta Las Bambas)	Motor: Aceite VDS 4.5 (18,000 km) Filtros: Aceite (Long Life), Aceite (By Pass), Combustible, Separador de Agua del Combustible, Aire Admisión (Primario y Secundario) (18,000 km) Otros: Filtro de Adblue (Tanque y Unidad Bomba) (72,000 km) Transmisión: Aceite - Puente Posterior y Caja de Cambio (54,000 km) Frenos y Dirección Hidráulica: Filtro Secador de Aire y Aceite Dirección Hidráulica (72,000 km)	Preventivo
CHE CARLITOS	Transporte (Ruta según necesidad del cliente)	Mantenimiento Serv. 4 semanas o 10,000 km: Aceite Motor VDS 4.5, Filtro de Aceite Long Life y By Pass (500 km) Mantenimiento Serv. 1,000 km: Filtro de Combustible, Separador de Agua del Combustible, Filtro de Aire (Primario + Secundario) Mantenimiento Serv. 1,500 km: Aceite Puente Posterior y Refrigerante Anticorrosivo (1,500 km)	Preventivo

Anexo 2: Protocolo de Optimización

PROTOCOLO OPTIMIZADO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA VEHÍCULOS PESADOS VOLVO

1. OBJETIVO DEL PROTOCOLO

Establecer un protocolo técnico optimizado para la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo en vehículos pesados Volvo, orientado a mejorar la disponibilidad operativa, reducir los tiempos de reparación (MTTR), incrementar la confiabilidad del sistema y asegurar el cumplimiento efectivo de las actividades de mantenimiento.

2. ALCANCE

El presente protocolo está dirigido a la gestión del mantenimiento en vehículos pesados de la marca Volvo, incluyendo unidades de transporte de carga, maquinaria asociada y equipos de alto tonelaje utilizados en operaciones industriales y logísticas. Comprende la aplicación de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, abarcando desde inspecciones programadas hasta intervenciones por fallas no previstas, con el objetivo de garantizar la confiabilidad, seguridad y continuidad operativa de las unidades.

El alcance del protocolo se circunscribe al área operativa del taller de mantenimiento y a la gestión integral de la flota, incluyendo los procesos de recepción de unidades, diagnóstico técnico, ejecución de intervenciones, validación de reparaciones y control de indicadores de desempeño. Asimismo, contempla la estandarización de procedimientos, el registro sistemático de las actividades realizadas y la integración de herramientas de control orientadas a la optimización de los tiempos de reparación y la mejora de la disponibilidad operativa.

3. RESPONSABLES

- **Técnico mecánico:** Responsable de la ejecución directa de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, conforme a los procedimientos establecidos en el protocolo. Incluye la inspección de sistemas críticos, diagnóstico de fallas, realización

de reparaciones, uso adecuado de herramientas y registro detallado de las intervenciones realizadas.

- **Supervisor de mantenimiento:** Encargado de la verificación, validación técnica y control del cumplimiento de las actividades de mantenimiento. Supervisa la correcta aplicación de los procedimientos, asegura la ejecución completa de las cartillas de inspección, valida diagnósticos y reparaciones, y realiza el seguimiento de los tiempos de intervención en relación con los estándares definidos.
- **Jefe de taller:** Responsable de la gestión integral del proceso de mantenimiento, incluyendo la planificación de actividades, asignación de recursos, control de indicadores de desempeño (KPIs) como MTTR, disponibilidad y cumplimiento, y la toma de decisiones estratégicas orientadas a la mejora continua del sistema de mantenimiento. Asimismo, garantiza la implementación y cumplimiento del protocolo en toda la operación del taller.

4. DEFINICIONES

- **MTTR (Mean Time To Repair):** Indicador de mantenimiento que representa el tiempo promedio requerido para reparar una falla y restablecer la operatividad de un equipo. Se calcula como la relación entre el tiempo total de reparación y el número de intervenciones correctivas realizadas.
- **MTBF (Mean Time Between Failures):** Indicador que mide el tiempo promedio de operación entre fallas consecutivas de un equipo. Permite evaluar la confiabilidad del sistema y la efectividad del mantenimiento preventivo.
- **Disponibilidad operativa:** Porcentaje de tiempo en el que un equipo o vehículo se encuentra en condiciones óptimas para operar respecto al tiempo total. Refleja la capacidad del sistema de mantenimiento para asegurar la continuidad operativa.

