

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Mejoras en el mantenimiento preventivo en flotas de camiones mineros mediante estrategias Lean y SMED para la reducción de tiempos de intervención

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por

Carlos Andrés Polo Valerio

 [0009-0007-7470-7921](https://orcid.org/0009-0007-7470-7921)

Asesor

MSc. Roberto Antenor Baldeon Icochea

 [0009-0006-7149-9031](https://orcid.org/0009-0006-7149-9031)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Valerio Polo [1]
Referencia/Reference	[1] C. Valerio Polo, " <i>Mejoras en el Mantenimiento Preventivo en Flotas de Camiones Mineros Mediante Estrategias LEAN y SMED para la Reducción de Tiempos de Intervención.</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE	

Citar/How to cite	(Valerio, 2025)
Referencia/Reference	Valerio, C. (2025). <i>Mejoras en el Mantenimiento Preventivo en Flotas de Camiones Mineros Mediante Estrategias LEAN y SMED para la Reducción de Tiempos de Intervención.</i> [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi madre y mis hermanas, por su incondicional apoyo, amor y confianza a lo largo de mi vida, siendo siempre mi mayor fortaleza e inspiración.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería, mi alma máter, por brindarme una formación académica de excelencia y por los conocimientos adquiridos a través de su exigente nivel educativo.

A mi asesor de tesis, por su valiosa guía, paciencia y enseñanzas, que han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mi familia y amigos, por su incondicional apoyo, constante motivación y comprensión a lo largo de este proceso. También agradezco a todas las personas que, de una forma u otra, han contribuido a mi formación académica y personal, siendo parte esencial de este logro.

Finalmente, dedico esta tesis a mí mismo, por mantener la motivación, el esfuerzo y la perseverancia necesarios para alcanzar mis metas y sueños, demostrando que con dedicación todo es posible.

Resumen

Este estudio aborda la mejora y optimización del mantenimiento preventivo (PM) de los camiones mineros Caterpillar 793D, enfocado en sus sistemas mecánicos (motor, convertidor, transmisión y mandos finales). Se identificaron problemas como tiempos de intervención excesivos (20-30 horas frente a las 10 horas establecidas), ausencia de estándares de calidad y distracciones por tareas correctivas no planificadas. Para solucionar estas deficiencias, se implementaron las metodologías LEAN y SMED (Single-Minute Exchange of Die) con el objetivo de estandarizar y agilizar el proceso de mantenimiento, eliminando actividades que no aportan valor, reduciendo tiempos incidentales y optimizando el Wrench Time de los técnicos. Esta estrategia permite una "preparación instantánea" para las intervenciones, mejorando la eficiencia operativa.

Los objetivos específicos incluyen: aumentar la disponibilidad al 90%, reducir el tiempo total de mantenimiento en un 20%, incrementar el MTBF en un 15%, disminuir los costos operativos en un 10% y asegurar la ejecución completa del PM en 10 horas. Asimismo, se promoverá la capacitación continua del personal para mantener los estándares establecidos y fomentar la mejora continua.

Palabras clave – Mantenimiento preventivo, estandarización, Caterpillar 793D, sistemas mecánicos, LEAN, SMED, eliminación de desperdicios, eficiencia operativa, wrench time, tiempo medio entre fallas (MTBF), reducción de costos, minería.

Abstract

This study focuses on improving and optimizing the preventive maintenance (PM) of Caterpillar 793D mining trucks, specifically targeting their mechanical systems (engine, torque converter, transmission, and final drives). Identified issues include excessive maintenance times (20-30 hours compared to the 10-hour standard), lack of quality standards, and disruptions caused by unplanned corrective tasks. To address these challenges, LEAN and SMED (Single-Minute Exchange of Die) methodologies were implemented to standardize and streamline the maintenance process by eliminating non-value-adding activities, reducing incidental times, and optimizing technicians' Wrench Time. This strategy enables "instant preparation" for interventions, enhancing overall operational efficiency.

The specific objectives include increasing equipment availability to 90%, reducing total maintenance time by 20%, improving MTBF by 15%, lowering operational costs by 10%, and ensuring the complete execution of PM within 10 hours. Additionally, continuous staff training will be encouraged to maintain established standards and drive continuous improvement.

Keywords – Preventive maintenance, standardization, Caterpillar 793D, mechanical systems, LEAN, SMED, waste elimination, operational efficiency, wrench time, mean time between failures (MTBF), cost reduction, mining.

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xvii
Capítulo I. Planteamiento de la realidad problemática	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Identificación y descripción del problema de investigación.....	2
1.3. Formulación del Problema	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos.....	4
1.3.3. Justificación e Importancia de la Investigación	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Antecedentes investigativos.....	6
1.5.1. Antecedentes Internacionales.....	6
1.5.2. Antecedentes Nacionales	8
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	11
2.1. Marco Teórico.....	11
2.1.1. Gestión del Mantenimiento	11
2.1.2. Tipos de Mantenimiento	11
2.1.3. Funciones.....	13
2.1.4. Contexto Operacional	14
2.1.5. Plan de Mantenimiento	15
2.1.6. Gravedad de Fallo	15
2.1.7. Falla	15

2.1.8. Modos de Falla	16
2.1.9. Tipos de modo de falla	17
2.1.10. Causas de falla	19
2.1.11. Efectos de falla	20
2.1.12. Evidencia de falla	20
2.1.13. Riesgo para la seguridad y el medio ambiente	20
2.1.14. Acción correctiva	21
2.1.15. Análisis de fallas	21
2.1.16. Análisis de la causa y efecto.....	21
2.1.17. Camión Minero	22
2.1.18. Principales componentes del camión minero	22
2.1.19. Especificaciones y parámetros del camión Caterpillar 793D.....	23
2.2. Marco Conceptual.....	30
2.2.1. Disponibilidad mecánica	30
2.2.2. Confiabilidad.....	31
2.2.3. Mantenibilidad	32
2.2.4. MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos).....	32
2.2.5. MTTR (Tiempo Promedio de Reparación)	33
2.2.6. MTTF (Tiempo Promedio Operativo Hasta el Fallo).....	33
2.2.7. MTFS (Tiempo Promedio Fuera de Servicio).....	34
2.2.8. AMEF (Análisis Modal de Fallos y Efectos)	34
2.2.9. SMED (Single Minute Exchange of Die)	35
2.2.10. LEAN	37
2.2.11. Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	38
Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de las variables	41
3.1. Hipótesis	41
3.1.1. Hipótesis general.....	41
3.1.2. Hipótesis específicas	41

3.2. Variables.....	41
3.2.1. Variables independientes	41
3.2.2. Variable dependiente.....	41
3.3. Matriz de operacionalización de variables.....	42
Capítulo IV. Metodología de la investigación	43
4.1. Metodología	43
4.2. Unidad de Análisis	43
4.3. Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación	44
4.3.1. Tipo de Investigación.....	44
4.3.2. Enfoque de Investigación	44
4.3.3. Nivel de Investigación.....	45
4.3.4. Diseño de Investigación.....	45
4.4. Presupuesto.....	46
4.5. Matriz de Consistencia.....	46
Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación	48
5.1. Descripción de la empresa.....	48
5.1.1. Descripción general de la empresa.....	48
5.1.2. Misión de la empresa.....	48
5.1.3. Visión de la empresa	49
5.1.4. Flotas de camiones mineros en operación.....	49
5.1.5. Taller de camiones (TruckShop).....	49
5.2. Proceso de mantenimiento preventivo en la flota de camiones vigente.....	49
5.2.1. Estrategia de mantenimiento vigente.....	50
5.2.2. Intervención y traslado del equipo al taller	52
5.2.3. Trabajos con el equipo en marcha.....	54
5.2.4. Ingreso del equipo al taller.....	55
5.2.5. Trabajos con el equipo apagado.....	57
5.3. Implementación de la metodología SMED en el mantenimiento preventivo	62

5.3.1. Medir el tiempo total de la tarea (Wrench Time)	63
5.3.2. Determinar actividades internas y externas de la tarea.....	69
5.3.3. Convertir las actividades internas en externas.....	71
5.3.4. Eliminar el desperdicio interno y externo	72
5.3.5. Estandarizar y mantener las buenas prácticas.....	72
5.4. Herramientas LEAN para el mantenimiento estandarizado	73
5.4.1. Optimización de la Estrategia de Mantenimiento Preventivo.....	75
5.4.2. Identificación de Actividades y Construcción de la Base de Datos.....	76
5.4.3. Desafiar Tiempos y Recursos Requeridos.....	114
5.4.4. Desarrollo de Ruta Crítica de Trabajo.....	116
5.4.5. Sinergia entre estrategias LEAN y SMED en el mantenimiento preventivo. .	118
5.4.6. Ejecución y optimización del mantenimiento preventivo	121
5.4.7. Parámetros de control del mantenimiento estandarizado	128
5.4.8. Feedback y Mejora Continua del Workpackage.....	134
Capítulo VI. Análisis de resultados y contrastación de hipótesis	136
6.1. Implementación del Mantenimiento Estandarizado	136
6.2. Resultados Obtenidos.....	138
6.3. Evaluación Económica.....	141
6.4. Contrastación de hipótesis y discusión de resultados	142
Conclusiones	143
Recomendaciones	145
Referencias bibliográficas	147
Anexos	150

Lista de Tablas

Tabla 1: Especificaciones Técnicas del Motor de un motor Cat 3516B	24
Tabla 2: Especificaciones de operación	25
Tabla 3: Velocidades de desplazamiento máximas con neumáticos estándar 40-R57	25
Tabla 4: Características de los mandos finales	25
Tabla 5: Parámetros del Sistema de Frenos	28
Tabla 6: Parámetros de sistema de levantamiento.....	30
Tabla 7: Matriz de operacionalización de variables	42
Tabla 8: Flota de camiones de la Compañía Minera Antapaccay.....	49
Tabla 9: Plan de mantenimiento de camión Caterpillar 793D establecido por Antapaccay	50
Tabla 10: Tiempo promedio de ejecución de los PMs ejecutados en el año 2023	51
Tabla 11: Frecuencia de Mantenimiento Previo al Mantenimiento Preventivo	52
Tabla 12: Tiempo promedio del traslado del punto de trabajo al taller de camiones	53
Tabla 13: Tareas ejecutadas en el exterior del taller con el equipo arrancado.....	54
Tabla 14: Tiempos de tareas ejecutadas en el cambio de guardia	62
Tabla 15: Estrategia de mantenimiento preventivo vigente - Flota Caterpillar 793D	75
Tabla 16: Parámetros de funcionamiento del motor Cat 3516B HD EUI	82
Tabla 17: Cartilla de inspección de componentes eléctricos del motor Cat 3516B HD EUI	87
Tabla 18: Parámetros de presión de entrada y salida de la válvula Wastegate	88
Tabla 19: Parámetros de presión y corriente del solenoide en relación con el porcentaje de apertura de la válvula Wastegate	88
Tabla 20: Cartilla de pruebas de sistema de dirección.....	90
Tabla 21: Cartilla de pruebas de sistema de enfriamiento de frenos.....	94
Tabla 22: Capacidad de llenado de aceites, refrigerante y combustible-Caterpillar 793D	113

Tabla 23: Nueva estrategia de mantenimiento preventivo de 4PMs - Flota Caterpillar 793D.....	115
Tabla 24: Interrelación entre metodologías LEAN y SMED.....	119
Tabla 25: Diagrama de flujo combinado SMED + LEAN	120
Tabla 26: Síntesis del contraste de hipótesis	142

Lista de Figuras

Figura 1: Tiempo promedio y frecuencia de ejecución de los mantenimientos preventivos realizados en el taller de camiones durante el año 2023.....	3
Figura 2: Curva de Evolución de una Falla	13
Figura 3: Componentes de un camión minero con sistema mecánico.....	23
Figura 4: Tren de fuerza de camión 793D.....	24
Figura 5: Integración electrónica del motor con el tren de fuerza	26
Figura 6: Sistema de administración de potencia hidráulica.....	27
Figura 7: Sistema de frenos Caterpillar.....	28
Figura 8: Sistema de Control HARC & TCS	29
Figura 9: Sistema de monitoreo VIMS	29
Figura 10: Tipos de desperdicios aplicables a los diferentes procesos productivos	37
Figura 11: Clasificación de tareas de un proceso según la metodología LEAN.....	37
Figura 12: Elementos de la metodología LEAN	38
Figura 13: Traslado del camión del lavadero al taller	53
Figura 14: Traslado del equipo para su ingreso al taller (Caso 1)	55
Figura 15: Traslado del equipo para su ingreso al taller (Caso 2)	56
Figura 16: Cartilla de mantenimiento preventivo de camión Caterpillar 793D	58
Figura 17: Distribución de Horas Hombre durante la Ejecución del PM	61
Figura 18: Clasificación de actividades en Wrench Time	64
Figura 19: Buenas prácticas para seguir por el personal	65
Figura 20: Medición Wrench Time del PM1-700HR	65
Figura 21: Medición Wrench Time del PM2-1400HR	66
Figura 22: Medición Wrench Time del PM3-2800HR	66
Figura 23: Análisis de porcentaje del tiempo disponible.....	67
Figura 24: Wrench Time objetivo	68

Figura 25:Plan de acción en base al Wrench Time medido	68
Figura 26:Transformación de tareas internas a externas	71
Figura 27:Eliminación de desperdicios internos y externos	72
Figura 28:Evolución de implementación de metodología SMED	73
Figura 29:Pilares de la metodología LEAN	74
Figura 30:Pilares del LEAN en el contexto del proyecto.....	74
Figura 31:Etapas de implementación de LEAN en el mantenimiento preventivo.....	75
Figura 32:Chasis de camión Caterpillar 793D	78
Figura 33:Componentes principales del asiento del operador	79
Figura 34:Componentes principales del panel de la cabina	80
Figura 35:Posición de las cámaras de monitoreo del camión.....	80
Figura 36:Posición de las cámaras de monitoreo del camión.....	81
Figura 37:Módulos ECM ubicados en la sección posterior de la cabina	82
Figura 38:Motor Cat 3516B HD EUI.....	83
Figura 39:Respiraderos del motor Cat 3516B HD EUI	84
Figura 40:Rejilla magnética del cárter del Motor Cat 3516B HD EUI.....	84
Figura 41:Filtros de aire del sistema de admisión	85
Figura 42:Abrazaderas y puntos de sujeción del sistema de admisión	85
Figura 43:Abrazaderas y puntos de sujeción del sistema de escape	86
Figura 44:Alternador de 24V acoplado al motor	89
Figura 45:Ubicación de las 4 baterías del camión Caterpillar 793D	89
Figura 46:Acumuladores de nitrógeno del sistema de dirección	91
Figura 47:Estructura del sistema de dirección	91
Figura 48:Componentes principales de las ruedas delanteras	92
Figura 49:Filtros y respiraderos del sistema de dirección.....	93
Figura 50:Sistema de control de frenos del equipo	94
Figura 51:Cajas de filtros del sistema de dirección	95
Figura 52:Tanque hidráulico del camión Caterpillar 793D.....	96

Figura 53: Tanque de combustible y su respiradero	97
Figura 54: Punto de llenado y drenado del aceite del convertidor - transmisión	98
Figura 55: Filtros del sistema de lubricación del convertidor	98
Figura 56: Respiradero del convertidor	99
Figura 57: Rejilla magnética del convertidor	99
Figura 58: Componentes principales de la transmisión	100
Figura 59: Filtro del sistema de transmisión	101
Figura 60: Rejilla magnética de la transmisión	101
Figura 61: Axel box del eje posterior	102
Figura 62: Límites de juego de Pin Pivot	103
Figura 63: Componentes principales del eje posterior	104
Figura 64: Rejilla magnética del diferencial	105
Figura 65: Ajuste del Thrust Pin del Diferencial	106
Figura 66: Eje diferencial de los mandos finales	107
Figura 67: Cilindros de levante de la tolva	108
Figura 68: Rejillas magnéticas del sistema de levante	109
Figura 69: Medida de cromo de suspensiones delanteras	110
Figura 70: Medida de cromo de suspensiones posteriores	110
Figura 71: Toma rápida de llenado de tanque de grasa	111
Figura 72: Bancos de engrase derecho, izquierdo y posterior	112
Figura 73: División se zonas de trabajo del camión Caterpillar 793D	117
Figura 74: Formato de estructuración de ruta crítica de actividades del PM	117
Figura 75: Gantt piloto del PM1 del camión Caterpillar 793D	118
Figura 76: Caja de herramientas para los PMs del camión Caterpillar 793D	121
Figura 77: Flujograma de proceso de Checklist de preparación PM	123
Figura 78: Distribución del área de trabajo de la bahía para el PM	123
Figura 79: Cartilla de seguimiento del PM para el supervisor	124
Figura 80: Gantt de seguimiento del PM para el supervisor	125

Figura 81:Cartilla de mantenimiento preventivo para el personal ejecutor	125
Figura 82:Gantt de control de tiempos para el personal ejecutor	126
Figura 83:Dashboard de control de mantenimiento estandarizado	129
Figura 84:Parámetro de tiempo total de ejecución de tareas del PM	130
Figura 85:Parámetro de porcentaje de cumplimiento de tareas del PM	131
Figura 86:Parámetro de Wrench Time del PM	132
Figura 87:Parámetro de tiempo de parada luego del PM (FSAPM).....	133
Figura 88:Parámetro de adherencia en horas hombres totales del PM.....	134
Figura 89:Feedback del mantenimiento estandarizado entre personal ejecutor y la supervisión	135
Figura 90:Workpackage del mantenimiento estandarizado del camión Caterpillar 793D	135
Figura 91:Camiones Caterpillar 793D donde se aplicó el mantenimiento estandarizado	137
Figura 92:Composición del tiempo de mantenimiento preventivo Antes y Después de la optimización con LEAN y SMED	138
Figura 93:Evolución de disponibilidad anual de la flota Caterpillar 793D	138
Figura 94:Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF) de la flota Caterpillar 793D	139
Figura 95:Evolución de numero de paradas de flota Caterpillar 793D.....	139
Figura 96:Evolución de tiempos de ejecución de PMs de la flota Caterpillar 793D	140
Figura 97:Top 10 del tiempo antes de falla luego del PM (FSAPM) de la flota Caterpillar 793D en el año 2024.....	141

Introducción

El proyecto de investigación titulado “Mejoras en el Mantenimiento Preventivo en Flotas de Camiones Mineros Mediante Estrategias LEAN y SMED para la Reducción de Tiempos de Intervención” fue desarrollado con el objetivo de optimizar los procesos de mantenimiento preventivo aplicados a flotas de camiones mineros, mediante la reducción de tiempos de intervención y la eliminación de actividades que no agregan valor. Para ello, se han adoptado herramientas de mejora continua basadas en las metodologías SMED y LEAN, con el propósito de establecer un mantenimiento estandarizado, eficiente y enfocado en la optimización de la disponibilidad operativa de los equipos.

El estudio tiene como finalidad demostrar que es posible alcanzar un mantenimiento preventivo (PM) con una duración precisa de 10 horas, a través de la transformación de tareas internas en externas, la eliminación de desperdicios, y la optimización sistemática del proceso. La metodología propuesta busca además contribuir a la eficiencia operativa y económica del taller de camiones, generando valor desde una visión estratégica de gestión de activos.

El Capítulo 1 presenta el planteamiento de la realidad problemática, donde se exponen las generalidades del estudio, la identificación del problema, la formulación de los objetivos, la justificación e importancia del trabajo, así como los antecedentes nacionales e internacionales relacionados con la temática.

El Capítulo 2 desarrolla el marco teórico y conceptual, abordando de manera detallada los conceptos fundamentales de la gestión del mantenimiento, los tipos de mantenimiento, análisis de fallas, y herramientas clave como la mantenibilidad, disponibilidad, MTTR, SMED y LEAN. Asimismo, se contextualiza la operación de los camiones mineros y sus principales componentes.

En el Capítulo 3, se presentan las hipótesis generales y específicas, junto con las variables del estudio y su correspondiente operacionalización, estableciendo los indicadores de medición necesarios para evaluar los resultados antes y después de la intervención.

El Capítulo 4 describe la metodología de investigación, señalando el tipo, nivel y enfoque del estudio, la unidad de análisis, la matriz de consistencia y el presupuesto estimado. Se establece también la coherencia metodológica entre los objetivos, variables e instrumentos aplicados.

En el Capítulo 5, se desarrolla el trabajo aplicado, comenzando con la descripción de la empresa minera, su flota de camiones y el taller de mantenimiento. Se analiza el proceso actual del mantenimiento preventivo, se identifican oportunidades de mejora mediante análisis SMED y LEAN, y se implementan estrategias para transformar y optimizar el proceso. Además, se utilizan herramientas como la base de datos de actividades, la definición de ruta crítica, la estandarización del trabajo, y el análisis de KPIs, lo cual permite una ejecución más eficiente del mantenimiento.

El Capítulo 6 presenta el análisis de resultados y la contrastación de hipótesis, evaluando el impacto de las mejoras implementadas. Se incluyen resultados cuantitativos, análisis económico y una discusión crítica que valida la efectividad de las estrategias aplicadas.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, seguidas de las referencias bibliográficas y los anexos que complementan y sustentan la investigación desarrollada.

Capítulo I. Planteamiento de la realidad problemática

1.1. Generalidades

A nivel global, la aplicación de Lean Manufacturing en mantenimiento se ha consolidado como un enfoque eficaz para la reducción de desperdicios y la optimización de recursos en la gestión de activos industriales. Su origen se remonta al Mantenimiento Productivo Total (TPM), un sistema desarrollado en Japón que busca maximizar la eficiencia operativa mediante la participación activa de toda la organización. Este método estructurado permite establecer estrategias de mantenimiento enfocadas en mejorar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos, asegurando un uso eficiente de los recursos invertidos en programas de mantenimiento predictivo y preventivo.

Dentro de esta filosofía, la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) se ha convertido en una herramienta clave para reducir los tiempos de cambio y optimizar la disponibilidad de equipos. Desarrollada en la década de 1960 por el ingeniero japonés Shigeo Shingo, SMED fue inicialmente implementada en la industria automotriz y, con el tiempo, se ha expandido a diversos sectores industriales. Su objetivo principal es minimizar los tiempos de intervención, asegurando que el cambio de un proceso o equipo se realice en menos de 10 minutos, mejorando así la productividad y reduciendo costos operativos.

En este contexto, la compañía minera Antapaccay opera con una amplia flota de equipos pesados, como cargadores frontales, aplanadoras, palas, perforadoras y camiones mineros, cuya disponibilidad mecánica es fundamental para la continuidad de las operaciones. Para garantizar una gestión eficiente de estos activos, la empresa ha decidido aplicar estrategias LEAN y SMED en su mantenimiento, con el objetivo de minimizar tiempos improductivos, optimizar procesos y mejorar indicadores clave como confiabilidad y tiempo medio entre fallas (MTBF). Esta investigación se enfoca

específicamente en la implementación de estas estrategias en la flota de camiones mineros Caterpillar 793D, con el propósito de reducir los tiempos de intervención y maximizar la eficiencia del mantenimiento preventivo.

1.2. Identificación y descripción del problema de investigación

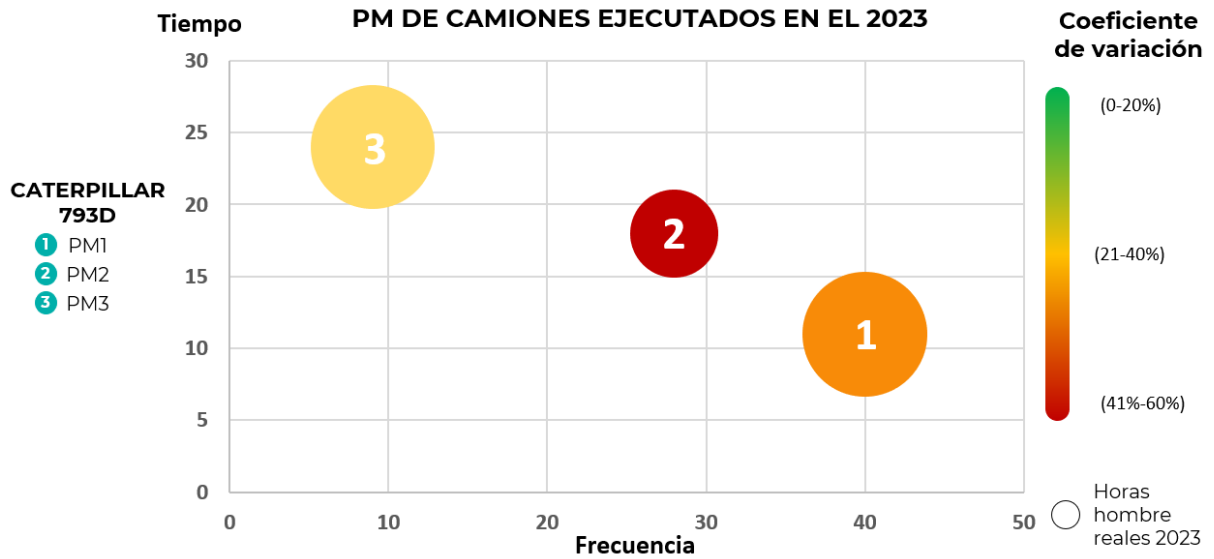
En las operaciones de mantenimiento de la flota de camiones mineros Caterpillar 793D de la compañía minera Antapaccay, se ha identificado una problemática relacionada con la eficiencia y calidad del mantenimiento preventivo (PM). Aunque el tiempo promedio estimado para estas intervenciones es de 10 horas, en la práctica los tiempos varían significativamente entre guardias, alcanzando entre 20 y 30 horas. Esta variabilidad genera retrasos en la disponibilidad operativa de los equipos, afectando la productividad y aumentando los costos operativos.

La principal causa de esta discrepancia es la falta de estandarización en los procedimientos y en la asignación de tareas. Cada guardia revisa parámetros distintos y ejecuta las actividades en un orden diferente, dificultando el control de calidad y aumentando el riesgo de omisiones y fallos posteriores. Además, la ausencia de un flujo de trabajo estructurado prolonga los tiempos de intervención y eleva la probabilidad de errores.

Otro aspecto crítico es la realización simultánea de trabajos correctivos no programados durante los mantenimientos preventivos, lo que desvía al personal técnico de las tareas planificadas y genera interrupciones. Esta problemática impacta negativamente en el desempeño de la flota, reduciendo la confiabilidad de los equipos, aumentando la frecuencia de fallos no planificados y disminuyendo la vida útil de los camiones, lo que incrementa los costos operativos. Se hace evidente la necesidad de estandarizar los procesos, mejorar la planificación y establecer protocolos de calidad rigurosos para optimizar la eficiencia y disponibilidad de la flota.

Figura 1

Tiempo promedio y frecuencia de ejecución de los mantenimientos preventivos realizados en el taller de camiones durante el año 2023.



Fuente: Data de los Mantenimientos Preventivos ejecutados en el año 2023

En resumen, esta problemática no solo impacta negativamente en los indicadores de mantenimiento, como el tiempo promedio de intervención y la frecuencia de fallos, sino que también compromete la disponibilidad de los camiones y la continuidad operativa de la mina. Abordar esta realidad requiere un análisis profundo de las variables involucradas, como los tiempos de ejecución, la consistencia en los estándares de calidad, la organización del flujo de trabajo y la interferencia de tareas correctivas, con el fin de implementar soluciones que optimicen los procesos de mantenimiento preventivo.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera se puede mejorar el Mantenimiento Preventivo en Flotas de Camiones Mineros Mediante Estrategias LEAN y SMED para la Reducción de Tiempos de Intervención?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la optimización de actividades externas del mantenimiento mediante SMED en la reducción del tiempo de preparación previo a las intervenciones?
- ¿Qué impacto tiene la estandarización de tareas internas bajo SMED en la disminución del tiempo de ejecución del mantenimiento preventivo?
- ¿Cómo contribuye la aplicación de herramientas Lean a mejorar la eficiencia del tiempo total de intervención en los mantenimientos preventivos?

1.3.3. Justificación e Importancia de la Investigación

1.3.3.1. Justificación

Justificación social

La investigación busca garantizar una mayor confiabilidad en los camiones mineros, reduciendo fallos imprevistos que afectan la seguridad de los trabajadores y la continuidad de las operaciones.

Justificación económica

La estandarización de los mantenimientos reducirá los tiempos de intervención y los costos derivados de paradas prolongadas, optimizando la disponibilidad de los equipos y disminuyendo el consumo innecesario de repuestos. Esto genera ahorros significativos y mayor rentabilidad para la empresa minera.

Justificación tecnológica

El estudio incorpora metodologías LEAN y SMED en la gestión del mantenimiento preventivo, promoviendo innovación en los procesos técnicos del taller de camiones y contribuyendo a la modernización de la gestión de activos en minería.

1.3.3.2. Importancia

- Contribución a la productividad operativa: La investigación permitirá identificar las principales causas de los tiempos prolongados y las inconsistencias en los mantenimientos, contribuyendo a maximizar la eficiencia operativa de los camiones y reducir los costos asociados a los tiempos improductivos.
- Beneficio para la industria minera: Los resultados podrán aplicarse no solo en el taller de camiones en cuestión, sino también como referencia para otros talleres de mantenimiento en operaciones mineras, promoviendo mejores prácticas y mayor competitividad en el sector.
- Sostenibilidad y optimización de recursos: Optimizar la calidad y tiempos de ejecución de los mantenimientos reducirá el desgaste prematuro de componentes y el consumo innecesario de repuestos, promoviendo una operación más sostenible y rentable.
- Aporte académico y técnico: Esta investigación proporcionará un modelo práctico para estandarizar procedimientos y mejorar la gestión del mantenimiento preventivo, lo que puede servir como referencia para futuros estudios en la gestión de activos en minería u otras industrias.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Mejorar el mantenimiento preventivo en flotas de camiones mineros mediante la aplicación de estrategias LEAN y SMED, con el fin de reducir los tiempos de intervención.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Optimizar las actividades externas de preparación mediante la metodología SMED para reducir los tiempos de preparación antes del inicio de los mantenimientos preventivos.
- Estandarizar y mejorar la ejecución interna del mantenimiento mediante SMED para disminuir los tiempos de intervención.
- Aplicar herramientas LEAN enfocadas en la optimización del valor agregado y el uso eficiente de recursos para reducir el tiempo total de intervención durante los mantenimientos preventivos.

1.5. Antecedentes investigativos

1.5.1. Antecedentes Internacionales

Morocho (2024), en su trabajo realizado en Ecuador titulado “Herramientas de LEAN Manufacturing aplicada a la S.M Oro Inca perteneciente a la concesión minera Shyri, ubicado en la provincia del Azuay”, implementó herramientas de Lean Manufacturing para mejorar la productividad en procesos mineros. La investigación abordó deficiencias operativas como prácticas empíricas, falta de estandarización, pérdidas de tiempo y riesgos operativos, lo que generaba ineficiencias y pérdidas económicas. Se aplicaron metodologías mixtas y herramientas de mejora continua, logrando estandarizar procesos, minimizar riesgos y optimizar la seguridad laboral. Un análisis del mapa de la cadena de valor evidenció un tiempo productivo ineficiente de 10 horas por turno, que tras la implementación de Lean Manufacturing se proyectó reducir a 8 horas, ajustándose a la normativa vigente. El estudio concluyó que la aplicación de estas herramientas permitió disminuir los ciclos de tiempo, reducir desperdicios y corregir procedimientos inadecuados, lo que impactó positivamente en la eficiencia operativa y económica de la empresa minera.

Marek et al. (2023), en su estudio realizado en Polonia titulado **“Estudio sobre la utilidad de las herramientas y técnicas de gestión LEAN en las minas de carbón”**, investigaron la aplicación del método Lean Management para aumentar la rentabilidad en la minería del carbón mediante la racionalización de costos y la optimización de la producción. Basándose en un análisis experto-matemático y en la revisión de literatura global sobre la aplicación de Lean en la industria minera, identificaron cinco áreas clave de producción y evaluaron la utilidad de doce herramientas Lean ampliamente utilizadas. Los resultados indicaron que la implementación de estas técnicas puede mejorar significativamente la eficiencia operativa, proporcionando una guía valiosa para la gestión minera en la selección de métodos para optimizar la producción en las minas de carbón.

Suárez (2022), en España llevó a cabo una revisión literaria cuyo objetivo fue la **“Aplicación de herramientas LEAN en el área de mantenimiento de una empresa minera”**, donde abordó cómo la implementación de Lean Manufacturing en el área de mantenimiento de una empresa industrial podría mejorar la productividad. A través de herramientas como el mapeo del flujo de valor y la estandarización de procesos, el estudio demostró que la productividad aumentó un 18% y los desperdicios operativos se redujeron en un 10%. La investigación mostró cómo Lean Manufacturing puede ser una metodología efectiva no solo para la mejora de la producción, sino también para optimizar los procesos de mantenimiento.

López y Cruz (2021), realizó una investigación en Colombia cuyo objetivo fue el **“Diseño de un plan de mejoramiento del proceso extractivo y de beneficio de oro en la planta y mina ‘La Bendición’, ubicada en el municipio de Riosucio - Caldas, basado en herramientas Lean Manufacturing”**. El estudio se centró en mejorar los niveles de producción de la mina, los cuales estaban por debajo de su capacidad operativa, lo que impedía generar utilidades y solo permitía alcanzar un

punto de equilibrio operacional. Para ello, se analizaron los subprocesos de extracción y beneficio del oro, identificando la herramienta Kaizen como la más adecuada para optimizar los procesos mediante la mejora continua y la eliminación de ineficiencias. La aplicación de Lean Manufacturing permitió abordar la reducción de desperdicios y promover la sostenibilidad, competitividad y eficiencia en la operación minera.

1.5.2. Antecedentes Nacionales

Villalta (2024), en su investigación titulada “**Propuesta de plan de mantenimiento proactivo para la flota de camiones de acarreo en la unidad minera Constancia**”, abordó el problema del desgaste prematuro de componentes debido a un inadecuado seguimiento y planificación del mantenimiento de estos equipos. La justificación del estudio se centró en la necesidad de garantizar una mayor productividad en el transporte de mineral mediante la reducción de fallas inesperadas. El objetivo fue desarrollar un plan de mantenimiento proactivo basado en técnicas de monitoreo y análisis predictivo. La metodología incluyó un análisis de fallas utilizando herramientas como diagramas causa-efecto y el software RCM (Reliability-Centered Maintenance). Los resultados demostraron una mejora significativa en la detección temprana de fallas, aumentando la disponibilidad de los equipos del 80% al 92%. Las conclusiones subrayaron que la implementación de un enfoque proactivo en el mantenimiento permite optimizar tanto los costos operativos como la vida útil de los componentes, recomendando extender este modelo a otras áreas de la operación minera.

Cabrera (2024), en su estudio “**Aplicación de la metodología SMED para la mejora de la operatividad de las motoniveladoras modelo 24, marca Caterpillar, en una compañía minera extractora de cobre y zinc**”, demostró la aplicabilidad de la metodología SMED en el sector minero. Su investigación se centró en mejorar la operatividad de las motoniveladoras mediante la identificación de fallas

predominantes que afectaban la disponibilidad y confiabilidad de la flota. Al implementar SMED, se aumentaron los trabajos externos (preparación) y se redujeron los trabajos internos (equipo detenido), optimizando los tiempos de parada y mejorando la calidad de la intervención. Los resultados evidenciaron una disminución de fallas en el sistema de dirección y una mejora en el tiempo de respuesta ante fallos, lo que contribuyó a una operación más eficiente y confiable.

Ccahuana (2023), en su estudio “Aplicación del sistema Dispatch para mejorar el MTBF y MTTR en el programa de mantenimiento de los componentes de camiones de acarreo en la Empresa Minera Antamina”, identificó el problema de los altos tiempos de inactividad causados por una falta de planificación eficiente en el mantenimiento. La justificación se basó en la importancia de mejorar los indicadores de rendimiento como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio para Reparar (MTTR). El objetivo fue aplicar el sistema Dispatch como herramienta de gestión. Utilizó un enfoque cuantitativo con diseño preexperimental, recolectando datos de mantenimiento antes y después de la implementación. Los resultados mostraron un incremento del MTBF en un 20% y una reducción del MTTR en un 15%. Se concluyó que la herramienta Dispatch es fundamental para la gestión eficiente del mantenimiento, recomendando su integración con otros sistemas de análisis predictivo.

Gerson y Julio (2021), en su investigación “Modelo de Gestión de Mantenimiento para reducir los retrasos en la línea de producción de una pyme textil productora de fibra poliéster en Lima-Perú, aplicando herramientas del Lean Manufacturing, SMED y tres pilares del TPM”, abordó las dificultades del sector textil peruano, destacando la falta de procesos de producción adecuados en las pequeñas y medianas empresas frente a la creciente competencia extranjera. Su estudio propuso la implementación de herramientas Lean Manufacturing, SMED y tres

pilares del TPM para mejorar la gestión de mantenimiento, asegurar la disponibilidad operativa de las máquinas y reducir los retrasos en la producción. Los resultados demostraron que estas estrategias permitieron cumplir con los pedidos de manera oportuna y con las especificaciones requeridas, contribuyendo a la mejora de la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

Brian y William (2021), en su investigación “Propuesta de implementación de Lean Manufacturing para mejorar la productividad en la fabricación de discos de aluminio en una empresa laminadora”, realizaron un estudio aplicado con diseño cuasi experimental y enfoque cuantitativo para incrementar la productividad en una empresa laminadora. Implementaron herramientas de Lean Manufacturing como Poka Yoke, Estandarización y SMED en los procesos de laminado, recocido y discado. En el proceso de laminado, Poka Yoke permitió reducir el consumo de insumos en un 25%. La estandarización en el recocido optimizó el uso del horno en un 5.73%, mientras que la aplicación de SMED en el proceso de discado logró reducir el tiempo de ciclo en un 16%. Los resultados evidenciaron que la implementación de estas herramientas generó una mejora global de la productividad del 9.40%, destacando la efectividad de Lean Manufacturing para la optimización de procesos industriales.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Gestión del Mantenimiento

La gestión del mantenimiento consiste en el seguimiento de los activos físicos de una empresa para garantizar su disponibilidad y operatividad en condiciones óptimas, tanto para clientes internos como externos. Este proceso asegura que el parque industrial esté disponible con confiabilidad y seguridad durante el tiempo necesario para operar, cumpliendo con las condiciones técnicas exigidas para producir bienes o servicios que satisfagan las necesidades de los usuarios, con calidad, cantidad, y tiempos adecuados, al menor costo posible y con altos índices de productividad y competitividad.

2.1.2. Tipos de Mantenimiento

Según Amendola, L. (2022), los tipos de mantenimiento empleados en la industria son: Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo y Mantenimiento Proactivo. A continuación, se detalla cada uno:

2.1.2.1. Mantenimiento Correctivo

Para Amendola, L. (2022), este tipo de mantenimiento se realiza tras la aparición de una falla para restaurar un ISED (Infraestructura, Sistema, Equipos y Componentes) a un estado funcional que permita cumplir su propósito. Por otro lado, la norma ISO 14224 (2016) define el mantenimiento correctivo como aquel ejecutado tras identificar una avería, con el objetivo de devolver el componente a un estado funcional que garantice su operación requerida.

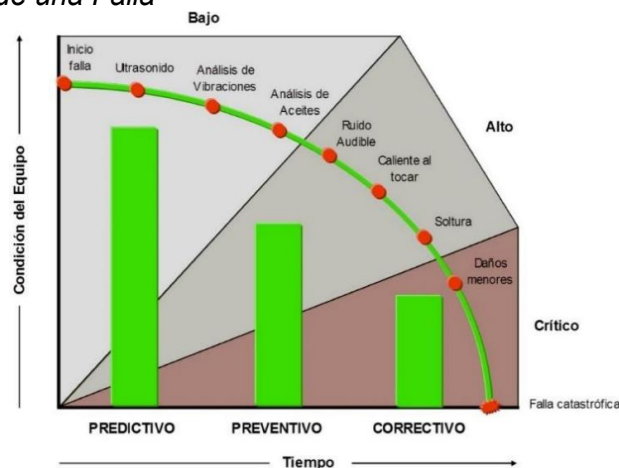
2.1.2.2. *Mantenimiento Preventivo*

Amendola, L. (2022) describe el mantenimiento preventivo como el que se efectúa en intervalos predeterminados o según criterios establecidos. Se emplean diversos medios para identificar patrones de fallas, estimar la vida útil de los equipos y prevenir su deterioro o fallo. Este tipo de mantenimiento busca reducir la probabilidad de averías y preservar la funcionalidad de los componentes. Los objetivos principales del mantenimiento preventivo son prevenir y predecir fallos, detectar problemas en sus etapas iniciales, evitar el deterioro del ISED y sus consecuencias negativas en los procesos productivos. La ISO 14224 (2016) también lo define como mantenimiento programado que reduce la probabilidad de averías o degradación funcional de un activo.

2.1.2.3. *Mantenimiento Predictivo*

El mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en la condición, consiste en la combinación de inspecciones, pruebas y análisis junto con acciones programadas para prevenir fallos inesperados. Su objetivo es identificar y monitorear las condiciones operativas de los equipos, optimizando su rendimiento y prolongando su vida útil. La figura 2 muestra la curva de evolución de una falla, representando las etapas desde la detección de anomalías hasta la falla funcional, con indicadores como variaciones en vibración, presencia de partículas en el aceite, ruido anómalo y aumento de temperatura.

Figura 2
Curva de Evolución de una Falla



Fuente: Ingeniero Leonardo Bolados Andrade

2.1.2.4. *Mantenimiento Proactivo*

Amendola, L. (2022) define el mantenimiento proactivo como una estrategia basada en técnicas como el RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad), RCA (Análisis de Causa Raíz), RAM (Estudios de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) y RBI (Inspección Basada en Riesgos). Este enfoque permite identificar problemas en la maquinaria, evitar su recurrencia y optimizar los activos de la planta para reducir los costos del ciclo de vida. Objetivos del mantenimiento proactivo, se enfocan en disminuir costos asociados a fallos y mantenimiento deficiente, mejorar procesos y productividad, optimizar el balance entre costo, riesgo y desempeño, aumentar la seguridad, reducir el gasto en repuestos y extender el ciclo de vida de los activos.

2.1.3. *Funciones*

Según Moubray (2021), la definición de las funciones de un activo debe incluir un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento deseado por el usuario, lo que permite establecer de forma clara lo que se espera de dicho activo. Por su parte, la norma SAE J1012 (2002) describe la función de un activo físico o sistema como aquello que el propietario o usuario desea que realice. Además, la norma SAE JA1011

(1999) resalta la importancia de definir el contexto operacional del activo y clasificar sus funciones en dos categorías principales:

a) *Funciones primarias*

Representan la razón principal por la cual se adquiere y existe un activo físico. Según Moubray (2021), estas funciones deben definirse con la mayor precisión posible, ya que suelen ser fáciles de identificar y el nombre de la mayoría de los activos industriales está asociado a su función primaria.

b) *Funciones secundarias*

Son aquellas actividades adicionales que el activo puede realizar, además de su función primaria. Moubray (2021) enfatiza que estas funciones, aunque menos obvias, pueden requerir mayor atención debido a las posibles consecuencias de su falla, que en algunos casos pueden ser más graves que las de las funciones primarias. Por ello, deben ser claramente identificadas para su correcta gestión.

2.1.4. *Contexto Operacional*

El contexto operacional se refiere al conjunto de condiciones reales bajo las cuales opera un equipo, incluyendo criterios y parámetros de desempeño definidos por el usuario. Este contexto incluye tanto las condiciones del proceso como las expectativas del usuario y se determina a través de herramientas como diagramas de proceso, descripciones detalladas y entrevistas con el personal involucrado en producción, operación y mantenimiento. Comprender este contexto es fundamental para implementar con éxito el mantenimiento estandarizado aplicando las metodologías SMED y LEAN, ya que proporciona una visión integral de los requisitos y limitaciones del equipo en su entorno operativo específico.

2.1.5. Plan de Mantenimiento

Según John Moubrey (2021), un plan de mantenimiento es un documento que detalla un conjunto estructurado de tareas diseñadas para garantizar el óptimo funcionamiento de un activo específico. Estas tareas deben ser definidas por personal calificado y ejecutarse con una frecuencia previamente determinada. El plan incluye actividades específicas, procedimientos claros, recursos necesarios y plazos establecidos, asegurando un enfoque organizado y eficiente para el mantenimiento.

2.1.6. Gravedad de Fallo

César Arróspide (2023) señala que el análisis de fallos implica recopilar, analizar, revisar y clasificar los fallos con el objetivo de identificar tendencias y problemas de bajo rendimiento en las piezas y componentes del sistema. Este análisis permite proponer mejoras para incrementar la confiabilidad y la eficiencia del equipo.

2.1.7. Falla

Amendola, L. (2022) define la falla como la incapacidad de un activo para desempeñar cualquiera de sus funciones requeridas. Este término engloba todas las condiciones indeseables que puedan presentarse en un equipo o sistema, afectando su operatividad. Las fallas son fundamentales en el análisis de confiabilidad, ya que permiten identificar problemas recurrentes y proponer soluciones. A continuación, se detallan los tipos de fallas:

2.1.7.1. Falla Potencial

Amendola, L. (2022) describe la falla potencial como un evento caracterizado por una degradación leve y medible en el desempeño de un activo. Aunque esta degradación no afecta de manera inmediata la capacidad del activo para cumplir su

función, podría evolucionar hasta convertirse en una falla funcional o total si no se aborda oportunamente. Dado que este tipo de falla suele pasar inadvertida para el personal de producción, el mantenimiento predictivo resulta esencial, ya que permite identificar y gestionar estas fallas antes de que escalen.

2.1.7.2. Falla Funcional

De acuerdo con Amendola, L. (2022), una falla funcional ocurre cuando un activo no puede cumplir con los requisitos de rendimiento establecidos, aunque aún pueda seguir operando parcialmente. Este tipo de falla es perceptible tanto para el personal de producción como para el de mantenimiento, y su gestión es crucial para evitar interrupciones en el proceso productivo. Por ello, es fundamental determinar y monitorizar los estándares de rendimiento esperados para identificar y corregir estas fallas.

2.1.8. Modos de Falla

Según Castellanos Elías (2023), los modos de falla representan las diversas formas en las que un producto, procedimiento o sistema puede dejar de cumplir con los requisitos del proceso o cesar en su funcionalidad. Un modo de falla puede ser considerado como una causa específica o una posible manera en que un sistema puede fallar. Es especialmente relevante cuando un sistema tiene múltiples maneras potenciales de fallar. La identificación y definición precisa de los modos de falla son fundamentales, ya que permiten enfocar de manera eficiente los análisis y las estrategias de mitigación. Para ello, los modos de falla deben describirse en términos técnicos específicos, evitando descripciones vagas o síntomas genéricos proporcionados por los usuarios o clientes.