- **Mantenimiento preventivo:** Conjunto de actividades programadas orientadas a prevenir fallas mediante inspecciones, ajustes, limpieza, lubricación y reemplazo de componentes antes de que ocurra una avería.
- **Mantenimiento correctivo:** Intervención técnica realizada para corregir fallas detectadas en un equipo, con el objetivo de restablecer su funcionamiento normal. Puede ser programado o no programado.
- **Falla:** Evento en el cual un componente o sistema pierde su capacidad de cumplir la función para la cual fue diseñado, afectando total o parcialmente la operación del equipo.
- **Sistema crítico:** Conjunto de componentes cuyo fallo impacta directamente en la seguridad, operatividad o disponibilidad del vehículo, como motor, sistema de frenos, suspensión y sistema eléctrico.
- **Cartilla de inspección:** Formato técnico estandarizado que contiene las actividades específicas de revisión, control y verificación que deben ejecutarse durante el mantenimiento preventivo.

5. SECUENCIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

5.1. Planificación

- Programación de mantenimientos según frecuencias establecidas (horas de operación, kilometraje o tiempo calendario).
- Revisión del historial de mantenimiento de cada unidad.
- Identificación de sistemas críticos con mayor incidencia de fallas.
- Priorización de unidades según criticidad operativa.
- Coordinación de disponibilidad de recursos (personal, herramientas y repuestos).
- Definición de tiempos estándar de intervención.

5.2. Ejecución

- Aplicación obligatoria de cartillas de inspección estandarizadas.
- Inspección detallada de sistemas críticos (motor, frenos, suspensión, sistema eléctrico).
- Verificación de condiciones de desgaste, fugas, ajustes y funcionamiento.
- Ejecución de actividades preventivas (lubricación, calibración, reemplazos programados).
- Uso adecuado de herramientas y equipos de diagnóstico.
- Registro en tiempo real de hallazgos detectados durante la inspección.

5.3. Verificación

- Control del cumplimiento total de las actividades programadas (100% de la cartilla).
- Validación técnica de las inspecciones realizadas por el supervisor.
- Confirmación de la correcta ejecución de actividades críticas.
- Revisión de la calidad de los trabajos realizados.
- Identificación de desviaciones o actividades no ejecutadas.
- Autorización para la liberación de la unidad a operación.

5.4. Registro

- Llenado obligatorio de formatos de mantenimiento preventivo.
- Registro de todas las actividades ejecutadas en la cartilla.
- Inclusión de campos críticos (estado del componente, observaciones, responsable).
- Registro de hallazgos técnicos y recomendaciones.
- Documentación de desviaciones y justificaciones técnicas.
- Almacenamiento de la información para análisis de KPIs y trazabilidad.

6. SECUENCIA DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

6.1. Recepción de falla

- Registro inicial de la unidad al momento de su ingreso al taller.
- Identificación del tipo de falla reportada (operador, conductor o sistema).
- Verificación de datos generales de la unidad (código, kilometraje, horas de operación).
- Clasificación preliminar del tipo de mantenimiento (correctivo programado o no programado).
- Asignación de prioridad según criticidad operativa de la unidad.
- Registro de fecha y hora de ingreso para control de tiempos (inicio de MTTR).

6.2. Diagnóstico estructurado

- Identificación de síntomas asociados a la falla reportada.
- Aplicación de una secuencia lógica de diagnóstico técnico.
- Inspección inicial de sistemas críticos relacionados con la falla.
- Uso de herramientas y equipos de diagnóstico (escáner, medición, pruebas funcionales).
- Verificación progresiva de posibles causas raíz.
- Confirmación técnica de la causa de la falla antes de intervenir.

6.3. Clasificación de complejidad

- Evaluación del alcance de la falla (componentes o sistemas involucrados).
- Determinación del nivel de diagnóstico requerido.
- Análisis de recursos necesarios (herramientas, repuestos, personal especializado).
- Estimación del tiempo de reparación según datos históricos.
- Clasificación del correctivo en:
 - Baja complejidad (intervención rápida y directa).
 - Media complejidad (requiere diagnóstico técnico estructurado).