2.1.9. Tipos de modo de falla

De acuerdo con John Moubray (2021), el modo de falla se refiere al fenómeno responsable de un evento o condición de falla. Existen diversas tendencias para clasificar los modos de falla, entre las cuales se destaca una propuesta que agrupa estos fenómenos en cinco tipos: falla total, falla parcial, falla intermitente, falla gradual y sobre funcionamiento. Además, los analistas de transmisión mecánica suelen identificar modos de falla específicos como fractura por fatiga, desgaste adhesivo y abrasivo, corrosión generalizada y por picadura, creep y creep-fatiga. Cabe mencionar que no todos los fallos son causados por el deterioro natural; factores como errores humanos y desafíos externos también desempeñan un papel significativo en las fallas de los sistemas. Por lo tanto, un análisis modal de efectos y fallos (AMEF) debe abarcar todas las posibles causas, no limitándose únicamente a las relacionadas con el desgaste.

2.1.9.1. Deterioro

Desde la perspectiva de Moubray (2021), el deterioro abarca todos los tipos de desgaste ordinario a los que un activo puede estar sometido debido a los factores de estrés inherentes a su interacción con el mundo real. Estos factores incluyen fenómenos como fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación y degradación del aislamiento, entre otros. Es fundamental considerar estos modos de fallo como parte del análisis de confiabilidad cuando su ocurrencia sea lo suficientemente probable. Además, resulta esencial describirlos con el nivel de detalle necesario para facilitar una comprensión precisa y el diseño de estrategias de mitigación efectivas.

2.1.9.2. Falla de Lubricación

Moubray (2021) destaca que los modos de falla relacionados con la lubricación pueden dividirse en dos categorías principales: Falta de lubricante, que ocurre cuando

un punto de lubricación no recibe la cantidad necesaria de lubricante, lo que genera un desgaste acelerado y posibles fallas del componente y falla del lubricante, que se refiere al deterioro de las propiedades físicas o químicas del lubricante, que deja de cumplir su función de reducir la fricción y disipar el calor.

2.1.9.3. Polvo o suciedad

John Moubray (2021) explica que uno de los principales factores que contribuyen a las averías es la presencia de polvo o suciedad. Estas partículas pueden interferir directamente con el funcionamiento de las máquinas, ocasionando atascos, obstrucciones o bloqueos. Además, la suciedad afecta negativamente la apariencia de los activos, comprometiendo funciones relacionadas con su estética al dar la impresión de descuido. Asimismo, puede generar problemas de alineación en máquinas-herramientas, afectar la calidad de los productos y deteriorar los sistemas de lubricación. Por lo tanto, cuando se identifique que la suciedad tiene el potencial de causar fallas funcionales, es indispensable documentar estos problemas en un análisis modal de fallos y efectos (AMFE) para implementar acciones correctivas efectivas.

2.1.9.4. Errores humanos

Según John Moubray (2021), los errores humanos pueden reducir significativamente la capacidad de un proceso, llevándolo al punto en que ya no sea capaz de satisfacer las necesidades del usuario. Este tipo de fallas suele derivarse de una mala interpretación de las instrucciones, procedimientos inadecuados o falta de capacitación, lo que subraya la importancia de contar con estrategias de formación continua y protocolos claros para minimizar su impacto.

2.1.9.5. Falla de lubricación

John Moubray (2021) señala que cuando se pone en servicio un activo físico, el rendimiento deseado puede exceder gradualmente la capacidad del sistema. Esto incrementa la tensión sobre los componentes y acelera el deterioro hasta que el activo no puede soportar la carga demandada. Este tipo de falla ilustra la necesidad de monitorear de manera constante el desempeño del lubricante y los puntos de lubricación para garantizar una operación confiable y prolongar la vida útil de los activos.

2.1.9.6. Capacidad inicial

Según John Moubray (2021), la capacidad inicial de un activo debe ser suficiente para cumplir con el rendimiento requerido desde el inicio de su operación. Generalmente, los problemas relacionados con la incapacidad inicial afectan únicamente a uno o dos componentes del activo, rara vez a su totalidad. Esto resalta la importancia de un diseño adecuado y de pruebas previas al servicio para garantizar que el sistema cumpla con los estándares esperados desde su puesta en marcha y evite problemas prematuros en el desempeño del activo.

2.1.10. Causas de falla

Según Castellanos Elías (2023), las posibles causas de un fallo se definen como indicios o factores que explican cómo podría producirse, siendo gestionables o evitables en muchos casos. Entre estas causas, un fallo de diseño originado en el propio modo de fallo puede ser una de las más relevantes. Existe una relación directa entre la causa y el modo de fallo resultante, ya que, si la causa ocurre, inevitablemente se manifestará el modo de fallo asociado. La identificación precisa de las causas raíz permite establecer controles y planes de acción adecuados, aumentando la capacidad de prevenir o mitigar el impacto del fallo. Es fundamental analizar cada causa de

manera independiente cuando existen múltiples factores contribuyentes, lo que facilita una gestión integral y enfocada en eliminar o reducir el riesgo asociado a cada una.

2.1.11. Efectos de falla

Castellanos Elías (2023) explica que los efectos de los modos de fallo, percibidos desde la perspectiva del cliente, se conocen como efectos potenciales del fallo. Estos efectos se manifiestan en forma de observaciones, problemas o sensaciones que el cliente, tanto interno como externo, puede experimentar. En este contexto, se considera cliente a cualquier usuario final que interactúe directa o indirectamente con el producto o sistema. Los efectos de falla pueden variar desde simples inconvenientes hasta impactos severos que afectan la funcionalidad, confiabilidad o seguridad del sistema, lo que resalta la importancia de evaluarlos exhaustivamente durante el análisis de fallos.

2.1.12. Evidencia de falla

John Moubray (2021) destaca que los fallos deben caracterizarse de forma que permitan a los analistas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) determinar si las condiciones normales de funcionamiento son capaces de revelar la pérdida de funcionalidad causada por un modo de fallo particular. Este enfoque asegura que las fallas sean detectadas de manera temprana y eficaz, posibilitando la implementación de medidas preventivas antes de que evolucionen en problemas críticos.

2.1.13. Riesgo para la seguridad y el medio ambiente

Según John Moubray (2021), al formular los efectos de un fallo, es esencial detallar cómo podría desencadenarse y evaluar las consecuencias potenciales sobre la seguridad y el medio ambiente. Algunos modos de fallo representan riesgos

significativos, como lesiones graves, pérdida de vidas humanas o infracciones a normas legales y medioambientales.

2.1.14. Acción correctiva

De acuerdo con John Moubray (2021), las consecuencias de los fallos deben incluir una descripción clara de las acciones necesarias para resolver el problema. Estas acciones correctivas no solo deben abordar la restauración de la funcionalidad del sistema, sino también considerar el impacto en el tiempo de inactividad asociado. Una adecuada planificación y ejecución de las acciones correctivas puede minimizar los costos operativos y garantizar la continuidad del servicio o proceso afectado.

2.1.15. Análisis de fallas

Según Cajachagua Aire (2021), el análisis de fallas es un método sistemático que emplea diversas técnicas y procesos para identificar la causa raíz de las fallas en equipos como el molino de bolas. Este enfoque permite examinar las condiciones y acciones peligrosas que actúan como factores contribuyentes y que, combinados, provocan eventos indeseables. El análisis de fallas es esencial para diagnosticar problemas operativos y establecer medidas preventivas que eviten recurrencias. Al identificar los factores que generan condiciones de riesgo, se refuerza la seguridad, confiabilidad y eficiencia de los sistemas, optimizando el mantenimiento y prolongando la vida útil de los equipos.

2.1.16. Análisis de la causa y efecto

El análisis de causa y efecto es una herramienta fundamental para identificar y evaluar gráficamente las relaciones entre las diferentes partes principales de un equipo, como el molino de bolas. Este enfoque facilita la comparación cualitativa entre componentes internos y externos, permitiendo analizar desgastes, tiempos de vida útil

y factores que influyen en el deterioro del equipo. Este tipo de análisis revela que un efecto puede tener múltiples causas, lo que requiere representar los resultados como un árbol lógico de fallas. Este modelo no solo organiza visualmente las posibles causas, sino que también permite priorizarlas para diseñar estrategias efectivas de mantenimiento.

2.1.17. Camión Minero

Un camión minero es un vehículo de gran capacidad diseñado específicamente para el transporte de material en operaciones mineras a cielo abierto. Estos camiones destacan por su tamaño, resistencia y capacidad de carga, que pueden superar las 400 toneladas métricas. Su diseño permite operar en terrenos extremos, transportando materiales como mineral extraído o desmonte. Según Caterpillar (2021), los camiones mineros se consideran una pieza clave en la logística minera, ya que garantizan la continuidad y eficiencia de las operaciones.

2.1.18. Principales componentes del camión minero

Los principales componentes de un camión minero mecánico son: El motor, la cabina, el sistema de dirección, la transmisión, el diferencial, los mandos finales y la tolva.

Figura 3
Componentes de un camión minero con sistema mecánico



Fuente: Recuperado del manual de camiones de Caterpillar

2.1.19. Especificaciones y parámetros del camión Caterpillar 793D

2.1.19.1. Detalles del motor

El motor Cat 3516B es un diésel de 16 cilindros, cuatro tiempos y cuatro turbocompresores, diseñado para aplicaciones mineras exigentes. Cumple con las normas EPA Tier I y mantiene su potencia hasta altitudes de 2.750 m, con opción HAA para mayores altitudes. Su reserva de par del 23% mejora el rendimiento en aceleraciones y pendientes, y su diseño de pistón de acero forjado reduce emisiones y desgaste. El sistema de inyección electrónica y el ECM optimizan la eficiencia, mientras que el posenfriador y el sistema de enfriamiento modular mejoran la combustión y reducen el consumo de combustible. Este motor ofrece una potencia máxima de 1875 HP a 1200 RPM, ideal para mover grandes cargas en minería. Su sistema de renovación de aceite extiende los intervalos de cambio de 500 a 4.000 horas, reduciendo costos. Además, cuenta con un sistema de protección electrónica que previene fallos en condiciones extremas, aumentando la disponibilidad y la durabilidad del equipo.

Tabla 1

Especificaciones Técnicas del Motor de un motor Cat 3516B

Modelo de motor	Cat® 3516E	
Potencia bruta: SAE J1995	1.801 kW	2.415 hp
Potencia neta: SAE J1349	1.694 kW	2.272 hp
Velocidad nominal	1.750 rpm	
Clasificación de emisiones	Equivalente a Tier 1 de la EPA de EE.UU.	
Calibre	170 mm	6,7"
Carrera	215 mm	8,5"
Cilindrada	78 L	4.760 in ³

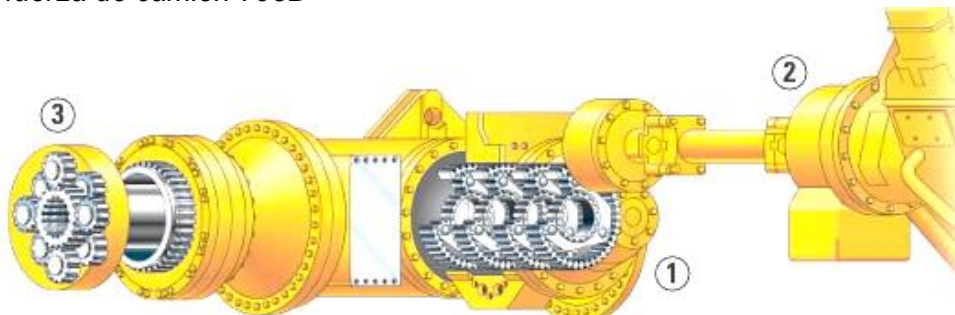
Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

2.1.19.2. Tren de fuerza

El tren de fuerza mecánico Cat mejora la productividad y reduce costos al suministrar más potencia al terreno. La servotransmisión planetaria de 6 velocidades garantiza potencia constante y durabilidad, con un circuito de aceite exclusivo que 30 prolonga la vida útil. El convertidor de par con embrague de traba maximiza la tracción y suaviza los cambios, conectándose a 8 km/h para potenciar.

Figura 4

Tren de fuerza de camión 793D



Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

Tabla 2*Especificaciones de operación*

Capacidad nominal de carga útil	218 toneladas métricas	240 toneladas cortas
Capacidad de la caja – SAE (2:1)	129 m ³	169 yd ³
Capacidad máxima	Especial	
Velocidad máxima-con carga	54,3 kph	33,7 mph
Ángulo de la dirección	36 Grados	
Radio de giro – delantero	28,42 m	93,2 pie
Diámetro del círculo de giro	32,66 m	107,15 pie

Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

Tabla 3*Velocidades de desplazamiento máximas con neumáticos estándar 40-R57*

Avance 1	11,7 km/h	7,2 mph
Avance 2	15,7 km/h	9,8 mph
Avance 3	21,5 km/h	13,4 mph
Avance 4	29,1 km/h	18,1 mph
Avance 5	39,4 km/h	24,5 mph
Avance 6	54,3 km/h	33,7 mph
Retroceso	10,9 km/h	6,8 mph
Velocidad máxima: con carga	54,3 km/h	33,7 mph

Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

Tabla 4*Características de los mandos finales*

Planetario de doble reducción con ejes totalmente libres.	
Relación diferencial	1.8:1
Relación planetaria	16:1
Relación de reducción total	28.8:1

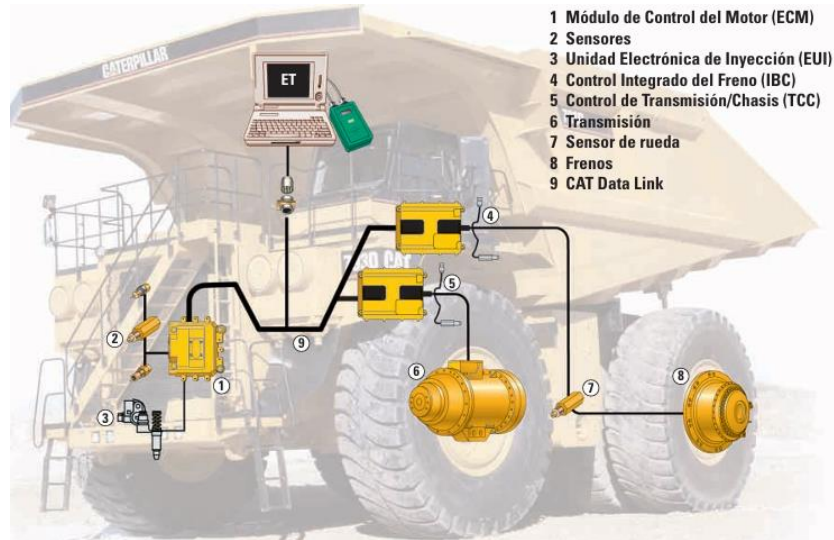
Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

2.1.19.3. Integración electrónica del Motor con el Tren de Fuerza

La integración electrónica de los componentes críticos del tren de fuerza optimiza el rendimiento y la vida útil del camión, reduciendo costos operativos. El Enlace de Datos Cat conecta los sistemas computarizados para un mejor rendimiento y fiabilidad. El Control de Sentido de Marcha regula la velocidad del motor durante los cambios de dirección, evitando daños. El Inhibidor de Cambios con Caja Subida impide cambios de marcha con la caja levantada, mientras que el Cambio Controlado de Aceleración ajusta las rpm para reducir el desgaste. La transmisión está protegida con un Neutralizador de Retroceso y un Inhibidor de Cambio Descendente, evitando

cambios bruscos o a altas velocidades. La Protección contra Exceso de Velocidad cambia automáticamente a una marcha superior si se exceden las rpm del motor. El Cat ET permite diagnósticos eficientes al proporcionar acceso a datos almacenados, facilitando el mantenimiento. El Control Integrado del Freno (IBC) combina el control del retardador hidráulico y tracción.

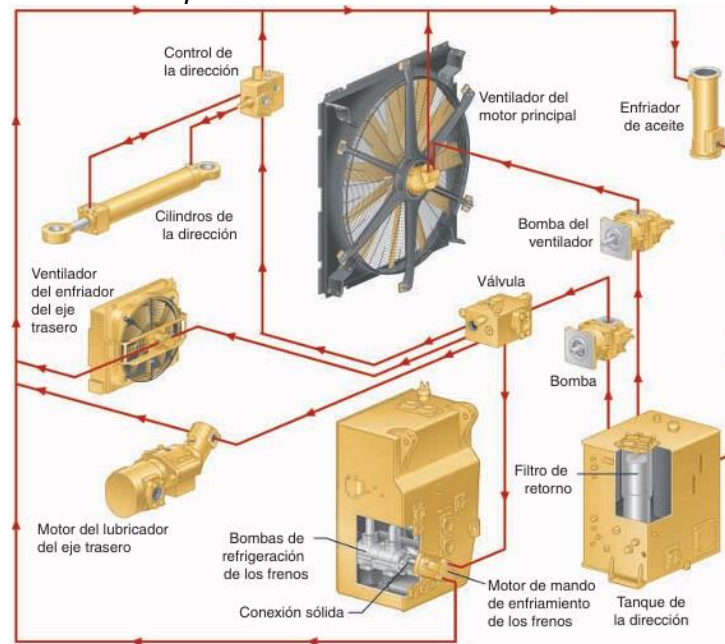
Figura 5
Integración electrónica del motor con el tren de fuerza



Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

El Sistema de Administración de Potencia Hidráulica reduce pérdidas parásitas y optimiza la potencia con bombas de pistón de desplazamiento variable, priorizando funciones críticas como la dirección y la refrigeración de frenos.

Figura 6
Sistema de administración de potencia hidráulica

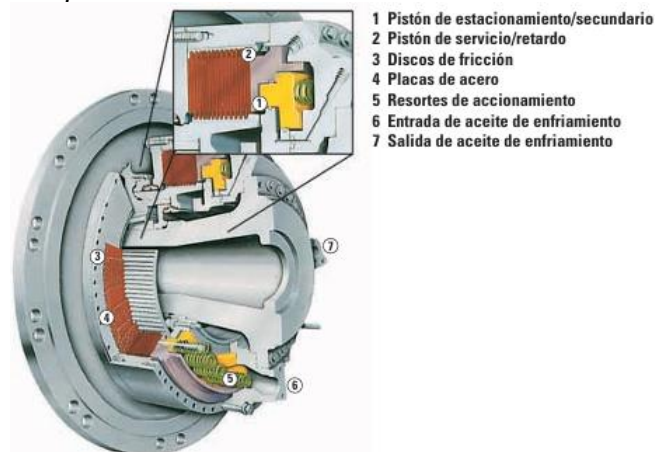


Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

2.1.19.4. Sistema de frenos Caterpillar

El sistema de frenos Caterpillar proporciona un frenado fiable y un control superior al integrar frenos de servicio, secundarios, de estacionamiento y funciones de retardo en un solo sistema. Los frenos de disco múltiples enfriados por aceite, presentes en las cuatro ruedas y refrigerados por intercambiadores agua-aceite, aseguran un rendimiento duradero y eficiente. El material de fricción de larga duración reduce el desgaste y el ruido, mientras que su diseño de discos y planchas grandes minimiza la necesidad de mantenimiento al operar sin ajustes y estar protegido contra contaminantes. El freno de estacionamiento, también enfriado por aceite, se conecta por resorte y se libera hidráulicamente, garantizando una excelente retención en pendientes de hasta el 15%. Un pistón de dos piezas combina todas las funciones de frenado, activando automáticamente el freno secundario si la presión hidráulica cae a niveles inseguros.

Figura 7
Sistema de frenos Caterpillar



Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

Tabla 5
Parámetros del Sistema de Frenos

Frenos de servicio con discos sumergidos en aceite en las cuatro esquinas, enfriados por aceite y de accionamiento hidráulico		
Superficie de los frenos de discos sumergidos en aceite delanteros		
Tambor de ruedas estándares	89.727 cm ²	13.907 pulg ²
Tambores de ruedas de larga duración	134.665 cm ²	20.873 pulg ²
Superficie de los frenos de discos sumergidos en aceite traseros		
Tambor de ruedas estándares	134.590 cm ²	20.861 pulg ²
Tambores de ruedas de larga duración	155.383 cm ²	24.084 pulg ²
Estándar (de servicio y secundario)	ISO 3450:2011	

Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

El Control Automático de Retardo Hidráulico (HARC) gestiona electrónicamente el retardo en pendientes, manteniendo las rpm y la temperatura del aceite óptimas, ofreciendo un frenado suave y progresivo, y reduciendo costos operativos al evitar el cabeceo del camión y disminuir la carga del sistema de aire. Además, previene el exceso de velocidad del motor y ajusta el frenado con una distribución 60/40 entre el eje trasero y delantero para evitar bloqueos de ruedas. El Sistema de Control de Tracción (TCS) optimiza la tracción al monitorear el deslizamiento de las ruedas y ajustar el frenado. Ambos sistemas se integran con el Control Integrado de Frenado (IBC) para un rendimiento óptimo, mientras que el ECM del motor corta la inyección de combustible en aplicaciones de retardo, mejorando la eficiencia de consumo.

Figura 8
Sistema de Control HARC & TCS

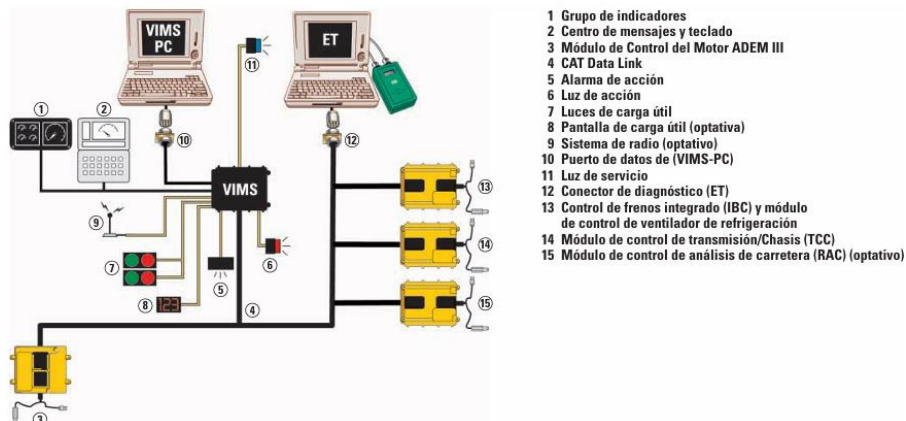


Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

2.1.19.5. Sistema de Monitoreo VIMS

El sistema de monitoreo VIMS® de Caterpillar proporciona datos en tiempo real sobre el estado y la carga útil del camión 793D, optimizando su rendimiento y eficiencia. Sensores distribuidos en la máquina detectan fallas antes de que se agraven, reduciendo costos y tiempos de inactividad. Además, almacena información de diagnóstico y producción para un mejor mantenimiento, alertando al operador sobre condiciones anómalas. También gestiona la carga útil para evitar sobrecargas y limitar la velocidad si es necesario. Herramientas como VIMS-PC y VIMS Supervisor permiten un análisis detallado, mientras que módulos opcionales como el Control de Análisis de Caminos (RAC) mejoran la seguridad y eficiencia operativa.

Figura 9
Sistema de monitoreo VIMS



Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

2.1.19.6. Sistema de Levantamiento de Tolva

El sistema de levantamiento de tolva de los camiones Cat está diseñado para un alto rendimiento y fiabilidad en minería, con opciones que optimizan el costo por tonelada según el material y las condiciones del camino. Integrado al chasis para mayor resistencia, cuenta con control electrónico de levantamiento y amortiguación automática para reducir impactos, logrando tiempos de descarga rápidos (20,25 s de subida y 17,5 s de bajada). Además, ofrece revestimientos resistentes a impactos y abrasión, y opciones como suplementos laterales y extensiones de cola que reducen derrames y mejoran la eficiencia. El diseño estructural maximiza la rigidez y capacidad de la caja.

Tabla 6

Parámetros de sistema de levantamiento

Cilindros hidráulicos dobles de dos etapas con válvula de amortiguación.		
Flujo de la bomba: velocidad alta en vacío	854 L/min	226 gal/min
Configuración de la válvula de alivio: levantamiento	20.340 kPa	2.950 psi
Tiempo de levantamiento de la caja: velocidad alta en vacío	19,8 segundos	
Tiempo de bajada de la caja: a posición libre	19,9 segundos	
Disminución de la potencia de la caja: velocidad alta en vacío	17,8 segundos	

Fuente: Recuperado de la ficha técnica del camión Caterpillar 793D

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Disponibilidad mecánica

La disponibilidad mecánica se refiere a la capacidad de un equipo para estar operativo en relación con el tiempo total disponible, considerando tanto los mantenimientos preventivos (PM) como correctivos. Según John Moubrey (2021), se

define como la relación entre las horas efectivas de operación y el tiempo total dedicado a paradas programadas y no programadas, calculándose en la ecuación 1:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} ; Disponibilidad(\%) = \frac{Horas\ disponibles}{Horas\ planificadas} \times 100\% \dots (1)$$

En el contexto de mantenimientos preventivos (PM), este indicador refleja el impacto de un proceso de mantenimiento estandarizado en la reducción de tiempos de intervención y la optimización de la programación de actividades. Esto permite aumentar el tiempo medio entre fallas (MTBF) al minimizar las interrupciones asociadas a fallas imprevistas. Por otro lado, cuando se consideran mantenimientos correctivos, la disponibilidad mecánica mide la eficiencia en la respuesta y solución de problemas que devuelven al equipo a operación. En conjunto, un mantenimiento bien estructurado, que integre tanto las actividades preventivas como correctivas, contribuye a mejorar la disponibilidad general, maximizando el tiempo de operación y reduciendo las paradas.

2.2.2. Confiabilidad

Según Mora, L. (2021), la confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo cumpla con las funciones para las que fue diseñado de manera satisfactoria, durante un tiempo específico y bajo condiciones normales de operación y del entorno. Este concepto refleja la capacidad de los equipos para operar sin interrupciones, siendo un aspecto clave en la gestión de mantenimiento.

El indicador está asociado a la confiabilidad es el MTTF (Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo) , que mide el tiempo promedio en el que un equipo opera sin fallas. No obstante, en un contexto donde es necesario considerar todas las paradas (ya sean correctivas, preventivas, logísticas, o de cualquier índole), el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) se presenta como una herramienta más apropiada para medir la efectividad global del equipo. El OEE integra tres factores principales:

- **Disponibilidad:** Todas las paradas del equipo, ya sean planificadas o no.
- **Desempeño:** La velocidad de operación respecto a la capacidad máxima del equipo.
- **Calidad:** Mide la proporción de productos aceptables frente al total producido.

De esta manera, la confiabilidad no solo se centra en el tiempo promedio entre fallas, sino que se amplía para incluir una evaluación integral de la eficacia operativa, reflejando tanto la capacidad del equipo para evitar fallas como su impacto en la continuidad y productividad de las operaciones.

2.2.3. *Mantenibilidad*

La mantenibilidad se define como la probabilidad de que un equipo pueda ser reparado y devuelto a su estado operativo normal tras una falla, dentro de un tiempo determinado. Este concepto abarca tanto la capacidad técnica como la eficiencia en las tareas de mantenimiento, considerando la disponibilidad de recursos y personal.

El indicador clave es el MTTR (Tiempo Promedio para Reparar), que mide el tiempo necesario para identificar y solucionar fallas. Este tiempo puede verse afectado por pérdidas asociadas, como demoras en logística, disponibilidad de repuestos o tiempos de espera. Mejorar la mantenibilidad requiere no solo optimizar las actividades correctivas, sino también reducir las pérdidas que incrementan el tiempo total de reparación, garantizando procesos más eficientes y ágiles.

2.2.4. *MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos)*

Según John Moubray (2021), el MTBF mide el tiempo promedio entre fallos consecutivos en sistemas reparables, proporcionando una indicación del intervalo operativo efectivo antes de que ocurra una falla. Este indicador excluye tiempos asociados a reparaciones, inspecciones o mantenimiento preventivo. El MTBF puede

verse afectado por cambios en el tiempo de operatividad del sistema, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo eficientes para maximizar este indicador y garantizar una mayor confiabilidad operativa, se muestra su fórmula en la ecuación 2.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}} \dots(2)$$

2.2.5. MTTR (Tiempo Promedio de Reparación)

Según John Moubrey (2021), el MTTR representa el tiempo promedio necesario para reparar o reemplazar un componente averiado, considerando únicamente el tiempo de acción correctiva y excluyendo tiempos de espera, recalificaciones o inspecciones. Este indicador puede verse afectado por factores que alteran el tiempo medio entre reparaciones, como la complejidad de las fallas, la disponibilidad de recursos y la eficiencia de los procedimientos de mantenimiento, lo que lo convierte en una clave métrica para evaluar la mantenibilidad del sistema, se muestra su fórmula en la ecuación 3.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}} \dots(3)$$

2.2.6. MTTF (Tiempo Promedio Operativo Hasta el Fallo)

El MTTF indica el tiempo promedio esperado entre el inicio de la operación de un equipo y la ocurrencia de un fallo. Es una métrica clave para evaluar la confiabilidad de un componente o sistema; un mayor valor de MTTF refleja una mayor confiabilidad y durabilidad del equipo, se muestra su fórmula en la ecuación 4.

$$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}} \dots (4)$$

2.2.7. MTFS (Tiempo Promedio Fuera de Servicio)

El MTFS mide el tiempo promedio que un equipo o sistema permanece fuera de servicio debido a reparaciones o mantenimiento correctivo. Este indicador es crucial para evaluar la efectividad en la restauración de un equipo a condiciones óptimas de operación después de un fallo, permitiendo una gestión más precisa de los tiempos de inactividad y optimización de recursos, se muestra su fórmula en la ecuación 5.

$$MTFS = \frac{\textit{Tiempo total de operaciones correctivas}}{\textit{N}^\circ \textit{ de reparaciones correctivas}} \dots (5)$$

2.2.8. AMEF (Análisis Modal de Fallos y Efectos)

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) es una metodología empleada sistemática para identificar, analizar y priorizar posibles fallos en equipos, procesos o sistemas, buscando mitigar sus consecuencias y optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los mismos. Su aplicación es fundamental para detectar modos de fallo, determinar sus efectos sobre el desempeño y las posibles causas que los originan, garantizando una gestión eficiente del mantenimiento y la operación.

El AMEF comienza con la definición del alcance del análisis, considerando si se aplican a productos, procesos o sistemas. Este enfoque permite trabajar con equipos críticos siguiendo las directrices de la norma ISO 14224, y requiere identificar componentes, subsistemas y modos de fallo asociados. En el caso de los camiones mineros Caterpillar 793D, es recomendable aplicar una combinación de AMEF de Proceso y AMEF de Sistema para abordar los diferentes niveles de análisis requeridos:

a) AMEF de Producto

Se utiliza para predecir posibles fallos en el diseño de un equipo o componente, asegurando su confiabilidad antes de la fabricación y puesta en operación. Este tipo

es útil cuando se busca mejorar la robustez del diseño y prevenir fallos recurrentes. Este tipo se emplea para evaluar los procedimientos de mantenimiento aplicados a los camiones. Identifica fallos potenciales en actividades específicas, como inspecciones, ajustes o reemplazo de componentes, y permite optimizar estas tareas para minimizar el tiempo medio entre fallos (MTBF) y reducir tiempos de inactividad.

b) AMEF de Sistema

Evalúa el diseño y la integración de subsistemas en un sistema complejo, identificando fallos en la concepción o interconexión de componentes. Este enfoque asegura la compatibilidad, funcionalidad y confiabilidad global del sistema desde su diseño inicial. Se utiliza para analizar el diseño y la interacción de subsistemas críticos del camión, como el sistema hidráulico, el tren motriz y los sistemas eléctricos. Esto permite identificar modos de fallo que pueden afectar la funcionalidad general del equipo y priorizar acciones correctivas o preventivas.

2.2.9. SMED (*Single Minute Exchange of Die*)

Según McKinsey (2022), el propósito principal de la metodología SMED es reducir significativamente los tiempos de preparación y cambio en procesos productivos, mejorando la eficiencia global de las operaciones. Esto se logra optimizando la ejecución de actividades que agregan valor, minimizando las tareas incidentales y eliminando los desperdicios, lo que conlleva a una reducción sustancial del tiempo total de las tareas.

La metodología SMED se aplica de manera efectiva en diferentes contextos industriales y operativos, como en mantenimientos mayores y puntuales donde las intervenciones programadas que requieren una planificación detallada para minimizar el tiempo de inactividad. En mantenimientos rutinarios o frecuentes, que cuenta con

tareas periódicas donde la eficiencia en la ejecución es clave para la continuidad operativa y en procesos operativos y rutinarios compuestos de actividades repetitivas donde la optimización de tiempos puede impactar directamente en la productividad.

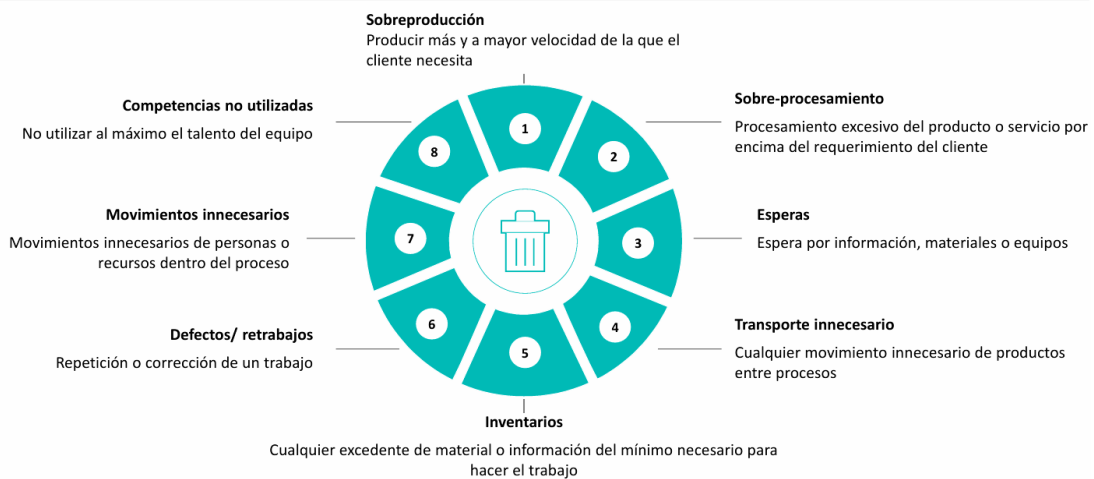
La implementación de SMED genera una serie de beneficios clave:

- Incremento de la productividad: Optimiza la utilización de los recursos al reducir tiempos muertos y promover un trabajo multidisciplinario eficiente.
- Mejora de la gestión de la ruta crítica: Facilita la identificación y eliminación de actividades innecesarias, permitiendo un flujo de trabajo más fluido.
- Reducción de los tiempos de inactividad: Disminuye significativamente los tiempos de parada, aumentando la disponibilidad y utilización de los recursos productivos.

SMED se estructura en seis pasos esenciales para la optimización de las actividades:

- a) Medición del tiempo total de la tarea (Wrench Time):** Cuantificación precisa del tiempo efectivo requerido para completar la actividad, identificando mejoras.
- b) Determinar actividades internas y externas de la tarea:** Diferenciación entre tareas que requieren la detención del proceso (internas) y aquellas que pueden ejecutarse sin interrumpir la operación (externas).
- c) Convertir las actividades internas en externas:** Rediseño de las actividades para que la mayor parte de las tareas puedan ejecutarse sin detener el proceso.
- d) Eliminación del desperdicio interno:** Análisis y eliminación de actividades innecesarias durante la detención del proceso, reduciendo tiempos improductivos.
- e) Eliminación del desperdicio externo:** Finalización de la tarea asegurando la eliminación de pérdidas y validando la eficiencia de la intervención.
- f) Estandarizar y mantener las buenas prácticas:** Mantener un estándar en la ejecución de cada tarea junto con las buenas prácticas.

Figura 10
Tipos de desperdicios aplicables a los diferentes procesos productivos

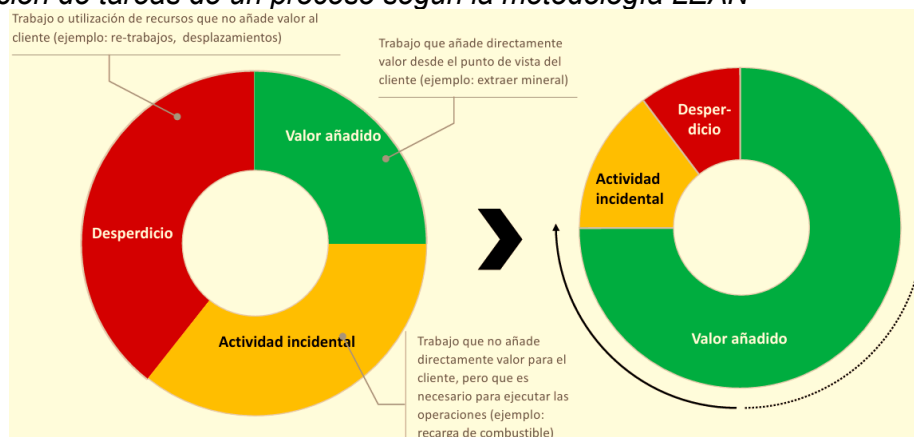


Fuente: Conceptos de metodología SMED definidos por McKinsey

2.2.10. LEAN

El método Lean se originó en el Sistema de Producción de Toyota (TPS), desarrollado durante más de 60 años bajo la dirección de Taiichi Ohno. Este sistema nació de la necesidad de eficiencia en un contexto de recursos limitados tras la Segunda Guerra Mundial, revolucionando la producción global mediante un enfoque en la eliminación de desperdicios y la creación de valor para el cliente. Lean es una filosofía de trabajo enfocada en hacer las cosas correctamente, en la cantidad y tiempo necesario, minimizando desperdicios, variabilidad e inflexibilidad. Su objetivo central es maximizar el valor añadido (wrench time) y optimizar la utilización de recursos disponibles, generando un impacto directo en la productividad y eficiencia operativa.

Figura 11
Clasificación de tareas de un proceso según la metodología LEAN

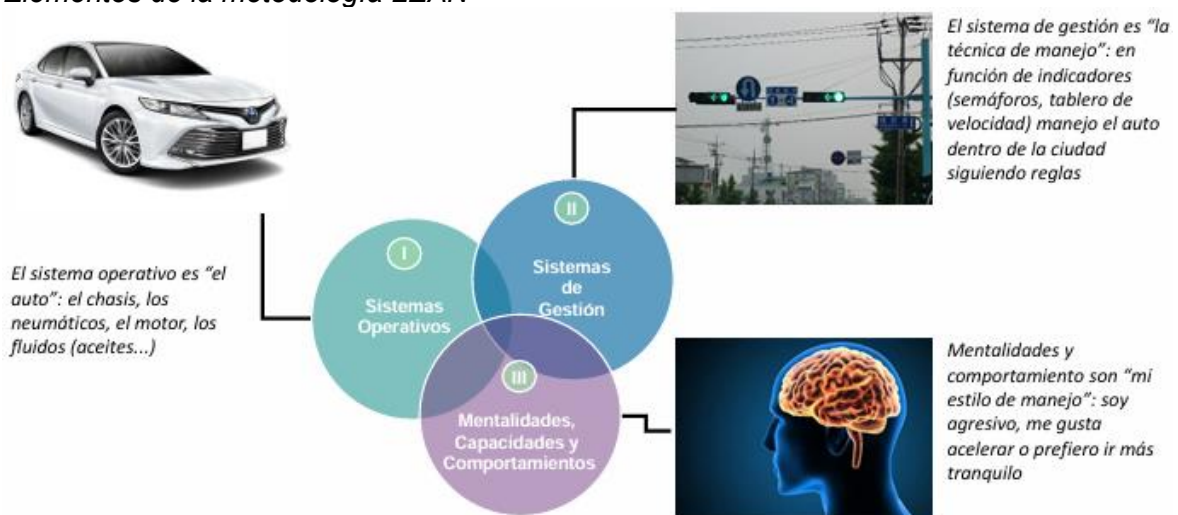


Fuente: Conceptos de metodología LEAN

La metodología Lean se implementa bajo 3 elementos clave:

- a) **Sistemas Operativos:** Estructuran procesos para la creación de valor, gestionando mantenimiento, operaciones, diseño, planificación y ejecución. Incluyen procesos, estándares operativos y activos/equipos.
- b) **Sistema de Gestión:** Define cómo se gestionan los recursos para alcanzar objetivos con eficiencia. Enfocado en un objetivo común, mejora continua, procesos eficientes y desarrollo de personas.
- c) **Mentalidades y Comportamientos:** Involucra principios como el respeto al individuo, liderazgo con humildad, pensamiento científico y creación de valor al cliente.

Figura 12
Elementos de la metodología LEAN



Fuente: Conceptos de metodología LEAN definidos por McKinsey

2.2.11. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM, una extensión de LEAN que busca mejorar la efectividad global de los equipos identificando y eliminando pérdidas que afectan la disponibilidad y el rendimiento. En el caso del mantenimiento de los camiones Caterpillar 793D, las pérdidas que se abordan pueden clasificarse en cuatro grandes categorías:

a) Pérdidas por Paradas Planificadas

- ✓ **Paradas Programadas:** Incluyen mantenimientos preventivos, inspecciones y capacitaciones programadas. Aunque sea necesario, estas actividades pueden optimizarse mejorando la planificación, asignación de recursos y tiempo necesario para reducir su impacto en la disponibilidad.
- ✓ **Cambio de Producto, Arranques y Ajustes:** En camiones mineros, esto se relaciona con ajustes en las configuraciones de operación, lo que puede minimizarse con análisis predictivo y procedimientos estandarizados.

b) Pérdidas por Paradas No Planificadas

- ✓ **Averías en Equipos:** Las fallas mecánicas o eléctricas constituyen una pérdida crítica. El uso de herramientas como el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) puede priorizar las fallas de mayor impacto y diseñar estrategias de mitigación.
- ✓ **Averías en Procesos:** Problemas externos al equipo, como retrasos en lavado del equipo o condiciones del terreno, afectan el desempeño. Estas pérdidas pueden reducirse mediante la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real.
- ✓ **Ajustes y Puesta a Punto No Planificados:** Cambios no anticipados de componentes desgastados, como neumáticos o filtros, pueden optimizarse mediante un programa de mantenimiento predictivo basado en datos históricos.
- ✓ **Retrabajo:** Relacionado con reparaciones deficientes que requieren intervención adicional. La estandarización de procedimientos y capacitación puede mitigar esta pérdida.

c) Pérdidas que Impiden la Efectividad del Trabajo Humano

- ✓ **Deficiencias en la Gestión:** Retrasos en la entrega de materiales, instrucciones incompletas y mala gestión de turnos son áreas críticas por mejorar. El uso de software de gestión como SAP o AMT puede optimizar la programación y distribución de tareas.
- ✓ **Organización Ineficiente:** Implica asignar tareas o recursos de forma desequilibrada entre las diferentes actividades diarias del mantenimiento.

- ✓ **Mediciones, Controles y Ajustes Excesivos:** La estandarización de procedimientos de inspección y monitoreo evitará redundancias en el proceso de mantenimiento.

Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de las variables

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis general*

La aplicación de estrategias LEAN y SMED mejora el mantenimiento preventivo en flotas de camiones mineros, logrando una reducción significativa en los tiempos de intervención.

3.1.2. *Hipótesis específicas*

- La optimización de actividades externas de preparación mediante SMED reduce significativamente el tiempo de preparación antes del mantenimiento preventivo.
- La estandarización de tareas internas bajo la metodología SMED disminuye el tiempo efectivo de intervención en los mantenimientos preventivos.
- La aplicación de herramientas LEAN enfocadas en el valor agregado y la eficiencia en el uso de recursos reduce el tiempo total de intervención durante los mantenimientos preventivos.

3.2. Variables

A continuación, se indica la variable dependiente e independiente que se evaluará durante la aplicación del mantenimiento estandarizado de camiones Caterpillar 793D aplicando las estrategias LEAN y SMED.

3.2.1. *Variables independientes*

- Estrategia de mejora en mantenimiento preventivo mediante SMED.
- Estrategia de mejora en mantenimiento preventivo mediante LEAN.

3.2.2. *Variable dependiente*

Reducción de los tiempos de intervención en el mantenimiento preventivo.

3.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 7

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	OPERACIONALIZACIÓN	
			DIMENSIONES	INDICADORES
Estrategia de mejora en mantenimiento preventivo mediante SMED	SMED (Single Minute Exchange of Die) es una metodología que busca reducir el tiempo de preparación en procesos industriales al convertir actividades internas en externas, mejorar la estandarización y facilitar la ejecución eficiente (Shingo, 1985).	Esta variable se define mediante 2 dimensiones y 4 indicadores	Preparación de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo promedio de actividades externas antes del PM. ✓ % de actividades externas correctamente ejecutadas.
			Ejecución del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo efectivo de intervención desde inicio hasta fin del PM. ✓ % de cumplimiento del plan de mantenimiento según programación.
Estrategia de mejora en mantenimiento preventivo mediante LEAN	LEAN es un enfoque sistemático para eliminar desperdicios, optimizar el flujo y mejorar continuamente los procesos, aplicando herramientas como el análisis de valor agregado, flujo continuo y estandarización (Womack y Jones, 1996).	Esta variable se define mediante 3 dimensiones y 6 indicadores.	Valor agregado (Wrench Time)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ % de tareas con valor agregado. ✓ Tiempo antes de falla posterior al PM.
			Rendimiento de mano de obra y recursos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ % de adherencia a las horas hombre programadas. ✓ Costo promedio de mantenimiento por intervención.
			Impacto del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impacto en la operación (retrasos por mantenimiento) ✓ Impacto en seguridad y medio ambiente.
Reducción de los tiempos de intervención	"Es la disminución del tiempo total requerido para realizar tareas de mantenimiento, desde la preparación hasta la ejecución, buscando mejorar la eficiencia operativa." (adaptado de Parra et al., 2018)	Esta variable se define mediante 2 dimensiones y 4 indicadores.	Tiempo de ejecución del PM	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Duración total del mantenimiento preventivo (horas) ✓ Tiempo promedio de ejecución por tipo de PM (Mantenimiento Programado)
			Eficiencia del proceso	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Duración promedio de intervención del equipo. ✓ % de intervenciones que cumplen el tiempo estándar previsto.

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IV. Metodología de la investigación

4.1. Metodología

Este capítulo presenta los elementos metodológicos que sustentan el desarrollo de la presente investigación. Se detallan el tipo, nivel y enfoque de investigación, así como el diseño metodológico, la unidad de análisis, técnicas e instrumentos de recolección de datos y las fases del estudio. La finalidad es garantizar la validez y confiabilidad del análisis sobre la mejora del mantenimiento preventivo en flotas de camiones mineros mediante estrategias LEAN y SMED, con énfasis en la reducción de los tiempos de intervención.

4.2. Unidad de Análisis

La unidad de análisis de este proyecto de investigación es el camión minero Caterpillar 793D, propiedad de la Compañía Minera Antapaccay, ubicada en la Provincia de Espinar, departamento del Cuzco, Perú. Este equipo opera en las actividades operativas de carguío, transporte, descarga y retorno en un sistema de explotación de tajo abierto. El análisis se enfoca en la evaluación y mejora de los mantenimientos preventivos programados, a través de la implementación de estrategias SMED y LEAN, orientadas a reducir tiempos de intervención, estandarizar procedimientos y garantizar la calidad y consistencia en las tareas ejecutadas. Se recopilará información técnica y operativa relacionada con:

- El funcionamiento del Taller de Mantenimiento de Camiones (Truck Shop), responsable de las labores de mantenimiento de toda la flota de camiones mineros.
- Los tipos de mantenimiento aplicados por el taller.
- El funcionamiento de cada uno de los componentes del camión minero Caterpillar 793D.

- El registro detallado de intervenciones realizadas al camión, incluyendo tiempos de ejecución.
- Los registros de reparaciones significativas, identificando causas, tiempos y frecuencias.
- El plan de mantenimiento actual e histórico aplicado a estos camiones, con énfasis en la programación y duración de las tareas realizadas.

4.3. Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación

4.3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, dado que busca resolver un problema práctico relacionado con la mejora del mantenimiento preventivo en la flota de camiones mineros Caterpillar 793D de la Compañía Minera Antapaccay. Su propósito es implementar conocimientos teóricos y herramientas prácticas, específicamente las metodologías SMED (Single Minute Exchange of Die) y LEAN Manufacturing, para reducir los tiempos de intervención, desperdicios y mejorar la disponibilidad.

Mediante la aplicación de SMED, se identifican y ejecutan tareas externas al tiempo de parada, reduciendo el tiempo improductivo. Con LEAN, se eliminan actividades que no agregan valor, maximizando el “Wrench Time” y garantizando eficiencia en las tareas. El resultado esperado es un proceso estandarizado y replicable que permita incrementar la eficacia y la consistencia de los Mantenimientos Preventivos (PMs).

4.3.2. Enfoque de Investigación

El enfoque adoptado es de carácter cuantitativo, dado que la investigación se fundamenta en la recolección, tratamiento y análisis de datos numéricos para evaluar

el impacto de la implementación de estrategias SMED y LEAN en el mantenimiento preventivo. Se utilizarán indicadores técnicos como la disponibilidad del equipo, el MTBF (Mean Time Between Failures) y los tiempos de intervención, permitiendo una medición objetiva de los resultados. Este enfoque facilita la comprobación de hipótesis, el análisis estadístico de las mejoras obtenidas y la identificación de relaciones causales entre la aplicación de las metodologías y el desempeño del proceso de mantenimiento.

4.3.3. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo, ya que no solo se describe la situación actual del mantenimiento preventivo, sino que se analiza cómo la implementación de las metodologías SMED y LEAN contribuye a mejorar indicadores clave de desempeño. La investigación permite establecer relaciones causa-efecto entre las acciones de mejora propuestas y los resultados obtenidos, tales como el aumento en la disponibilidad operativa, la reducción de fallas, y el incremento del MTBF.

4.3.4. Diseño de Investigación

El diseño metodológico es de tipo experimental con enfoque longitudinal. Se parte del análisis del proceso de mantenimiento preventivo existente para identificar oportunidades de mejora. A continuación, se aplican intervenciones planificadas basadas en SMED y LEAN, y se realiza una comparación de resultados antes y después de su implementación. El diseño longitudinal permite evaluar la evolución de los indicadores en el tiempo, proporcionando evidencia del impacto sostenido de las estrategias aplicadas.

4.4. Presupuesto

La ejecución del proyecto se realizó utilizando recursos logísticos, técnicos y humanos ya disponibles en la empresa. Por tanto, no se incurrió en gastos adicionales, lo que favorece la viabilidad y replicabilidad del estudio en otras operaciones de mantenimiento similares.

4.5. Matriz de Consistencia

TITULO: MEJORAS EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN FLOTAS DE CAMIONES MINEROS MEDIANTE ESTRATEGIAS LEAN Y SMED PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE INTERVENCIÓN

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿De qué manera se puede mejorar el Mantenimiento Preventivo en Flotas de Camiones Mineros Mediante Estrategias LEAN y SMED para la Reducción de Tiempos de Intervención? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejorar el mantenimiento preventivo en flotas de camiones mineros mediante la aplicación de estrategias LEAN y SMED, con el fin de reducir los tiempos de intervención. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La aplicación de estrategias LEAN y SMED mejora el mantenimiento preventivo en flotas de camiones mineros, logrando una reducción significativa en los tiempos de intervención. 	<p>ESTRATEGIA DE MEJORA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDIANTE SMED</p> <p>Dimensión</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparación de mantenimiento. ✓ Ejecución del mantenimiento <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo promedio de actividades externas antes del PM. ✓ % de actividades externas correctamente ejecutadas ✓ Tiempo efectivo de intervención desde inicio hasta fin del PM. ✓ % de cumplimiento del plan de mantenimiento según programación. <p>ESTRATEGIA DE MEJORA EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDIANTE LEAN</p> <p>Dimensión</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Valor agregado (Wrench Time) ✓ Rendimiento de mano de obra y recursos ✓ Impacto del mantenimiento <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ % de tareas con valor agregado. ✓ Tiempo antes de falla posterior al PM. ✓ % de adherencia a las horas hombre programadas. ✓ Costo promedio de mantenimiento por intervención. ✓ Impacto en la operación (retrasos por mantenimiento) ✓ Impacto en seguridad y medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicativa <p>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuantitativo <p>NIVEL DE INVESTIGACION</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Explicativo <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Experimental ✓ Longitudinal <p>UNIDAD DE ANÁLISIS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Flota de camiones Caterpillar 793D <p>MUESTRA</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 8 Camiones de la flota 793D <p>INSTRUMENTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Check List ✓ Day List ✓ Dashboard ✓ Historial de intervenciones por mantenimientos preventivos
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿Cómo influye la optimización de actividades externas del mantenimiento mediante SMED en la reducción del tiempo de preparación previo a las intervenciones? ✓ ¿Qué impacto tiene la estandarización de tareas internas bajo SMED en la disminución del tiempo de ejecución del mantenimiento preventivo? ✓ ¿Cómo contribuye la aplicación de herramientas Lean a mejorar la eficiencia del tiempo total de intervención en los mantenimientos preventivos? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Optimizar las actividades externas de preparación mediante la metodología SMED para reducir los tiempos de preparación antes del inicio de los mantenimientos preventivos. ✓ Estandarizar y mejorar la ejecución interna del mantenimiento mediante SMED para disminuir los tiempos de intervención. ✓ Aplicar herramientas LEAN enfocadas en la optimización del valor agregado y el uso eficiente de recursos para reducir el tiempo total de intervención durante los mantenimientos preventivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La optimización de actividades externas de preparación mediante SMED reduce significativamente el tiempo de preparación antes del mantenimiento preventivo. ✓ La estandarización de tareas internas bajo la metodología SMED disminuye el tiempo efectivo de intervención en los mantenimientos preventivos. ✓ La aplicación de herramientas LEAN enfocadas en el valor agregado y la eficiencia en el uso de recursos reduce el tiempo total de intervención durante los mantenimientos preventivos. 	<p>REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE INTERVENCIÓN</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo de ejecución del PM ✓ Eficiencia del proceso <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Duración total del mantenimiento preventivo (horas) ✓ Tiempo promedio de ejecución por tipo de PM (Mantenimiento Programado) ✓ Duración promedio de intervención del equipo. ✓ % de intervenciones que cumplen el tiempo estándar previsto. 	

Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación

5.1. Descripción de la empresa

5.1.1. Descripción general de la empresa

La Compañía Minera Antapaccay es una de las operaciones mineras más modernas y de mayor envergadura en el Perú. Forma parte del grupo Glencore, y es su operación minera más joven y extensa en el país. Inició sus actividades en noviembre de 2012, como continuidad de la explotación en la zona, tras el inicio del proceso de cierre de la mina Tintaya ese mismo año.

Ubicada a más de 4,000 msnm, en la región de Espinar, Cusco, Antapaccay se dedica principalmente a la producción de concentrado de cobre, el cual es transportado a lo largo de casi 400 km hasta el puerto de Matarani, en la costa de Arequipa, desde donde se exporta a diversos mercados internacionales. La empresa opera bajo estrictos estándares de seguridad, eficiencia operativa y sostenibilidad, garantizando una producción responsable con el medio ambiente y las comunidades aledañas. Además, cuenta con un equipo de profesionales altamente capacitados, comprometidos con la excelencia en la gestión de mantenimiento y operación de sus equipos mineros, lo que permite optimizar la productividad y prolongar la vida útil de los activos críticos.

5.1.2. Misión de la empresa

Nuestra misión es desarrollar una operación minera segura, eficiente y responsable con el entorno social y ambiental, impulsada por el talento y liderazgo de nuestro equipo. Buscamos generar valor para nuestros stakeholders y contribuir al crecimiento sostenible del país.

5.1.3. Visión de la empresa

Aspiramos a ser una empresa minera de referencia, reconocida por su liderazgo en seguridad, excelencia operativa y compromiso con el desarrollo sostenible.

5.1.4. Flotas de camiones mineros en operación

La Compañía Minera Antapaccay cuenta con una flota de camiones mineros diseñada para operar en condiciones de alta exigencia y maximizar la eficiencia en la producción. Las principales flotas en operación son:

Tabla 8

Flota de camiones de la Compañía Minera Antapaccay

EQUIPO	MARCA	MODELO	AÑO DE FABRICACIÓN	AÑO DE ADQUISICIÓN	Nº DE EQUIPOS
Camión Mecánico	Caterpillar	793D	1991	2013	8
Camión Mecánico	Caterpillar	797F	2009	2017	8
Camión Eléctrico	Komatsu	930E-4	1996	2015	25
Camión Eléctrico	Komatsu	980E-5	2016	2021	24
Camión Cisterna	Komatsu	HD1500	2015	2018	2

Fuente: Elaboración Propia

5.1.5. Taller de camiones (TruckShop)

El taller de camiones cuenta con 6 bahías internas de atención de camiones para trabajos como cambio de componentes mayores y mantenimientos preventivos y 8 bahías externas para trabajos menores.

5.2. Proceso de mantenimiento preventivo en la flota de camiones vigente

En esta sección se describe detalladamente el proceso de mantenimiento preventivo vigente en la mina antes de la implementación de las metodologías LEAN y SMED. Se analizarán cada una de las etapas del proceso, identificando los tiempos incidentales y desperdiciados a partir de datos históricos y observaciones en campo. Este

análisis permitirá, en fases posteriores, la optimización de estos tiempos mediante la eliminación o reducción de actividades que no aportan valor al proceso de mantenimiento.

5.2.1. Estrategia de mantenimiento vigente

5.2.1.1. Plan de Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo de la flota de mineros se gestiona a través de un Plan Semanal de Mantenimiento, que considera la programación de las intervenciones en función de la capacidad operativa del taller, la disponibilidad del personal y los planes de mantenimiento establecidos para cada equipo. Las flotas de camiones mineros en operación incluyen: Caterpillar 797F, Caterpillar 793D, Komatsu 930E, Komatsu 980E y Komatsu HD1500. De estas, las flotas Caterpillar 793D, Komatsu 930E y Komatsu HD1500 están bajo la responsabilidad del personal de Antapaccay. Según datos históricos, semanalmente ingresan un promedio de tres a cuatro equipos a mantenimiento preventivo bajo la gestión de Antapaccay.

Actualmente, la Compañía Minera Antapaccay opera una flota de ocho camiones Caterpillar 793D, cuyo mantenimiento se rige por un plan estructurado en tres niveles de mantenimiento preventivo (PMs). Sin embargo, las frecuencias de ejecución de estos PM han sido ajustadas a una periodicidad mayor a la recomendada por el fabricante. Esta modificación fue establecida por las áreas de confiabilidad y planeamiento, con el objetivo de optimizar el uso de recursos críticos como aceites, filtros y repuestos.

Tabla 9

Plan de mantenimiento de camión Caterpillar 793D establecido por Antapaccay

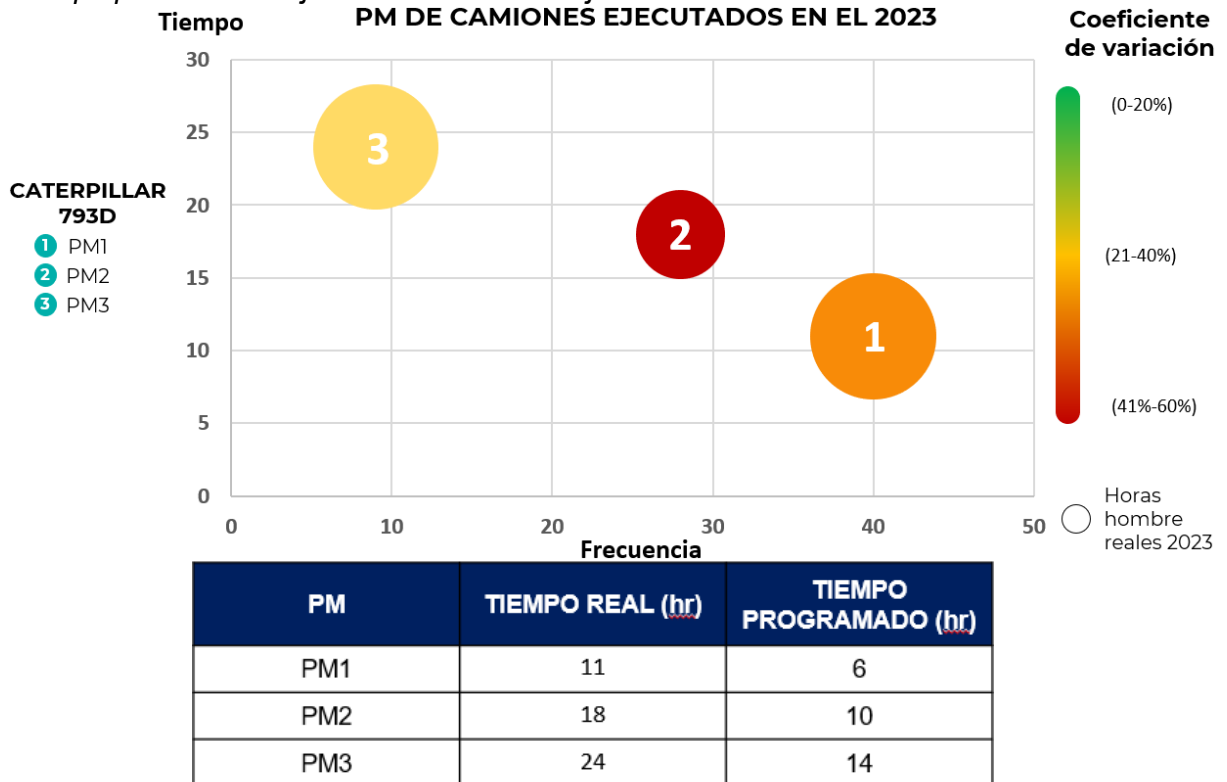
	PM1	PM2	PM1	PM3
ANTAPACCAY	700	1400	2100	2800
CATERPILLAR	500	1000	1500	2000
DURACIÓN (HR)	6	10	6	14

Fuente: Elaboración Propia

Si bien el plan de mantenimiento preventivo está formalmente definido, el análisis de datos históricos correspondientes al año 2023 (ver Anexo A) revela una discrepancia significativa entre la programación teórica y la ejecución real del mantenimiento. En la práctica, los tiempos planificados no se cumplen, lo que genera desviaciones que afectan la disponibilidad de los equipos.

Tabla 10

Tiempo promedio de ejecución de los PMs ejecutados en el año 2023



Fuente: Data histórica de los mantenimientos ejecutados en 2023

Las principales causas de estas desviaciones incluyen:

- Tiempos desperdiciados durante la ejecución del PM, debido a ineficiencias en la logística y la preparación de las actividades.
- Incorporación de tareas adicionales no programadas, como el reemplazo de componentes mayores, lo que incrementa los tiempos de intervención y afecta la programación semanal.

5.2.1.2. Mantenimiento Previo al Preventivo (PPM)

Con el objetivo de ejecutar una detección temprana de fallas y optimizar la gestión del mantenimiento preventivo, la Gerencia de Mantenimiento Mina de Antapaccay implementó una estrategia denominada Mantenimiento Previo al Mantenimiento Preventivo (PPM).

Tabla 11

Frecuencia de Mantenimiento Previo al Mantenimiento Preventivo

	PPM	PM1	PPM	PM2	PPM	PM1	PPM	PM3
ANTAPACCA Y	350	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800

Fuente: Elaboración Propia

El PPM consiste en una intervención intermedia que se realiza aproximadamente a la mitad del período entre cada mantenimiento preventivo programado (PM). Durante esta inspección, se ejecutan claves actividades como:

- Evaluación del estado general del equipo.
- Cambio de filtros de combustible.
- Nivelación de fluidos esenciales para el correcto funcionamiento del camión.

Este procedimiento fue diseñado con una duración estándar de 4 horas, permitiendo detectar posibles fallas o anomalías antes de la ejecución del PM, lo que contribuye a una mejor planificación y eficiencia en las futuras intervenciones de mantenimiento.

5.2.2. Intervención y traslado del equipo al taller

Al inicio de cada turno, y en función del Plan Semanal de Mantenimiento, se define qué equipos serán intervenidos para el mantenimiento preventivo. Sin embargo, actualmente no existe un estándar definido para la programación del llamado de los equipos, ya que esta decisión se toma de acuerdo con la disponibilidad del personal y

del taller. Esta falta de estandarización genera variabilidad en el proceso, afectando la eficiencia y el cumplimiento de los tiempos programados.

Una vez que se solicita la intervención de un camión, Despacho de Mina ordena su traslado hacia el área de Mantenimiento Mina. Al llegar, la primera etapa del proceso consiste en el lavado del equipo, una actividad fundamental debido a las condiciones operativas en las que trabajan los camiones, que suelen acumular polvo, lodo y residuos de mineral. Una vez completado el lavado, el camión es trasladado a una bahía designada en el Truck Shop, donde se llevará a cabo la intervención programada.

Figura 13

Traslado del camión del lavadero al taller



Fuente: Recuperado del proceso de mantenimiento preventivo

A partir del análisis de mediciones de tiempos operativos, se determinó que el tiempo promedio desde que se emite la orden de llamado del camión hasta su llegada a la bahía de mantenimiento es de 1.85 horas, valor que tiende a 2 horas.

Tabla 12

Tiempo promedio del traslado del punto de trabajo al taller de camiones

CASO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	PROMEDIO
TIEMPO (HR)	TRASLADO DE PUNTO DE TRABAJO AL LAVADERO	0.7	0.99	0.85	0.8	0.9	0.91	0.88	0.95	0.94	0.86	0.87	0.94	0.94	0.9	0.93	0.89
	LAVADO DE CAMIÓN	0.99	0.96	1	0.97	0.95	0.98	0.94	0.95	0.98	0.94	0.89	0.98	0.95	0.9	0.96	0.96
	TOTAL	1.69	1.95	1.85	1.77	1.85	1.89	1.82	1.9	1.92	1.8	1.76	1.92	1.89	1.8	1.89	1.85

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3. Trabajos con el equipo en marcha

El Taller de Camiones cuenta con un total de 14 bahías de mantenimiento, distribuidas en 6 bahías internas y 8 bahías externas. Antes del ingreso del camión a una bahía interna, se realizan las tareas del mantenimiento preventivo que requieren que el equipo permanezca encendido. Esta práctica se lleva a cabo con el propósito de evitar la acumulación de gases de escape dentro del taller, garantizando así condiciones seguras de trabajo para el personal técnico. Entre las actividades que se ejecutan con el camión en marcha se incluyen:

- Pruebas de rendimiento operativo, cuyo objetivo es evaluar el estado de los principales sistemas del equipo, tales como: Motor, Transmisión, Convertidor de par, Sistema de levante y Dirección.
- Drenaje de aceites, específicamente de los mandos finales y ruedas delanteras, proceso que requiere una posición específica de las ruedas para facilitar la descarga del lubricante.

Tabla 13

Tareas ejecutadas en el exterior del taller con el equipo arrancado

TAREAS EJECUTADAS AFUERA DEL TALLER	TEST DE RENDIMIENTO 793D			PM1	PM2	PM1	PM3
	Sistema	Frecuencia (hr)	700	1400	2100	2800	
	Motor	Motor	600	X	X	X	X
	Evaluación de Válvula Wastegate	Motor	600	X	X	X	X
	Eficiencia de Frenos	Frenos	1200	X		X	
	Actuación de Frenos	Frenos	1200	X		X	
	Levante	Levante	2400		X		
	Dirección y acumuladores de dirección	Dirección y Fan	2400		X		
	Convertidor	Transmision y Convertidor	2400				X
	Transmisión	Transmision y Convertidor	2400				X
Medición de Pin Pivot	Equipo	2400				X	
CAMBIO DE FLUIDOS 793D			PM1	PM2	PM1	PM3	
Sistema	Frecuencia (hr)	700	1400	2100	2800		
Aceite de Ruedas Delanteras	Ruedas	600	X	X	X	X	
Aceite de Diferencial y Mandos Finales	Diferencial y MF's	2400				X	

Fuente: Elaboración Propia

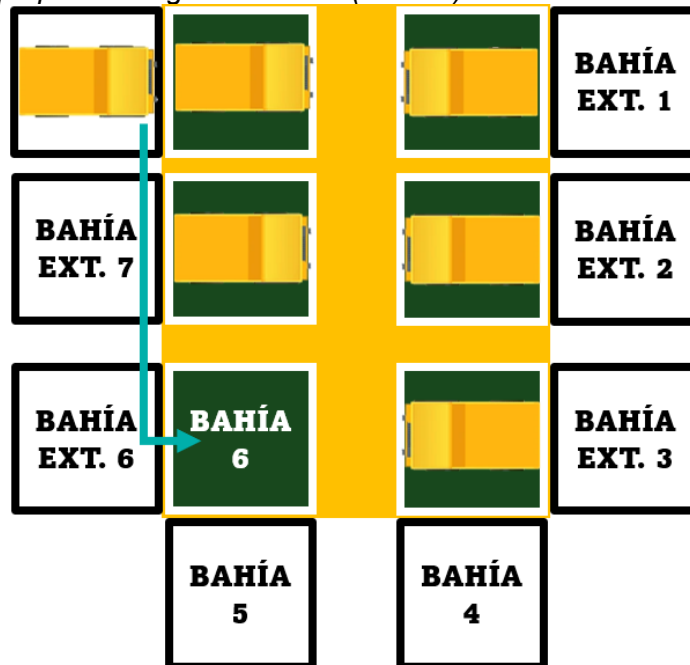
Una vez finalizados los trabajos que exigen que el equipo permanezca encendido, el camión es trasladado a una bahía interna para continuar con el mantenimiento programado.

5.2.4. Ingreso del equipo al taller

Una vez finalizadas las tareas que requieren que el equipo permanezca encendido, este es trasladado al taller para continuar con el mantenimiento preventivo. Sin embargo, se han identificado desviaciones y pérdidas en el proceso debido a la disponibilidad de bahías, lo que impacta en la eficiencia operativa.

Uno de los principales inconvenientes detectados es que, en ocasiones, los trabajos preliminares con el equipo en marcha se realizan en el exterior de una bahía ocupada por otro camión en mantenimiento. Esto ocurre debido a la falta de espacio en el taller cuando todas las bahías están ocupadas. Como consecuencia, una vez finalizadas estas tareas, el equipo debe ser trasladado nuevamente a una bahía disponible para completar su mantenimiento, generando un retraso en el proceso.

Figura 14
Traslado del equipo para su ingreso al taller (Caso 1)

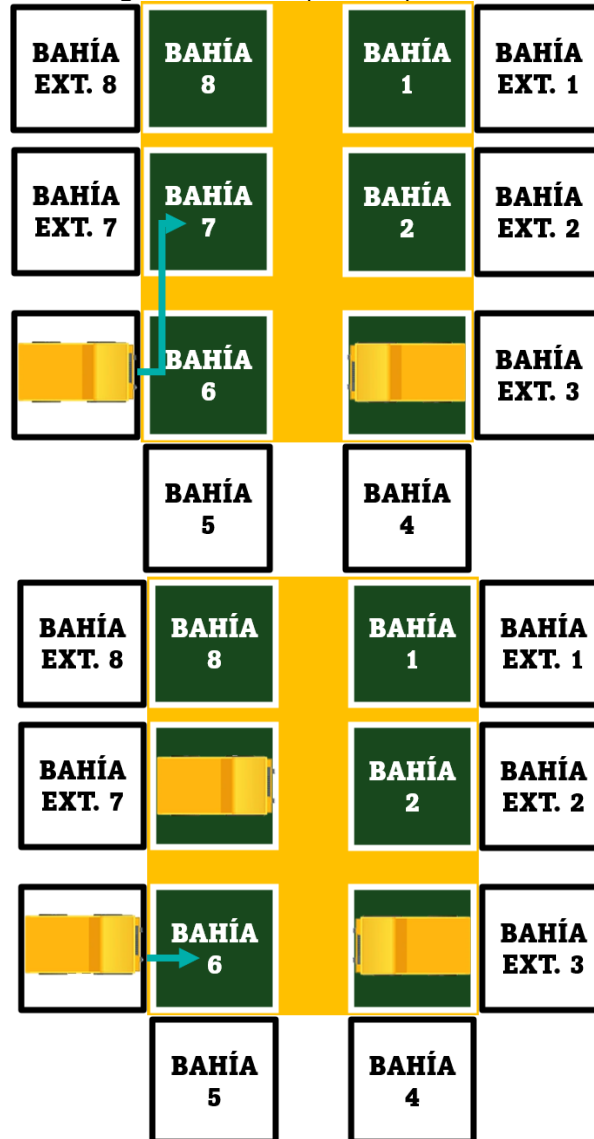


Fuente: Elaboración propia

Otro escenario recurrente es que los trabajos iniciales se ejecutan en el exterior de una bahía vacía. No obstante, por razones de accesibilidad y espacio para la

ejecución de ciertas tareas correctivas, como el cambio de mandos finales o ruedas delanteras, es necesario reubicar el equipo en otra bahía más adecuada. Se ha identificado que las bahías 3 y 6 son las óptimas para este tipo de intervenciones correctivas.

Figura 15
Traslado del equipo para su ingreso al taller (Caso 2)



Fuente: Elaboración propia

Ambos casos generan una pérdida de tiempo operativo debido al desplazamiento del equipo y del personal técnico, quienes deben trasladarse junto con herramientas, equipos auxiliares y repuestos a una nueva ubicación. Se ha

determinado que este proceso adicional incrementa el tiempo total de mantenimiento entre 20 y 30 minutos en promedio, afectando la eficiencia del flujo de trabajo

5.2.5. Trabajos con el equipo apagado

5.2.5.1. Asignación de personal para el mantenimiento preventivo

La ejecución del mantenimiento preventivo requiere un número óptimo de técnicos especializados para garantizar su eficiencia y cumplimiento dentro del tiempo programado. Antes de la implementación de un estándar de mantenimiento, no existía un criterio definido para la cantidad de personal necesario, tanto en el área mecánica como en la eléctrica. En su lugar, la asignación de recursos humanos se realizaba en función de la carga laboral del día, lo que generaba variabilidad en los tiempos de intervención y afectaba la productividad. La falta de un estándar de asignación de personal presentaba dos problemas principales:

- **Infra asignación de personal:** Cuando el equipo de trabajo asignado era menor al requerido, la duración del mantenimiento preventivo se extendía más allá del tiempo programado, afectando la disponibilidad operativa de la flota.
- **Sobreasignación de personal:** Cuando se destinaban más técnicos de los necesarios, se generaba desorganización y tiempos improductivos, lo que resultaba en una ineficiencia en la gestión de horas-hombre y un incremento innecesario de costos laborales.

Para optimizar este proceso, es fundamental establecer un estándar en la cantidad de personal requerido por cada tipo de intervención, considerando las tareas específicas a realizar y la complejidad del mantenimiento.

5.2.5.2. División de tareas en el mantenimiento preventivo

Para garantizar que el personal técnico conozca con precisión las actividades a ejecutar durante el mantenimiento preventivo (PM), se entrega una cartilla de mantenimiento. Sin embargo, se han identificado varias deficiencias en su diseño y contenido, lo que impacta negativamente en la eficiencia del proceso.

Figura 16
Cartilla de mantenimiento preventivo de camión Caterpillar 793D

CARTILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM-3

CAMION CAT 793D

PROCEDIMIENTO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>FECHA:</td><td></td></tr> <tr><td>EQUIPO:</td><td></td></tr> <tr><td>HOROMETRO:</td><td></td></tr> <tr><td>GUARDIA:</td><td></td></tr> <tr><td>LIDER:</td><td></td></tr> <tr><td>RESPONSABLE:</td><td></td></tr> <tr><td>ING. DE TALLER:</td><td></td></tr> </table>	FECHA:		EQUIPO:		HOROMETRO:		GUARDIA:		LIDER:		RESPONSABLE:		ING. DE TALLER:	
FECHA:															
EQUIPO:															
HOROMETRO:															
GUARDIA:															
LIDER:															
RESPONSABLE:															
ING. DE TALLER:															

ATENCIÓN: VERIFIQUE QUE NO HAYA PERSONAL CERCA DEL CAMION TOQUE LA BOCINA 3 VECES ANTES DE PONER EN MARCHA EL CAMION TOQUE LA BOCINA 1 VEZ ANTES DE MOVER EL CAMION

COLOQUE SU CANDADO LOCK OUT!!!!

INSTRUCCIONES DE LUBRICACION

1. LAVADO DEL CAMION
ATENCIÓN: Solo personal autorizado puede operar el Camión
COLOQUE SU CANDADO LOCK OUT
 - Lave el Camión , lavar el Radiador y Motor

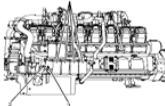
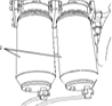
2. TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE

SE TOMO MUESTRA	
- Muestra de aceite de Motor	
- Muestra de aceite de Mando Final Derecho	
- Muestra de aceite de Mando Final Izquierdo	
- Muestra de aceite del Diferencial	
- Muestra de aceite de Rueda Derecha	
- Muestra de aceite de Rueda Izquierda	
- Muestra de aceite de Transmisión	
- Muestra de aceite de Dirección	
- Muestra de aceite hidráulico de levante de Tolva	

3. MOTOR

- Drenar aceite de motor. (revisar estado de válvula de drenaje del cárter)
- Cambio de Aceite Motor 15W40 (77 gal)(SAP 2014710)
- Cambio de Filtros de aceite del motor (4 filtros Cat 275-2604 SAP 1248225)
- Rellenar hasta el nivel indicado aceite de motor
- Limpie los prefiltros de aire
- Cambio los Filtros de Aire primarios. (4 filtros Cummins AF879NF SAP 1278531)
- Cambio los Filtros de Aire secundarios. (4 filtros Cummins AF857 SAP 1268072)
- Cambio de filtros primario (separador de agua) de combustible (2 filtros Cat 2004139 SAP 1061909)
- Cambio de filtros secundario de combustible (2 filtros Cat 1R0755 o Donaldson P551318 SAP 1268849)
- Cambio de filtro de combustible (1 filtro Cat 1R0750 o Donaldson P551313 SAP 1268079)
- Cambio de filtro secador wastegate (1 filtros Cat 185-4389 SAP 1250325)
- Cambio de conjunto secador de aire (1 conjunto Cat 1075869 SAP 1248007)
- Cambiar kit de válvula de descarga de secador de aire (1 Kit Cat 121-5895 SAP 1249474)

- Sistema de refrigeración (revisar líneas de agua - abrazaderas, testigos de bomba de agua principal y auxiliar, estado de manguera de salida de agua del alternador, fugas en los paneles del radiador)

4. SISTEMA DE FRENO Y LEVANTE DE TOLVA

4.2 Lavar rejilla de aceite del freno delantero

- La rejilla se encuentra dentro del riel iz del bastidor entre el tanque de combustible y el convertidor de Torque como se muestra en la figura.
- Sacar la tapa de la caja de la rejilla (5).
- Sacar la rejilla, lavar y volver a colocar
- Sello de tapa de rejilla de frenos delanteros 6H-6734 SAP 1247427

4.3 Cambiar el filtro de aceite de enfriamiento del freno
(2 filtros Cat 277-5812 SAP 1247974)
 Destapar la caja del elemento, revise y cambie si es necesario el O-ring de la tapa

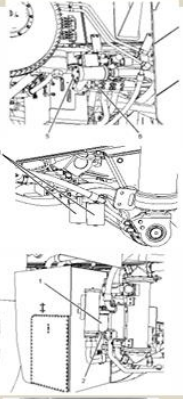
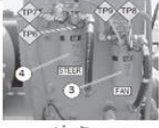
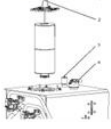
4.4 Cambiar el filtro de desconexión del freno de estacionamiento
(1 filtro Cat 132-8875 / Fleetguard HF6097 SAP 1247033)
 va montado al lado del tanque hidráulico (figura 1)

5. Sistema de Dirección y ventilador del motor

5.2 Cambiar el filtro de aceite de dirección y del ventilador hidráulico
 Son dos filtros Cat 102 2828 SAP 1247977

Procedimiento:
 Presione el botón de alivio de la válvula del respiradero (1)
 Abrir la tapa del tanque de dirección (2)
 Cambiar el filtro de aceite del ventilador (3)
 Cambiar el filtro de aceite de dirección (4)

5.3 Cambiar los filtros del tanque de dirección
 Sacar los pernos y retirar la tapa para cambiar los dos elementos (02 filtros Cat 2492337 SAP 1247978)

Fuente: Programa de mantenimiento preventivo

Los principales problemas detectados en la cartilla de mantenimiento son los siguientes:

- **Falta de secuenciación de tareas:** Aunque las actividades están organizadas por sistemas del equipo, no se establece un orden de ejecución claro. Esto provoca que cada guardia desarrolle el mantenimiento de manera distinta, generando inconsistencias en los tiempos y en la metodología aplicada.
- **Ausencia de diferenciación según el estado del equipo:** No se especifica qué tareas requieren que el equipo esté encendido o apagado, lo que puede ocasionar interrupciones, tiempos muertos o una ejecución ineficiente.

- **Falta de estandarización en la asignación de personal y tiempos de ejecución:** La cartilla no define la cantidad de técnicos requeridos para cada tarea ni el tiempo promedio estimado de ejecución. Esto genera sobrecarga o infrautilización de personal, afectando la productividad y el cumplimiento del plan de mantenimiento.
- **Ambigüedad en la descripción de tareas:** Se han identificado instrucciones poco claras, con falta de parámetros específicos y criterios de aceptación, lo que puede provocar errores en la ejecución y variabilidad en los procedimientos.
- **Ausencia de especificación de herramientas e insumos:** La cartilla no detalla los implementos específicos requeridos para cada tarea, como herramientas, filtros, volúmenes de lubricantes y equipos auxiliares de mantenimiento. Esto genera pérdidas de tiempo por búsquedas innecesarias y retrasos en la ejecución.

Para mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo, es fundamental reformular la cartilla de mantenimiento, incorporando un enfoque estructurado que garantice la estandarización de procesos, la optimización de recursos y la reducción de variabilidad en la ejecución.

5.2.5.3. Ejecución de tareas internas

Antes de la estandarización del mantenimiento preventivo (PM), no existía un orden definido para la ejecución de las tareas internas. Cada guardia aplicaba su propio procedimiento, determinado por el líder de turno, lo que generaba una falta de uniformidad en la calidad y ejecución del PM. Las principales consecuencias de esta variabilidad fueron:

- Extensión en los tiempos de intervención debido a la ausencia de un procedimiento estandarizado.

- Diferencias en los métodos de ejecución, parámetros y estándares aplicados por cada guardia, lo que ocasionaba inconsistencias en la calidad del mantenimiento.
- Omisión de ciertas tareas críticas, lo que podría derivar en fallas prematuras en los equipos por problemas que pudieron haber sido identificados y corregidos durante el PM.

Para volver más eficiente el proceso del mantenimiento preventivo, es fundamental implementar un procedimiento estandarizado de ejecución, garantizando que todas las guardias sigan los mismos lineamientos y evitando desviaciones en la calidad y el tiempo de intervención.

5.2.5.4. Trabajos correctivos y tareas adicionales

Un aspecto crítico en la ejecución del mantenimiento preventivo es la contaminación del proceso con trabajos correctivos y tareas adicionales, lo que impacta directamente en los tiempos de ejecución y en la efectividad del PM.

a. Interferencia de trabajos correctivos

Si bien algunos correctivos menores pueden ejecutarse con una desviación mínima en el tiempo, existen otros que exigen una gran cantidad de personal y recursos, lo que provoca que:

- Se prioricen los trabajos correctivos sobre las tareas preventivas, afectando la calidad del mantenimiento.
- Se extienden los tiempos de intervención, generando retrasos en la programación y afectando la disponibilidad del equipo.

Algunos ejemplos de correctivos que generan demoras significativas son:

- Reparación de fugas de fluidos, que en ocasiones requieren el drenaje del sistema.

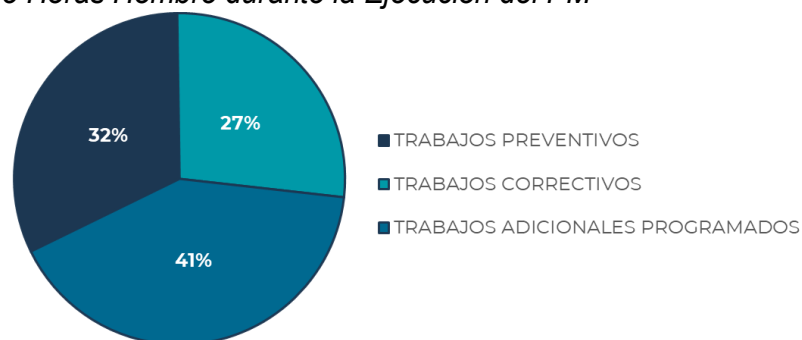
- Trabajos de soldadura en la tolva, chasis y tanques de aceite o combustible, los cuales pueden implicar el desmontaje de tuberías o líneas para acceder al área de trabajo y evitar riesgos por contacto con sustancias inflamables.

b. Acumulación de tareas adicionales

Se ha observado un gran número de tareas adicionales programadas en conjunto con el mantenimiento preventivo, muchas de las cuales requieren una alta demanda de personal y tiempo, como:

- Cambio de componentes: Motor, transmisión, convertidor, ruedas delanteras, mandos finales, tolva, entre otros.
- Evaluaciones de sistemas: Diagnóstico por bajo rendimiento del motor o presencia de refrigerante en el aceite de motor.

Figura 17
Distribución de Horas Hombre durante la Ejecución del PM



Fuente: Elaboración Propia

La ejecución simultánea de estas actividades con el PM inevitablemente extiende los tiempos de ejecución, afectando el cumplimiento del estándar programado y generando demoras acumuladas en la planificación de mantenimiento. Para mitigar este problema, se recomienda separar estrictamente las tareas preventivas de los correctivos mayores y trabajos adicionales, programando estas últimas en turnos independientes para evitar interrupciones en el PM.

5.2.5.5. *Mantenimiento Preventivo extendido fuera de turno*

El personal de mantenimiento opera en turnos de 11 horas, con horario de ingreso a las 07:00 h y salida a las 18:00 h. Si un mantenimiento preventivo excede este tiempo, se enfrenta a un cambio de turno de día a noche (o viceversa), lo que genera:

- 1 a 2 horas de inactividad, ya que el equipo queda detenido sin asignación personal hasta que se realice el relevo.
- Pérdidas de continuidad en el proceso, debido a la transferencia de información entre turnos y posibles demoras en la reanudación del mantenimiento.

Para evitar estos retrasos, es esencial que todos los PM se ejecuten dentro del turno asignado, asegurando que las tareas sean completadas antes del cambio de guardia. Esto requiere una planificación estricta y la eliminación de interferencias, como la acumulación de correctivos y tareas adicionales en el mantenimiento preventivo.

Tabla 14

Tiempos de tareas ejecutadas en el cambio de guardia

INICIO	FIN	TAREAS EJECUTADAS POR EL PERSONAL	TIEMPO
17:30 p.m	18:00 p.m	<ul style="list-style-type: none">• Devolver herramientas al pañol• Guardar equipos auxiliares de mantenimiento• Relevo de trabajos para la guardia de noche• Limpieza de la bahía	30 min
18:00 p.m	18:15 p.m	<ul style="list-style-type: none">• Personal de retira del taller	15 min
18:15 p.m	18:30 p.m	<ul style="list-style-type: none">• Ingreso del personal al taller	15 min
18:30 p.m	19:00 p.m	<ul style="list-style-type: none">• Reunión de coordinación de tareas programadas para la guardia de noche	30 min
19:00 p.m	19:30 p.m	<ul style="list-style-type: none">• Llevar herramientas del pañol a la bahía de mantenimiento• Trasladar equipos auxiliares de mantenimiento• Revisar el relevo del personal del turno día y distribuir las tareas pendientes	30 min
TOTAL			2 horas

Fuente: Elaboración Propia

5.3. Implementación de la metodología SMED en el mantenimiento preventivo

La metodología Single Minute Exchange of Die (SMED), que en su definición literal significa "realizar un cambio en menos de 10 minutos", es una técnica utilizada para reducir

los tiempos de cambio y preparación en distintos procesos. En el contexto del mantenimiento preventivo de mineros, SMED se implementa camiones con el objetivo de minimizar los tiempos de intervención, optimizando la disponibilidad operativa de los equipos y mejorando la eficiencia en el uso de recursos.

Esta metodología permite identificar y clasificar las actividades en función de su valor agregado, optimizar tareas incidentales y eliminar desperdicios, lo que se traduce en una reducción significativa del tiempo total de mantenimiento. En particular, su aplicación en los camiones Caterpillar 793D busca:

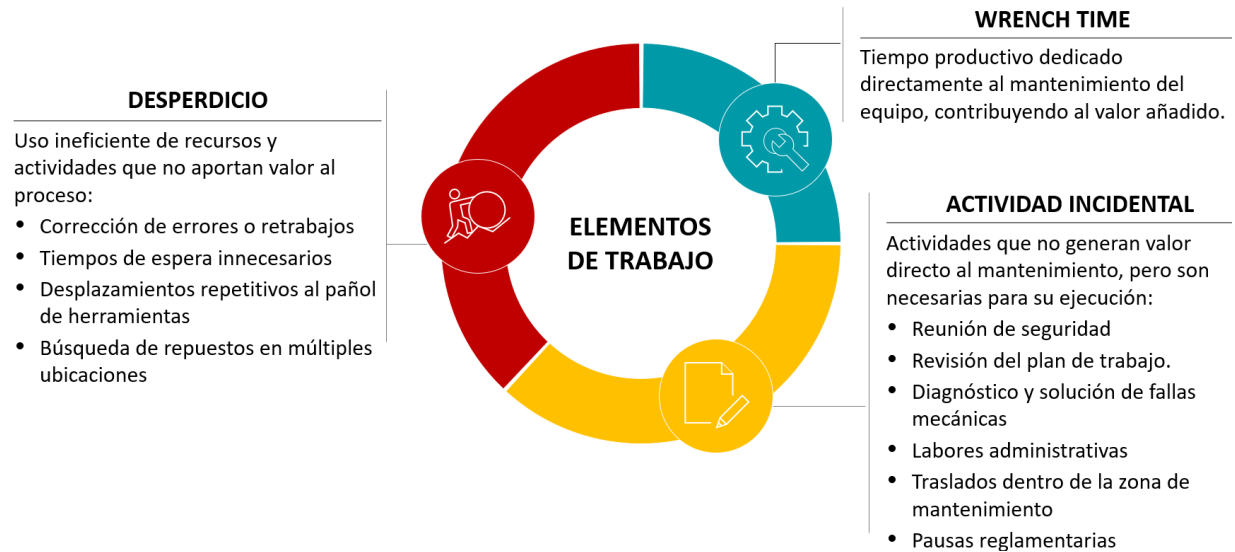
- Incrementar la productividad del personal de mantenimiento.
- Optimizar la asignación de recursos mediante un enfoque multidisciplinario.
- Mejorar la ruta crítica, asegurando una ejecución más eficiente de las tareas.
- Reduzca los tiempos de inactividad, aumentando la disponibilidad operativa de la flota.

La implementación de SMED en el mantenimiento preventivo de los camiones 793D se llevó a cabo a través de seis pasos clave, diseñada para optimizar la ejecución de actividades y garantizar una intervención más eficiente en cada proceso de mantenimiento.

5.3.1. Medir el tiempo total de la tarea (Wrench Time)

La herramienta Wrench Time permite cuantificar el tiempo efectivo de trabajo en terreno, clasificando las actividades en tres categorías principales.

Figura 18
Clasificación de actividades en Wrench Time



Fuente: Elaboración Propia


Su aplicación en el mantenimiento de equipos mineros proporciona una visión objetiva del uso del tiempo, facilitando la identificación de oportunidades de mejora y optimización de procesos. El análisis de Wrench Time responde a interrogantes clave para la excelencia operativa:


- ¿Qué proporción del tiempo total se destina a cada actividad dentro de la jornada de trabajo?
- ¿Cuáles de estas actividades no agregan valor al proceso?
- ¿Cuáles son las principales barreras que afectan la eficiencia y efectividad operativa?


Para garantizar una medición precisa del Wrench Time, es fundamental aplicar las mejores prácticas durante la observación (shadowing) de los trabajadores y procesos.


Figura 19


Buenas prácticas para seguir por el personal


- 


Asegurarse de contar con el equipo de protección adecuado al acompañar y **comprender los procedimientos de seguridad específicos del área**
- 

El shadowing debe tener lugar durante **al menos la mitad del turno/PM** para asegurar que la mayoría de las actividades sean capturadas (ej., cambio de turno)
- 

Antes del inicio del turno, **discutir los planes del día para tener claridad de las macro actividades a observar**
- 

Tener una **conversación introductoria con el individuo/equipo** sobre cómo funciona el proceso
- 

Sesión informativa al final del turno para entender si el día fue según lo planeado y qué puntos de dolor existían
- 

Asegúrese de tomar una **fotocopia** o una imagen clara de las **órdenes de trabajo** en las que se está trabajando
- 

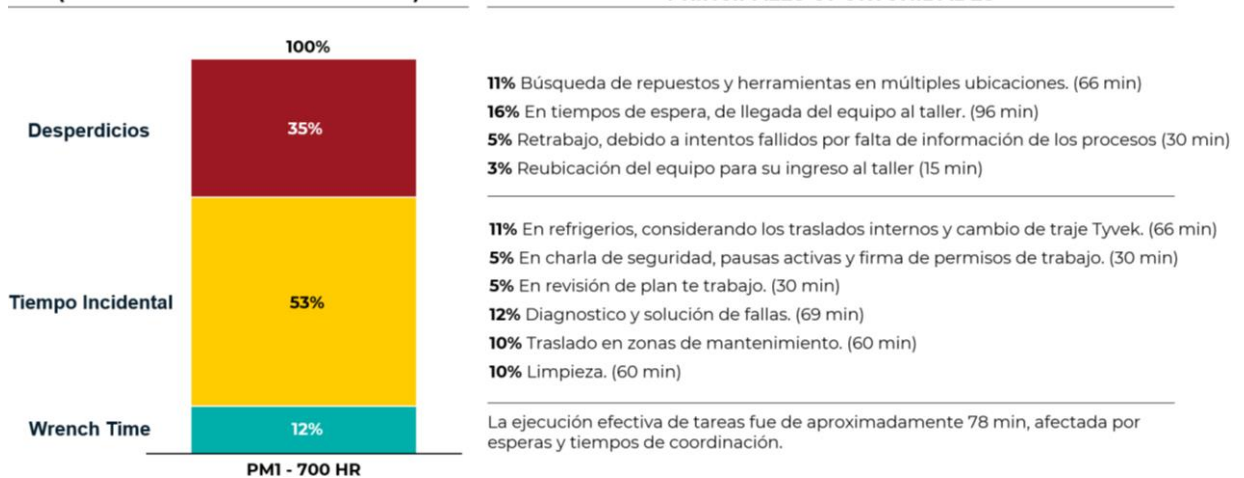
Utilizar una APP o cronómetro como **recordatorio para registrar la hora de inicio y fin de cada actividad, o recordar el registro cada 3 minutos**

Fuente: Elaboración Propia

Durante los meses de enero y febrero de 2024, se realizaron mediciones en el PM1, PM2 y PM3 del mantenimiento preventivo de los camiones Caterpillar 793D.