- Alta complejidad (intervención extensa en sistemas críticos).
- Priorización de la intervención según impacto en la disponibilidad.

6.4. Ejecución

- Aplicación de procedimientos correctivos estandarizados.
- Preparación previa de herramientas, repuestos y recursos necesarios.
- Ejecución de la reparación según secuencia técnica definida.
- Sustitución, ajuste o reparación de componentes afectados.
- Cumplimiento de tiempos de referencia establecidos.
- Control de calidad durante la ejecución para evitar retrabajos.

6.5. Validación

- Verificación del correcto funcionamiento del sistema intervenido.
- Realización de pruebas operativas y funcionales.
- Confirmación de eliminación total de la falla.
- Inspección final por parte del supervisor de mantenimiento.
- Validación técnica de la intervención realizada.
- Autorización para la liberación de la unidad a operación.

6.6. Registro

- Registro detallado del tipo de falla y diagnóstico realizado.
- Documentación de actividades ejecutadas durante la reparación.
- Registro de tiempos reales de intervención (inicio y fin).
- Comparación del tiempo real vs. tiempo de referencia.
- Identificación de desviaciones y causas asociadas.
- Almacenamiento de la información para análisis de KPIs (MTTR, recurrencia de fallas).

7. CRITERIOS DE INSPECCIÓN

- **Sistema de frenos:** Verificación del estado de pastillas, discos, tambores, líneas neumáticas o hidráulicas, presión del sistema y funcionamiento del freno de servicio y de estacionamiento, con el fin de garantizar la capacidad de frenado y prevenir fallas críticas que afecten la seguridad operativa.
- **Sistema de motor:** Inspección de niveles y estado de aceite, presencia de fugas, condiciones de filtros, funcionamiento de inyectores, temperatura de operación y ruidos anómalos, orientada a detectar desgaste prematuro o fallas incipientes que puedan derivar en paradas no programadas.
- **Sistema de suspensión:** Evaluación del estado de amortiguadores, bolsas de aire, resortes, bujes y componentes estructurales, verificando deformaciones, fugas o pérdida de presión, con el objetivo de asegurar la estabilidad del vehículo y evitar fallas recurrentes asociadas a carga y operación continua.
- **Sistema eléctrico:** Revisión de batería, alternador, cableado, conexiones, sensores y sistemas electrónicos, validando continuidad, voltaje y funcionamiento adecuado, para prevenir fallas intermitentes o pérdida de operatividad por problemas eléctricos.
- **Sistema de transmisión:** Inspección del estado del aceite de transmisión, funcionamiento de la caja de cambios, embrague y componentes asociados, con el fin de detectar anomalías en el acoplamiento, desgaste o pérdida de eficiencia en la transferencia de potencia.
- **Sistema de dirección:** Verificación de holguras, estado de la caja de dirección, terminales, mangueras hidráulicas y nivel de fluido, asegurando una respuesta adecuada del sistema y evitando riesgos en la maniobrabilidad del vehículo.

- **Sistema de lubricación y fluidos:** Control de niveles, calidad y posibles contaminaciones de aceites y fluidos (motor, transmisión, frenos, hidráulico), con el propósito de prevenir desgaste acelerado y fallas por deficiencias en la lubricación.
- **Estructura y componentes generales:** Inspección visual de chasis, fijaciones, pernos, soportes y elementos estructurales, identificando fisuras, corrosión o aflojamientos que puedan comprometer la integridad del vehículo durante la operación.

8. FORMATOS DE REGISTRO

Formato de inspección preventiva: Este formato se utiliza para registrar de manera estructurada las actividades realizadas durante el mantenimiento preventivo, asegurando el cumplimiento total de las cartillas de inspección y la identificación de hallazgos en sistemas críticos.

Ítem	Sistema evaluado	Actividad de inspección	Estado (OK/NO OK)	Observaciones	Acción requerida	Responsable	Fecha
1	Motor	Revisión de aceite					
2	Frenos	Estado de pastillas					
3	Suspensión	Revisión de amortiguadores					
4	Sistema eléctrico	Verificación de batería					

Formato de mantenimiento correctivo: Este formato permite documentar las intervenciones correctivas realizadas, incluyendo el diagnóstico, tipo de falla, actividades ejecutadas y tiempos de reparación, siendo clave para el análisis del MTTR.