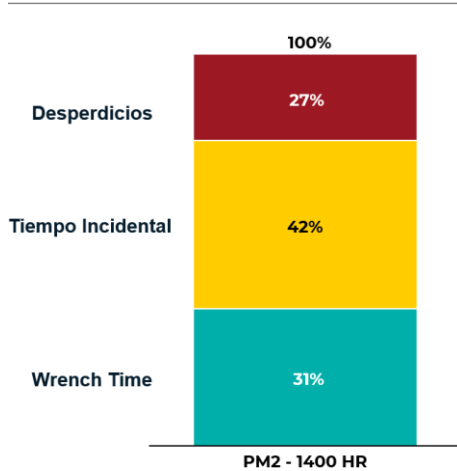
Figura 20

Medición Wrench Time del PM1-700HR
(% DE HRS TOTALES OBSERVADAS)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21
Medición Wrench Time del PM2-1400HR
 (% DE HRS TOTALES OBSERVADAS)



Fuente: Elaboración Propia

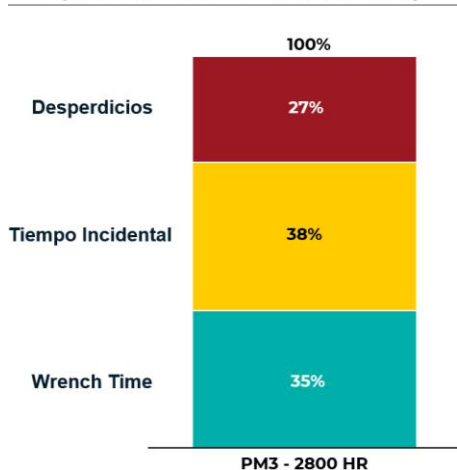
PRINCIPALES OPORTUNIDADES

- 10% Búsqueda de repuestos y herramientas en múltiples ubicaciones. (114 min)
- 10% En tiempos de espera, de llegada del equipo al taller. (105 min)
- 6% Retrabajo, debido a intentos fallidos por falta de información de los procesos (60 min)
- 1% Reubicación del equipo para su ingreso al taller (15 min)

- 7% En refrigerios, considerando los traslados internos y cambio de traje Tyvek. (72 min)
- 3% En charla de seguridad, pausas activas y firma de permisos de trabajo. (30 min)
- 5% Cambio de guardia y revisión de plan de trabajo. (60 min)
- 12% Diagnostico y solución de fallas. (124 min)
- 10% Traslado en zonas de mantenimiento. (108 min)
- 5% Limpieza. (60 min)

La ejecución efectiva de tareas fue de aproximadamente 331 min, afectada por esperas y tiempos de coordinación.

Figura 22
Medición Wrench Time del PM3-2800HR
 (% DE HRS TOTALES OBSERVADAS)



Fuente: Elaboración Propia

PRINCIPALES OPORTUNIDADES

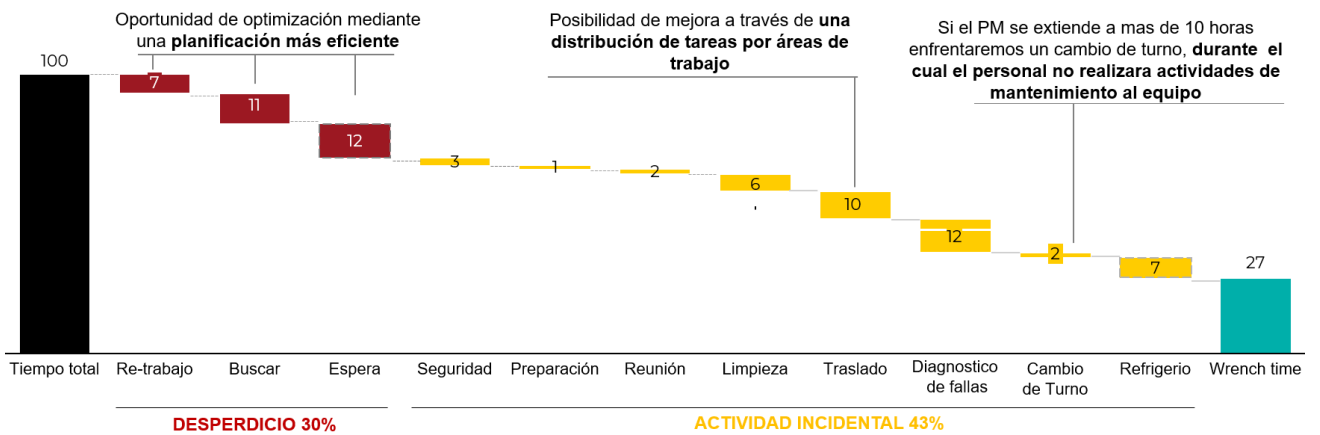
- 11% Búsqueda de repuestos y herramientas en múltiples ubicaciones. (158 min)
- 8% En tiempos de espera, de llegada del equipo al taller. (120 min)
- 7% Retrabajo, debido a intentos fallidos por falta de información de los procesos (90 min)
- 1% Reubicación del equipo para su ingreso al taller (15 min)

- 6% En refrigerios, considerando los traslados internos y cambio de traje Tyvek. (90 min)
- 2% En charla de seguridad, pausas activas y firma de permisos de trabajo. (30 min)
- 4% Cambio de guardia y revisión de plan de trabajo. (60 min)
- 12% Diagnostico y solución de fallas. (165 min)
- 10% Traslado en zonas de mantenimiento. (144 min)
- 4% Limpieza. (60 min)

La ejecución efectiva de tareas fue de aproximadamente 507 min, afectada por esperas y tiempos de coordinación.

Los resultados obtenidos indican que el Tiempo Efectivo de Mantenimiento promedio fue del 27%, evidenciando que una parte significativa del tiempo se destina a actividades no productivas, como tiempos de espera, retrabajo, búsqueda de herramienta y repuestos, desplazamiento durante el antenimiento y cambios de turno.

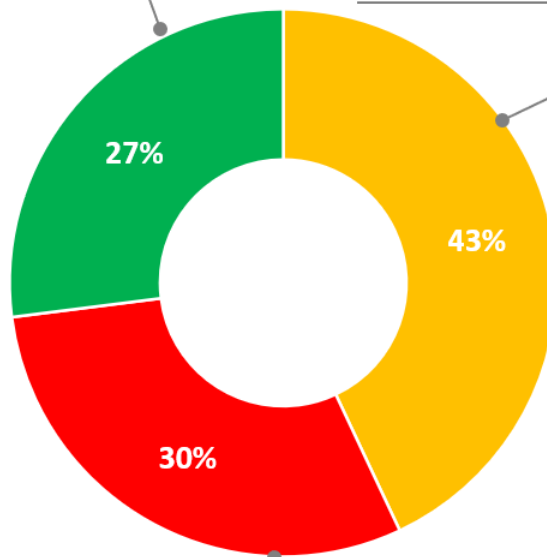
Figura 23
Análisis de porcentaje del tiempo disponible



ACTIVIDADES QUE GENERAN VALOR (27%)

ACTIVIDADES INCIDENTALES (43%)

- Seguridad (3 %)
- Limpieza (6%)
- Cambio de guardia (5%)
- Diagnostico y reparación de fallas (12%)
- Refrigerio (7 %)
- Traslado (10%)



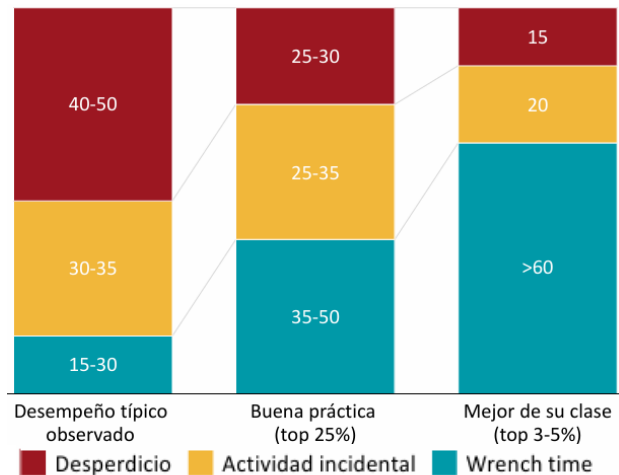
DESPERDICIO (40%)

- Re-trabajo (7 %)
- Búsqueda de herramientas y repuestos (11 %)
- Espera (12 %)

Fuente: Elaboración Propia

El análisis evidenció oportunidades significativas de optimización mediante la aplicación de SMED, planteándose como objetivo incrementar el porcentaje de Wrench Time a más del 60%.

Figura 24
Wrench Time objetivo



Fuente: Elaboración Propia

Para alcanzar este objetivo se desarrolló un plan de acción en base al Wrench Time medido.

Figura 25
Plan de acción en base al Wrench Time medido

	PUNTOS DE DOLOR	PLAN DE ACCIÓN ALTERNATIVO	IMPACTO POTENCIAL
DESPERDICIOS	Retrasos por espera de personal debido a coordinaciones tardías	Establecer procedimientos y distribución precisa de las tareas a ejecutar	+4%
	Tiempos muertos por falta de herramientas o materiales al momento de la intervención	Realizar checklist previo al inicio del PM, asegurando disponibilidad de herramientas y repuestos en pañol.	+3%
	Reprocesos por intentos fallidos al ejecutar tareas sin condiciones adecuadas	Capacitar al personal en protocolos de verificación previa y asegurar el cumplimiento de PETs antes de cada actividad.	+2%
	Retrasos por espera de personal para firma de permisos o realizar procesos de bloqueo/desbloqueo	Incorporar proceso de checklist de recursos y condiciones previo al PM Prever requerimiento de personal de acuerdo Gantt y ruta crítica	+3%
INCIDENTALES	Demoras en la revisión del paquete de trabajo y coordinación de actividades.	Digitalizar los procedimientos de mantenimiento y optimizar el acceso a información clave antes del inicio del PM	+4%
	Pérdida de tiempo en el cambio de turno sin una transición eficiente	Implementar una reunión estructurada con tiempos definidos y priorización de tareas pendientes	+5%

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2. Determinar actividades internas y externas de la tarea

La metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) clasifica las actividades en internas y externas, con el objetivo de optimizar los tiempos de intervención en el mantenimiento preventivo de los camiones mineros.

Las actividades internas son aquellas que requieren que el equipo esté fuera de operación para su ejecución, lo que implica una interrupción en sus trabajos de carguío. A partir del análisis de Wrench Time, se identifican las principales actividades internas dentro del proceso de mantenimiento.

- Reubicación del equipo dentro del taller: Traslado del equipo de una bahía a otra al momento de su ingreso al taller debido a la disponibilidad de espacio y capacidad operativa del taller.
- Pruebas de rendimiento y diagnóstico de sistemas: Evaluación de los sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos del equipo para verificar su correcto funcionamiento antes de la liberación operativa.
- Cambio de turno de guardia: Cuando el mantenimiento supera las 10 horas del turno estándar, se generan hasta 2 horas de inactividad sin personal asignado por cambio de guardia.
- Gestión de documentación y cumplimiento de protocolos de seguridad: Llenado de formularios de inspección de seguridad (IPERC), firma de permisos de trabajo y participación en charlas de seguridad previas al inicio de actividades críticas.
- Ejecución de trabajos en altura: Implementación de medidas de seguridad para trabajos en altura, como el uso de arnés de seguridad y plataformas elevadoras (elevador de tijera).
- Trabajos de soldadura con requerimientos específicos: Actividades de soldadura que implican el drenaje de fluidos o la remoción de tuberías y componentes estructurales para permitir el acceso y ejecución del trabajo.

- Diferencias en la asignación de personal y recursos entre guardias: Reorganización del equipo de trabajo en función de las decisiones operativas de cada guardia de personal, lo que puede afectar la continuidad y eficiencia del mantenimiento.
- Ejecución de trabajos adicionales al mantenimiento preventivo programado: Realización de actividades no contempladas dentro del plan de mantenimiento preventivo, incluyendo trabajos correctivos y cambio de componentes programados.
- Pausas para alimentación y descanso del personal: Tiempo destinado al almuerzo es de una hora, generalmente programado a las 12:00 pm.
- Gestión de herramientas durante la ejecución del mantenimiento: Retiro, inspección y verificación del estado de herramientas en tiempo de mantenimiento del equipo, lo que puede generar tiempos de espera y afectar la productividad.
- Solicitud y espera de asistencia técnica o apoyo logístico: Coordinación con personal especializado para intervenciones específicas que requieren conocimientos o herramientas adicionales.
- Recepción y validación de repuestos: Verificación de repuestos y componentes durante el mantenimiento preventivo lo que genera demoras durante el proceso de mantenimiento.

Las actividades externas comprenden todas las tareas que pueden realizarse mientras el equipo permanece operativo, sin afectar su disponibilidad para las operaciones de carguío.

- Limpieza y acondicionamiento del área de trabajo posterior al mantenimiento: Retiro de residuos, herramientas y materiales utilizados durante la intervención para restablecer las condiciones óptimas de seguridad y operatividad en el taller de camiones.

- Coordinación y planificación de actividades programadas: Reuniones previas con el equipo técnico y supervisión para definir la asignación de tareas, distribución de recursos y cronograma de ejecución del mantenimiento, asegurando la alineación con los objetivos operativos del día.

La correcta identificación y conversión de actividades internas en externas permite reducir significativamente los tiempos de intervención, aumentando la eficiencia del mantenimiento y la disponibilidad operativa de los camiones.

5.3.3. Convertir las actividades internas en externas

Para reducir los tiempos de inactividad en el mantenimiento preventivo (PM) del camión Caterpillar 793D, se implementaron estrategias para minimizar las tareas internas, transformándolas en actividades externas que puedan ejecutarse antes de la intervención del equipo. Esto permite optimizar el proceso y mejorar la disponibilidad operativa del camión.

Figura 26
Transformación de tareas internas a externas

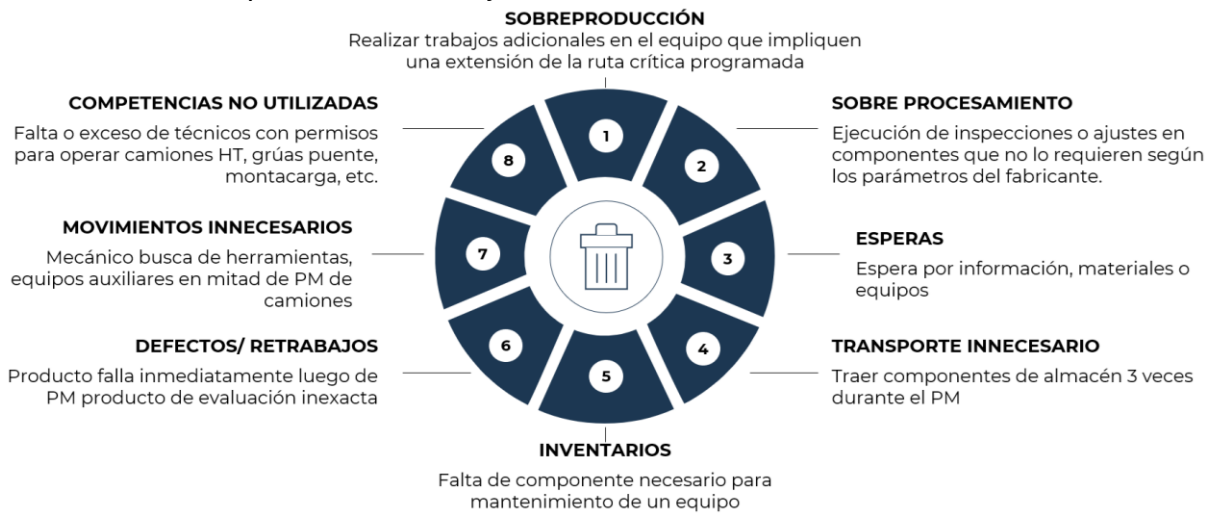


Fuente: Elaboración Propia

5.3.4. Eliminar el desperdicio interno y externo

En esta fase, se identificaron y eliminaron los desperdicios en tareas internas y externas. Se enfocó en aquellas actividades que consumen recursos sin aportar valor al proceso, optimizando así la eficiencia operativa y reduciendo el impacto en los costos y tiempos de mantenimiento.

Figura 27
Eliminación de desperdicios internos y externos

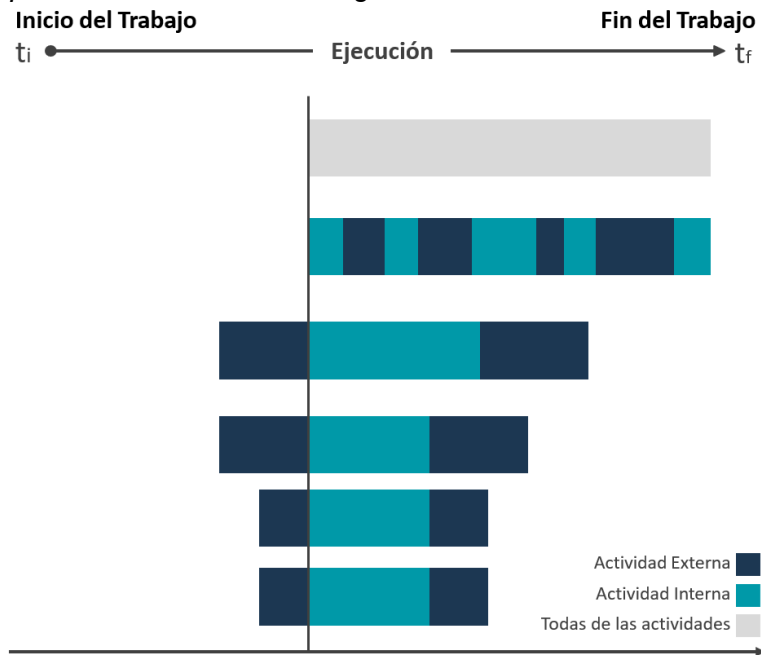


Fuente: Elaboración Propia

5.3.5. Estandarizar y mantener las buenas prácticas

Tras la conversión de actividades internas en externas y la eliminación de desperdicios, se consolidó un esquema estandarizado que incorpora las mejores prácticas identificadas. Como paso final, se desarrolló un diagrama de Gantt que refleja la optimización del proceso, garantizando la sostenibilidad de las mejoras implementadas a través de procedimientos estandarizados y buenas prácticas de mantenimiento.

Figura 28
Evolución de implementación de metodología SMED

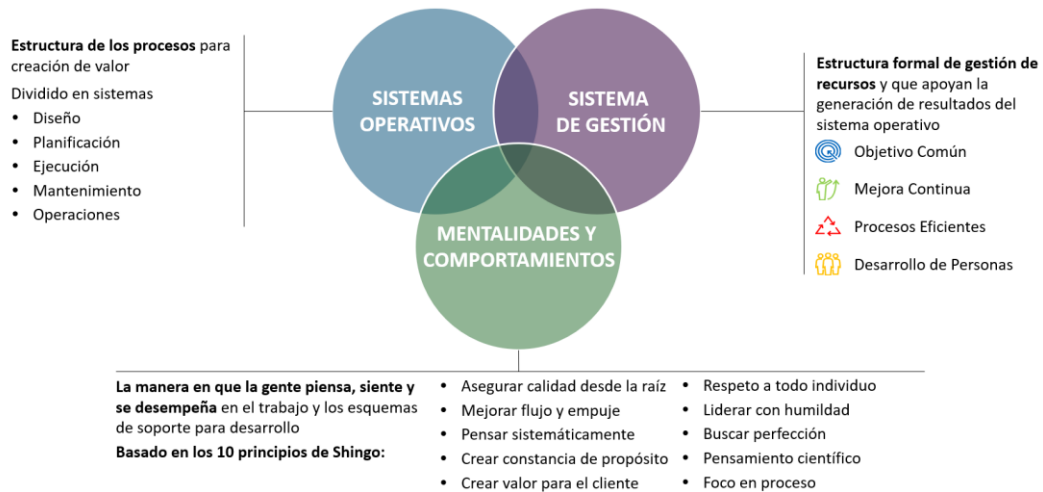


Fuente: Elaboración Propia

5.4. Herramientas LEAN para el mantenimiento estandarizado

La metodología LEAN es una filosofía de gestión que busca maximizar el valor para el cliente mediante la optimización de recursos. Su enfoque se basa en ejecutar las tareas de manera eficiente, en el tiempo y cantidad adecuada, eliminando desperdicios, reduciendo la variabilidad y aumentando la flexibilidad operativa. Todo esto se realiza con un enfoque constante en la generación de valor enforcado en tres pilares fundamentales.

Figura 29
Pilares de la metodología LEAN



Fuente: Elaboración Propia

Para aplicar LEAN en el mantenimiento preventivo de los camiones Caterpillar 793D, es fundamental considerar tres elementos clave:

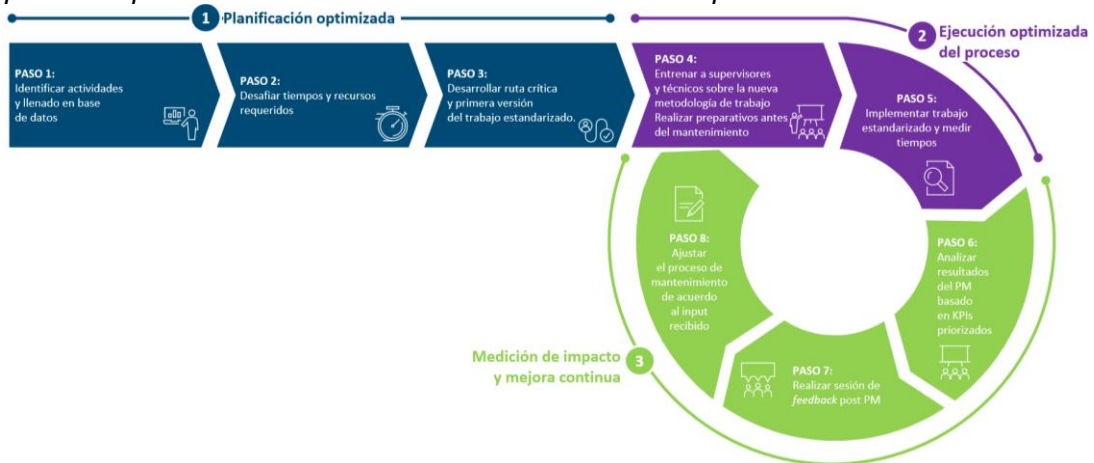
Figura 30
Pilares del LEAN en el contexto del proyecto



Fuente: Elaboración Propia

Estos elementos permiten establecer una metodología de trabajo estandarizada y sostenible, asegurando la mejora continua a través de un ciclo iterativo. La implementación de LEAN en el mantenimiento preventivo no solo optimiza la ejecución de tareas, sino que también garantiza la eficiencia operativa y la disponibilidad de los equipos.

Figura 31
Etapas de implementación de LEAN en el mantenimiento preventivo



Fuente: Elaboración Propia

5.4.1. Optimización de la Estrategia de Mantenimiento Preventivo

El personal de mantenimiento opera en turnos de 11 horas, con un horario de ingreso a las 07:00 h y salida a las 18:00 h. Sin embargo, la planificación del mantenimiento debe considerar tiempos no productivos asociados a tareas incidentales como el transporte del personal, tiempos de espera y la pausa para el almuerzo. Para evitar interrupciones por cambio de turno y optimizar la disponibilidad de los equipos, la ejecución de cada mantenimiento preventivo (PM) debe completarse en un tiempo máximo de 10 horas.

Actualmente, los tres niveles de mantenimiento preventivo (PM1, PM2 y PM3) presentan diferencias en su alcance y en el tiempo de ejecución, aumentando progresivamente la cantidad de tareas a realizar. Este incremento en la duración de los mantenimientos genera desafíos operativos que requieren una reestructuración de la estrategia de mantenimiento.

Tabla 15
Estrategia de mantenimiento preventivo vigente - Flota Caterpillar 793D

	PPM	PM1	PPM	PM2	PPM	PM1	PPM	PM3
ANTAPACCAY	350	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800
DURACIÓN (HR)	4	6	4	10	4	6	4	14

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2. Identificación de Actividades y Construcción de la Base de Datos

Para optimizar el mantenimiento preventivo, es fundamental analizar y validar las actividades que se realizan en cada intervención. Actualmente, el personal técnico recibe una cartilla de mantenimiento con las tareas a ejecutar. Sin embargo, es necesario cuestionarnos:

- ¿Se están ejecutando todas las tareas estipuladas en la cartilla?
- ¿Existen actividades adicionales que deberían incorporarse en función de observaciones en campo y eventos previos?
- ¿Las tareas se realizan con la frecuencia óptima según el estado del equipo?
- ¿Todos los procedimientos están correctamente definidos y documentados con los parámetros y especificaciones necesarias?
- ¿Se dispone de los materiales y herramientas adecuados para cada tarea?
- ¿El procedimiento de ejecución es el más eficiente?
- ¿Cuánto tiempo y qué recursos se requieren realmente para cada actividad?

Para responder a estas interrogantes y garantizar un mantenimiento preventivo estandarizado y eficiente, es necesario consolidar la información en una base de datos estructurada. Esta debe integrar:

- ✓ Cartillas de mantenimiento disponibles, detallando las tareas planificadas.
- ✓ Registros de observaciones en campo, documentando hallazgos y desviaciones.
- ✓ Retroalimentación de supervisores y técnicos, con información sobre tiempos y recursos requeridos.

La construcción de esta base de datos requiere un trabajo colaborativo entre supervisores y personal técnico, con el objetivo de:

- Definir el listado completo de tareas a ejecutar en cada tipo de mantenimiento preventivo (PM1, PM2 y PM3).

- Especificar los parámetros técnicos necesarios para cada actividad.
- Determinar el personal, herramientas y materiales requeridos.
- Establecer tiempos estándar de ejecución para cada tarea.

A partir de este análisis, se obtiene una lista optimizada de actividades y subsistemas clave dentro del mantenimiento preventivo del camión Caterpillar 793D, permitiendo una planificación más precisa y una mejora continua en la gestión del mantenimiento. Entre las principales tareas definidas en cada subsistema se encuentran los siguientes.

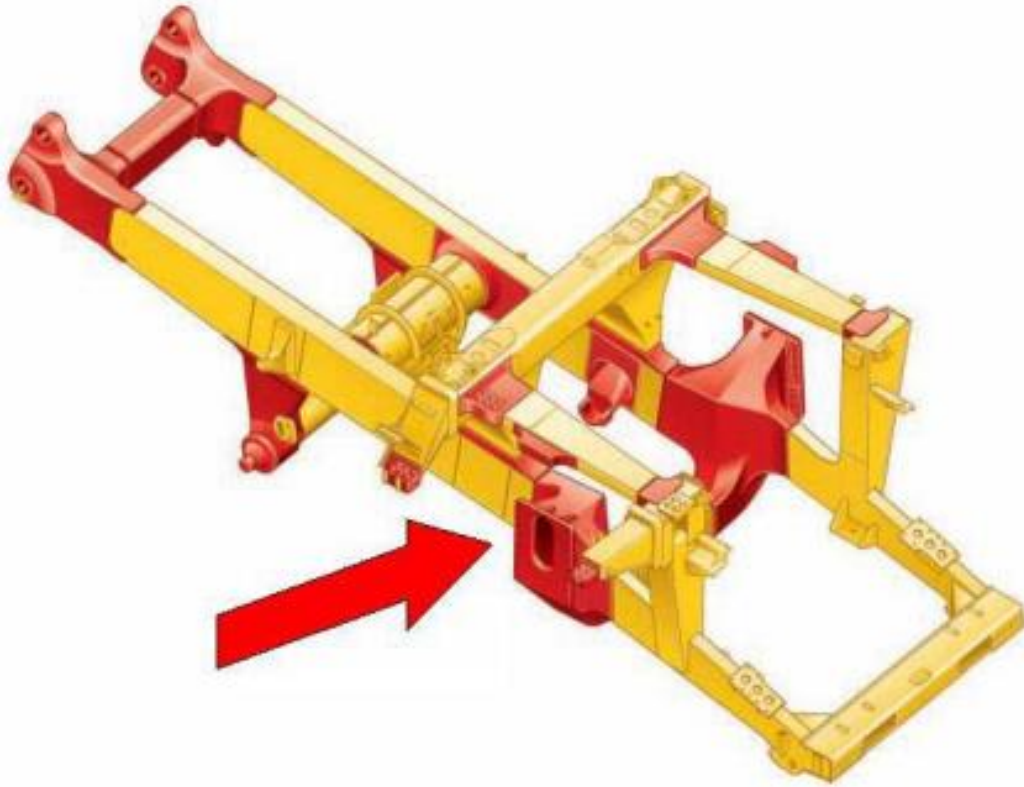
5.4.2.1. Chasis

El chasis del camión Caterpillar 793D tiene un peso de 116,707 kg y está diseñado para integrarse con la tolva, garantizando fiabilidad, durabilidad y una larga vida útil estructural. Uno de los aspectos críticos en el mantenimiento preventivo es la inspección de la unión entre la suspensión delantera y el chasis después del cambio de ruedas delanteras. Una instalación incorrecta o desalineada puede generar fallas estructurales graves. Por ejemplo, se ha registrado casos donde una instalación deficiente provocó la fractura de los pernos de la suspensión delantera derecha, haciendo que la chaveta horizontal absorbiera las fuerzas normales y deformara el canal chavetero de la horquilla del eje delantero.

Dado el diseño estructural del chasis, las intervenciones durante el mantenimiento preventivo (PM) deben enfocarse en fallas críticas o que comprometan la integridad estructural. Si se identifican fisuras menores, estas pueden ser gestionadas en el PPM para evitar la extensión del PM más allá del tiempo establecido. En caso de detectar fisuras recurrentes en el chasis, es fundamental coordinar con el área de Operaciones Mina para evaluar posibles malas prácticas operativas que

puedan estar generando el problema. Un uso inadecuado del equipo podría acelerar la fatiga estructural y comprometer la seguridad y disponibilidad del camión.

Figura 32
Chasis de camión Caterpillar 793D



Fuente: Elaboración Propia

5.4.2.2. Cabina

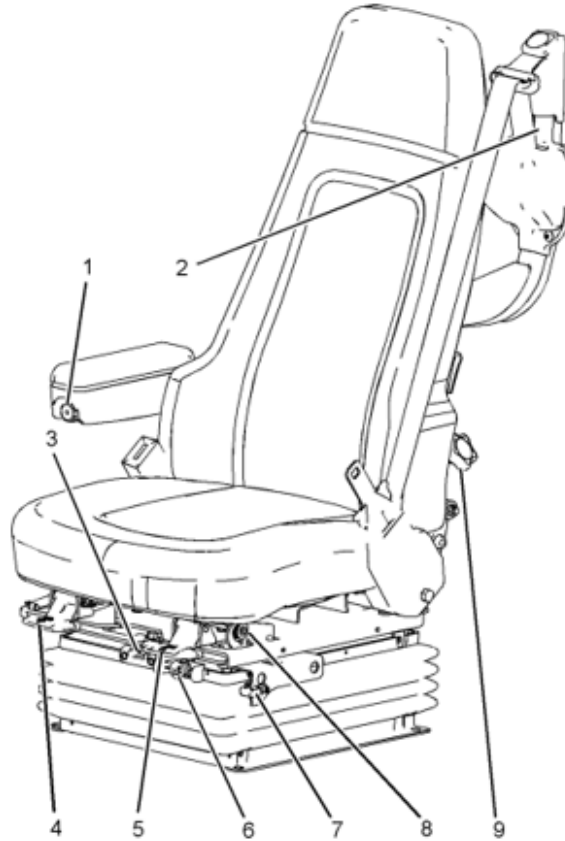
El mantenimiento preventivo de la cabina del camión Caterpillar 793D es fundamental para garantizar la seguridad del operador y el correcto funcionamiento de los sistemas de control. En este proceso, se debe evaluar tanto los componentes mecánicos como eléctricos y electrónicos.

a) Inspección de elementos mecánicos y estructurales

En primer lugar, se debe inspeccionar el estado de las chapas de puertas, lunas, asiento y cinturón de seguridad, asegurando que no presenten daños ni desgaste excesivo. Además, es esencial revisar la suspensión del asiento para

detectar holguras o deterioro, y lubricar los mecanismos de deslizamiento del asiento y reposabrazos para prevenir fricciones y asegurar su correcto funcionamiento.

Figura 33
Componentes principales del asiento del operador

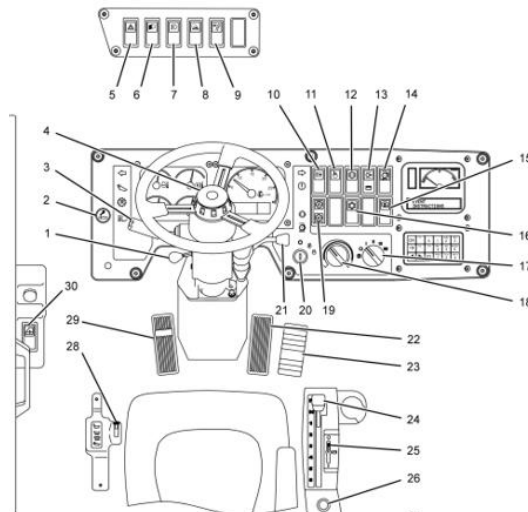


Fuente: *Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D*

b) Verificación del sistema eléctrico

Desde el punto de vista eléctrico, se debe verificar el estado de los indicadores del panel de cabina, el switch general, así como el funcionamiento de los sistemas de limpiaparabrisas, control de ventanas (modelo 793D), alarma de escalera y luces indicadoras de palanca de cambios. Adicionalmente, se debe inspeccionar y limpiar el sistema de iluminación, asegurando que las luces delanteras (altas, bajas y neblineras), posteriores (retroceso, pase y parqueo), direccionales delanteras y posteriores, así como la alarma de retroceso y bocina, operen correctamente. También se debe verificar el funcionamiento del Pay Load Meter y el LED numérico verde.

Figura 34
Componentes principales del panel de la cabina

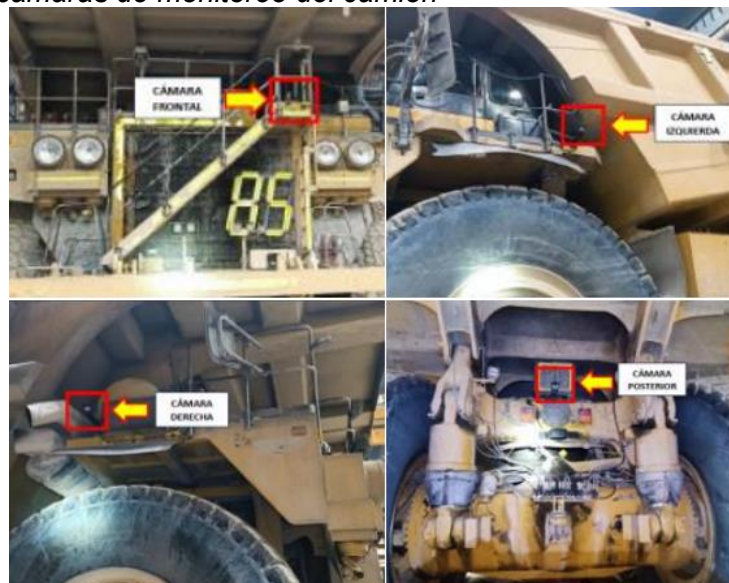


Fuente: *Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D*

c) Sistema de cámaras y monitoreo

En cuanto al sistema de cámaras y monitoreo, es necesario revisar que la pantalla de la cabina muestre correctamente las imágenes de las cuatro cámaras (frontal, izquierda, derecha y posterior). Además, se debe sujetar y asegurar las bases y conectores de las cámaras para evitar vibraciones o interferencias en la transmisión de imagen.

Figura 35
Posición de las cámaras de monitoreo del camión



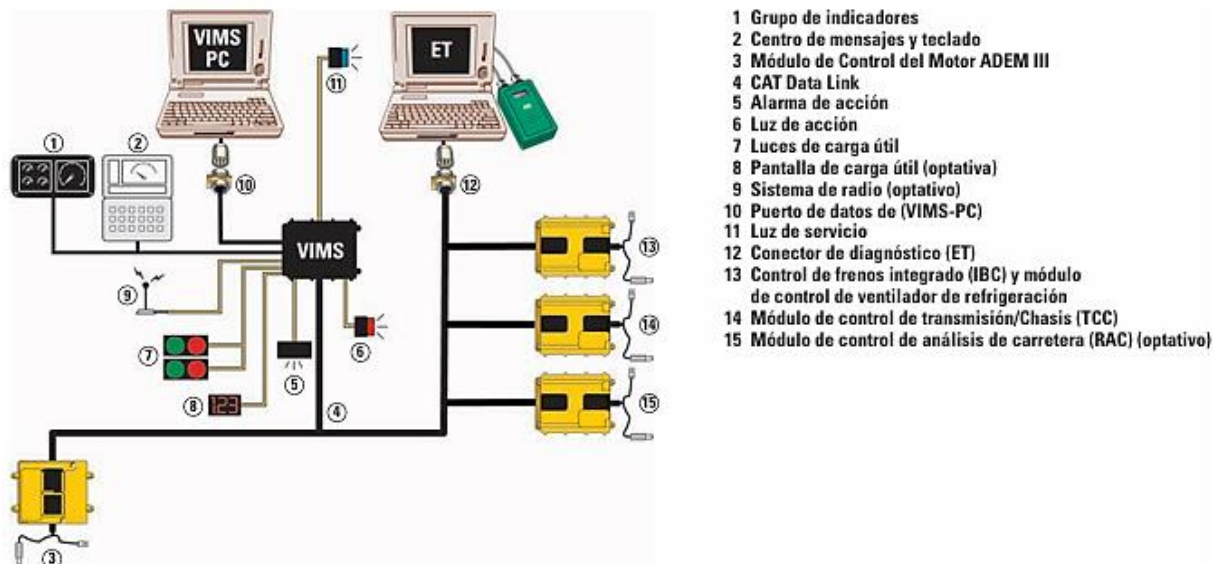
Fuente: *Elaboración propia*

d) Inspección del sistema VIMS y componentes electrónicos

El sistema VIMS y los componentes electrónicos requieren un análisis detallado de los códigos de falla activos y registrados, así como la verificación de la tensión de las baterías, la posición del acelerador (asegurando que alcance entre 99% y 100%) y el mecanismo del pedal del acelerador. Se debe comprobar el funcionamiento de los solenoides, el switch de ARC y la válvula del TCS mediante pruebas con ET, donde el sistema debe mostrar un 44% cuando el freno esté completamente enganchado (con frenos de parqueo/secundario liberados).

Figura 36

Posición de las cámaras de monitoreo del camión



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

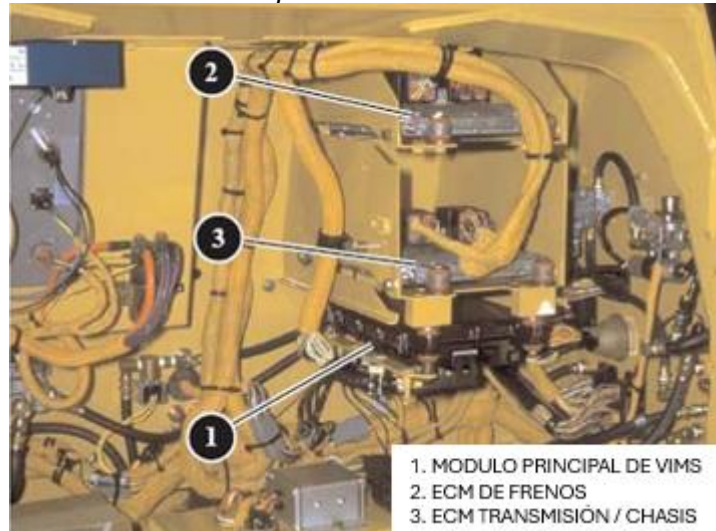
e) Mantenimiento del compartimiento de ECM's y conexiones eléctricas

Por último, en el compartimiento de ECM's, se debe realizar la limpieza, aspirado y sellado de la consola, inspeccionando los conectores y harness en la parte posterior de la cabina. Además, es importante revisar la consola de fusibles, relés y disyuntores, y limpiar los conectores ECM de cabina, transmisión y motor. Se debe inspeccionar el sistema de prelubricación, los sensores y harness de transmisión, los

sensores de levante de tolva y dirección, así como los sensores y harness del motor y convertidor, corrigiendo posibles roces y fijándolos en caso necesario.

Figura 37

Módulos ECM ubicados en la sección posterior de la cabina



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.3. Motor Cat 3516B HD EUI

El mantenimiento del motor Cat 3516B HD EUI es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar su vida útil. Para ello, se deben realizar diversas inspecciones y ajustes, abordando aspectos mecánicos, eléctricos y de control.

En primer lugar, con el equipo en funcionamiento, se debe medir el régimen de revoluciones, evaluar la presión de aceite en diferentes condiciones operativas y verificar la presión de combustible del sistema de baja presión:

Tabla 16

Parámetros de funcionamiento del motor Cat 3516B HD EUI

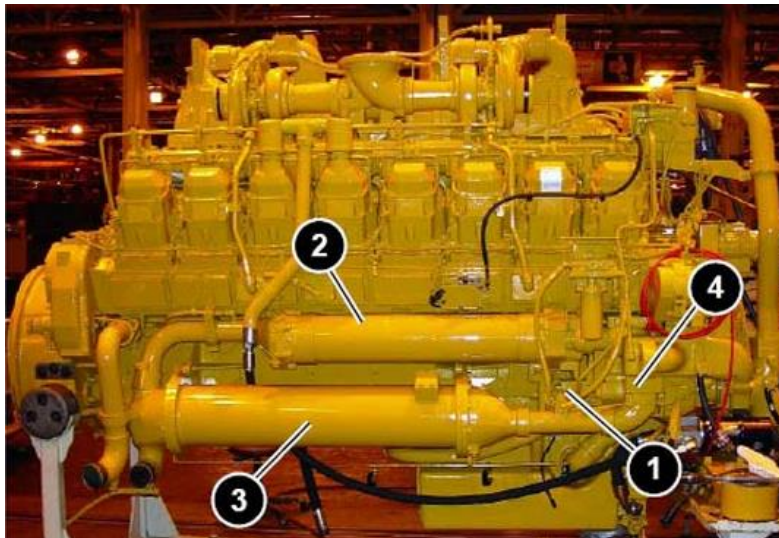
CONDICIÓN	RPM	PRESIÓN DE ACEITE	PRESIÓN DE COMBUSTIBLE
Bajas RPM	700	40 - 70 psi	63 ± 5 psi
Altas RPM	1960	70 - 95 psi	46 - 90 psi

Fuente: Elaboración Propia

Durante cada mantenimiento preventivo programado (PM), se realiza el cambio de aceite del motor, junto con los filtros de aceite y los filtros de combustible primario y secundario. Es crucial garantizar una correcta instalación de los filtros, evitando fugas y asegurando un ajuste adecuado que permita su posterior remoción sin dificultad.

Asimismo, es fundamental realizar el análisis de muestras de aceite para detectar posibles contaminaciones con refrigerante, ya que esto podría acelerar el desgaste de los componentes internos del motor. El refrigerante fluye desde la bomba de agua del motor, pasando por el interruptor de advertencia de flujo y a través de los distintos enfriadores de aceite del sistema (motor, convertidor de par/transmisión y frenos traseros).

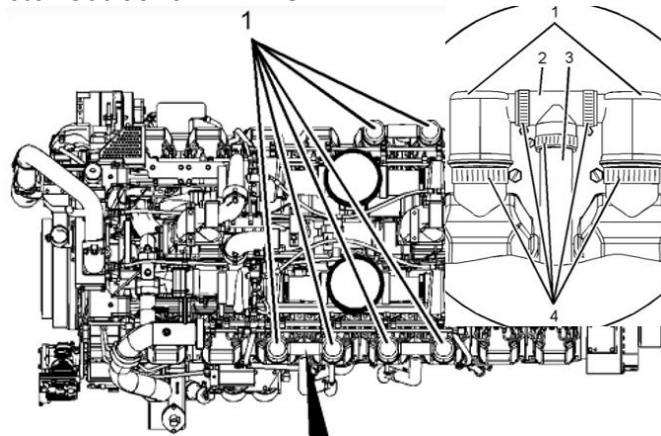
Figura 38
Motor Cat 3516B HD EUI



Fuente: Elaboración propia

El motor cuenta con seis respiraderos, los cuales deben reemplazarse periódicamente para permitir la evacuación de los gases generados en el cárter. Esto evita la acumulación de presión interna, la cual podría dañar los sellos y juntas, además de reducir la condensación y la acumulación de contaminantes dentro del motor.

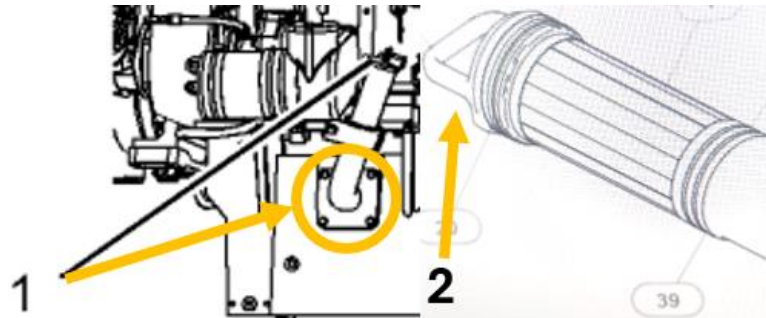
Figura 39
Respiraderos del motor Cat 3516B HD EUI



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

También se debe inspeccionar la rejilla magnética del cárter, retirándola, desmontando el tubo de llenado de aceite de motor (1) y tirando del punto de agarre (2) para analizar la presencia de partículas metálicas (hierro o bronce), lo que podría indicar desgaste prematuro de piezas internas del motor. Tras la inspección, la rejilla y el tubo magnético deben lavarse con un disolvente limpio y no inflamable.

Figura 40
Rejilla magnética del cárter del Motor Cat 3516B HD EUI



Fuente: Elaboración propia

a) Sistema de Admisión y Escape

El cambio de los filtros de aire se realiza según su condición y nivel de saturación. Durante el invierno, el filtro tiene una mayor vida útil antes de saturarse de polvo, mientras que en verano se debe reemplazar con mayor frecuencia. Es importante registrar la fecha de cambio para optimizar su ciclo de reemplazo y

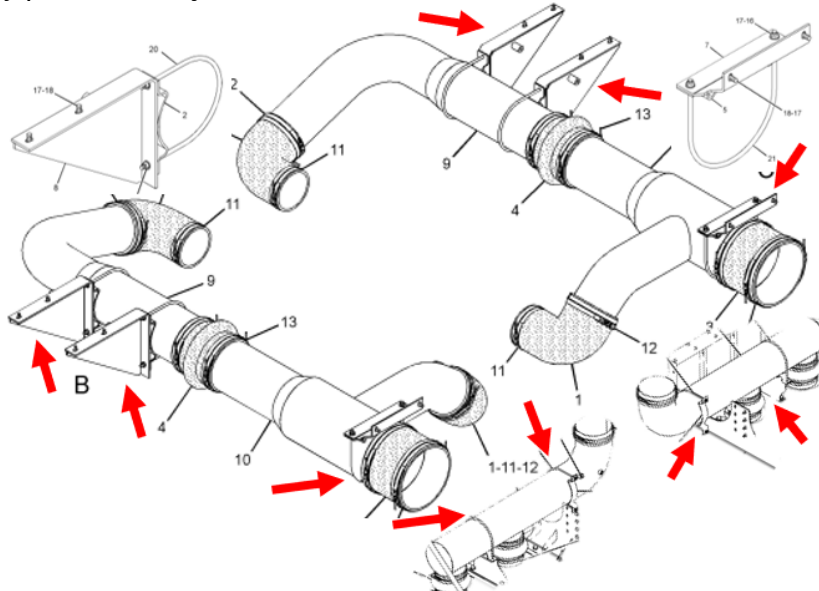
asegurar un adecuado flujo de aire al sistema de admisión e inspeccionar y ajustar todas las abrazaderas, soportes, juntas y conexiones para garantizar la hermeticidad del sistema de admisión.

Figura 41
Filtros de aire del sistema de admisión



Fuente: Elaboración propia

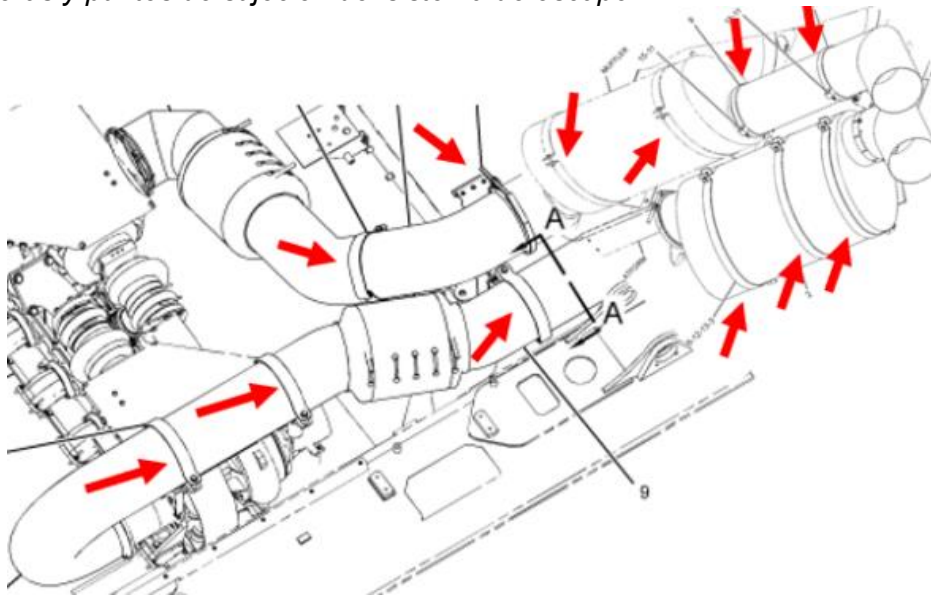
Figura 42
Abrazaderas y puntos de sujeción del sistema de admisión



Fuente: Elaboración propia

Respecto al sistema de escape, se deben inspeccionar y ajustar abrazaderas y soportes del múltiple de escape, así como verificar el estado de los bellows y las mantas térmicas del tubo de escape para prevenir fugas y sobrecalentamientos.

Figura 43
Abrazaderas y puntos de sujeción del sistema de escape



Fuente: Elaboración propia

b) Sistemas Eléctricos y Electrónicos

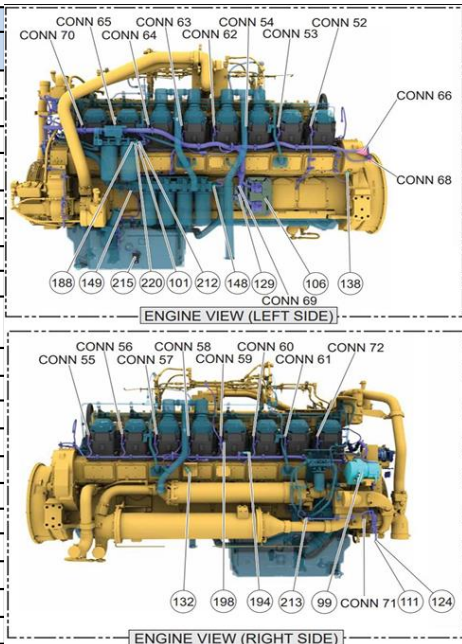
El mantenimiento del sistema eléctrico del motor incluye la revisión de conectores y harness, asegurando que no haya rozamientos ni holguras en los puntos de fijación. Se debe realizar una prueba de vibración, moviendo los conectores y harness en los puntos críticos para confirmar que no se generen fallos eléctricos. Si se detecta holgura entre el harness y los grommets de fijación, se debe retirar el grommet, inspeccionar el estado del harness y aplicar cinta vulcanizante para eliminar el problema.

Se debe prestar especial atención a los harness ubicados en la parte frontal del motor, asegurando que no tengan contacto con el múltiple de admisión ni con el housing del motor. Además, es necesario verificar el correcto funcionamiento del motor de purgado de combustible y su switch de accionamiento.

Tabla 17

Cartilla de inspección de componentes eléctricos del motor Cat 3516B HD EUI

ENGINE	Machine Location	Visual		Vib
		✓	X	X
Alternator - cables	99			
Connector del CONN 66 y 68	CONN 66 y 68			
ECM Motor - CONN 69	106			
Harness de Inyectores y conectores	CONN 55 -65 , 70 y 72			
Relay - Prelube	124			
Sensor GP - Turbo Pressure	145 y 157			
Switch GP - Liquid Level (Low Oil & Oil Fill)	215			
Sensor GP - Temp Turbo LH & RH	147 y 156			
Conector de calibración de Speed timing	CONN 71			
Sensor GP - Speed (Timing, Crankshaft)	138			
Sensor GP - Varios				
Sensor - Crankcase Pressure	132			
Switch - Electric Fuel Priming Pump	212			
Compresor - Harness - Conectores	109			
Sensor - Front Aftercooler Temperature	139			
Sensor - Rear Aftercooler Temperature	151			
Sensor - Engine Speed	137			
Sensor - Engine Coolant Temperature	135			
Switch AS - Pressure (Refrigerant, Hi, Lo)	213			
Switch AS - Remote Shutdown	302			



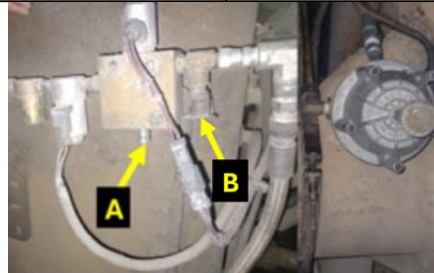
Fuente: Cartilla de mantenimiento del camión Caterpillar 793D

c) Válvula Wastegate y Turbocompresor

La válvula wastegate es un componente clave del sistema de turbocompresión, encargada de regular la presión de sobrealimentación desviando los gases de escape cuando se alcanza un nivel máximo permitido. Esta válvula cuenta con un filtro, el cual debe reemplazarse para evitar obstrucciones. También se debe inspeccionar el cable del solenoide en busca de daños o desgaste. Para verificar su funcionamiento, se deben medir las presiones en estado desenergizado y energizado:

Tabla 18*Parámetros de presión de entrada y salida de la válvula Wastegate*

CONDICIÓN DEL EQUIPO	RPM	PRESIÓN DE ENTRADA (A)	PRESIÓN DE SALIDA (B)
DES-ENERGIZADO	---	0 psi	0 psi
ENERGIZADO	---	0 psi	55 ± 3 psi
ARRANCADO	700–800	---	0 psi
ARRANCADO	850–1200	---	14 psi
ARRANCADO	1200	---	21 psi

*Fuente:* Elaboración propia

A través del software ET, se deben revisar los valores de porcentaje de apertura de la válvula y las mediciones de presión y corriente del solenoide correspondiente. En caso de discrepancias, se debe proceder con la limpieza de la caja reguladora o el reemplazo de la válvula wastegate.

Tabla 19*Parámetros de presión y corriente del solenoide en relación con el porcentaje de apertura de la válvula Wastegate*

Variación en Test de ET %	WASTEGATE NUEVA		WASTEGATE NUEVA		WASTEGATE NUEVA	
	Presión Espec. según cuadro A ± 2 (psi)	Presión registrada (psi)	Desplazamiento registrado (mm)	Desplazamiento registrado (mm)	Corriente mA	Corriente mA
0	12		0.00		510-515	
16	17		0.01		588-595	
20	19		0.02		615-621	
30	24		1.83		668-674	
40	30		10.50		721-724	
50	34		13.31		774-777	
100	47		15.63		1028-1300	

Fuente: Elaboración propia

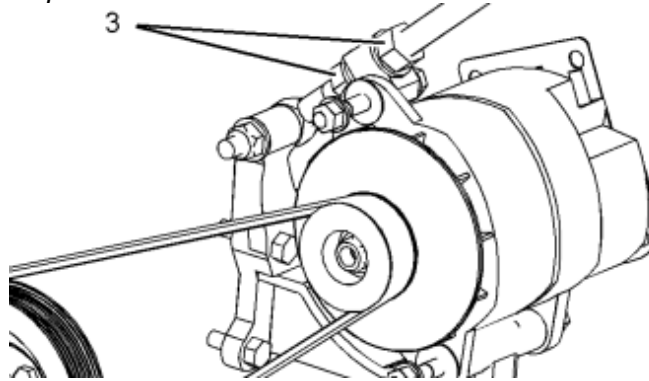
d) Alternador de 24V y sistema de carga de baterías

La faja del alternador debe inspeccionarse para verificar su tensión, asegurando que no presente desgaste, ruidos o juego excesivo. En caso de ser

necesario, se debe ajustar la tuerca (3) para modificar la tensión o reemplazar la correa si presenta daños.

Figura 44

Alternador de 24V acoplado al motor



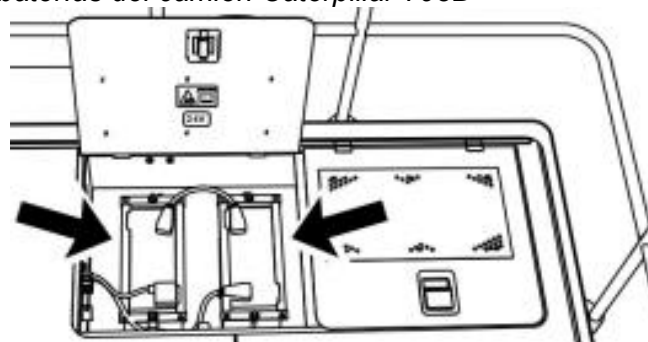
Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

El alternador incluye un rectificador que alimenta y carga el sistema de baterías. El camión cuenta con cuatro baterías, organizadas en dos pares en serie, los cuales están conectados en paralelo para suministrar energía a los sistemas de 24V. Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, se deben realizar las siguientes inspecciones:

- Medir la tensión de las baterías con un analizador especializado.
- Verificar el nivel de electrolito y el estado de la guarda de batería.
- Inspeccionar la tapa, seguro, bornes y terminales, asegurando que no presenten sulfatación ni desgaste excesivo.

Figura 45

Ubicación de las 4 baterías del camión Caterpillar 793D



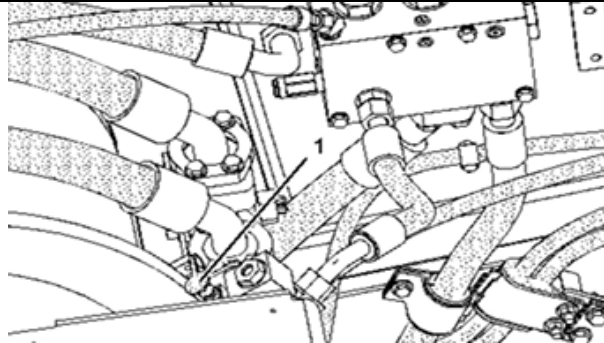
Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

5.4.2.4. Sistema de Dirección y FAN

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de dirección y el ventilador hidráulico (FAN), se deben realizar pruebas e inspección de parámetros de funcionamiento del equipo arrancado que se debe ejecutar en cada PM considerando la criticidad del sistema de dirección.

Tabla 20
Cartilla de pruebas de sistema de dirección

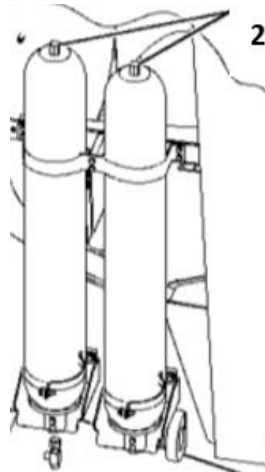
PRUEBA	CONDICION	ESPECIFICADO	ACTUAL
Temperatura Aceite dirección (durante prueba)		>38° C < 121° C	
Tiempo de ciclo (Giro 1 vuelta /segundo - Izq / Der /Izq)	Alatas RPM	> 7 seg < 9 seg	
Número de giros de lado a lado - DER - IZQ (Promedio de 3 veces)		3.4 a 4.5 giros	
Número de giros de lado a lado - IZQ - DER (Promedio de 3 veces)		3.4 a 4.5 giros	
Presión de válvula solenoide y manifold (válvula de prioridad)	Bajas RPM	2650 Psi +/- 75 Psi	
Presión Cutoff (presión de válvula compensadora)	Bajas RPM / Solenoide de enfriamiento desconectado	3500 Psi +/- 50 Psi	
Presión de la válvula de alivio de la dirección	Bajas RPM	3770 Psi +/- 60 Psi	



Fuente: Elaboración propia

El sistema de dirección con dos acumuladores (2), que a una temperatura de 21°C (70°F) deben estar cargados a una presión de 950 psi ± 50 psi; si está fuera de este rango, se debe recargar ambos acumuladores de nitrógeno.

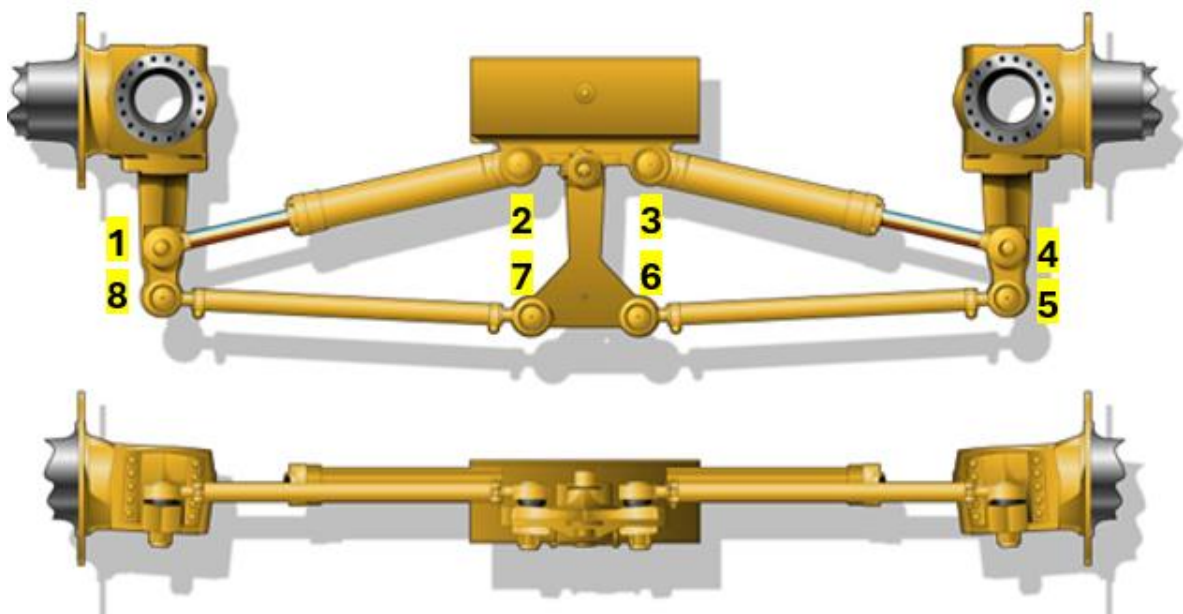
Figura 46
Acumuladores de nitrógeno del sistema de dirección



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

Además, se debe inspeccionar la dirección en busca de desgaste, juego excesivo y daños en las 8 rótulas, así como revisar las barras y terminales de los brazos de dirección (RH & LH) y la barra estabilizadora posterior para detectar fracturas. También es fundamental verificar fugas en los cilindros de dirección RH & LH y programar su reemplazo en caso de daños. Durante esta prueba, se debe evaluar el juego axial del pin pivot y de la barra estabilizadora posterior.

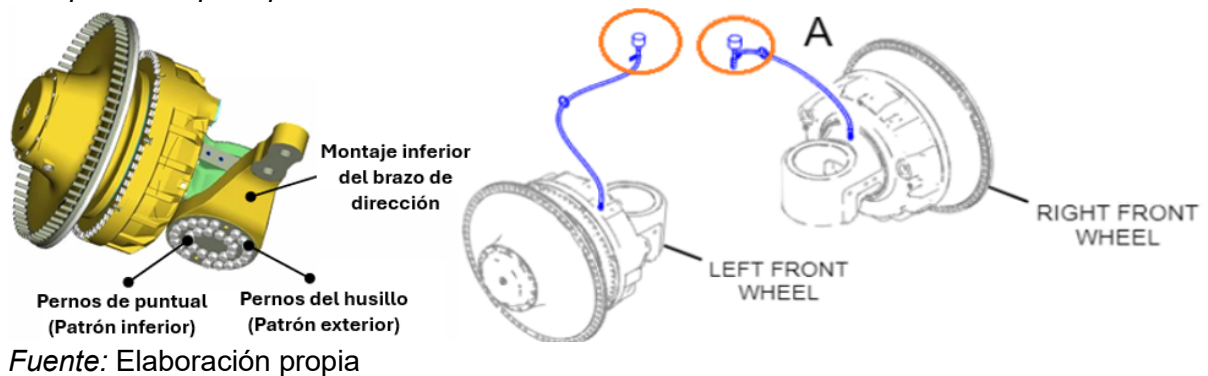
Figura 47
Estructura del sistema de dirección



Fuente: Elaboración propia

Respecto a las ruedas delanteras, los pernos de sujeción al chasis deben estar en buen estado sin signos de desgaste. Se debe inspeccionar la bocamasa y detectar fugas en las líneas de enfriamiento de frenos delanteros LH/RH. También es importante revisar los pernos debajo de las suspensiones, asegurándose de que estén completos y en buen estado, y verificar los respiraderos de las ruedas delanteras, reemplazándolos si es necesario.

Figura 48
Componentes principales de las ruedas delanteras



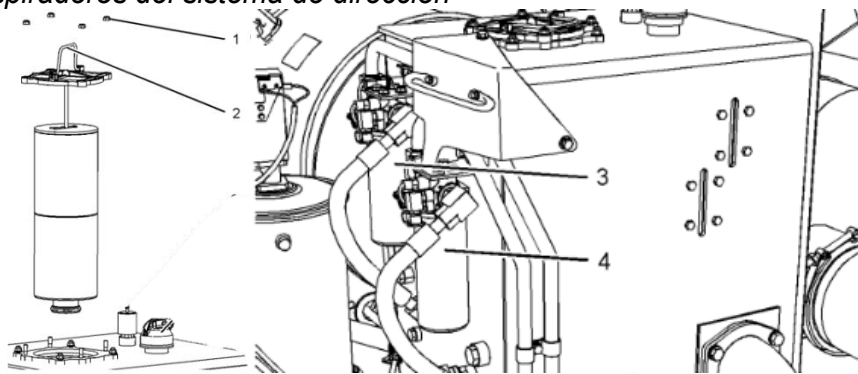
El aceite de dirección se almacena en un tanque ubicado en la parte superior del camión, el cual cuenta con filtros que deben mantenerse en óptimas condiciones.

Para ello:

- Filtros internos del tanque de dirección: Se deben retirar las cuatro tuercas (1) de la tapa y extraer el conjunto del filtro (2) para su inspección y cambio.
- Respiradero del tanque de dirección: Verificar que no esté obstruido.
- Filtros de drenaje: Tanto el filtro de drenaje de la caja del ventilador hidráulico (3) como el filtro de drenaje de la caja del sistema de dirección (4) deben inspeccionarse y reemplazarse según su estado.

Estos filtros se encargan de mantener limpio el aceite del sistema de dirección y del FAN, evitando la contaminación y garantizando el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 49
Filtros y respiraderos del sistema de dirección



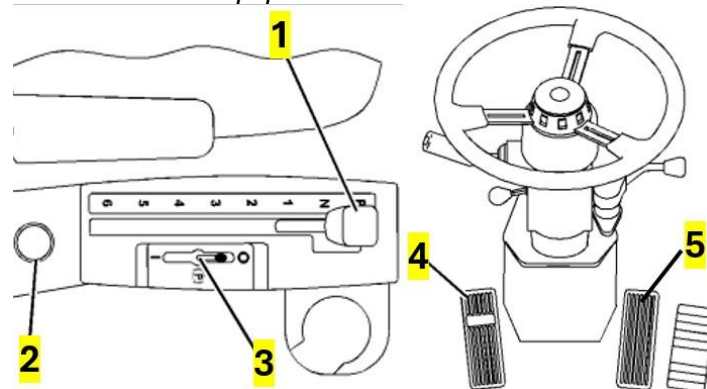
Fuente: Elaboración propia

5.4.2.5. Sistemas de frenos

El sistema de freno de retardo adicional está diseñado para descensos largos con carga. A diferencia de modelos anteriores, este sistema cuenta con un mayor flujo de enfriamiento de frenos y una capacidad de enfriamiento superior, lo que permite un aumento del 35% en la velocidad de descenso en comparación con el 793D estándar. Para evaluar el sistema de frenos, con el equipo encendido y la presión del aire en su nivel operativo, se debe realizar la siguiente prueba:

- a) Oprimir la válvula de rearmado del freno de estacionamiento (2).
- b) Activar el interruptor del freno de estacionamiento (3).
- c) Mover la palanca de control de la transmisión (1) a la posición de primera velocidad.
- d) Aumentar la velocidad del motor hasta 1200 RPM; el equipo debe permanecer completamente frenado sin desplazarse.
- e) Repetir el procedimiento para probar los sistemas de freno secundario (4), freno de servicio (5) y retardo, oprimiendo la válvula de rearmado del freno de estacionamiento y desconectándolo antes de realizar las pruebas. Es fundamental que todos los frenos (estacionamiento, retardo, secundario y servicio) mantengan el equipo inmóvil al activarse, asegurando su correcto funcionamiento.

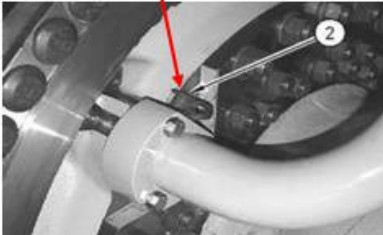
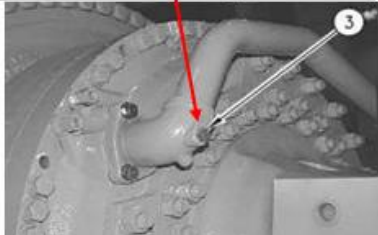
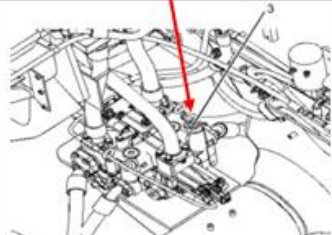
Figura 50
Sistema de control de frenos del equipo



Fuente: Elaboración propia

Con el equipo encendido y el aceite del sistema de enfriamiento entre 79°C y 93°C, se deben medir y ajustar los parámetros del sistema de enfriamiento de frenos:

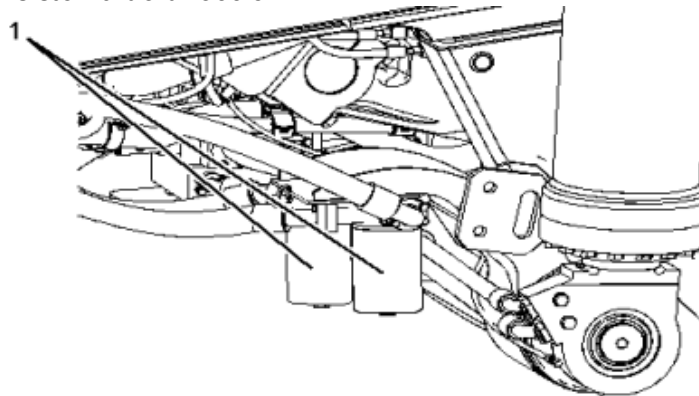
Tabla 21
Cartilla de pruebas de sistema de enfriamiento de frenos

PRUEBA	CONDICION	ESPECIFICADO	ACTUAL
Temperatura del sistema de enfriamiento		79° a 93°C	
Presión mínima de enfriamiento de frenos	BAJAS RPM	2 Psi	
Presión máxima de enfriamiento de frenos	ALTAS RPM	65 Psi +/- 5 Psi	
Presión de alivio de bomba de liberación de freno de parqueo.		115 Psi +/- 3 Psi	
TOMA PRESION ENFRIAMIENTO DE FRENOS POSTERIORES (2)	TOMA PRESION ENFRIAMIENTO DE FRENOS DELANTEROS (3)	TOMA PRESION DE VÁLVULA DE ALIVIO DE ENFRIAMIENTO DE FRENOS (3).	
			

Fuente: Elaboración propia

El sistema de enfriamiento de frenos cuenta con dos filtros, ubicados dentro de las cajas del filtro (1) que se deben cambiar regularmente y limpiar las cajas con un disolvente limpio y no inflamable y si algún sello está dañado, debe ser reemplazado. Al instalar los nuevos filtros, asegurarse de una correcta colocación para evitar fugas o contaminaciones en el sistema.

Figura 51
Cajas de filtros del sistema de dirección



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

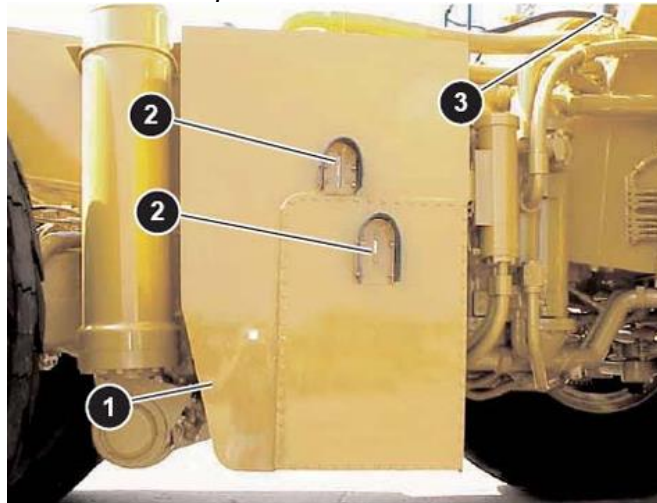
5.4.2.6. Tanque hidráulico

El tanque hidráulico almacena el aceite para los sistemas de frenos y elevación. Cuenta con medidores a la vista (2) para verificar el nivel de aceite, siendo el medidor superior el principal punto de referencia. Para la inspección del nivel de aceite, se deben seguir estos pasos:

- Con el motor apagado y el aceite frío, verificar el nivel utilizando el medidor a la vista.
- Con el motor en funcionamiento y el aceite caliente, realizar una segunda verificación para confirmar que el nivel sea el adecuado.

Es importante revisar el respirador del tanque hidráulico (3) para evitar restricciones en el flujo de aire y si estuviera obstruido, proceder a su cambio. Se debe tomar en cuenta que antes de realizar cualquier operación de mantenimiento, como el cambio de filtros o reparación de fugas de aceite, se debe instalar una bomba de vacío en el tanque hidráulico para evitar fugas masivas de aceite.

Figura 52
Tanque hidráulico del camión Caterpillar 793D



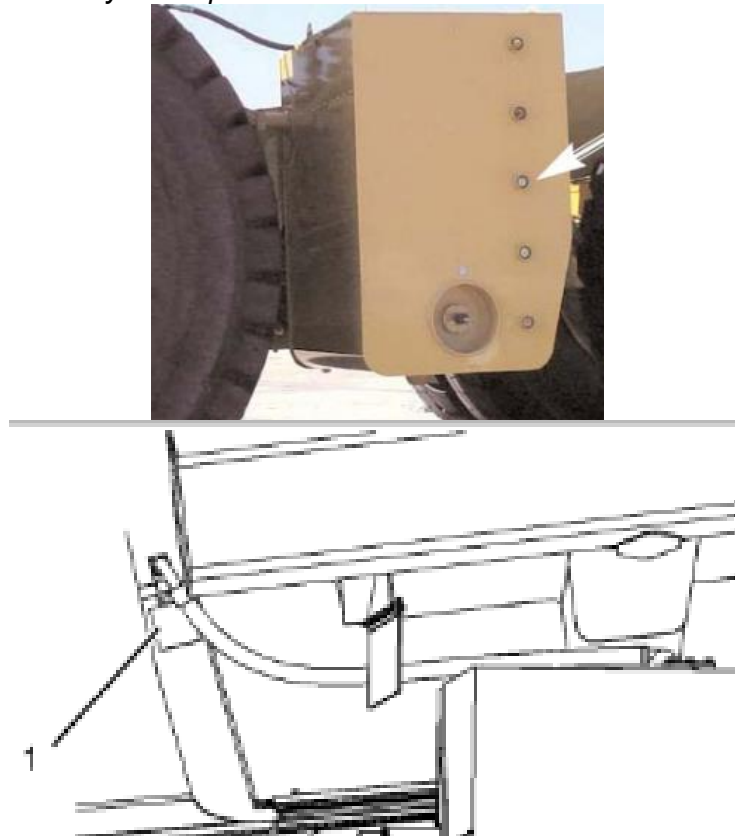
Fuente: Elaboración propia

5.4.2.7. Tanque de combustible

El tanque de combustible está ubicado en el lado izquierdo del camión y cuenta con un indicador de nivel para facilitar la verificación durante la inspección visual al caminar alrededor de la máquina. Durante la inspección del tanque de combustible, se deben considerar los siguientes puntos:

- Verificar que no haya fisuras ni daños críticos en la estructura del tanque.
- Asegurar que no existan fugas en el punto de alimentación de combustible.
- Revisar que el respiradero del tanque no esté restringido; en caso de obstrucción, proceder con su limpieza o, si es necesario, reemplazarlo.

Figura 53
Tanque de combustible y su respiradero



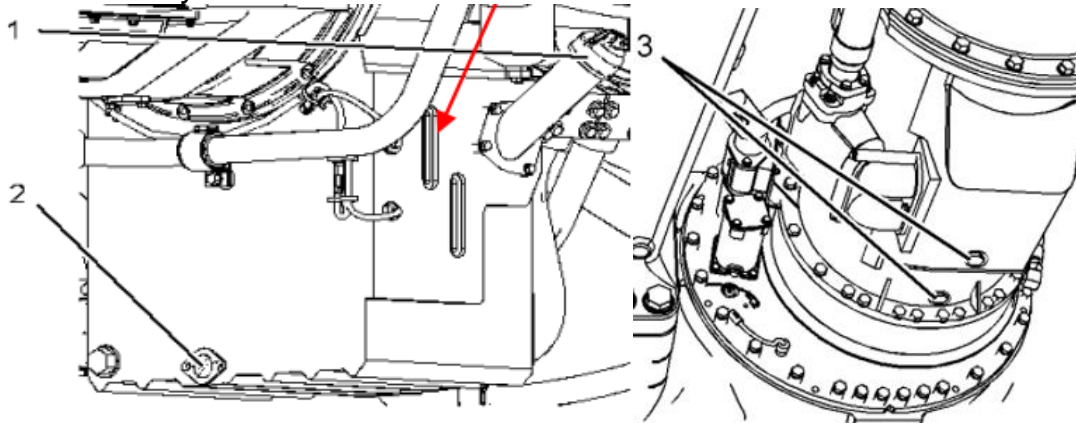
Fuente: Elaboración propia

5.4.2.8. Convertidor

El tren de fuerza (ver Anexo B) comienza en el motor y continúa en el convertidor de torque, el cual cuenta con un disco de embrague que optimiza la potencia y la velocidad máxima del equipo. El sistema de lubricación del convertidor utiliza el mismo aceite que la transmisión. El llenado de aceite se realiza por el punto (1) y para el drenado, se deben retirar los tapones del tanque de aceite del convertidor-transmisión (2) y los tapones de la transmisión (3). Luego del cambio, se debe rellenar hasta la marca "FULL" en la mirilla superior.

Figura 54

Punto de llenado y drenado del aceite del convertidor - transmisión

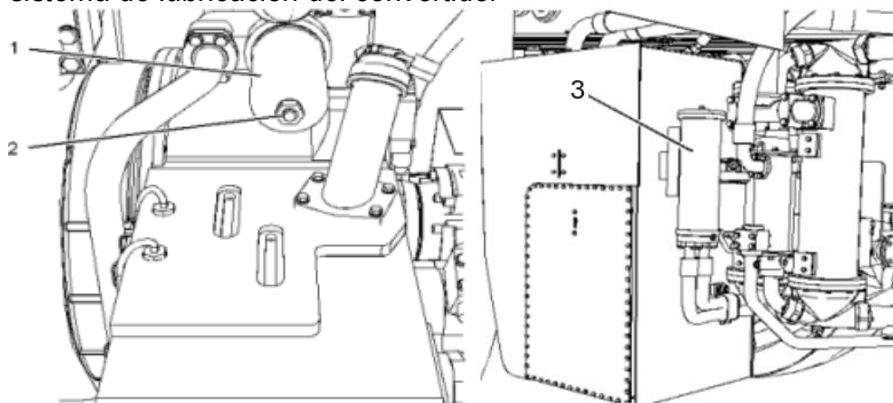


Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

El sistema de filtrado del convertidor incluye un filtro de salida (1) el cual antes de cambiarlo, es necesario drenar el aceite del contenedor retirando el tapón (2). También cuenta con una caja de filtrado de aceite: Ubicada en el costado del tanque de aceite hidráulico, contiene dos elementos filtrantes (3) que deben ser reemplazados junto con el cambio de aceite para evitar contaminación.

Figura 55

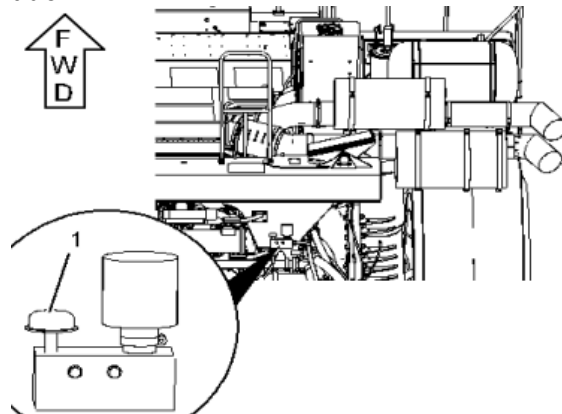
Filtros del sistema de lubricación del convertidor



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

También se cuenta con un respiradero ubicado en la parte posterior derecha detrás de los silenciadores. Su reemplazo es esencial para evitar obstrucciones, acumulación de presión y condensación de contaminantes dentro del convertidor.

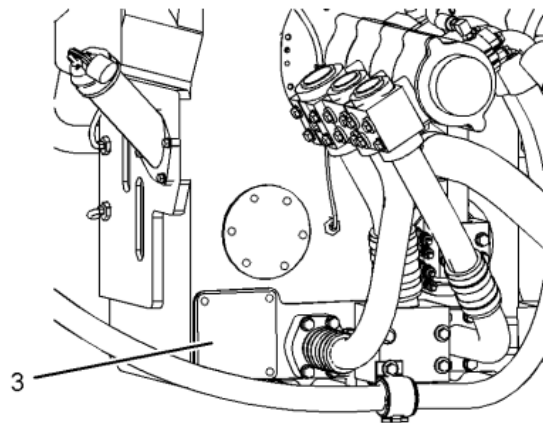
Figura 56
Respiradero del convertidor



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

Situada en la esquina trasera inferior izquierda del tanque de almacenamiento de aceite del convertidor se encuentra una rejilla magnética que se debe inspeccionar y muestrear la rejilla durante el cambio de aceite. Una acumulación excesiva de partículas metálicas puede indicar desgaste mecánico del convertidor-transmisión, es importante que luego del muestreo se limpie la rejilla un disolvente limpio antes de reinstalarla.

Figura 57
Rejilla magnética del convertidor



Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del camión Caterpillar 793D

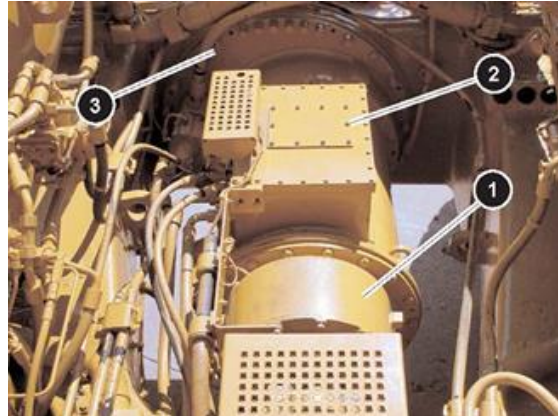
5.4.2.9. Transmisión

La potencia se transmite desde el convertidor de par a través del eje de salida hacia la entrada de la caja de transferencia (1), la cual está conectada a la transmisión

(2). Esta última se encuentra ubicada entre la caja de transferencia y el diferencial (3). La transmisión es electrónicamente controlada e hidráulicamente operada, como todas las transmisiones I.C.M (Modulación del Embrague Individual) en los camiones Caterpillar 793D.

Figura 58

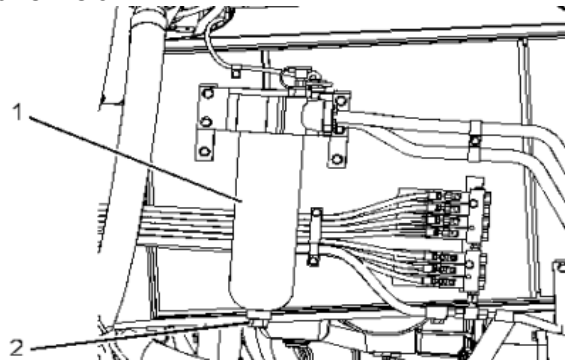
Componentes principales de la transmisión



Fuente: Elaboración propia

El sistema de lubricación de la transmisión cuenta con una caja de filtrado, cuyo elemento filtrante debe ser reemplazado periódicamente. Para este procedimiento, primero se debe drenar el aceite en un recipiente adecuado, limpiar e instalar el tapón de drenaje. Luego, se retira la tapa de la caja del filtro y se desecha el elemento usado. Antes de instalar el nuevo filtro, es importante lavar la caja con un disolvente limpio no inflamable e inspeccionar los sellos de la base del filtro; si están dañados, deben ser reemplazados. Finalmente, se instala el nuevo elemento en la caja y se asegura correctamente.

Figura 59
Filtro del sistema de transmisión

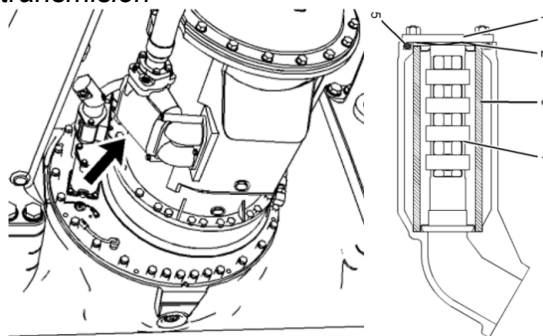


Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la transmisión cuenta con una rejilla magnética instalada en la sección lateral, la cual debe ser inspeccionada para detectar posibles desgastes en los componentes internos. Para realizar el muestreo, se deben seguir estos pasos:

- a) Quitar la placa de cubierta de la rejilla (1), la arandela ondulada (2), la rejilla (3) y el tubo magnético (4).
- b) Inspeccionar la rejilla en busca de partículas metálicas. Si se encuentra una cantidad excesiva, se debe evaluar la transmisión para identificar posibles áreas de desgaste.
- c) Lavar la rejilla y el tubo magnético con disolvente limpio no inflamable, asegurándose de limpiar los imanes con un trapo o un cepillo de cerdas duras.
- d) Reinstalar el conjunto asegurando que los componentes estén en buen estado. Si alguno de los sellos está dañado, debe ser reemplazado.

Figura 60
Rejilla magnética de la transmisión



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.10. Eje diferencial y mandos finales

El sistema de filtración del eje trasero del Caterpillar 793D es de accionamiento hidráulico, lo que proporciona un flujo continuo de aceite a través del filtro. Esta filtración constante permite mantener un aceite más limpio y prolonga la vida útil de los componentes gracias al sistema hidráulico de riel común.

Figura 61

Axel box del eje posterior



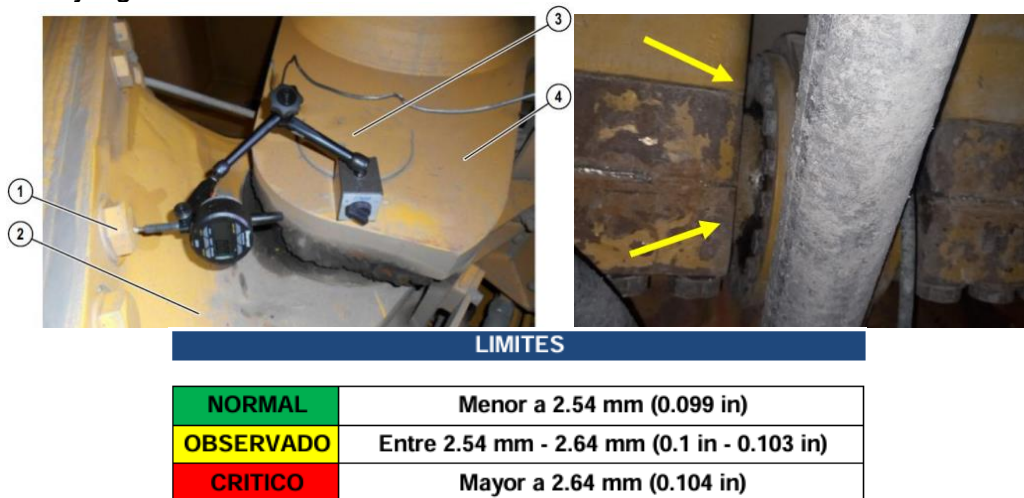
Fuente: Elaboración propia

El chasis está conectado a la estructura del eje posterior mediante un Pin Pivot, un componente crítico que actúa como conexión entre las dos estructuras principales del camión. Para extender su vida útil, se debe realizar un engrase adecuado en cada PM (mantenimiento preventivo) y cada 1400 horas, se debe medir el juego radial del Pin Pivot para determinar su estado y programar su reemplazo antes de una falla crítica. Para la medición del juego radial del Pin Pivot, se debe:

- a) Utilizar un medidor de juego de Pin Pivot digital.
- b) Estacionar el camión, poner el freno de estacionamiento y apagar el motor.
- c) Instalar la base magnética del indicador de dial en el costado del bastidor (3) de la nariz cónica (2), asegurando que la superficie de montaje (4) esté limpia y plana.
- d) Verificar que el puntero del indicador haga contacto con la cabeza del perno objetivo (1) y esté alineado con la dirección del recorrido del eje.

- e) Encender el camión y moverlo hacia adelante a 4 km/h por un recorrido de 10 metros.
- f) En el área designada, accionar el interruptor de bloqueo del freno sin utilizar el pedal del freno de servicio.
- g) Una vez detenido el camión, volver a estacionarlo de forma estable, apagar el motor y tomar la lectura del indicador en la pantalla TIR.
- h) Si el juego del Pin Pivot es excesivo, se debe generar un backlog para programar su reemplazo antes de una falla catastrófica.

Figura 62
Límites de juego de Pin Pivot



Fuente: Elaboración propia

El diferencial cuenta con un visor de nivel de aceite, el cual debe ser inspeccionado al realizar cambios de aceite. Se debe verificar que el nivel de aceite esté en el fondo de la perforación de inspección (1). Además, este sistema cuenta con un interruptor de nivel de aceite (2) que envía una señal al VIMS para alertar al operador sobre el nivel de aceite del eje. El filtro del eje trasero (3) remueve la contaminación del sistema de lubricación y se debe cambiar el elemento filtrante junto con el aceite para evitar contaminación, al lado del filtro se encuentra un banco de inyectores de grasa (4).

El sistema de lubricación también cuenta con un respiradero (5) que previene la acumulación de presión interna el cual se debe revisar periódicamente y reemplazar según intervalos establecidos. Un exceso de presión en la caja del eje puede provocar fugas de aceite de refrigeración de frenos a través del sello del conjunto de frenos de la rueda. Para evitarlo, se debe revisar el respiradero y cambiarlo cuando sea necesario.

Las muestras de aceite del diferencial y del mando final pueden obtenerse a través de la toma de muestra (6).

Figura 63
Componentes principales del eje posterior



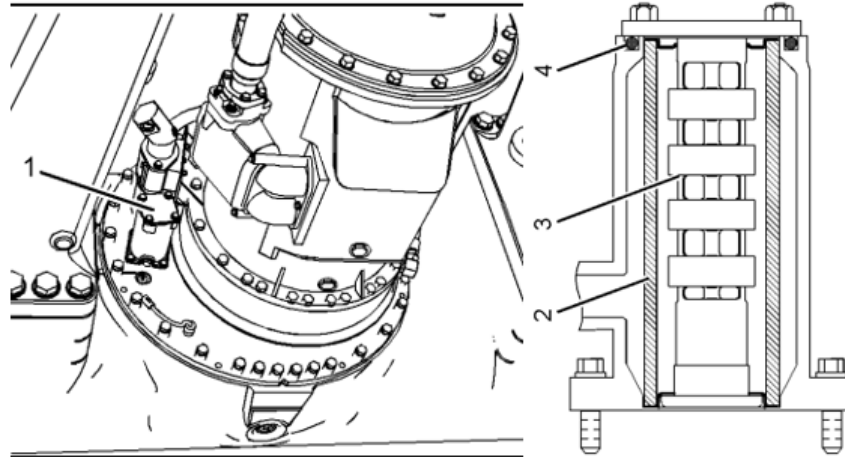
Fuente: Elaboración propia

El diferencial tiene una rejilla magnética en la parte delantera que debe ser inspeccionada para detectar partículas metálicas. Para realizar el muestreo:

- a) Retirar la plancha de cubierta de la rejilla (1).
- b) Sacar la rejilla (2) y el conjunto de tubo magnético (3).
- c) Inspeccionar la cantidad de partículas metálicas. Si hay una acumulación excesiva, se debe evaluar el diferencial para identificar desgastes en los componentes.