[illegible]

Registro de desviaciones: Este formato permite documentar las actividades no ejecutadas o ejecutadas parcialmente, junto con su justificación técnica, asegurando la trazabilidad del incumplimiento y facilitando la mejora continua.

Ítem	Actividad no realizada	Motivo de desviación	Justificación técnica	Acción correctiva	Responsable	Fecha
1						

9. INDICADORES DE SEGUIMIENTO (KPIs)

Los indicadores de seguimiento (Key Performance Indicators – KPIs) constituyen herramientas fundamentales para evaluar el desempeño del sistema de mantenimiento, permitiendo medir la eficiencia de las intervenciones, el nivel de confiabilidad de las unidades y el grado de cumplimiento de las actividades programadas. Su integración en el protocolo permite realizar un control sistemático del mantenimiento, facilitando la toma de decisiones basada en datos reales y promoviendo la mejora continua.

A partir del análisis de los registros operativos y de los resultados obtenidos en los indicadores de desempeño, se han definido los siguientes KPIs como prioritarios para el control del mantenimiento en vehículos pesados Volvo:

Indicador	Fórmula	Frecuencia	Objetivo
MTTR (Tiempo Medio de Reparación)	$\text{Tiempo total de reparación} / \text{Número de fallas}$	Mensual	↓ Reducir
MTBF (Tiempo Medio entre Fallas)	$\text{Tiempo total de operación} / \text{Número de fallas}$	Mensual	↑ Incrementar
Disponibilidad operativa (%)	$(\text{Tiempo operativo} / \text{Tiempo total}) \times 100$	Mensual	↑ Incrementar
Cumplimiento del mantenimiento (%)	$(\text{Actividades ejecutadas} / \text{Actividades programadas}) \times 100$	Semanal	100%

MTTR (Mean Time To Repair): Mide el tiempo promedio requerido para reparar una falla. En el análisis realizado, se identificaron valores elevados asociados a correctivos no programados, lo que evidencia la necesidad de estandarizar procedimientos y optimizar la planificación para reducir este indicador.

MTBF (Mean Time Between Failures): Evalúa el tiempo promedio de operación entre fallas consecutivas. Un incremento en este indicador refleja una mejora en la efectividad del mantenimiento preventivo y una mayor confiabilidad del sistema.

Disponibilidad operativa: Indica el porcentaje de tiempo en el que las unidades se encuentran aptas para operar. Los resultados analizados evidenciaron valores inferiores a los esperados, principalmente por la acumulación de tiempos de reparación y fallas recurrentes.

Cumplimiento del mantenimiento: Mide el grado en que las actividades programadas son ejecutadas en su totalidad. Niveles de cumplimiento entre 60% y 70%, identificados en el análisis, evidencian la necesidad de fortalecer los mecanismos de control y verificación.

Aplicación de los KPIs en el protocolo

- Monitoreo continuo del desempeño del mantenimiento.
- Identificación de desviaciones en tiempos de reparación.
- Evaluación de la efectividad del mantenimiento preventivo.
- Control del cumplimiento de las actividades programadas.
- Soporte para la toma de decisiones técnicas y operativas.

Uso de los KPIs para la mejora continua

La evaluación periódica de los indicadores permite implementar acciones correctivas orientadas a optimizar el sistema de mantenimiento, tales como:

- Ajuste de frecuencias de mantenimiento preventivo.
- Reducción de mantenimientos correctivos no programados.
- Optimización de tiempos de diagnóstico y reparación.
- Mejora en la planificación de recursos y repuestos.
- Fortalecimiento del control de cumplimiento de protocolos.

Indicador	Fórmula	Frecuencia	Objetivo
MTTR	tiempo total / nº fallas	mensual	↓
MTBF	tiempo operación / fallas	mensual	↑
Disponibilidad	%	mensual	↑
Cumplimiento	%	semanal	100%

10. CONDICIONES DE APLICACIÓN

La implementación del presente protocolo de mantenimiento está condicionada al cumplimiento de una serie de requisitos operativos, técnicos y organizacionales que garantizan su correcta ejecución y efectividad en la mejora de los indicadores de desempeño del sistema de mantenimiento.