- d) Lavar la rejilla y el conjunto de tubo magnético con un disolvente limpio no inflamable.
- e) Limpiar los imanes con un trapo o cepillo de cerdas duras.
- f) Reinstalar todos los componentes y reemplazar los sellos si están dañados.

Figura 64
Rejilla magnética del diferencial



Fuente: Elaboración propia

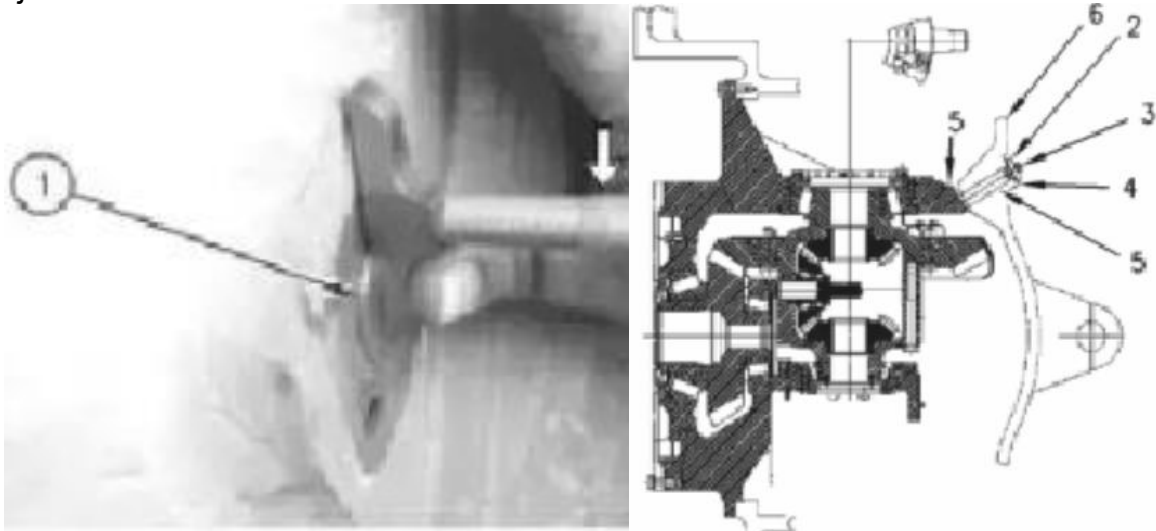
Cada 2800 horas, se debe realizar el ajuste del Thrust Pin del Diferencial. El procedimiento es el siguiente:

- a) Instalar un medidor de profundidad en la caja del eje trasero.
- b) Retirar el sello anular del pasador de tope del diferencial.
- c) Instalar el pasador de tope (1) asegurando que encaje apretadamente contra la tapa de cojinete (5).
- d) Medir la distancia del pasador de tope (1) que sobresale de la caja del eje trasero.
- e) Restar $0,05 \pm 0,02$ mm ($0,0020 \pm 0,0008$ pulg) a la medida obtenida.
- f) Ensamblar el conjunto de calces hasta obtener el grosor correcto y reinstalar el pasador.
- g) Instalar el pasador del conjunto de calces (4), la tapa del pasador de tope (2) y los pernos de la tapa (3) con el apriete estándar.

- h) Si la tapa esta desgastada, debe reemplazarse o generar un backlog para su cambio.

Figura 65

Ajuste del Thrust Pin del Diferencial



Fuente: Elaboración propia

Los ejes traseros cuentan con mandos finales de doble reducción planetaria. Para verificar el nivel de aceite, se debe rotar el mando final hasta que la tapa y el tapón queden en la posición indicada para remover el tapón magnético y verificar que el nivel de aceite esté en el fondo de la perforación, pero siempre se debe llenar primero la caja del eje trasero antes de llenar los mandos finales con aceite. En condiciones frías, el aceite puede tardar hasta 20 minutos en asentarse en los compartimientos internos.

Los tapones magnéticos de inspección deben retirarse para detectar partículas metálicas y evaluar el estado de los componentes. Además, se debe revisar el estado de los semiejes, ya que son los encargados de transferir la potencia. Es crucial medir el desgaste en los dientes de los semiejes y verificar que estén dentro de los parámetros de fabricación. Si se encuentran partículas metálicas en los mandos finales, se debe recordar que el eje trasero es un sumidero común para el diferencial y ambos mandos finales. Esto significa que, si uno de estos componentes falla, los

demás también deben ser inspeccionados y, si es necesario, vaciados para evitar contaminación cruzada.

Figura 66

Eje diferencial de los mandos finales



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.11. Sistema de levante

El sistema de levante del camión 793D está controlado electrónicamente por el ECM de la transmisión y el chasis. Es fundamental inspeccionar el estado del arnés de la válvula de control de levante y su sensor de levante, ya que, en caso de daño, deben ser reparados o fijados. Las posiciones de la palanca de levante son: Levante, sostenimiento, flotante, bajada y SNUB en donde la velocidad del flotador de la caja se reduce para evitar impactos bruscos con el marco.

Con el equipo en operación, se debe evaluar el tiempo de levante de la tolva, el cual debe estar entre 19 y 21 segundos. Durante esta prueba, es crucial inspeccionar el estado de las rótulas, verificando que no presenten desgaste excesivo y que no haya fugas en las líneas hidráulicas, la bomba y los cilindros de levante (RH y LH).

Figura 67

Cilindros de levante de la tolva

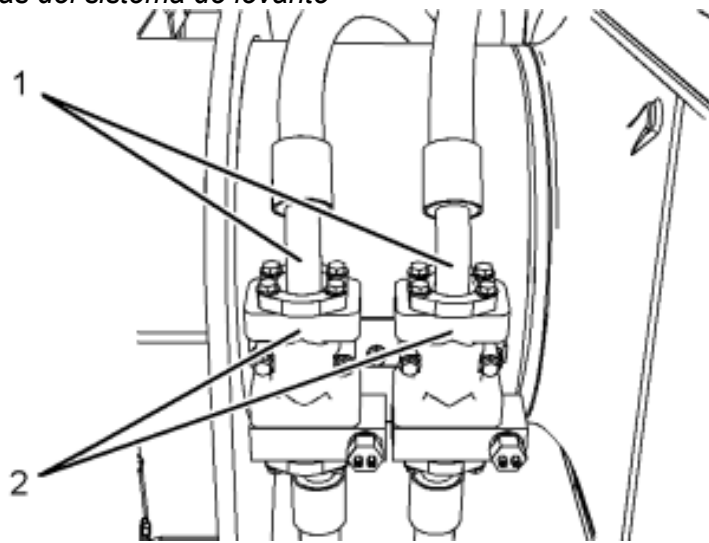


Fuente: Elaboración propia

El sistema de alimentación de los cilindros de levante del camión Caterpillar 793D cuenta con dos rejillas de filtrado de sustancias, las cuales no requieren drenado de aceite hidráulico para su extracción y recolección. Para realizar el muestreo de ambas rejillas, se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Remover los pernos que conectan las mangueras (1) a las cajas (2) de las rejillas del sistema de levantamiento.
- b) Extraer las rejillas y analizar la cantidad de residuos metálicos acumulados.
- c) En caso de encontrar una cantidad excesiva de partículas metálicas, se debe evaluar el sistema de levante para identificar el origen de la contaminación o el área de desgaste de los componentes.
- d) Lavar las rejillas con un disolvente limpio no inflamable.
- e) Instale sellos nuevos en ambas rejillas y ajuste los pernos para evitar fugas.

Figura 68
Rejillas magnéticas del sistema de levante



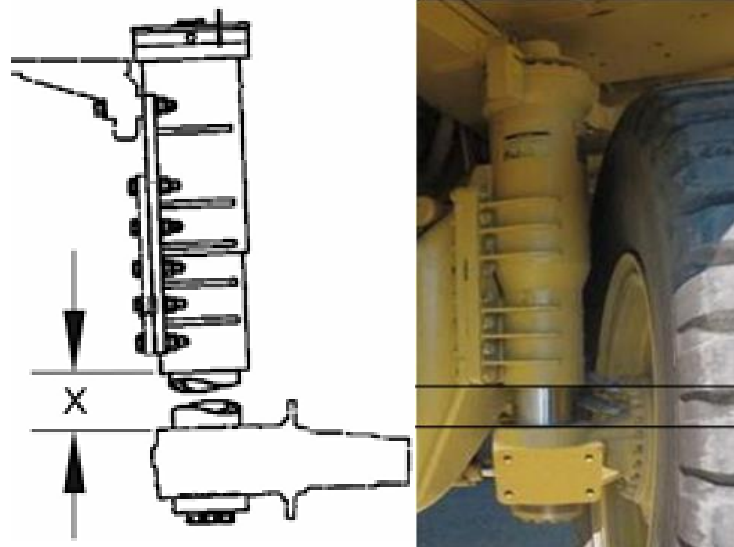
Fuente: Elaboración propia

Estos procedimientos de inspección y mantenimiento aseguran el correcto funcionamiento del sistema de levante, prolongando la vida útil de sus componentes y evitando fallas inesperadas.

5.4.2.12. Suspensiones delanteras y posteriores

El sistema de suspensión del camión 793D requiere inspecciones en cada PM para identificar posibles fugas, fracturas o fisuras en los pernos de sujeción de la suspensión delantera. Para garantizar una correcta nivelación de las suspensiones, es fundamental medir la distancia de cromo expuesto (X) en los cilindros de la suspensión delantera, la cual debe ser de 10 ± 0.5 pulgadas a una presión de 464 ± 5 psi. En caso de detectar una variación en las medidas, se debe realizar la nivelación bajando la suspensión a 0 psi mediante las válvulas de alivio ubicadas en el lado delantero del cilindro. Posteriormente, se debe ajustar la altura y carga de las suspensiones inyectando aceite y nitrógeno hasta alcanzar los parámetros especificados.

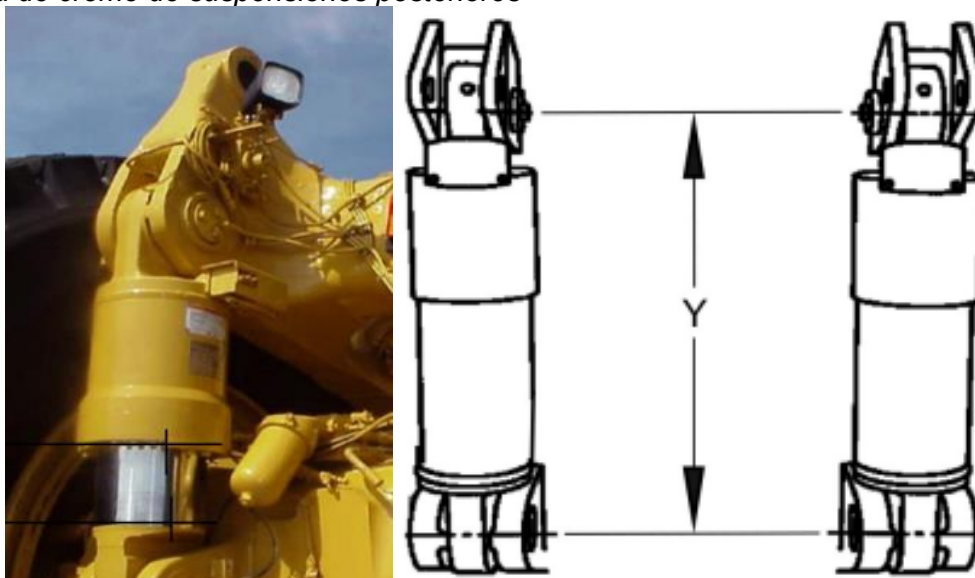
Figura 69
Medida de cromo de suspensiones delanteras



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, es necesario inspeccionar las rótulas de las suspensiones traseras (RH y LH) para detectar signos de desgaste o daño. La correcta nivelación de las suspensiones traseras se verifica midiendo la distancia de cromo expuesto (Y), la cual debe ser de 8 ± 0.5 pulgadas a una presión de 268 ± 5 psi. Si las medidas no se encuentran dentro del rango especificado, se debe reducir la presión a 0 psi e inyectar aceite y nitrógeno hasta restablecer los valores adecuados.

Figura 70
Medida de cromo de suspensiones posteriores



Fuente: Elaboración propia

Es importante considerar que, cuando los cilindros de la suspensión trasera están correctamente cargados, el cilindro izquierdo mostrará menos cromo expuesto que el derecho. Esto se debe a la rigidez del bastidor y al peso de la cabina, lo que genera una distribución asimétrica de la carga en la suspensión trasera.

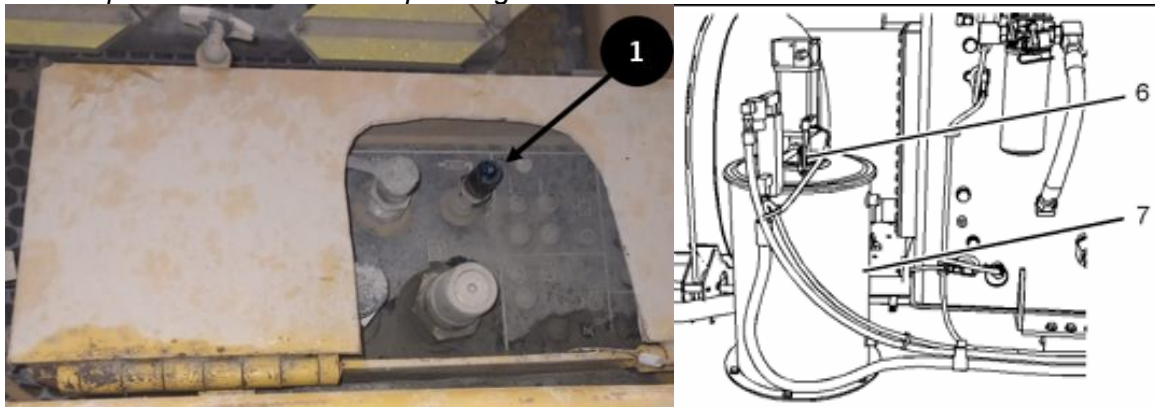
5.4.2.13. Sistema de engrase automático

El sistema de engrase automático del camión 793D optimiza el mantenimiento al proporcionar una lubricación periódica y uniforme a los componentes críticos, reduciendo el desgaste y prolongando su vida útil. Para garantizar su correcto funcionamiento, se deben realizar las siguientes inspecciones y acciones:

- **Verificación y llenado del tanque de grasa:** Inspeccionar el nivel de grasa en el depósito de lubricación automática mediante el medidor de nivel (6) y, en caso necesario, rellenarlo a través de la toma rápida de llenado (1) utilizando el equipo de bombeo de grasa Mobilgrease XHP 220. La capacidad del depósito es de 27 kg.
- **Detección de fugas y funcionamiento del sistema:** Inspeccionar el tanque (7) en busca de fugas y comprobar el correcto funcionamiento de la bomba de auto lubricación.

Figura 71

Toma rápida de llenado de tanque de grasa

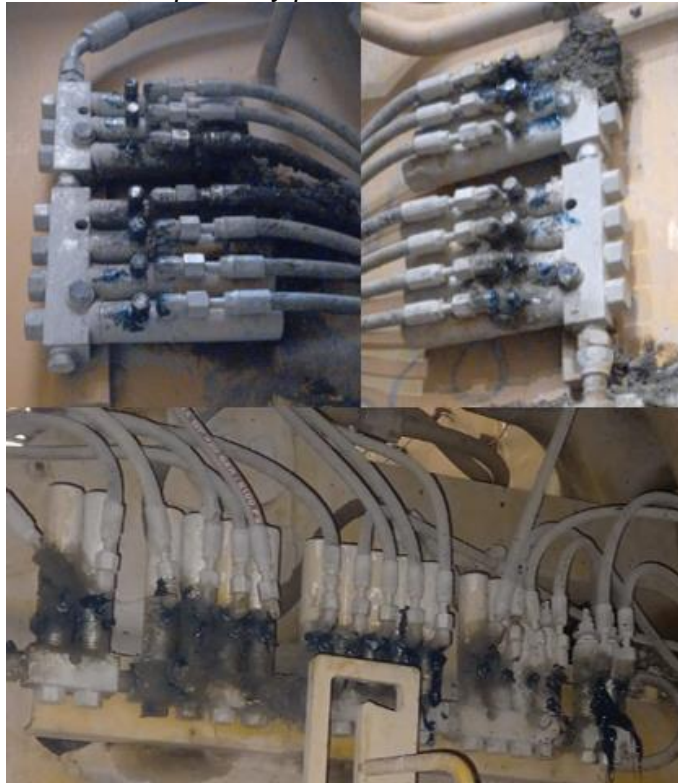


Fuente: Elaboración propia

Es importante inspeccionar y limpiar los inyectores de grasa y realizar la inyección de grasa en los bancos de lubricación derecho, izquierdo y posterior. También se debe inspeccionar y ajustar las abrazaderas de las líneas del sistema de engrase para evitar fugas o conexiones deficientes. Estas acciones preventivas aseguran que el sistema de grabado automático opere de manera eficiente, minimizando el desgaste prematuro de los componentes y optimizando la disponibilidad del equipo.

Figura 72

Bancos de engrase derecho, izquierdo y posterior



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.14. Niveles de Fluidos de Lubricación

Al finalizar cada mantenimiento o intervención del equipo, es fundamental verificar los niveles de fluidos esenciales, incluyendo aceite, combustible y refrigerante. Esta inspección garantiza el correcto funcionamiento del camión y previene fallas operativas derivadas de niveles inadecuados.

Tabla 22*Capacidad de llenado de aceites, refrigerante y combustible-Caterpillar 793D*

	DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	FRECUENCIA CAMBIO
1	ACEITE DE MOTOR	MOBIL 15W40	77 GAL	700
2	ACEITE DE RUEDAS DELANTERAS	MOBIL SAE 60	5.5 GAL C/U	700
3	ACEITE DE DIRECCIÓN Y VENTILADOR	MOBIL SAE 10W	70 GAL	CONDICIÓN
4	ACEITE DE DIFERENCIAL Y MANDOS FINALES	MOBIL SAE 60	270 GAL	2800
5	ACEITE DE LEVANTE Y ENFRIAMIENTO DE FRENOS	MOBIL SAE 10W	300 GAL	2800
6	ACEITE DE TRANSMISIÓN Y CONVERTIDOR	MOBIL SAE 30W	60 GAL	1400
7	REFRIGERANTE DE MOTOR	ELC	225 GAL	CONDICIÓN
8	COMBUSTIBLE		1300 GAL	CONDICIÓN

Fuente: Elaboración propia

Es importante llevar un registro detallado del consumo de estos fluidos, ya que un aumento inusual en el consumo puede indicar posibles problemas, como fugas en el sistema o la necesidad de realizar trabajos correctivos. La identificación temprana de estas anomalías permite optimizar el rendimiento del equipo y reducir desperdicios.

5.4.2.15. Clips y abrazaderas

Para prevenir fugas, daños y el rozamiento de las líneas de lubricación, es fundamental realizar una inspección detallada de la ruta de las líneas, así como del estado de las abrazaderas y pernos de ajuste. Con el objetivo de optimizar esta inspección y garantizar su precisión, se llevó a cabo el mapeo de la ubicación de las abrazaderas y puntos de sujeción, permitiendo una rápida identificación y corrección de posibles anomalías. Para una ejecución eficiente de la inspección, se dividió la ruta de revisión de cada sistema entre el personal de mantenimiento de la siguiente manera:

- **Mecánico A:** Inspección de líneas del sistema de frenos, sistema de enfriamiento, lubricación del sistema de impulsión del ventilador, y lubricación en la sección derecha y frontal del motor. (ver Anexo C).

- **Mecánico B:** Inspección de líneas de lubricación del sistema de potencia, sistema hidráulico, sistema de levante y lubricación en la sección izquierda y posterior del motor. (ver Anexo D).
- **Mecánico C:** Inspección de líneas de lubricación del eje diferencial, sistema de dirección, así como abrazaderas y pernos de ajuste de escaleras y barandas. (ver Anexo E).
- **Mecánico D:** Inspección del sistema de engrase automático del camión y de las tomas rápidas de suministro de aceites y lubricantes. (ver Anexo F).

Esta distribución permite una inspección más eficiente y detallada, asegurando que todas las líneas y componentes críticos sean revisados y ajustados correctamente.

5.4.3. Desafiar Tiempos y Recursos Requeridos

Para optimizar la ejecución del mantenimiento, es fundamental comprender el alcance de cada actividad, estimando los recursos y tiempos requeridos de la manera más realista posible. La revisión de los resultados debe realizarse en conjunto con los supervisores de ambas guardias, asegurando que la planificación refleje de manera precisa las necesidades operativas.

Considerando el tiempo y el personal necesario para cada tarea, se realizó un balance de actividades, manteniendo la frecuencia de ejecución y estableciendo una estrategia optimizada con Planes de Mantenimiento (PM) balanceados de 10 horas de duración. Como resultado, se definió una nueva estrategia de mantenimiento dividida en cuatro PMs, permitiendo una mejor distribución de las tareas y recursos.

Tabla 23

Nueva estrategia de mantenimiento preventivo de 4PMs - Flota Caterpillar 793D

ESTRATEGIA	NUEVA	PPM		PM1		PPM		PM2		PPM		PM3		PPM		PM4	
		350	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800								
TASK RECORD 793D																	
CAMBIO DE FLUIDOS 793D																	
	Sistema	Qt	Frec Cblo (hrs)	PM1 500	PM2 1000	PM1 1500	PM3 2000	PM 300	PM 4000	PM 6000	PM 14000	PPM 350	PM1 700	PM2 1400	PM3 2100	PM4 2800	FRECUENCIA (hr)
Aceite de Motor	Motor	77	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite de Ruedas Delanteras	Ruedas	11	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite de Levante y Enfriamiento de frenos	Levante	300	2400														2800
Aceite de Transmisión y Convertidor	Transmisión y Convertidor	60	1200		X								X				1400
Aceite de Dirección y Ventilador	Dirección y Fan	70	2400				X										2800
Aceite de Diferencial y Mandos Finales	Diferencial y MF's	270	2400				X										2800
Refrigerante	Motor	225	14000													X	
CAMBIO DE FILTROS 793D																	
	Sistema	Qt	Frec Cblo (hrs)	PM1 700	PM2 1400	PM1 2100	PM3 2800	PM 300	PM 4000	PM 6000	PM 14000	PPM 350	PM1 700	PM2 1400	PM3 2100	PM4 2800	FRECUENCIA (hr)
Filtro de aceite de motor	Motor	4	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtro separador de combustible	Motor	2	300	X	X	X	X	X					X	X	X	X	350
Filtros secundario de combustible	Motor	2	300	X	X	X	X	X					X	X	X	X	350
Filtro de combustible	Motor	1	2400				X										2800
Filtro de Wastegate	Motor	1	600	X	X	X	X										700
Filtro de aceite de dirección y del ventilador hidráulico	Dirección y Fan	2	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtros del tanque de dirección	Dirección y Fan	2	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtro de enfriamiento de frenos	Frenos	2	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtro de desconexión del freno de estacionamiento	Frenos	1	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtro de aceite del convertidor de Par	Transmisión y Convertidor	2	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtro de aceite de transmisión	Transmisión y Convertidor	2	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtro de aceite del eje trasero	Diferencial y MF's	1	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Filtro primario de aire	Motor	4	2400	CONDICIÓN									CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN
Filtro secundario de aire	Motor	4	2400	CONDICIÓN									CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN
Cambiar filtro conjunto secador de aire	Frenos	1	1200		X		X							X			1400
Cambiar kit de válvula de descarga de secador de aire	Frenos	1	1200		X		X							X			1400
Inspeccionar / Cambiar Filtro Interior Cabina	Cabina	1		CONDICIÓN									X	X	X	X	700
Inspeccionar / Cambiar Filtro Exterior Cabina	Cabina	1		CONDICIÓN									X	X	X	X	700
CAMBIO DE RESPIRADORES 793D																	
	Sistema	Qt	Frec Cblo (hrs)	PM1 700	PM2 1400	PM1 2100	PM3 2800	PM 300	PM 4000	PM 6000	PM 14000	PPM 350	PM1 700	PM2 1400	PM3 2100	PM4 2800	FRECUENCIA (hr)
Respiradero Tanque Combustible 245-7451	Combustible	1	1200		X		X						X	X	X	X	1400
Breather	Combustible	1	1200		X		X						X	X	X	X	1400
Respiradero convertidor	Transmisión y Convertidor	1	2400	LAVAR	LAVAR	LAVAR	X										1400
Respiradero Ruedas Delanteras	Ruedas	2	2400				X							X			2800
Respiradero Diferencial	Diferencial y MF's	1	2400				X							X			2800
Respiradero Motor	Motor	6												X			1400
	Motor	6												X			1400
	Motor	6												X			1400
Respiradero de rotochambers (Cilindro de aire/hidráulico)	Frenos	2	2400		X										X		2800
Respiradero de tanque de dirección	Dirección y Fan	1	6000				X						X				2800
INSPECCIÓN TAPONES Y REJILLAS 793D																	
	Sistema	Qt	Frec Cblo (hrs)	PM1 700	PM2 1400	PM1 2100	PM3 2800	PM 300	PM 4000	PM 6000	PM 14000	PPM 350	PM1 700	PM2 1400	PM3 2100	PM4 2800	FRECUENCIA (hr)
Tapones Magnéticos Ruedas Delanteras	Ruedas	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Tapón Magnético del Diferencial	Diferencial y MF's	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Tapón de Mando de Bombas	Transmisión y Convertidor	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Tapones Magnéticos de los Mandos Finales	Diferencial y MF's	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Rejilla Magnética de Motor	Motor												LAVAR	LAVAR	LAVAR	LAVAR	700
Rejilla Magnética de Transmisión	Transmisión y Convertidor	2	1200		X		X						LAVAR	LAVAR	LAVAR	LAVAR	700
Rejilla de succión del convertidor de par	Transmisión y Convertidor												LAVAR		LAVAR		1400
Rejilla de salida del convertidor de par	Transmisión y Convertidor	1														X	2800
Rejilla Magnética de Diferencial	Diferencial y MF's	1	2400				X						LAVAR				2800
Rejilla de Enfriamiento de Frenos posteriores (líneas)	Frenos	2	2400				X									LAVAR	2800
Rejilla de Enfriamiento de Frenos delanteros (líneas)	Frenos	1	2400				X									LAVAR	2800
Rejilla de Sistema de Levante (Lineas)	Levante	2	2400				X						LAVAR			LAVAR	1400
Rejilla de Sistema de Levante (Tanque)	Levante	2	2400				X						LAVAR			LAVAR	2800
TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE 793D																	
	Sistema	Qt	Frec Cblo (hrs)	PM1 600	PM2 1200	PM1 1800	PM3 2400	PM 300	PM 4000	PM 6000	PM 14000	PPM 350	PM1 700	PM2 1400	PM3 2100	PM4 2800	FRECUENCIA (hr)
Aceite de Motor	Motor	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	350
Aceite Hidráulico - Sistema de Dirección y Fan	Dirección y Fan	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite Hidráulico - Sistema de Freno y Levante	Frenos	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite de Convertidor y Transmisión	Transmisión y Convertidor	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	350
Aceite de Rueda Derecha	Ruedas	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite de Rueda Izquierda	Ruedas	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite de Mando Final Derecho	Diferencial y MF's	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite de Mando Final Izquierdo	Diferencial y MF's	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Aceite de diferencial	Diferencial y MF's	2400	2400	X	X	X	X						X	X	X	X	350
Refrigerante	Motor	2400	2400				X						X	X	X	X	700
Combustible	Motor	2400	2400				X						X	X	X	X	700
TEST DE RENDIMIENTO 793D																	
	Sistema	Qt	Frec Cblo (hrs)	PM1 700	PM2 1400	PM1 2100	PM3 2800	PM 300	PM 4000	PM 6000	PM 14000	PPM 350	PM1 700	PM2 1400	PM3 2100	PM4 2800	FRECUENCIA (hr)
Motor	Motor	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	350
Evaluación de Válvula Wastegate	Motor	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	1400
Medición de juego axial																	PENDIENTE
Eficiencia de Frenos	Frenos	1200	1200	X		X							X	X	X	X	350
Actuación de Frenos	Frenos	1200	1200	X		X							X	X	X	X	700
Altura de Suspensiones	Máquina	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Levante	Levante	2400	2400				X						X				2800
Dirección y acumuladores de dirección	Dirección y Fan	2400	2400				X						X	X	X	X	700
Convertidor	Transmisión y Convertidor	2400	2400				X						X			X	1400
Transmisión	Transmisión y Convertidor	2400	2400				X						X			X	1400
Medición de Pin Pivot	Equipo	2400	2400				X						X			X	1400
INSPECCIONES Y CALIBRACIONES 793D																	
	Sistema	Qt	Frec Cblo (hrs)	PM1 700	PM2 1400	PM1 2100	PM3 2800	PM 300	PM 4000	PM 6000	PM 14000	PPM 350	PM1 700	PM2 1400	PM3 2100	PM4 2800	FRECUENCIA (hr)
Calibración de motor	Motor	4000	4000				X						SAP	SAP	SAP	SAP	SAP - PPM
Lavado de radiador	Motor	2400	2400				X						CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN
Lubricación y engrase	Máquina	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	350
Inspección Mecánica	Máquina	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	350
Inspección eléctrica	Eléctrico	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Inspección eléctrica de motor	Eléctrico	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Inspección de clips and clamps	Máquina	600	600	X	X	X	X						X	X	X	X	700
Medición de desgaste de semi ejes	Diferencial y MF's	2												X			2800
	Diferencial y MF's	2												X			2800
	Diferencial y MF's	2												X			2800
Calibración de Thrus pin	Diferencial y MF's	11	2400				X							X			2800
Inspección final de calidad	Máquina	300	300	X	X	X	X	X					X	X			

Con esta estrategia, cada PM se ejecutará en 10 horas, por lo que, si se busca establecer este esquema de manera fija, es necesario actualizarlo en SAP, asegurando que cada PM contemple correctamente la cantidad de filtros, aceites y demás insumos requeridos, junto con la ejecución adecuada de cada tarea.

Además, es fundamental ajustar la mentalidad en la planificación del mantenimiento preventivo (PM) y preventivo predictivo (PPM) bajo los siguientes criterios:

- **Mantenimiento Preventivo (PM):** No deben programarse tareas adicionales ajenas al PM. Solo se deben ejecutar tareas críticas que puedan comprometer la operatividad del camión. Se debe adoptar la filosofía de que “ganar en el preventivo es ganar en todo”, evitando mezclarlo con correctivos o trabajos no planificados.
- **Mantenimiento Preventivo Predictivo (PPM):** Durante esta intervención, donde se realizan inspecciones y cambios de filtros de combustible, también se pueden programar trabajos correctivos que requieran un mayor tiempo de ejecución como el reemplazo de componentes mayores.

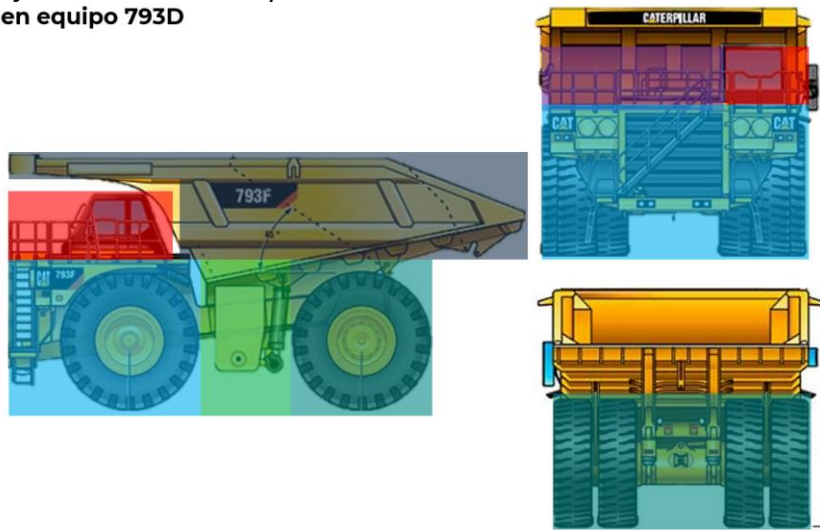
Esta metodología permite mejorar la eficiencia del mantenimiento, optimizando recursos y reduciendo tiempos de inactividad del equipo.

5.4.4. Desarrollo de Ruta Crítica de Trabajo

Una vez definida la lista de tareas, los recursos y los tiempos requeridos, es fundamental establecer la ruta crítica del mantenimiento. Un factor clave en esta planificación es la asignación de zonas de trabajo, asegurando que cada técnico realice sus actividades dentro de un área específica, minimizando desplazamientos innecesarios entre zonas y optimizando el tiempo de ejecución.

Figura 73
División se zonas de trabajo del camión Caterpillar 793D
Mapa de zonas de trabajo en equipo 793D

- Tolva
- Cabina
- Zona alta
- Zona delantera
- Zona media
- Zona posterior



Fuente: Elaboración propia

Para definir esta ruta crítica, se llevaron a cabo reuniones con el personal técnico y la supervisión, tomando como base el siguiente esquema de trabajo. A través de este proceso, se estructuró una ruta crítica óptima para los mantenimientos preventivos de los camiones 793D, permitiendo que cada intervención se complete en un máximo de 10 horas.

Figura 74
Formato de estructuración de ruta crítica de actividades del PM
PM1 – Camión 793D

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mec 1										
Mec 2										
Mec 3										
Mec 4										
Elec 1										
Elec 2										
Confiabilidad										
Lubricación										
Security										
Laser										
Soldadura										

Leyenda zona de trabajo:

- Tolva
- Cabina
- Zona alta
- Zona delantera
- Zona media
- Zona posterior

Leyenda condición:

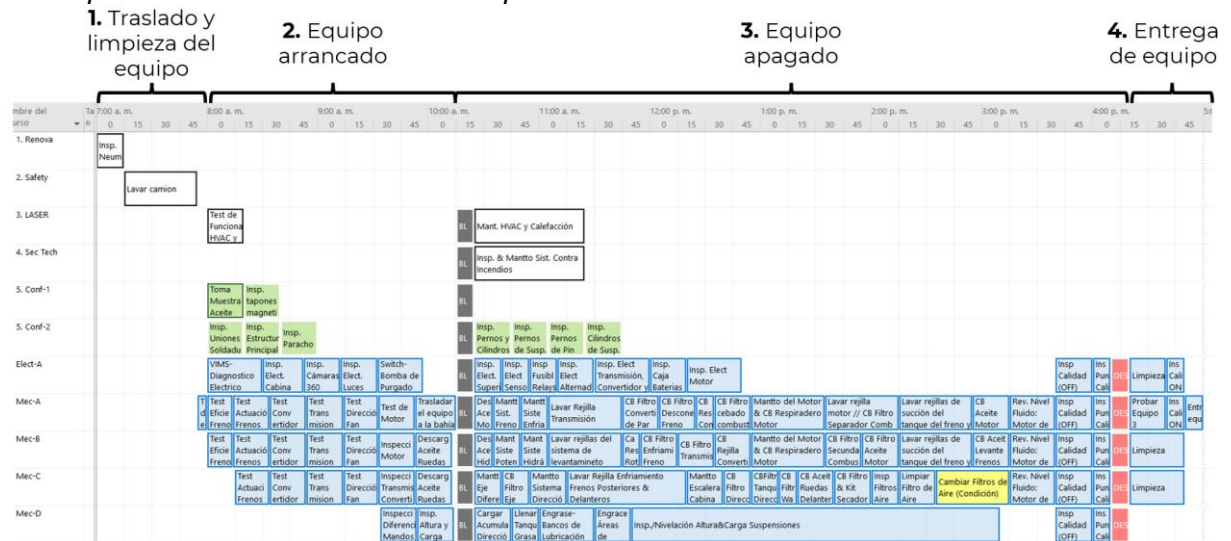
- Prendido
- Apagado

Fuente: Elaboración propia

Finalizadas las reuniones, se inició una ruta crítica estándar para los cuatro PM. En la planificación se considerarán los siguientes aspectos clave:

- Minimización de desplazamientos: Se priorizó que el personal permanezca dentro de su zona de trabajo asignada, evitando movimientos innecesarios entre áreas.
- Estandarización de procedimientos: Se diseñó una estructura de trabajo similar entre los distintos PMs, permitiendo que el personal se familiarice con la secuencia de tareas y optimice su ejecución con el tiempo.

Figura 75
Gantt piloto del PM1 del camión Caterpillar 793D



Fuente: Elaboración propia

Esta metodología garantiza una ejecución eficiente y organizada del mantenimiento, asegurando la reducción de tiempos improductivos y la maximización de recursos.

5.4.5. Sinergia entre estrategias LEAN y SMED en el mantenimiento preventivo

La aplicación simultánea de las metodologías LEAN y SMED dentro del proceso de mantenimiento preventivo de camiones mineros permite obtener mejoras significativas al abordar tanto la eficiencia operacional como la reducción sistemática de los tiempos de intervención. Estas metodologías, aunque tienen enfoques distintos, se complementan en tres niveles clave: Reducción de desperdicios, identificación de actividades de valor y estandarización del proceso de mantenimiento.

5.4.5.1. Integración de principios

- LEAN proporciona una perspectiva sistémica y estratégica, orientada a optimizar el flujo de trabajo completo del mantenimiento. Se enfoca en identificar y eliminar actividades que no generan valor, como tiempos muertos, desplazamientos innecesarios, duplicidad de tareas y reprocesos.
- SMED actúa de forma operativa y táctica, orientado a la reducción de tiempos de preparación y ejecución mediante la separación y transformación de actividades internas en externas. Esto permite que tareas de preparación se realicen antes de que el camión ingrese al taller, minimizando el tiempo de parada.

Ambas metodologías se interrelacionan en cada etapa del mantenimiento:

Tabla 24

Interrelación entre metodologías LEAN y SMED

ETAPA DEL MANTENIMIENTO	APORTE DE SMED	APORTE DE LEAN
Preparación del mantenimiento	Separación de tareas externas (Checklist, logística de partes)	Eliminación de desperdicios (esperas, traslados innecesarios, búsqueda de herramientas)
Ejecución	Conversión de tareas internas en externas	Balanceo de carga de trabajo, eliminación de interrupciones y optimización del flujo
Cierre y retroalimentación	Estandarización de pasos para próximas intervenciones	Mejora continua y aprendizaje a través de KPIs

Fuente: Elaboración propia

5.4.5.2. Casos prácticos combinados

- Actividades como la preparación de herramientas, validación de permisos, transporte y limpieza de partes, inicialmente realizadas con el equipo detenido, fueron reclasificadas como actividades externas y ejecutadas antes de la detención del camión, siguiendo los principios SMED. Esta reclasificación fue posible gracias al uso de herramientas LEAN como 5S y Value Stream Mapping (VSM), que permitieron visualizar y eliminar tareas sin valor agregado.
- La estandarización de paquetes de trabajo (Work Packages) se diseñó inicialmente bajo criterios SMED para reducir tiempos, pero su mejora continua

fue guiada por el enfoque LEAN, utilizando el ciclo PDCA (Plan – Do – Check – Act) para iterar los procedimientos, mejorar flujos y reforzar el aprendizaje organizacional

5.4.5.3. Beneficios de la sinergia

- Reducción promedio del tiempo total de mantenimiento: 22% en comparación con la situación inicial.
- Incremento de Wrench Time efectivo: Pasó de 35% a 52%, optimizando el tiempo real en que los técnicos ejecutan tareas productivas.
- Mejora en la planificación y previsibilidad: Gracias a la clasificación SMED, se redujeron las tareas imprevistas y los cuellos de botella generados por tareas mal programadas.

Tabla 25
Diagrama de flujo combinado SMED + LEAN

	ANTES DE LA INTERVENCIÓN (PREPARACIÓN)	DURANTE LA INTERVENCIÓN (EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO)	DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN (CIERRE Y RETROALIMENTACIÓN)
SMED	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación y separación de tareas externas. • Preparación anticipada de herramientas, repuestos y permisos. • Checklist logístico de partes y equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conversión de tareas internas en externas (cuando sea posible). • Reducción de tiempos de cambio mediante técnicas estandarizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación y estandarización de nuevas mejores prácticas. • Retroalimentación para futuras intervenciones.
LEAN	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de 5S en áreas de trabajo y almacenamiento. • Eliminación de tiempos muertos y desplazamientos innecesarios. • Mapeo de flujo de valor (VSM) para detectar y eliminar actividades sin valor agregado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Balanceo de carga de trabajo entre técnicos. • Flujo continuo de actividades. • Minimización de movimientos innecesarios y tiempos de espera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de desempeño mediante KPIs • Aplicación del ciclo PDCA para mejora continua.
RESULTADOS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Todo lo que se pueda hacer sin detener el camión ya está listo antes de comenzar. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Intervención más ágil, enfocada solo en actividades que requieren que el camión esté detenido. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estandarización y aprendizaje para mantener la mejora sostenible.

Fuente: Elaboración Propia

5.4.6. Ejecución y optimización del mantenimiento preventivo

5.4.6.1. Kit de herramientas

Dado que cada PM tiene una lista de tareas definidas, junto con el número de técnicos y el tiempo necesario para su ejecución, es esencial optimizar el uso de herramientas. En coordinación con el personal técnico, se calcula el conjunto de herramientas requeridas para todas las actividades de mantenimiento.

Para evitar retrasos operativos debido al traslado, búsqueda o préstamo de herramientas entre técnicos, se desarrollará un control sobre la cantidad y disponibilidad de cada herramienta. Además, en las reuniones de planificación se evaluó si las herramientas utilizadas eran las más adecuadas o si existían opciones más eficientes, como pistolas eléctricas de menor tamaño para mejorar el acceso a espacios reducidos o medidores de presión inalámbricos, que permiten realizar pruebas con mayor rapidez y precisión.

Con el fin de mejorar la disponibilidad y organización, se realiza un inventario diario de la lista de herramientas implementadas.

Figura 76

Caja de herramientas para los PMs del camión Caterpillar 793D



Fuente: Elaboración propia

Para herramientas especiales, que por su delicadeza, tamaño o uso específico no pueden ser almacenadas en el carro de herramientas, se coordinó con el pañol de herramientas la preparación de un kit especial. Este kit es alistado previamente en el pañol de herramientas para cada intervención, garantizando su disponibilidad y evitando demoras en el proceso de mantenimiento.

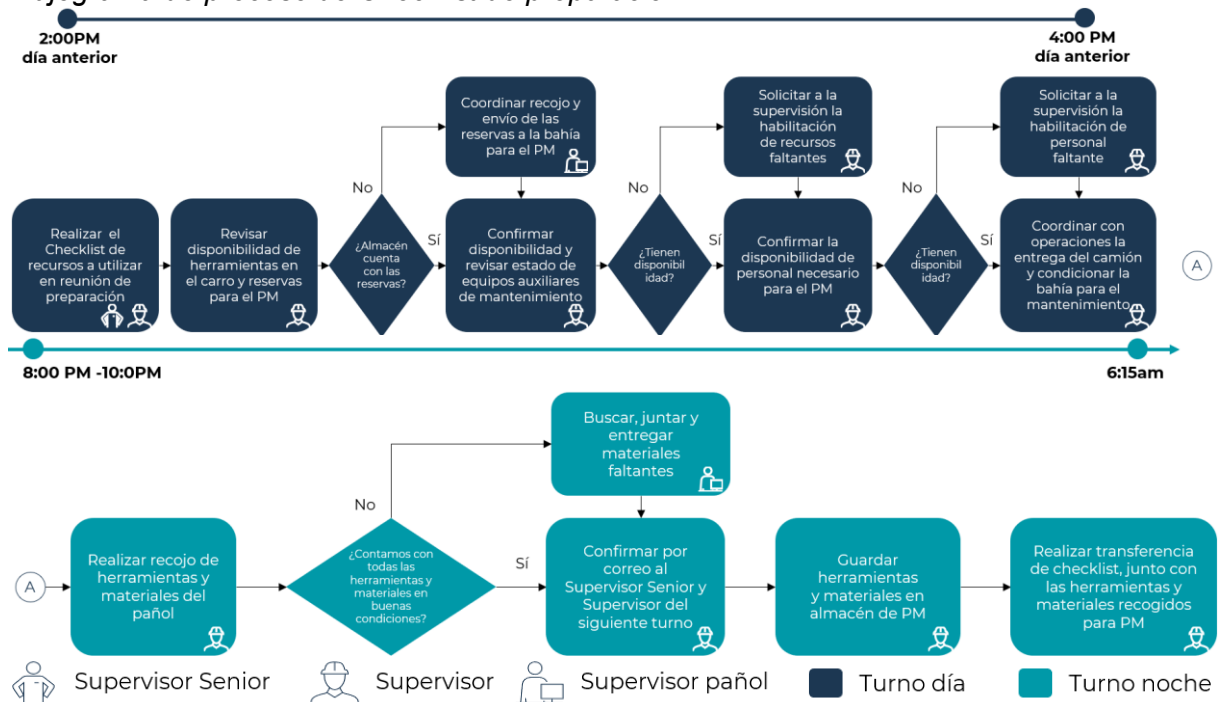
5.4.6.2. Lista de verificación de preparación

Se desarrolló que el momento óptimo para realizar el checklist (ver Anexo G) de preparación es 24 horas antes de la intervención del equipo para el PM, permitiendo tiempo suficiente para reaccionar ante cualquier imprevisto, como la falta de repuestos, herramientas o personal. Este proceso tiene como objetivo verificar lo siguiente:

- Disponibilidad y estado de las herramientas necesarias para el PM y los backlogs planificados.
- Disponibilidad de todas las reservas requeridas en pañol.
- Disponibilidad y estado de los equipos auxiliares necesarios para el PM.
- Disponibilidad de personal competente y certificado para las actividades programadas.
- Condiciones del área de intervención, asegurando que las zonas de acceso cumplan con los requisitos establecidos.

Se determinan que las bahías óptimas para la ejecución del PM son la 1, 2, 7 y 8, por lo que deberán ser reservadas con anticipación para este propósito. La guarda del turno anterior al PM se encargará del traslado de herramientas, equipos auxiliares y repuestos desde pañol hacia la bahía de mantenimiento asignada.

Figura 77
Flujograma de proceso de Checklist de preparación PM



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el checklist y el traslado de herramientas y repuestos, se debe establecer una ubicación estandarizada dentro de la bahía para cada material, asegurando un orden eficiente y evitando la saturación del área con elementos innecesarios.

Figura 78
Distribución del área de trabajo de la bahía para el PM



Fuente: Elaboración propia

5.4.6.3. Workpackage de trabajo de Trabajo Estandarizado y Tiempos

Para la ejecución del PM, se emplean dos herramientas clave tanto para supervisores como para ejecutores: la cartilla de trabajo y el diagrama de Gantt con la ruta crítica.

a) Supervisores

La cartilla del supervisor contiene toda la información detallada necesaria para la ejecución del PM, además de un espacio para el seguimiento y control del avance general e individual de cada miembro del equipo.

Figura 79
Cartilla de seguimiento del PM para el supervisor

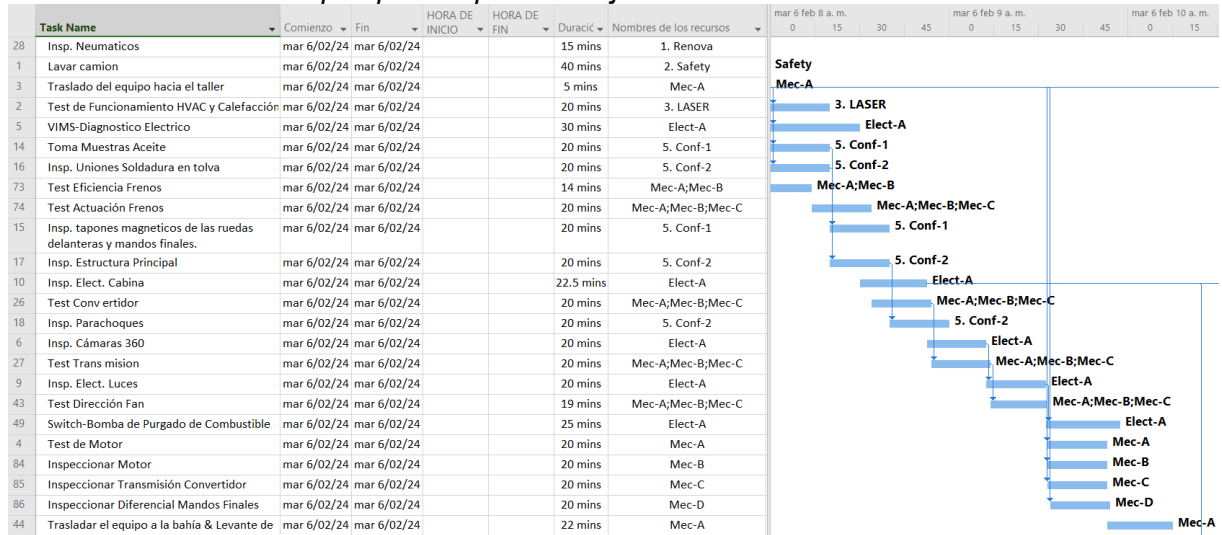
SEM	TRABAJO	DETALLE DE EQUIPO	SUBSITIO	ZONA DE TRABAJO	ACTIVIDAD	DETALLE DE LA ACTIVIDAD	PARAMETROS	ESTADO	ESTART	FINEST	TIEMPO (min)	FRECUENCIA	POTENCIAL CORRECTIVO	ASIGNADO A	herramienta E ESPECIE	EQUIPO DE SOPORTE	ESTATUS
11	11.01	11.01.01	11.01.01.01	11.01.01.01.01	TESTE DE ACTIVACION Y SERVIDOR ESTACIONAMIENTO (CALDA A FRENOS PARQUEO) Y SERVIDOR	<p>1. Orden de ejecución sugerido</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>	Pruebas prácticas a una potencia de 200W	ENCENDIDO	08:15 a m.	08:25 a m.	10 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		COMPLETADO
12	12.01	12.01.01	12.01.01.01	12.01.01.01.01	TESTE DE ACTIVACION Y SERVIDOR ESTACIONAMIENTO (SERVIDOR Y SERVIDOR) Y SERVIDOR	<p>2. Distribución de actividades por equipos</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	08:25 a m.	08:35 a m.	10 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		COMPLETADO
13	13.01	13.01.01	13.01.01.01	13.01.01.01.01	TESTE DE CONVERSION	<p>3. División de zonas de trabajo</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	08:35 a m.	08:55 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		COMPLETADO
14	14.01	14.01.01	14.01.01.01	14.01.01.01.01	TESTE DE TRANSICION	<p>4. Estado de equipo para la actividad</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	08:55 a m.	09:15 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		ENCUENTRO
15	15.01	15.01.01	15.01.01.01	15.01.01.01.01	PRUEBAS DEL EQUIPO	<p>5. Tiempo estimado de ejecución de tarea</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	09:15 a m.	09:35 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		ENCUENTRO
16	16.01	16.01.01	16.01.01.01	16.01.01.01.01	PRUEBAS DEL EQUIPO	<p>6. Estado de equipo para la actividad</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	09:35 a m.	09:55 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		ENCUENTRO
17	17.01	17.01.01	17.01.01.01	17.01.01.01.01	PRUEBAS DEL EQUIPO	<p>7. Detalle de potenciales trabajos correctivos post inspección (HH, herramientas, trabajos)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	09:55 a m.	10:15 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		ENCUENTRO
18	18.01	18.01.01	18.01.01.01	18.01.01.01.01	PRUEBAS DEL EQUIPO	<p>8. Asignación de trabajador ejecutor</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	10:15 a m.	10:35 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		ENCUENTRO
19	19.01	19.01.01	19.01.01.01	19.01.01.01.01	PRUEBAS DEL EQUIPO	<p>9. Detalle de herramientas especiales necesarios</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	10:35 a m.	10:55 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		ENCUENTRO
20	20.01	20.01.01	20.01.01.01	20.01.01.01.01	PRUEBAS DEL EQUIPO	<p>10. Status de tarea</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p> <p>PRUEBAS DE VERIFICACION DE SELECCION DE EQUIPO</p> <p>Prueba de maniobra de (200 a 800 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (800 a 1200 Hz)</p> <p>Prueba de maniobra de (1200 a 1600 Hz)</p>		ENCENDIDO	10:55 a m.	11:15 a m.	20 min	Diaria	None	None	Herramienta digital		ENCUENTRO

Fuente: Elaboración propia

Se emplearon diagramas de Gantt como herramienta principal para proporcionar una visualización clara y secuencial de los trabajos en paralelo, permitiendo una mejor distribución de tareas, asignación de recursos y control de tiempos durante la ejecución de cada tipo de PM (PM1, PM2, PM3 y PM4). Estas representaciones fueron diseñadas para facilitar el seguimiento del supervisor y estandarizar la ejecución del mantenimiento (ver Anexo H).

Se utiliza un diagrama de Gantt, que sirve como guía visual de la secuencia de trabajos y los tiempos estimados de ejecución, permitiendo a los ejecutores controlar sus tiempos de ejecución y coordinar actividades de manera eficiente.

Figura 82
Gantt de control de tiempos para el personal ejecutor



Fuente: Elaboración propia

Para garantizar la correcta aplicación de estas herramientas, se debe realizar un entrenamiento previo con supervisores y técnicos al menos un día antes del PM.

Este entrenamiento tiene como objetivos principales:

- Resolver dudas clave sobre la dinámica del PM y los requerimientos de los formatos.
- Asegurar la comprensión del orden de tareas en el Gantt para cada ejecutor.
- Identificar actividades interdependientes que condicionan la ejecución de otras.
- Detallar las herramientas y recursos necesarios para cada tarea.

Este enfoque estandarizado permite optimizar tiempos, mejorar la coordinación y minimizar errores en la ejecución del PM.

5.4.6.4. Hora de Llamada del Equipo

A partir del análisis de tiempos históricos y la revisión de bases de datos, se calcula que el tiempo promedio desde la llamada del equipo hasta el inicio de la intervención es de aproximadamente 2 horas. Por ello, la hora de llamada del equipo se establece de la siguiente manera:

- 5:00 am para intervención con la guardia del turno de día.
- 5:00 pm para intervención con la guardia del turno de noche.

Este intervalo permite que, mientras el equipo es trasladado y limpiado, el personal tiene tiempo necesario para:

- Realizar reuniones previas a la intervención.
- Completar la documentación requerida.
- Ejecutar los últimos preparativos antes del inicio del PM.

5.4.6.5. Ejecución y Control de Tiempos

Durante la ejecución del mantenimiento estandarizado, el supervisor deberá registrar constantemente el avance del PM en su cartilla, marcando las actividades completadas y verificando que los ejecutores lleven el control de tiempos de ejecución de las tareas en sus cartillas individuales. Además, debe asegurar que todo el equipo de trabajo tenga claro el itinerario del piloto y las tareas asignadas.

Ante un riesgo potencial de atraso respecto al plan, se debe tomar las medidas oportunas con el fin de cumplir el Gantt establecido. Este enfoque permite un seguimiento eficiente, garantizando la correcta ejecución del mantenimiento y optimizando los tiempos de intervención.

5.4.7. *Parámetros de control del mantenimiento estandarizado*

Al finalizar la ejecución del PM estandarizado, se recopila toda la información de los trabajos ejecutados y las posibles desviaciones con el fin de evaluar los parámetros medidos, identificar puntos de mejora y definir modificaciones al trabajo estandarizado. Este análisis permite optimizar la ejecución del mantenimiento, identificar oportunidades de mejora y ajustar el proceso para reducir tiempos y aumentar la eficiencia del PM. Para ello, se diseñó un dashboard que permite revisar los resultados obtenidos a través de cinco indicadores clave de desempeño (KPIs), los cuales incluyen:

Figura 83
Dashboard de control de mantenimiento estandarizado



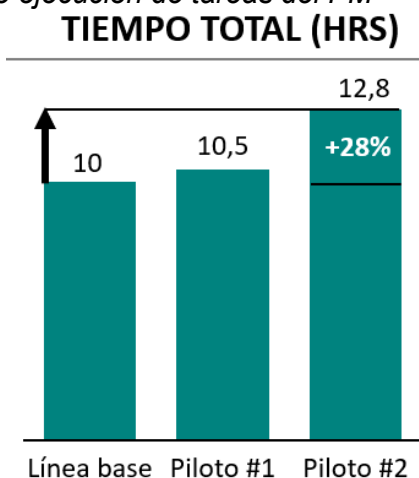
Fuente: Elaboración propia

5.4.7.1. Tiempo total de ejecución

Este parámetro define el tiempo en que se ejecutaron las tareas del PM y cuáles fueron las principales causas de la extensión del mantenimiento más allá de lo programado, tales como trabajos correctivos, retrasos, esperas, entre otros. Nos ayuda a controlar que todas las actividades se realicen dentro del tiempo planificado, evitando extensiones innecesarias.

Figura 84

Parámetro de tiempo total de ejecución de tareas del PM



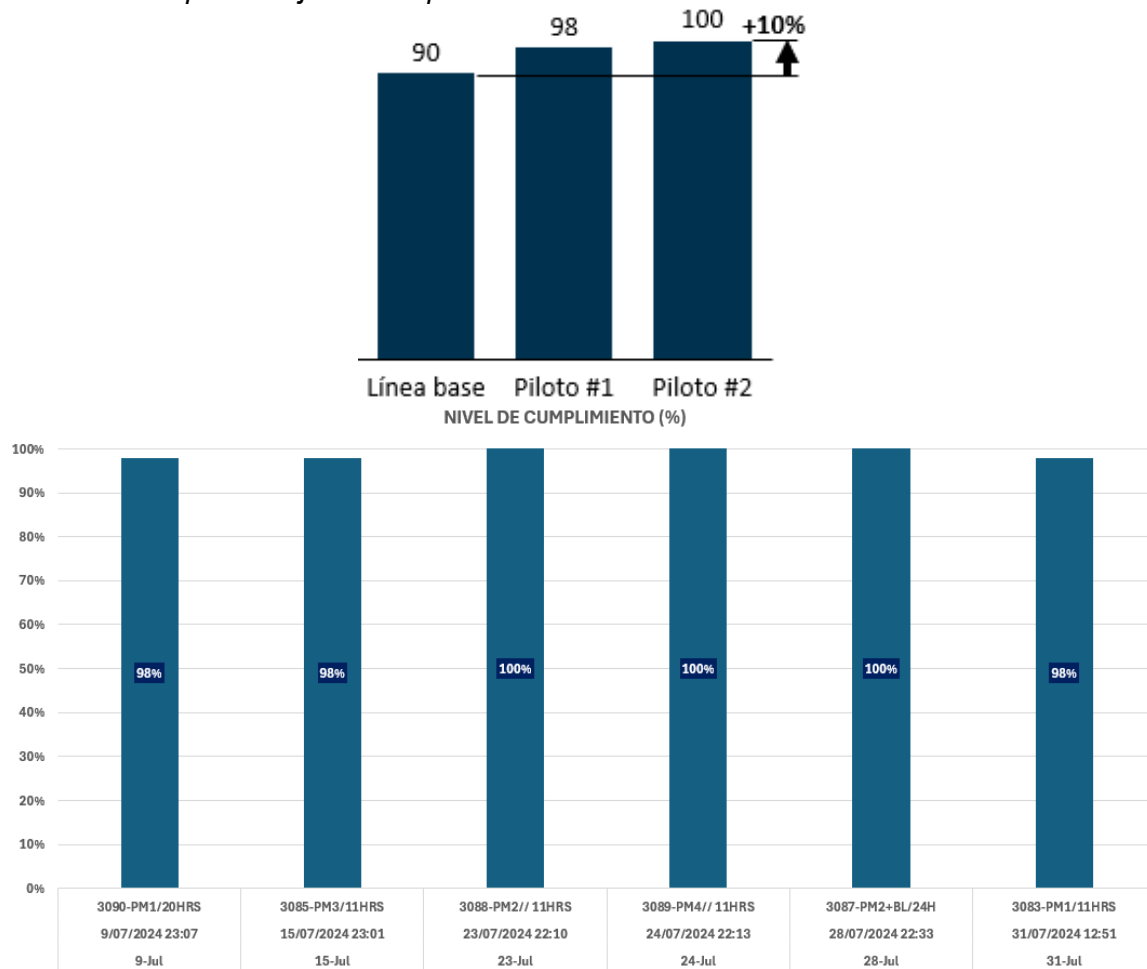
Fuente: Elaboración propia

5.4.7.2. Nivel de cumplimiento

Mide el ratio de actividades completadas respecto al plan establecido. Es importante evaluar el motivo por el que no se ejecutaron algunas tareas y preguntarse el porqué. ¿Faltaron herramientas?, ¿No hubo tiempo suficiente?, ¿Faltó información?, ¿Se pasaron por alto por algún motivo? Estas observaciones permiten mejorar la planificación y optimizar el proceso para alcanzar un 100% de cumplimiento en las tareas programadas. Se obtuvo un porcentaje del cumplimiento del 100% en junio a partir de la retroalimentación obtenida en meses anteriores, sinónimo de una planificación eficiente.

Figura 85

Parámetro de porcentaje de cumplimiento de tareas del PM

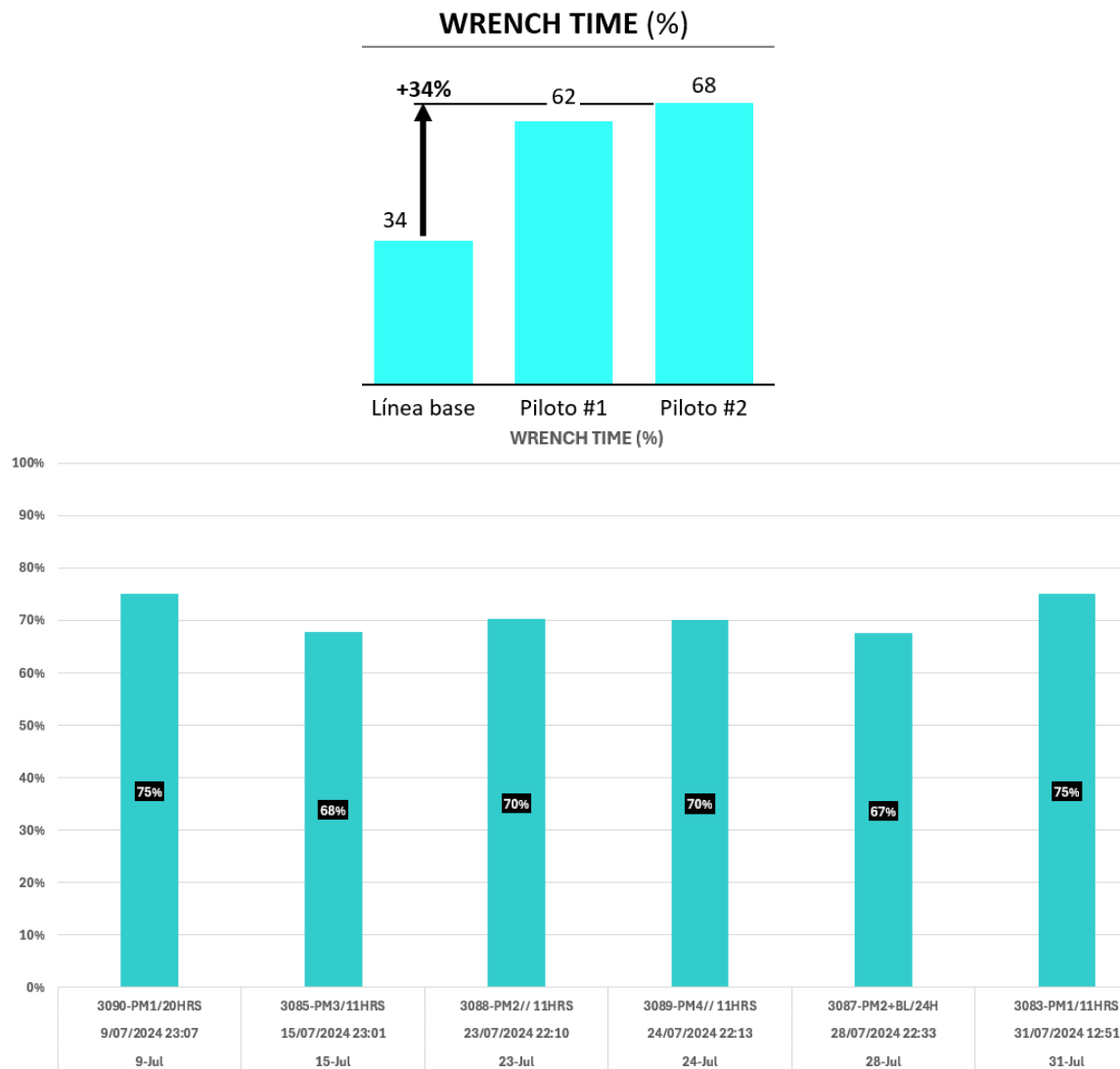


Fuente: Elaboración propia

5.4.7.3. Wrench Time

El wrench time o tiempo de llave mide el tiempo efectivo que los técnicos dedican a realizar trabajos de mantenimiento. Nos ayuda a evaluar la eficiencia del personal ejecutor y a mejorar el mantenimiento preventivo eliminando desperdicios y minimizando tareas incidentales. Según la metodología Lean, una operación eficiente debe tener un wrench time superior al 60%, por lo que este parámetro debe optimizarse continuamente en cada PM.

Figura 86
Parámetro de Wrench Time del PM



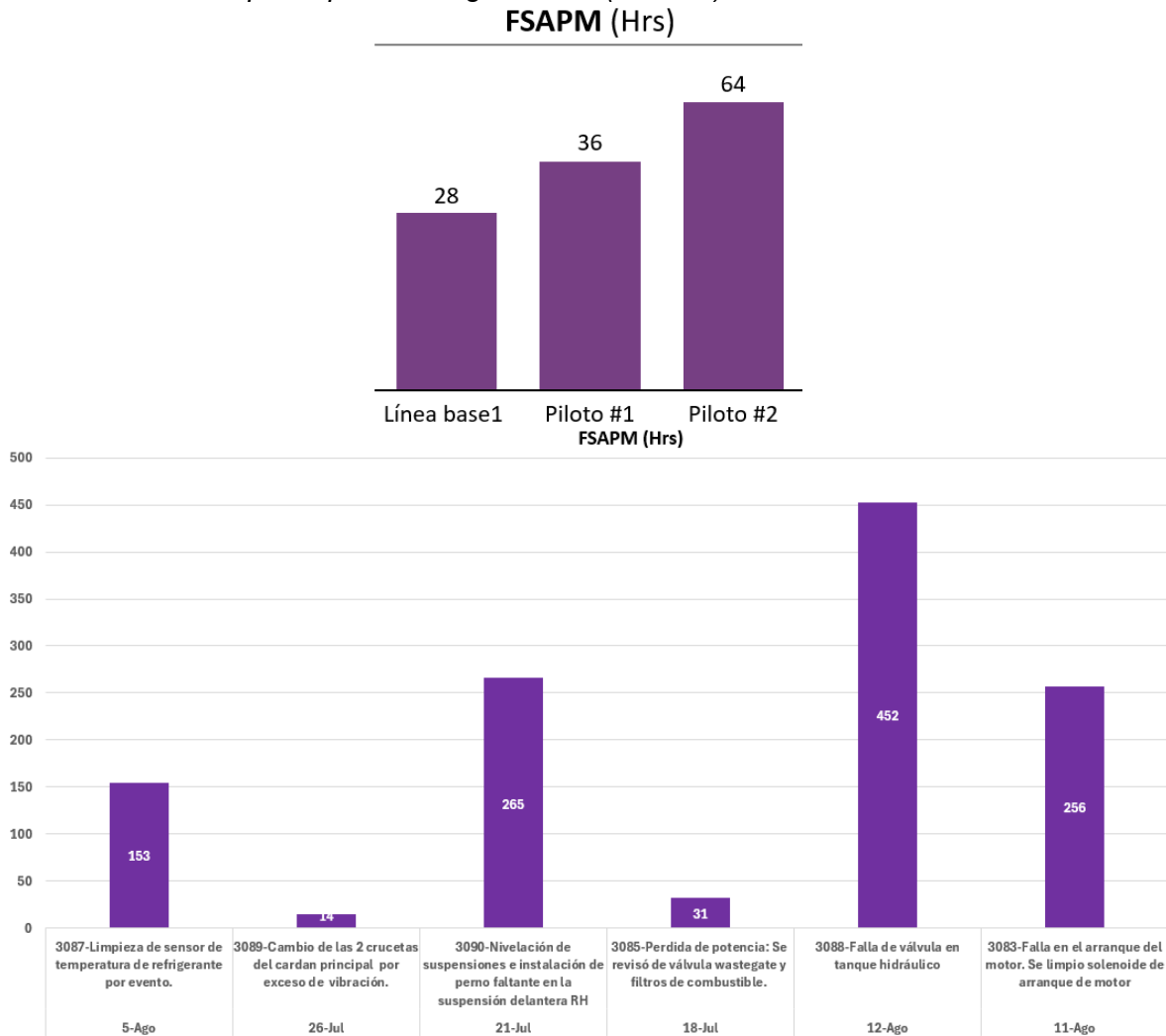
Fuente: Elaboración propia

5.4.7.4. Parada Luego del PM (FSAPM)

Se mide el tiempo de operación del equipo antes de su primera parada posterior al PM. Solo se consideran las paradas relacionadas con fallas que pudieron ser prevenidas mediante el mantenimiento, excluyendo incidentes operacionales como accidentes o daños causados por la producción. Este indicador permite mejorar las tareas ejecutadas en el PM, y si un camión sufre fallas recurrentes tras la intervención, se pueden generar nuevas actividades en la estrategia de mantenimiento para prevenirlas.

Figura 87

Parámetro de tiempo de parada luego del PM (FSAPM)



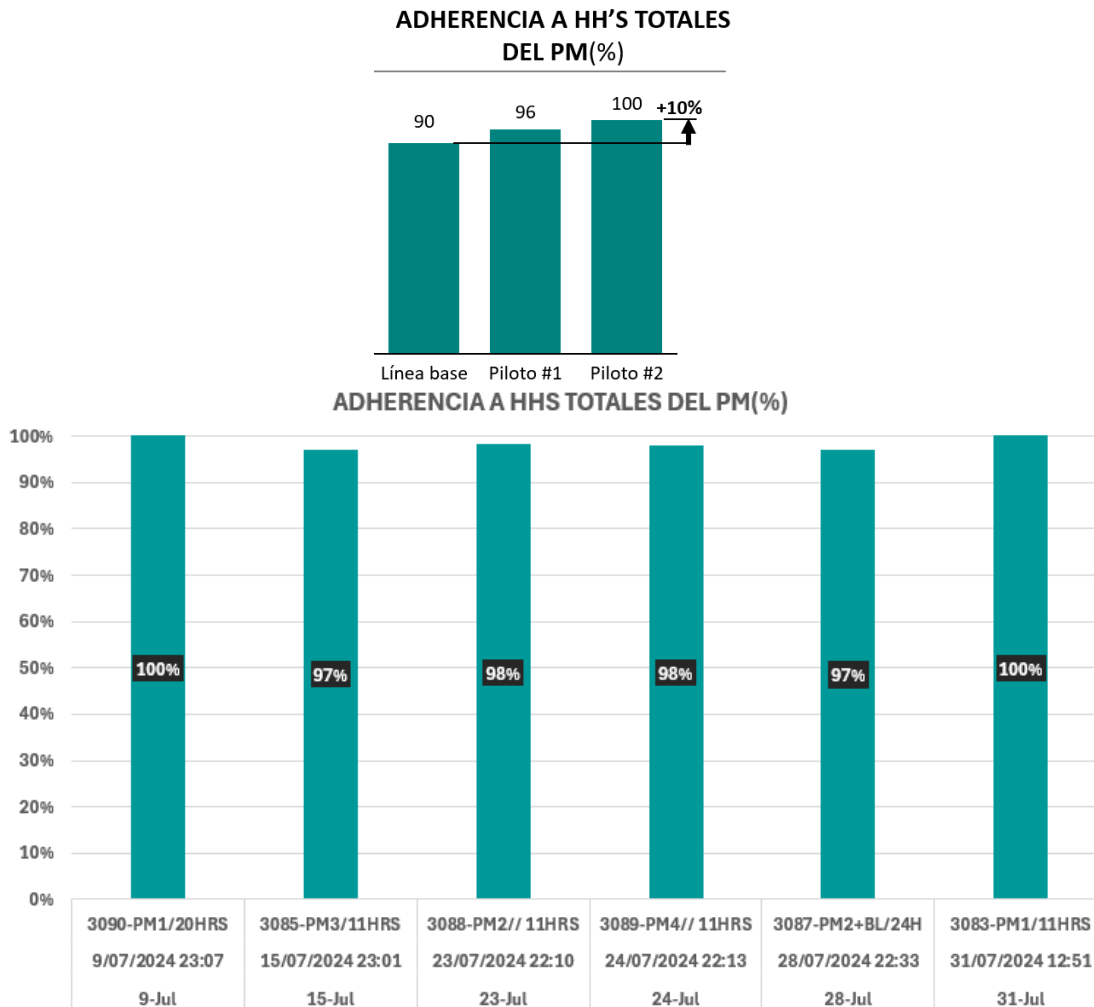
Fuente: Elaboración propia

5.4.7.5. Adherencia en Horas Hombre Totales del PM

Este indicador evalúa en qué porcentaje el personal siguió la secuencia de tareas establecidas en la ruta crítica del PM. Su objetivo es asegurar que todas las guardias de técnicos ejecuten las tareas de manera uniforme, ya sea en turno de día o noche y en cualquier camión Caterpillar 793D. La estandarización del mantenimiento garantiza que la calidad y eficiencia del servicio sean consistentes en todas las intervenciones. Un porcentaje alto de este parámetro como el obtenido en el mes de junio indica una mayor consistencia en el procedimiento y tiempo de ejecución de cada tarea del PM.

Figura 88

Parámetro de adherencia en horas hombres totales del PM



Fuente: Elaboración propia

5.4.8. Feedback y Mejora Continua del Workpackage

Después de cada PM, se realiza una sesión de retroalimentación con el equipo participante (ejecutores y supervisión) para reflexionar sobre lo que funcionó bien y las oportunidades de mejora, enfocándose en tres puntos clave:

- **Preparación:** Evaluar la coordinación previa al PM, disponibilidad de herramientas, repuestos y asignación de recursos.
- **Iniciativas:** Propuestas para optimizar tiempos, reducir desperdicios y mejorar la ejecución.
- **Cartillas y Gantt:** Revisión del contenido, claridad en las asignaciones y alineación con la ruta crítica establecida.

Los comentarios se consolidan y presentan a la gerencia, con el fin de desarrollar un plan de acción que permita mantener las buenas prácticas y resolver las oportunidades de mejora en el menor tiempo posible.

Figura 89

Feedback del mantenimiento estandarizado entre personal ejecutor y la supervisión

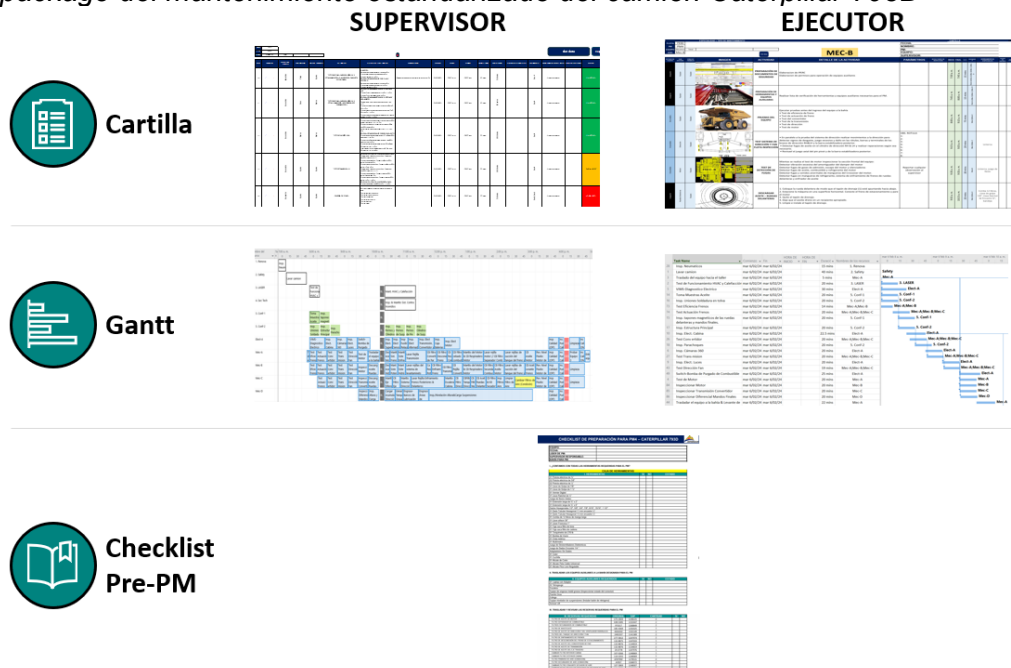


Fuente: Elaboración propia

Al finalizar cada PM, se revisa el cumplimiento de trabajos realizados junto con la evolución de los KPIs. La base de datos de tareas y preparativos se ajusta según la información recopilada, garantizando así la mejora continua del workpackage.

Figura 90

Workpackage del mantenimiento estandarizado del camión Caterpillar 793D



Fuente: Elaboración propia

Capítulo VI. Análisis de resultados y contrastación de hipótesis

Este capítulo tiene como finalidad presentar y analizar los resultados obtenidos tras la implementación del plan de mantenimiento preventivo estandarizado, basado en las metodologías LEAN y SMED, en la flota de camiones Caterpillar 793D de la Compañía Minera Antapaccay. Se valida la hipótesis general y las específicas mediante la evaluación de indicadores de desempeño vinculados a la disponibilidad de componentes, la eficiencia en la ejecución de mantenimientos y la estandarización del proceso, alineados con las variables operacionalizadas en la matriz.

6.1. Implementación del Mantenimiento Estandarizado

La implementación de la estrategia no requirió inversión adicional, pues se enfocó en la mejora de procesos existentes y el uso eficiente de recursos. Las fases ejecutadas incluyeron:

- Capacitación al personal operativo en herramientas LEAN y SMED.
- Diagnóstico del proceso actual de mantenimiento mediante medición de tiempos y entrevistas a ejecutores.
- Identificación y eliminación de actividades sin valor agregado (desperdicios) y tareas incidentales.
- Conversión de tareas internas en externas bajo el enfoque SMED.
- Desarrollo de procedimientos estandarizados, rutas críticas y distribución de tareas por especialidad.
- Feedback y Mejora Continua del Workpackage

La estructuración del plan basado en las metodologías LEAN y SMED se estructuró entre enero y marzo del 2024, y en abril se llevaron a cabo pilotos en los 8 camiones Caterpillar 793D.

Figura 91

Camiones Caterpillar 793D donde se aplicó el mantenimiento estandarizado

CAMIONES

3082

3083

3084

3085

3087

3088

3089

3090

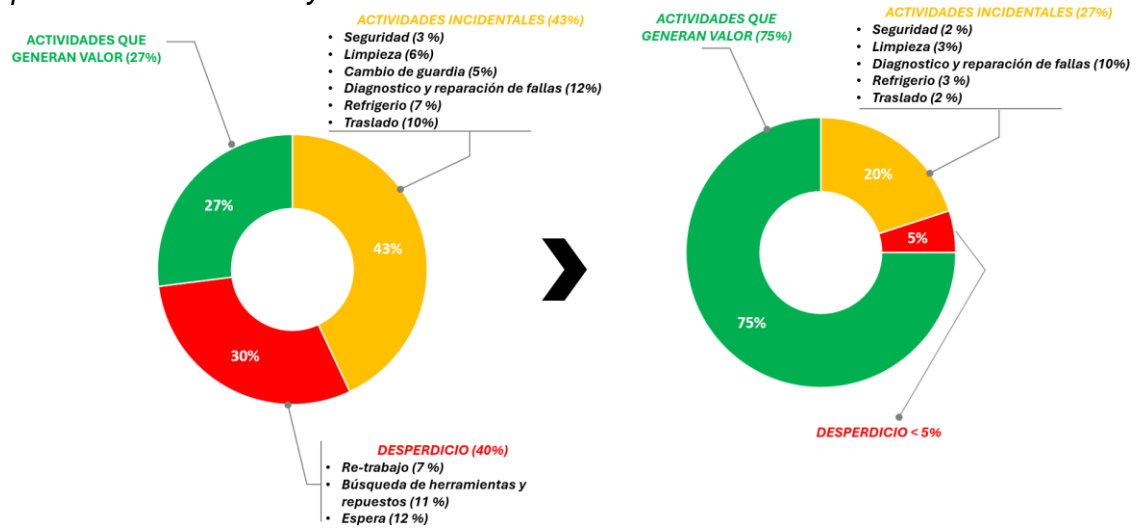


Fuente: Elaboración propia

Los resultados iniciales evidenciaron una significativa optimización en la eficiencia operativa. Los desperdicios se redujeron drásticamente del 30% a menos del 5%, mientras que las tareas incidentales disminuyeron del 43% al 20%. incrementado el Wrench Time del 27% al 75%.

Esta mejora no solo permitió optimizar los tiempos de ejecución de los mantenimientos, sino que también incrementó la disponibilidad operativa de los camiones y redujo costos asociados a tiempos improductivos, consolidando el impacto positivo de la estrategia LEAN en los procesos de mantenimiento. Dada la efectividad demostrada, se estableció como estrategia fija la aplicación del mantenimiento estandarizado basado en LEAN y SMED en todas las intervenciones preventivas de la flota Caterpillar 793D, lo que generó un incremento sostenible en los indicadores operativos durante el resto del año.

Figura 92
Composición del tiempo de mantenimiento preventivo Antes y Después de la optimización con LEAN y SMED

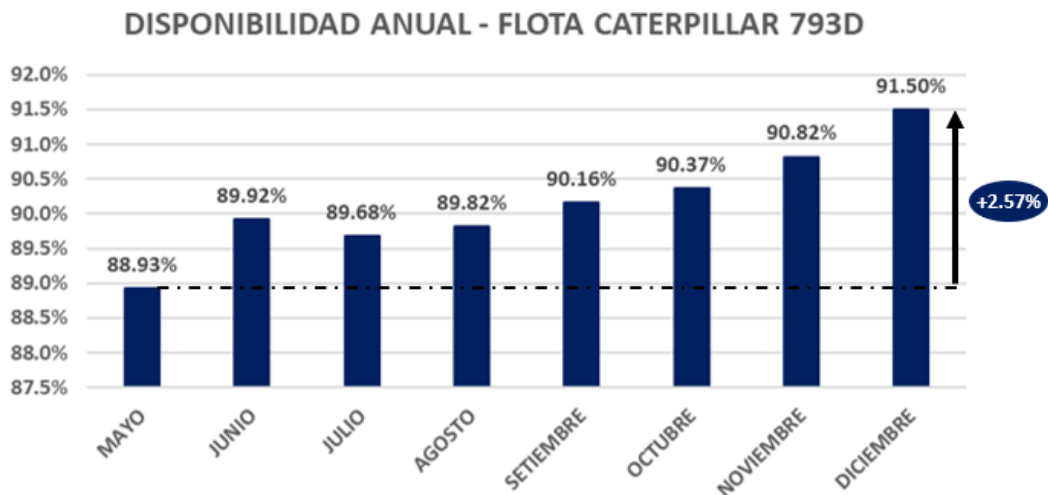


Fuente: Elaboración propia

6.2. Resultados Obtenidos

Los principales resultados obtenidos tras la implementación del mantenimiento estandarizado fueron en los KPIs como la disponibilidad operativa de los camiones que se incrementó de 88.93% a 91.5% al cierre del año, representando un incremento de 2.57%. Esto confirma que la implementación del mantenimiento estandarizado contribuye positivamente a la disponibilidad operativa.

Figura 93
Evolución de disponibilidad anual de la flota Caterpillar 793D



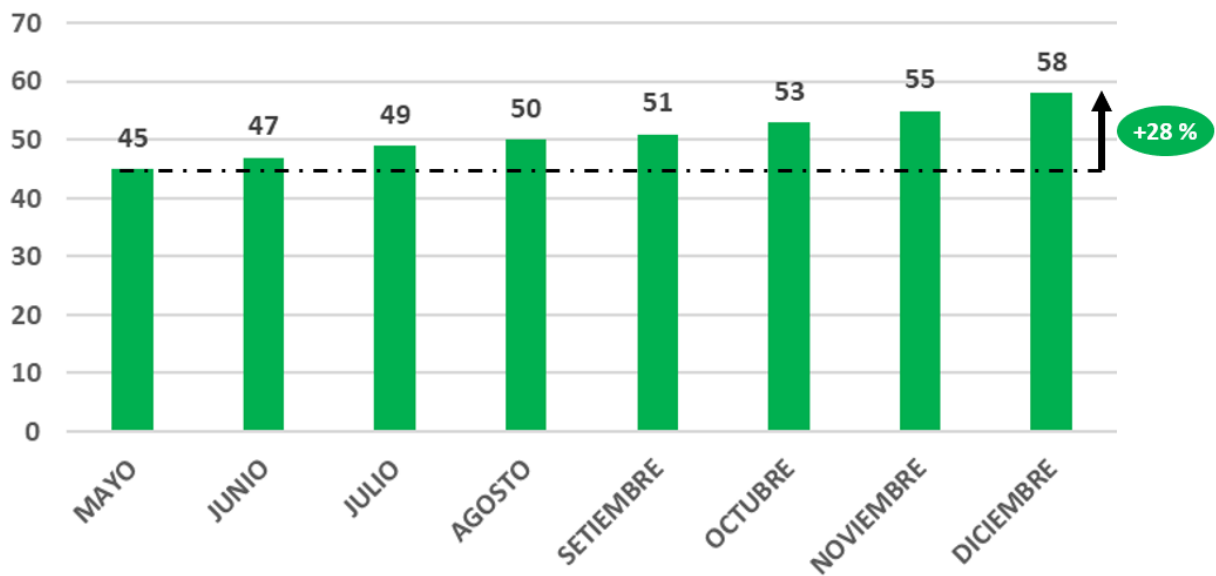
Fuente: Elaboración propia

El Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) inicial de 45 horas fue incrementándose progresivamente en los meses siguientes hasta alcanzar 58 horas, lo que representa un incremento del 28%. Este resultado respalda la efectividad de la estrategia para aumentar la confiabilidad de los equipos.

Figura 94

Evolución del tiempo medio entre fallas (MTBF) de la flota Caterpillar 793D

MTBF - CATERPILLAR 793D



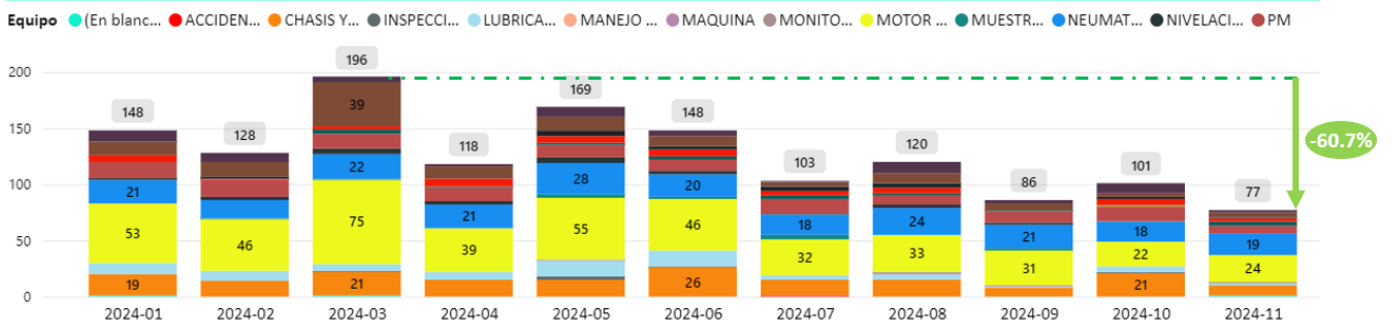
Fuente: Elaboración propia

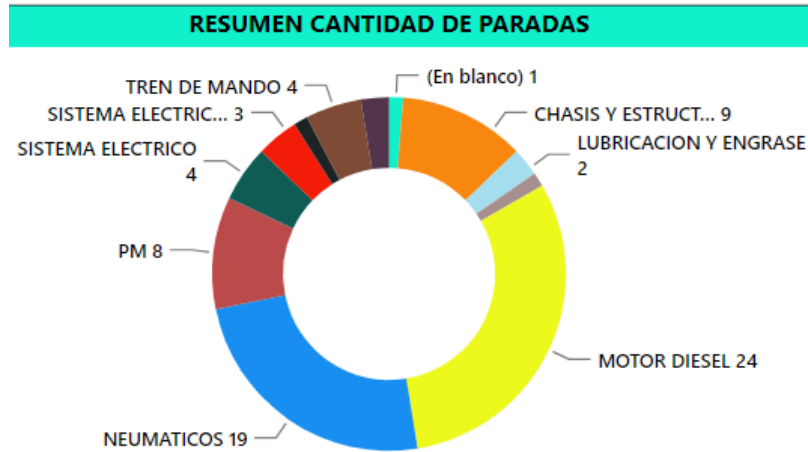
Por el lado del número de paradas no programadas, desde la implementación del mantenimiento estandarizado, se redujeron en un 60.7%, evidenciando un mantenimiento preventivo más eficaz, capaz de anticipar fallas.

Figura 95

Evolución de numero de paradas de flota Caterpillar 793D

Conteo de Paradas x Flota - MES - SISTEMA

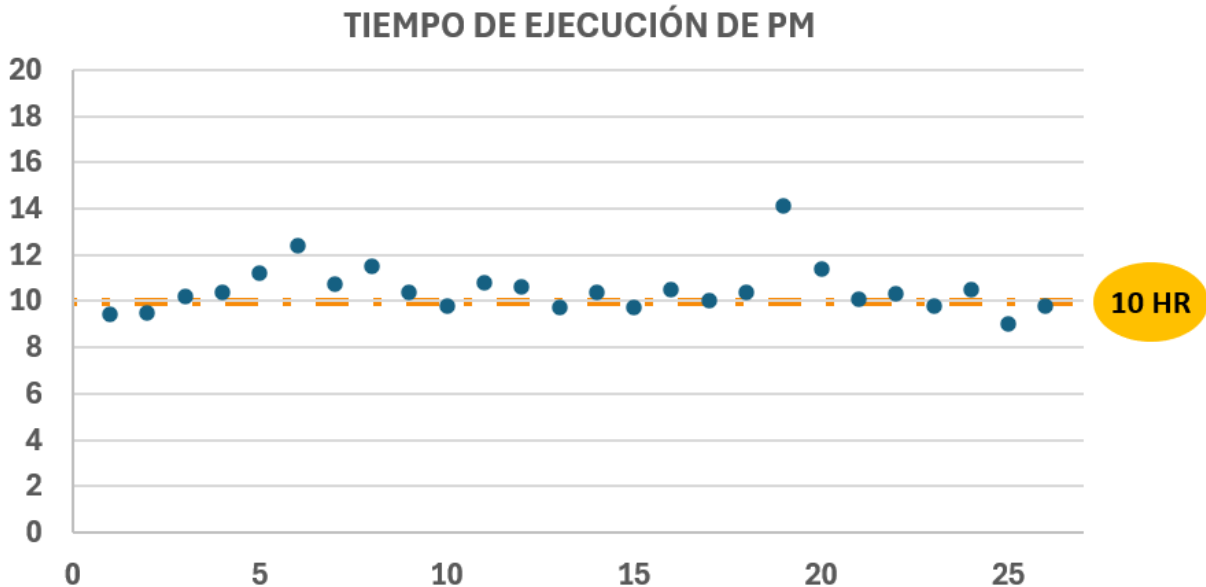




Fuente: Elaboración propia

El tiempo promedio de ejecución de los 30 PMs realizados durante el año, demostró una tendencia a estabilizarse en 10 horas para todos los tipos de mantenimiento programado (PM1, PM2, PM3 y PM4), logrando una ejecución del 100% de las tareas planificadas.