En primer lugar, es indispensable contar con la disponibilidad adecuada de personal técnico calificado, debidamente capacitado en los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, así como en el uso de herramientas de diagnóstico y aplicación de cartillas de inspección. La correcta ejecución del protocolo depende directamente del nivel de competencia del personal, por lo que se requiere asegurar su formación continua y la asignación adecuada de responsabilidades dentro del taller.

Asimismo, la disponibilidad oportuna de repuestos, herramientas y equipos constituye una condición crítica para la aplicación efectiva del protocolo. Tal como se evidenció en el análisis de los indicadores, la espera por repuestos representa uno de los principales factores que incrementan el MTTR y reducen la disponibilidad operativa. En este sentido, se requiere una adecuada gestión de inventarios y planificación logística que permita anticipar la demanda de componentes críticos y evitar retrasos en las intervenciones.

Otra condición fundamental es la implementación obligatoria y estandarizada de los formatos de registro y control definidos en el protocolo. El cumplimiento de las cartillas de inspección, el registro detallado de las intervenciones y la documentación de desviaciones son elementos clave para asegurar la trazabilidad del mantenimiento y permitir el análisis de

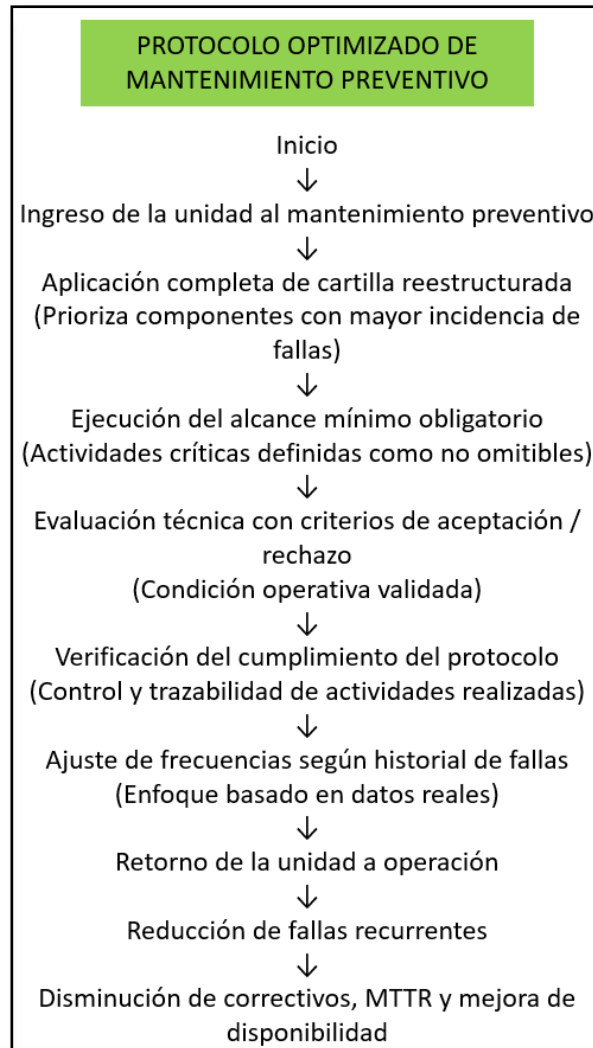
indicadores de desempeño. La omisión de estos registros limita la capacidad de control y mejora del sistema.

De igual manera, es necesario garantizar la disponibilidad de infraestructura adecuada en el taller, incluyendo espacios de trabajo, equipos de elevación, herramientas especializadas y condiciones de seguridad que permitan la ejecución eficiente de las actividades de mantenimiento. La limitación de estos recursos puede generar retrasos en la atención de las unidades y afectar el cumplimiento de los tiempos de intervención establecidos.

Por último, la aplicación del protocolo requiere el compromiso organizacional para su cumplimiento obligatorio en todas las actividades de mantenimiento. Esto implica la supervisión constante por parte del personal responsable, la integración de los indicadores de desempeño en la toma de decisiones y la adopción de un enfoque orientado a la mejora continua. Solo mediante la aplicación sistemática y disciplinada del protocolo será posible reducir los tiempos de reparación, incrementar la disponibilidad operativa y mejorar la eficiencia global del sistema de mantenimiento.

11. FLUJOGRAMAS

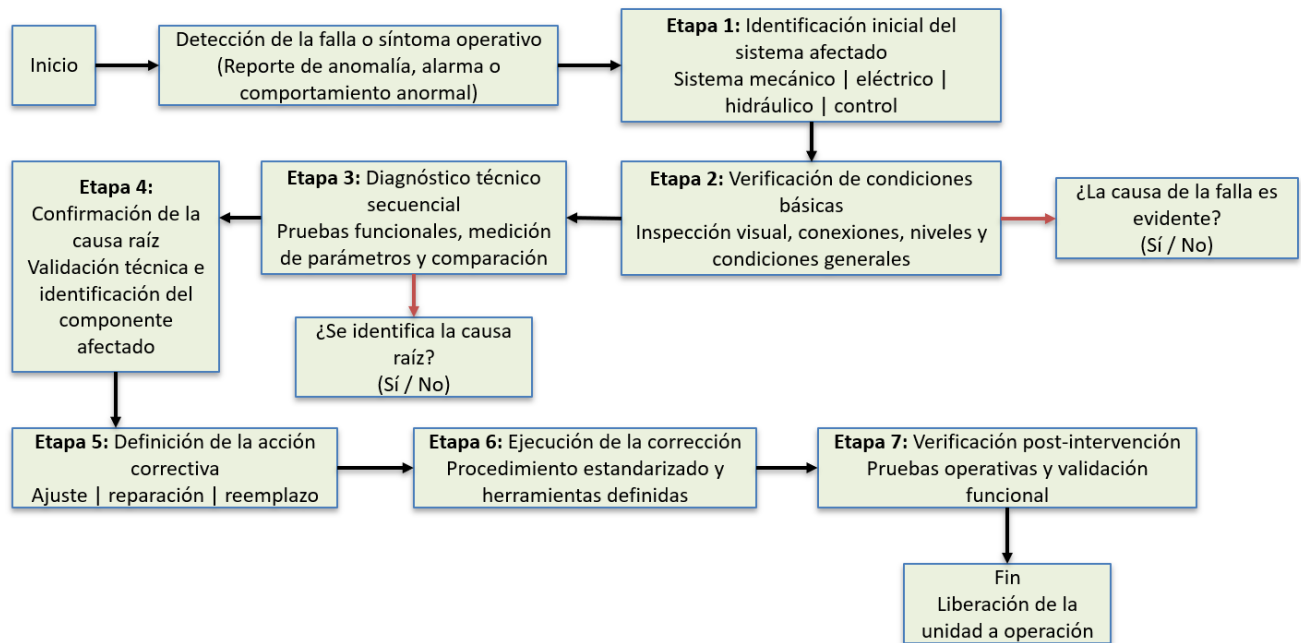
Los flujogramas constituyen una representación gráfica de los procesos de mantenimiento propuestos, permitiendo visualizar de manera estructurada la secuencia de actividades, los puntos de control y las decisiones técnicas involucradas. Su implementación facilita la estandarización de los procedimientos, mejora la comprensión operativa por parte del personal técnico y asegura la correcta aplicación del protocolo optimizado.



El flujograma de mantenimiento preventivo optimizado describe la secuencia estructurada de actividades orientadas a la anticipación de fallas y al aseguramiento del cumplimiento total de las inspecciones. El proceso inicia con el ingreso de la unidad al taller, seguido de la aplicación completa de la cartilla de inspección reestructurada, la cual prioriza los componentes con mayor incidencia de fallas según el análisis de registros históricos.

Posteriormente, se establece la ejecución de un alcance mínimo obligatorio, enfocado en actividades críticas no omitibles, complementado con una evaluación técnica basada en criterios de aceptación o rechazo. El flujo incorpora una etapa clave de verificación del cumplimiento del protocolo, asegurando la trazabilidad de las actividades realizadas. Finalmente, se considera el

ajuste de frecuencias de mantenimiento en función de datos reales, permitiendo mejorar progresivamente la planificación preventiva, reducir fallas recurrentes y optimizar indicadores como el MTTR y la disponibilidad operativa.



El flujograma de mantenimiento correctivo optimizado presenta un enfoque estructurado para la atención de fallas, iniciando con la detección del síntoma operativo y la identificación inicial del sistema afectado. A continuación, se realiza una verificación de condiciones básicas y se evalúa si la causa de la falla es evidente; en caso contrario, se activa un diagnóstico técnico secuencial basado en pruebas funcionales y medición de parámetros.

Una vez identificada la causa raíz, el proceso continúa con la definición de la acción correctiva, seguida de la ejecución de la reparación mediante procedimientos estandarizados y el uso de herramientas definidas. Finalmente, se realiza una verificación post-intervención mediante pruebas operativas y validación funcional, asegurando la eliminación de la falla antes de la liberación de la unidad. Este flujo permite reducir la variabilidad en los tiempos de

reparación, mejorar la eficiencia del diagnóstico y contribuir directamente a la disminución del MTTR y al incremento de la confiabilidad del sistema.

12. MATRIZ HALLAZGO → ACCIÓN → IMPACTO

La matriz de relación hallazgo–acción–impacto permite vincular de manera directa las deficiencias identificadas en el análisis de los indicadores de desempeño con las acciones de mejora propuestas en el protocolo optimizado. Esta herramienta facilita la comprensión del aporte técnico de cada mejora implementada y evidencia su contribución en la optimización del sistema de mantenimiento.

Hallazgo identificado	Acción propuesta	Impacto esperado
Alta proporción de mantenimientos correctivos no programados	Optimización del mantenimiento preventivo mediante cartillas reestructuradas y priorización de sistemas críticos	Reducción de fallas imprevistas y disminución de la carga correctiva
MTTR elevado debido a tiempos prolongados de diagnóstico y reparación	Estandarización de procedimientos correctivos y uso de tiempos de referencia históricos	Reducción del tiempo medio de reparación (MTTR)
Baja disponibilidad operativa de las unidades	Implementación de planificación técnica del mantenimiento y mejora en la gestión de repuestos	Incremento de la disponibilidad operativa
Cumplimiento parcial de las cartillas de inspección (60%–70%)	Implementación de verificación obligatoria, campos críticos y control de cumplimiento	Aseguramiento del 100% de ejecución de actividades preventivas
Alta recurrencia de fallas en sistemas críticos (motor, frenos, suspensión)	Fortalecimiento de inspecciones preventivas y enfoque en componentes de alta criticidad	Disminución de fallas recurrentes
Alta variabilidad en los tiempos de reparación	Uso de tiempos estándar basados en promedios históricos	Reducción de la variabilidad y mayor predictibilidad operativa
Deficiencias en el diagnóstico de fallas	Implementación de diagnóstico estructurado y secuencial	Mejora en la identificación de la causa raíz
Limitada integración de indicadores en la operación diaria	Incorporación de KPIs en todas las etapas del mantenimiento	Toma de decisiones basada en datos y mejora continua
Retrasos por falta de repuestos críticos	Planificación anticipada y gestión eficiente de inventarios	Reducción de tiempos de espera y de indisponibilidad
Falta de trazabilidad en registros de mantenimiento	Implementación de formatos estandarizados de registro y control	Mejora en la trazabilidad y análisis de información técnica

La matriz evidencia que las deficiencias identificadas en el sistema de mantenimiento no son aisladas, sino que responden a un conjunto de factores interrelacionados que afectan directamente los indicadores de desempeño. Las acciones propuestas abordan estas problemáticas desde un enfoque integral, combinando mejoras en la planificación, ejecución, control y seguimiento del mantenimiento.

Asimismo, se observa que la mayoría de las acciones están orientadas a fortalecer el mantenimiento preventivo, reducir la dependencia del mantenimiento correctivo y mejorar la eficiencia operativa del taller. Como resultado, se espera una reducción sostenida del MTTR, un incremento de la disponibilidad operativa y una mejora en la confiabilidad de las unidades, consolidando un sistema de mantenimiento más eficiente, estandarizado y basado en datos.