Figura 96
Evolución de tiempos de ejecución de PMs de la flota Caterpillar 793D



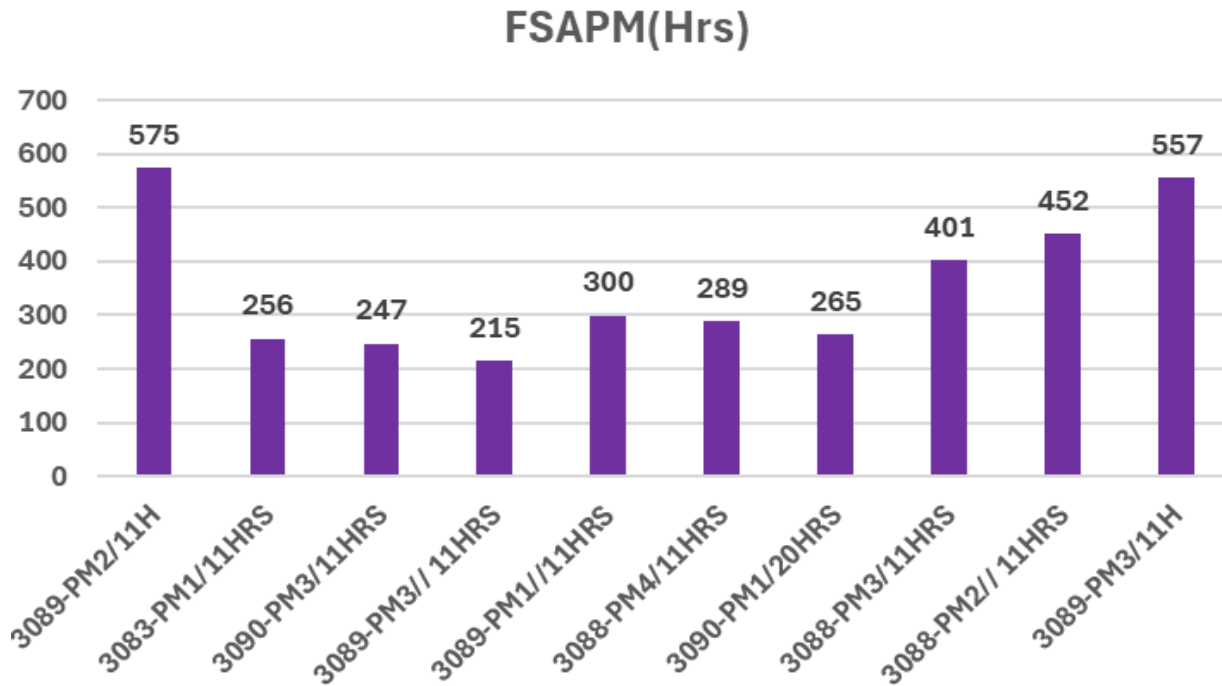
Fuente: Elaboración propia

Uno de los principales problemas antes de la implementación del mantenimiento estandarizado era la ocurrencia de fallas poco después de cada PM. Tras la aplicación de las metodologías LEAN y SMED, se logró un tiempo récord de 575 horas antes de falla

luego de un PM, lo que confirma la efectividad del nuevo enfoque basado en LEAN y SMED.

Figura 97

Top 10 del tiempo antes de falla luego del PM (FSAPM) de la flota Caterpillar 793D en el año 2024



Fuente: Elaboración propia

6.3. Evaluación Económica

La estrategia de mantenimiento estandarizado basada en LEAN y SMED generó beneficios económicos directos e indirectos:

- Reducción del tiempo de parada a 10 horas, aumentando la disponibilidad operativa.
- Disminución de horas hombre utilizadas, permitiendo redireccionar esfuerzos a tareas correctivas críticas.
- Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 30%, con retorno de inversión (ROI) en menos de un año.
- Ahorro económico estimado en más de \$180,000 sin requerir inversión adicional.

6.4. Contrastación de hipótesis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos confirman la validez de las hipótesis planteadas:

Tabla 26

Síntesis del contraste de hipótesis

HIPÓTESIS	RESULTADO	VALIDACIÓN
H.G. La aplicación de estrategias LEAN y SMED mejora el mantenimiento preventivo en flotas de camiones mineros, logrando una reducción significativa en los tiempos de intervención.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se incrementó de 88.93% a 91.5%, un aumento del 2.57%. ✓ Se alcanzó un tiempo récord de 575 horas sin fallas luego de la intervención, validando la calidad del mantenimiento. 	Validado
H.E.1 La optimización de actividades externas de preparación mediante SMED reduce significativamente el tiempo de preparación antes del mantenimiento preventivo.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reasignación de tareas como preparación de herramientas, movilización de equipos y verificación de componentes a actividades externas al tiempo del PM. ✓ Esto permitió que el tiempo de inicio efectivo del mantenimiento se realizara sin demoras ni interrupciones, disminuyendo los tiempos de preparación en más del 40%. 	Validado
H.E.2 La estandarización de tareas internas bajo la metodología SMED disminuye el tiempo efectivo de intervención en los mantenimientos preventivos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La ejecución del mantenimiento se estabilizó en 10 horas para los cuatro tipos de PMs (PM1, PM2, PM3, PM4). ✓ Se cumplió con el 100% de las tareas planificadas, sin retrabajos ni extensiones de tiempo por falta de secuenciación o recursos. 	Validado
H.E.3 La aplicación de herramientas LEAN enfocadas en el valor agregado y la eficiencia en el uso de recursos reduce el tiempo total de intervención durante los mantenimientos preventivos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Wrench Time incrementado del 27% al 75%, reflejando mayor tiempo útil efectivo. ✓ Reducción de paradas no programadas en 60.7%, al disminuir fallas por causas recurrentes identificadas y corregidas con anticipación. 	Validado

Fuente: Elaboración propia

La implementación del mantenimiento estandarizado basado en las estrategias LEAN y SMED ha demostrado ser una solución efectiva para la optimización de los tiempos de intervención en la flota de camiones Caterpillar 793D. Los indicadores de desempeño muestran un incremento significativo en disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa. Además, el impacto económico refleja una alta rentabilidad sin necesidad de inversiones adicionales.

Conclusiones

- 1) La implementación del mantenimiento estandarizado basado en las estrategias LEAN y SMED ha demostrado ser altamente efectiva para optimizar los tiempos de intervención en la flota de camiones Caterpillar 793D. Los resultados obtenidos reflejan un incremento significativo en la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa, consolidando un modelo de mantenimiento más ágil y rentable. Se logró aumentar la disponibilidad operativa de la flota en 2.57%, alcanzando un 91.5% anual, mientras que el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) experimentó un incremento del 28%, reduciendo la frecuencia de fallas inesperadas. Además, se logró disminuir el número de fallas en 60.7%, lo que contribuyó a incrementar la confiabilidad de los equipos y reducir las interrupciones operativas. Asimismo, la ejecución de todos los mantenimientos preventivos en 10 horas permitió optimizar los recursos disponibles y mejorar la planificación de las intervenciones.
- 2) La metodología SMED se implementó con el objetivo de aumentar el tiempo efectivo de trabajo (Wrench Time), reducir tareas incidentales y eliminar desperdicios. Para ello, se convirtieron tareas internas en externas, permitiendo su ejecución previa a la intervención del equipo. Gracias a esta estrategia, se logró que todos los PMs se ejecuten en 10 horas o menos, optimizando los tiempos de mantenimiento y asegurando una mayor disponibilidad de los camiones.
- 3) La metodología LEAN permitió mejorar la gestión del mantenimiento a través del análisis de fallas para determinar tareas proactivas y evitar fallos recurrentes. La estandarización de procedimientos mediante cartillas de mantenimiento tanto para la supervisión como para cada personal técnico optimizó la ejecución de tareas, mientras que la ruta crítica garantizó la asignación eficiente de recursos y el cumplimiento de cada tarea en el menor tiempo posible. Estas mejoras permitieron incrementar el desempeño operativo y la relación costo-efectividad del mantenimiento.

- 4) Desde una perspectiva económica y operativa, la ejecución estandarizada de PMs en 10 horas representó una reducción del 25% en los tiempos de inactividad y una mejora del 48% en la eficiencia operativa global. Destinado un mayor número de horas hombre a tareas correctivas en camiones que se pueden presentar en el día a día o los trabajos de rutina del taller.
- 5) La implementación de un mantenimiento estandarizado fortaleció la seguridad laboral al reducir los riesgos de accidentes mediante procedimientos rigurosos y el cumplimiento de normativas de seguridad, minimizando costos asociados a incidentes laborales. Asimismo, se optimizó el uso de insumos, reduciendo el impacto ambiental al minimizar el consumo innecesario de repuestos y aceites y mejorando el rendimiento de los equipos, lo que contribuyó a la reducción de emisiones contaminantes y el cumplimiento de normativas ambientales internacionales. Adicionalmente, esta transformación fomentó una cultura de mejora continua al establecer estándares claros que promovieron la eficiencia y redujeron la variabilidad en los procesos, reforzando el compromiso con la seguridad, el trabajo en equipo y la excelencia operativa.
- 6) En conclusión, la aplicación de estrategias LEAN y SMED en el mantenimiento preventivo de la flota Caterpillar 793D ha demostrado ser una solución altamente efectiva, logrando optimizar los tiempos de intervención, reducir fallas y mejorar la eficiencia operativa. Los resultados obtenidos validan la viabilidad de este enfoque, destacando su impacto positivo en disponibilidad, confiabilidad, costos y sostenibilidad ambiental.

Recomendaciones

- 1) La aplicación de las estrategias LEAN y SMED en mantenimiento ha demostrado ser una solución eficaz para incrementar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa en flotas mineras. Se recomienda que las empresas interesadas en replicar esta metodología que realicen un diagnóstico inicial de su proceso de mantenimiento, adapten las estrategias a sus necesidades específicas y establezcan un sistema de mejora continua que garantice la sostenibilidad de los resultados a largo plazo. Con una implementación adecuada y un enfoque en la eficiencia operativa, estas metodologías pueden transformar significativamente la gestión del mantenimiento y generar ventajas competitivas para la empresa.
- 2) Es fundamental que la alta dirección de la empresa respalde la implementación de LEAN y SMED en mantenimiento, asegurando la asignación de recursos y el compromiso de todos los niveles organizacionales. Se recomienda desarrollar un plan estratégico claro, con objetivos específicos y medibles, que permita evaluar la evolución del proceso y realizar ajustes cuando sea necesario.
- 3) El éxito de la implementación depende en gran medida del conocimiento y la preparación del personal involucrado. Se recomienda realizar programas de capacitación continua sobre las metodologías LEAN y SMED, enfocados en la reducción de desperdicios, optimización de procesos y mejora continua. Además, es crucial fomentar una cultura de trabajo colaborativo, donde los técnicos y supervisores comprendan la importancia de la estandarización y se involucren activamente en la identificación de oportunidades de mejora.
- 4) Para replicar los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda la estandarización de procedimientos de mantenimiento mediante la creación de cartillas de mantenimiento detalladas y específicas para cada tipo de intervención. Asimismo, es

clave aplicar el análisis de fallas para detectar tareas críticas y definir acciones preventivas que minimicen el tiempo de inactividad de los equipos.

- 5) Se recomienda monitorear los parámetros de control como: El tiempo total de ejecución (Hrs), Nivel de Cumplimiento (%), Wrench time (%), Adherencia en Horas Hombre Totales del PM (%), FSAPM (Hrs) y métricas como la disponibilidad operativa, el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio Para Reparar (MTTR), lo que permitirá tomar decisiones informadas y ajustar estrategias de mantenimiento en función de los resultados obtenidos.
- 6) Para una adopción exitosa, se recomienda una implementación progresiva de la metodología, comenzando con pruebas piloto en equipos seleccionados antes de expandirla a toda la flota. Además, la gestión del cambio es un factor clave, por lo que es necesario involucrar a todas las partes interesadas desde el inicio del proceso, asegurando una transición fluida y reduciendo la resistencia al cambio.
- 7) Es recomendable que las empresas cuantifiquen los beneficios económicos y ambientales derivados de la optimización del mantenimiento. La reducción en costos operativos, menor consumo de repuestos y aceites, y la disminución de emisiones contaminantes son factores que contribuyen a una operación más sostenible y eficiente. Difundir estos beneficios dentro de la organización fomentará la continuidad y mejora del proceso.

Referencias bibliográficas

Amendola, L. (2022). Organización y gestión del mantenimiento. España: PMM Institute for Learning.

Brian G. y William S. (2021). Propuesta de implementación de Lean Manufacturing para mejorar la productividad en la fabricación de discos de aluminio en una empresa laminadora. Universidad Ricardo Palma. Perú.
<https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c4d2cff6-d353-4140-9b52-90c44782464b/content>

Cabrera J. (2024). Aplicación de la metodología SMED para la mejora de la operatividad de las motoniveladoras modelo 24, marca Caterpillar, en una compañía minera extractora de cobre y zinc. Universidad Continental. Perú.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15426/3/IV_FIN_108_T_E_Juanito_Cabrera_2024.pdf

Cajachagua Aire, E. R. (2021). Factores que influyen en el eje de salida del reductor del molino de bolas dominom12´x16´ - Unidad Minera Huaron.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8015>

Castellanos Elías, J. (2023). La financiarización: El camino a la quiebra de General Motors. Ola Financiera. <https://doi.org/10.22201/FE.18701442E.2013.15.40269>

Ccahuana J. (2023). Aplicación del sistema Dispatch para mejorar el MTBF y MTTR en el programa de mantenimiento de los componentes de camiones de acarreo en la Empresa Minera Antamina. Universidad Continental. Perú.

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13078/2/IV_FIN_108_T_E_Ccahuana_Labra_2023.pdf

Cesar Arróspide. (2023). Modelo de mantención y reparación.
<https://www.gestiopolis.com/glosario-terminos-la-gestion-mantenimiento/>

Gerson A. y Julio C. (2021). Modelo de Gestión de Mantenimiento para reducir los retrasos en la línea de producción de una pyme textil productora de fibra poliéster en Lima-Perú, aplicando herramientas del Lean Manufacturing, SMED y tres pilares del TPM. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657116>

López P. y Cruz E. (2021). Diseño de un plan de mejoramiento del proceso extractivo y de beneficio de oro en la planta y mina “La Bendición”, ubicada en el municipio de Riosucio - Caldas, basado en herramientas Lean Manufacturing. Fundación Universitaria de Popayán. Colombia.
<https://fupvirtual.edu.co/repositorio/files/original/4ce7898eb81e06781425b3f4f2d703db34c852b5.pdf>

Marek K., Pawel B., & Marcin M. (2023). Study on the Usefulness of Lean Management Tools and Techniques in Coal Mines in Poland. AGH University of Krakow. Poland.
https://www.mdpi.com/1996-1073/16/21/7240?utm_source=chatgpt.com

Mora, L. (2021). Mantenimiento Industrial Efectivo. Segunda ed. Medellín, Colombia: Manotas.

Morocho M. (2024). Herramientas de LEAN Manufacturing aplicada a la S.M Oro Inca” perteneciente a la concesión minera Shyri, ubicado en la provincia del Azuay. Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/22526/1/53T0090.pdf>

Moubray, J (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (E, Sueiro y Asociados, Trad. 2ª ed.). Reino unido: Aldon Ltd. (Original work published 2018).

Suárez R. (2022). Aplicación de herramientas LEAN en el área de mantenimiento de una empresa minera. Universidad de Sevilla. España.
https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/30249/fichero/PFC_Ra%C3%BAI_Su%C3%A1rez_Vicente.pdf

Villalta E. (2024). Propuesta de plan de mantenimiento proactivo para la flota de camiones de acarreo en la unidad minera Constancia. Universidad Continental. Perú.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15127/2/IV_FIN_111_T_E_Villalta_Mancheo_2024.pdf

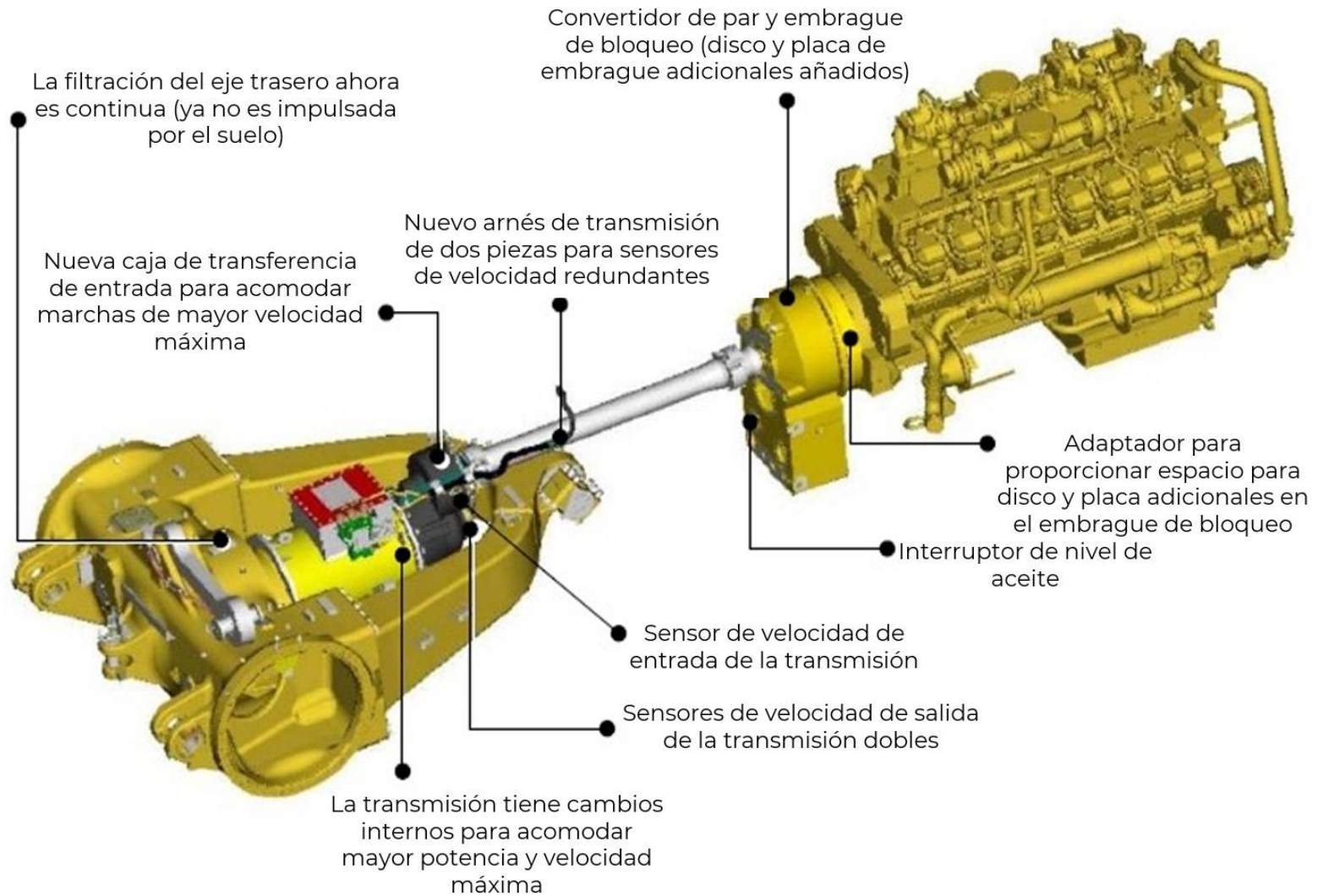
Anexos

Anexo 1: Tiempos de ejecución de mantenimientos preventivos del año 2023	1
Anexo 2: Tren de fuerza del camión minero Caterpillar 793D	2
Anexo 3: Ruta de inspección del camión Caterpillar 793D - Mecánico A	3
Anexo 4: Ruta de inspección del camión Caterpillar 793D - Mecánico B	7
Anexo 5: Ruta de inspección del camión Caterpillar 793D - Mecánico C	11
Anexo 6: Ruta de inspección del camión Caterpillar 793D - Mecánico D	14
Anexo 7: Checklist de preparación para PM – Camión Cat 793D	16
Anexo 8: Diagramas de Gantt por tipo de PM camión Caterpillar 793D	18
Anexo 9: Cartilla de ejecución de mantenimiento programado camión Caterpillar 793D.	22
Anexo 10: Principales componentes del camión Caterpillar 793D.....	41
Anexo 11: Vista lateral, frontal y posterior del camión Caterpillar 793D	42
Anexo 12: Camión minero Caterpillar 793D captando mineral de la pala.....	43

Anexo 1: Tiempos de ejecución de mantenimientos preventivos del año 2023

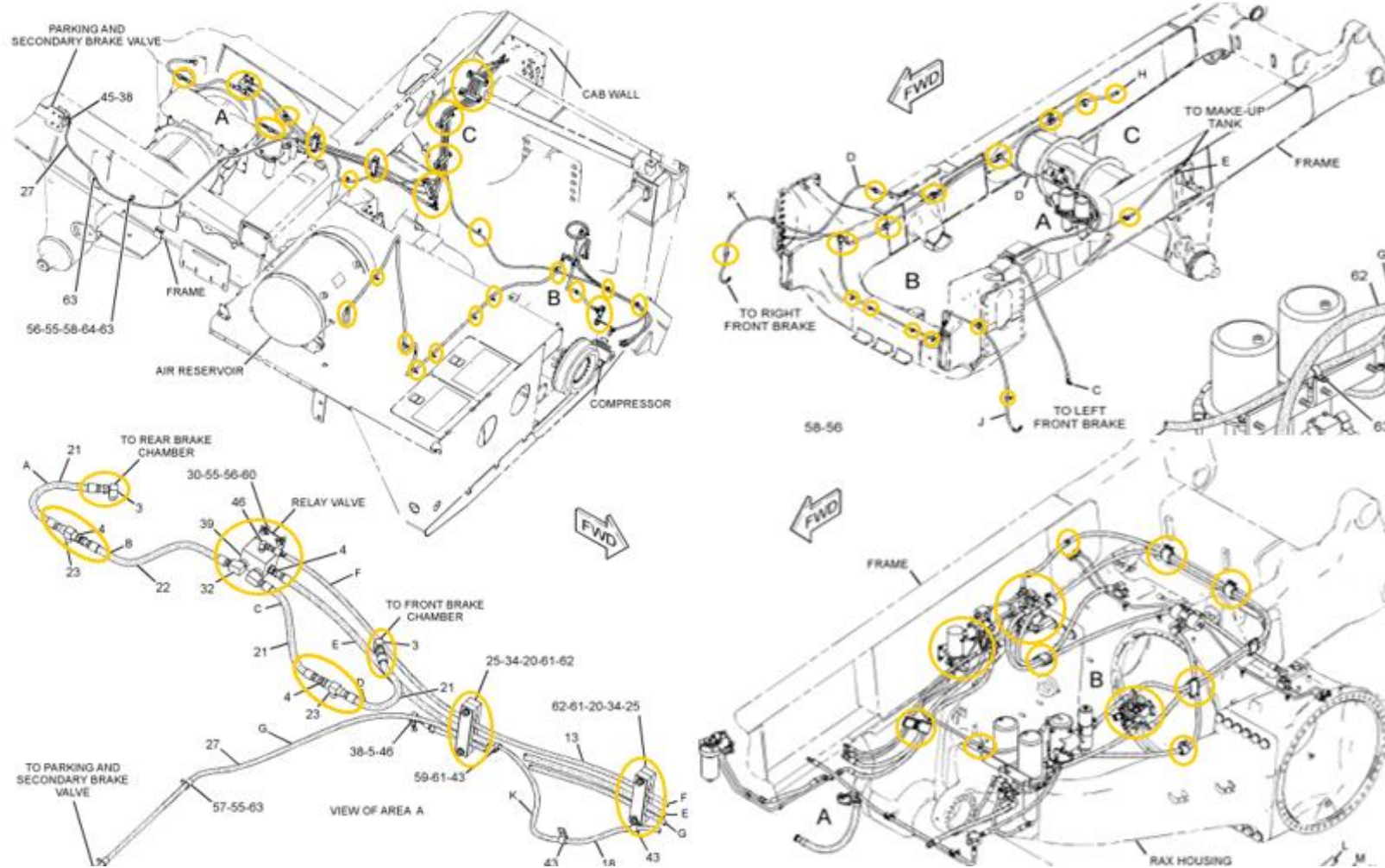
MES	SEMANA	Flota	Equipo	TAREA	TIPO	HR PROGRAMADA	DURACIÓN(hrs)
Enero	3	CAT 793D	3087	3087-PM1// 11HRS	PM	11	18
Enero	2	CAT 793D	3088	3088-PM1//11HRS	PM	11	30
Enero	3	CAT 793D	3089	3089-PM3// 11HRS	PM	11	19
Enero	3	CAT 793D	3086	3086-PREP/03HRS	PPM	3	6
Enero	4	CAT 793D	3085	3085-PREP// 10HRS	PPM	10	16
Enero	4	CAT 793D	3087	3087-PREP/04HRS	PPM	4	6
Enero	4	CAT 793D	3088	3088-PREP// 20HRS	PPM	20	29
Febrero	5	CAT 793D	3090	3090-PM1/20HRS	PM	20	27
Febrero	5	CAT 793D	3089	3089-PREP/11HRS	PPM	11	17
Febrero	6	CAT 793D	3085	3085-PM3/11HRS	PM	11	22
Febrero	7	CAT 793D	3088	3088-PM2// 11HRS	PM	11	20
Febrero	7	CAT 793D	3089	3089-PM4// 11HRS	PM	11	29
Febrero	7	CAT 793D	3090	3090-PREP/12H	PPM	12	30
Febrero	7	CAT 793D	3087	3087-PM2+BL/24H	PM	24	12
Febrero	8	CAT 793D	3083	3083-PM1/11HRS	PM	11	16
Marzo	9	CAT 793D	3085	3085-PRE PM / 24 HRS	PPM	24	25
Marzo	9	CAT 793D	3089	3089-PREP// 16HRS	PPM	16	13
Marzo	9	CAT 793D	3088	3088-PREP//24HRS	PPM	24	24
Marzo	10	CAT 793D	3087	3087-PREP// 10 HRS	PPM	10	17
Marzo	10	CAT 793D	3090	3090-PM2/11H	PM	11	14
Marzo	12	CAT 793D	3085	3085-PM4/11HRS	PM	11	13
Marzo	12	CAT 793D	3089	3089-PM1//11HRS	PM	11	17
Marzo	12	CAT 793D	3088	3088-PM3/11HRS	PM	11	13
Abril	13	CAT 793D	3083	3083-PM2/11H	PM	11	15
Abril	13	CAT 793D	3087	3087-PM3/11HRS	PM	11	22
Abril	13	CAT 793D	3090	3090-PREP+BL/24H	PPM	24	27
Abril	14	CAT 793D	3085	3085-PREP/10H	PPM	10	17
Abril	14	CAT 793D	3089	3089-PREPPM	PPM	11	26
Abril	14	CAT 793D	3088	3088-PREP// 24HRS	PPM	24	26
Abril	15	CAT 793D	3090	3090-PM3/11HRS	PM	11	21
Abril	16	CAT 793D	3088	3088-PM4/11HRS	PM	11	27
Abril	16	CAT 793D	3083	3083-PREP/6H	PPM	6	10
Abril	16	CAT 793D	3087	3087-PREP/06HRS	PPM	6	8
Mayo	17	CAT 793D	3089	3089-PM2/11H	PM	11	12
Mayo	17	CAT 793D	3085	3085-PM1	PM	11	28
Mayo	18	CAT 793D	3083	3083-PM3/11HRS	PM	11	16
Mayo	18	CAT 793D	3088	3088-PREP/10HRS	PPM	10	26
Mayo	18	CAT 793D	3090	3090-PREP//14HRS	PPM	14	27
Mayo	19	CAT 793D	3089	3089-PREP/08HRS	PPM	8	25
Mayo	19	CAT 793D	3087	3087-PM4/ 11 HRS	PM	11	23
Mayo	20	CAT 793D	3090	3090-PM3/11HRS	PM	11	20
Mayo	20	CAT 793D	3085	3085-PREP/33HRS	PPM	33	20
Junio	21	CAT 793D	3088	3088-PM1// 11HRS	PM	11	18
Junio	21	CAT 793D	3083	3083-PREP/07HRS	PPM	7	16
Junio	21	CAT 793D	3087	3087-PREP// 07HRS	PPM	7	14
Junio	21	CAT 793D	3089	3089-PM3/11H	PM	11	10
Junio	23	CAT 793D	3085	3085-PM2/11H	PM	11	24
Junio	23	CAT 793D	3088	3088-PREP// 24HRS	PPM	24	30
Junio	23	CAT 793D	3083	3083-PM4//11HR	PM	11	30
Junio	23	CAT 793D	3090	3090-PREP/6hr	PPM	6	6
Junio	24	CAT 793D	3089	3089-PREP//10 HRS	PPM	10	29
Julio	24	CAT 793D	3087	3087-PM1// 11HRS	PM	11	15
Julio	25	CAT 793D	3090	CONT EJECUCCIÓN BAKLO	PM	11	24
Julio	25	CAT 793D	3083	REP/CC MAND FINAL RH	PPM	24	28
Julio	26	CAT 793D	3088	FIN X SOLDADURA TANQUE	PM	11	26
Julio	26	CAT 793D	3089	3089-PM4/11HRS	PM	11	29
Julio	26	CAT 793D	3087	PM + CALIBRACION DE MOT	PPM	12	14
Julio	27	CAT 793D	3090	PPM + CALIBRACION MOTO	PPM	12	18
Julio	27	CAT 793D	3088	3088-PREP/12HRS	PPM	12	30

Anexo 2: Tren de fuerza del camión minero Caterpillar 793D

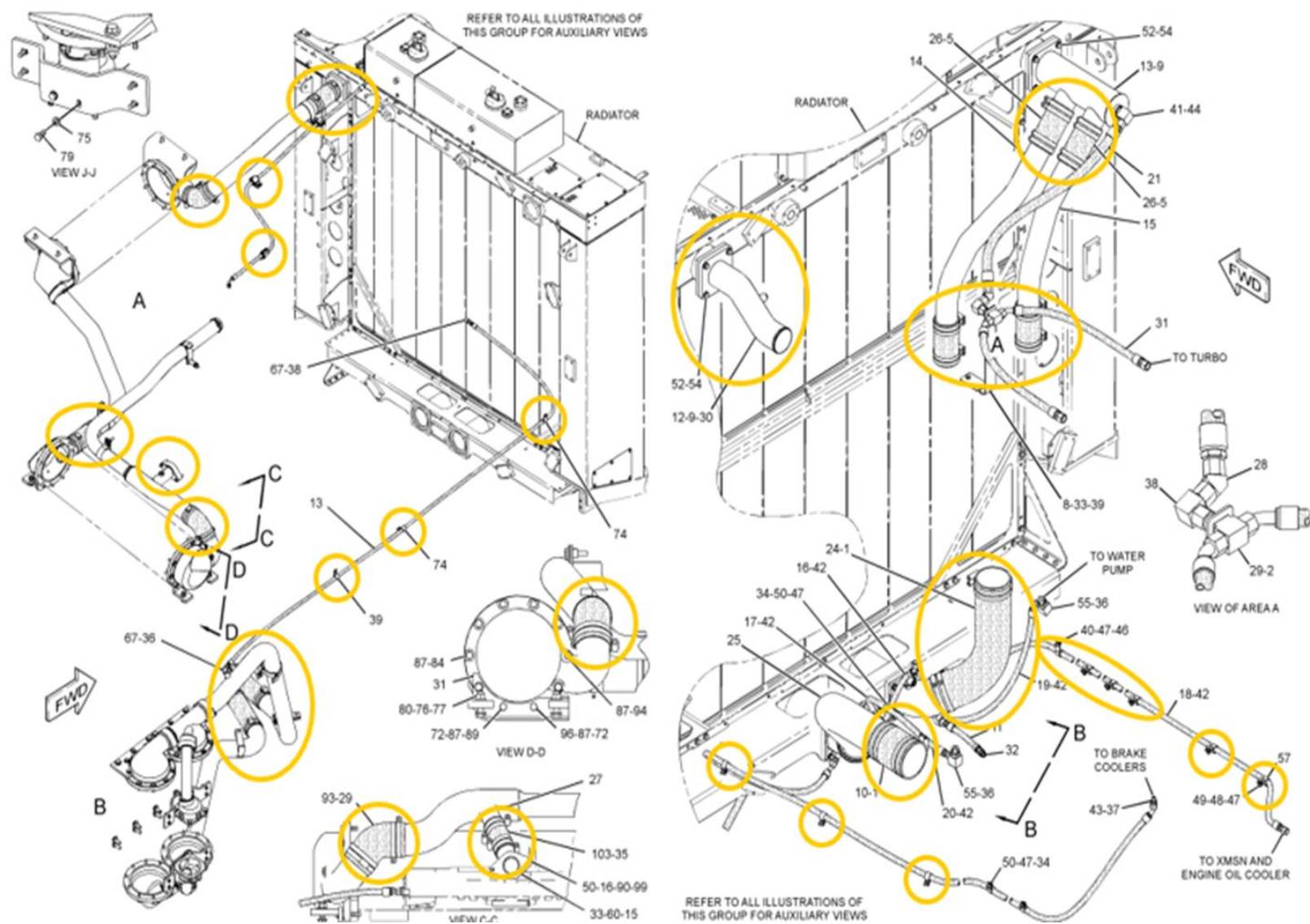


Anexo 3: Ruta de inspección del camión Caterpillar 793D - Mecánico A

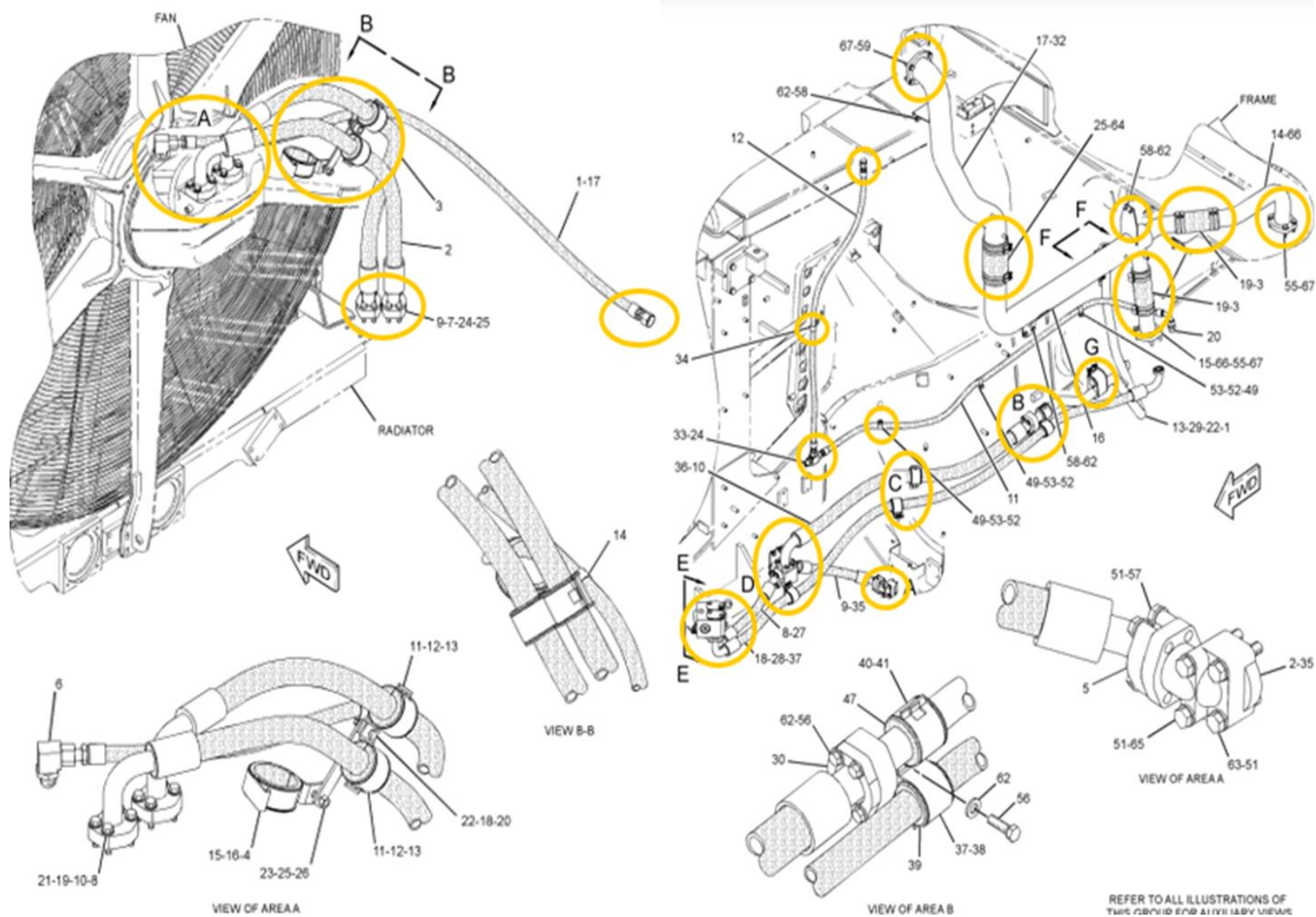
LÍNEAS DE SISTEMA DE FRENOS



LÍNEAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

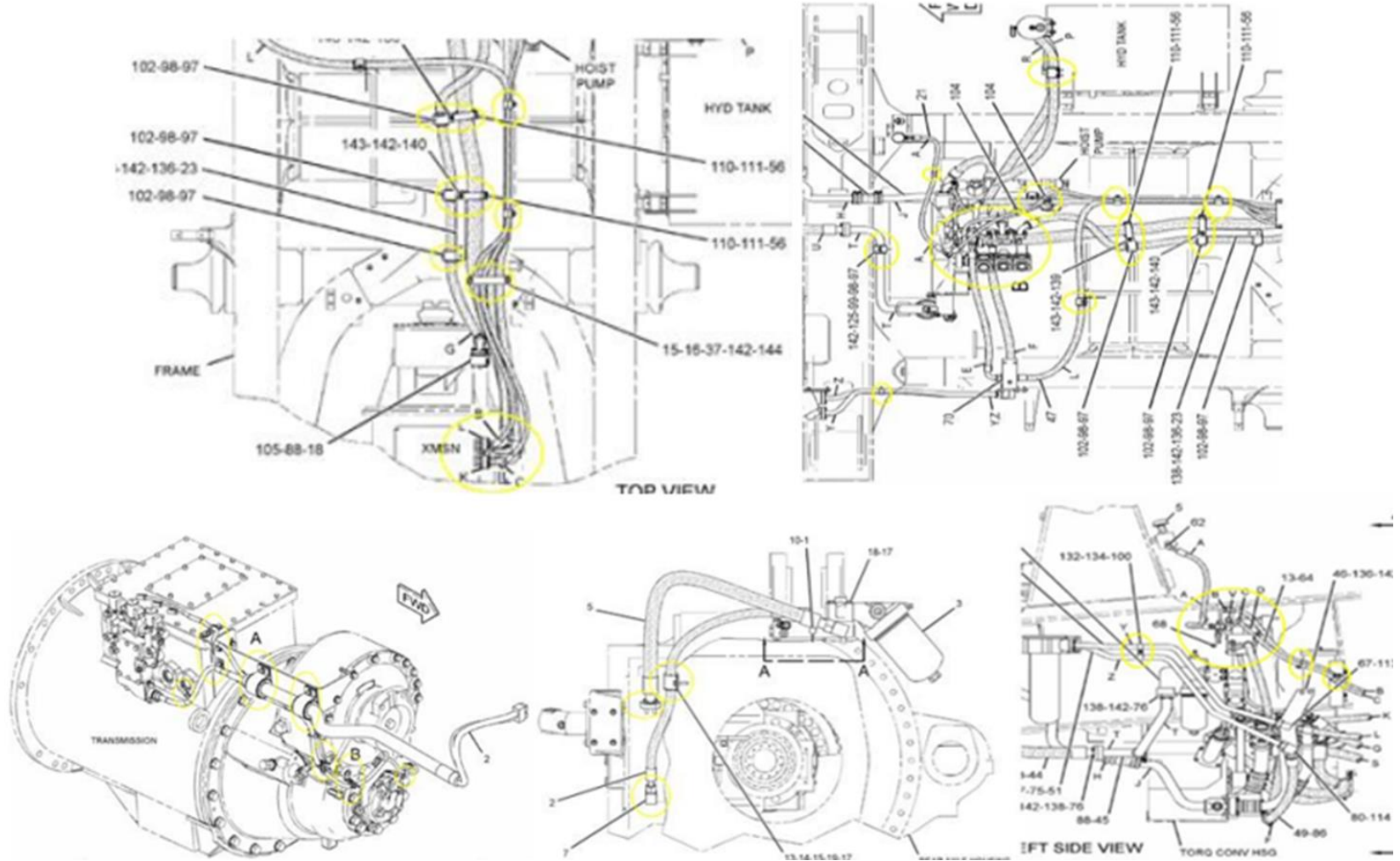


LÍNEAS DE IMPULSIÓN DEL VENTILADOR

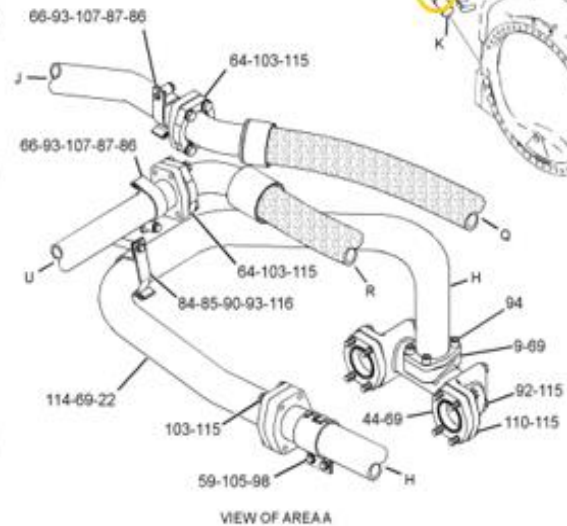
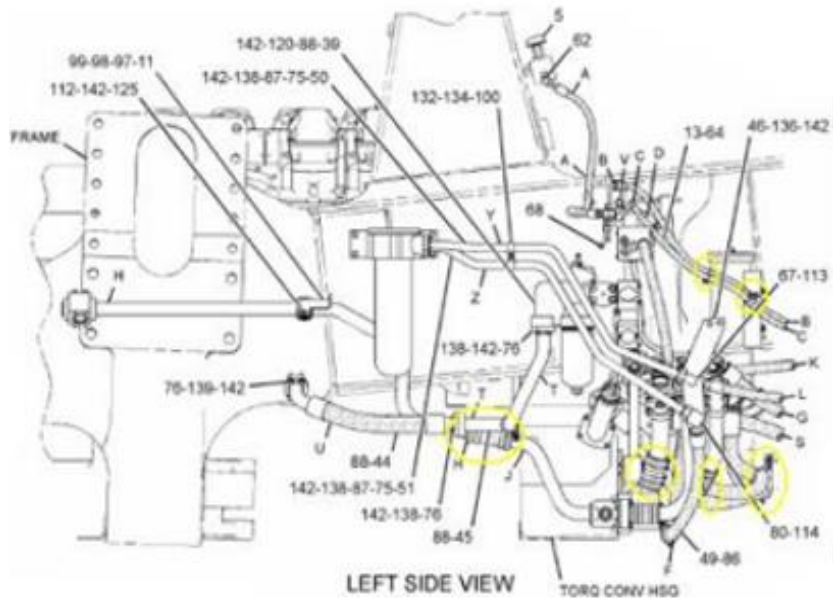
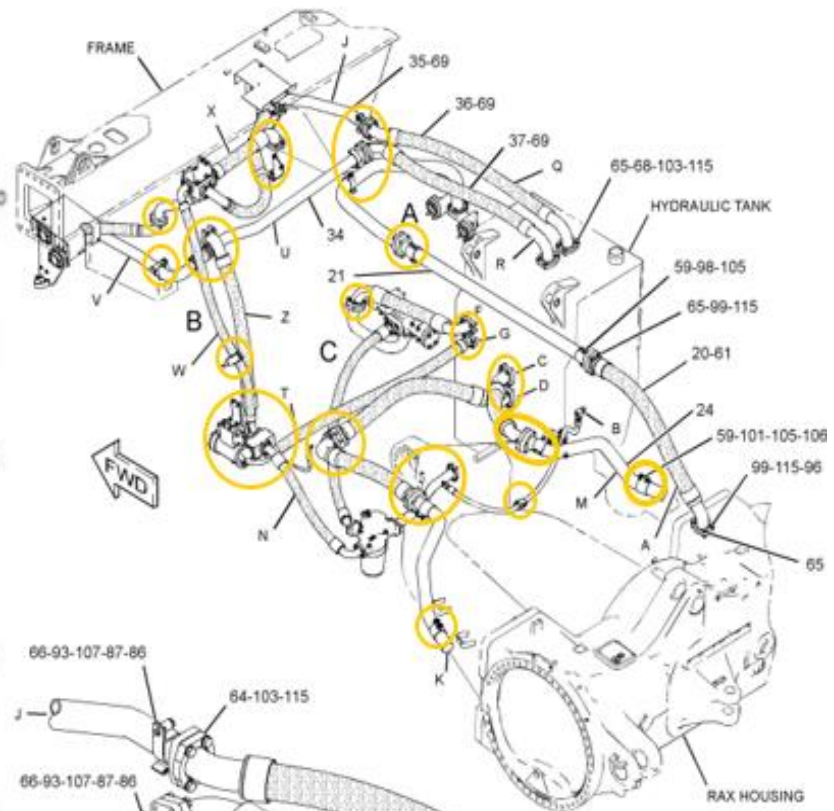
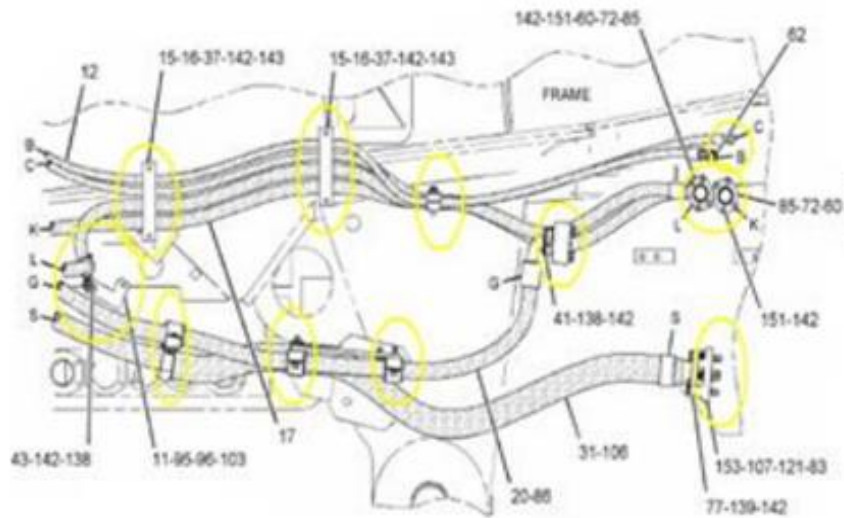


Anexo 4: Ruta de inspección del camión Caterpillar 793D - Mecánico B

LÍNEAS DEL SISTEMA DE POTENCIA

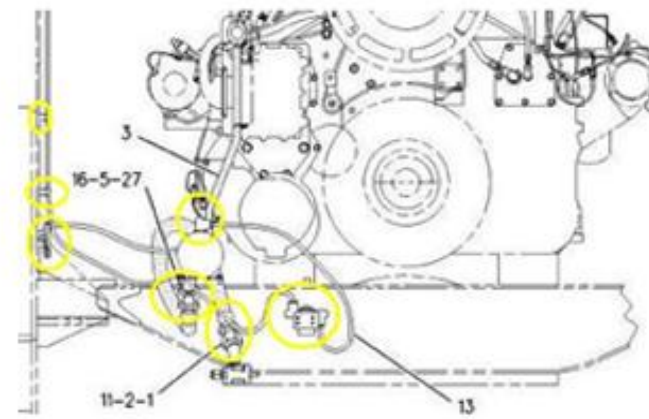
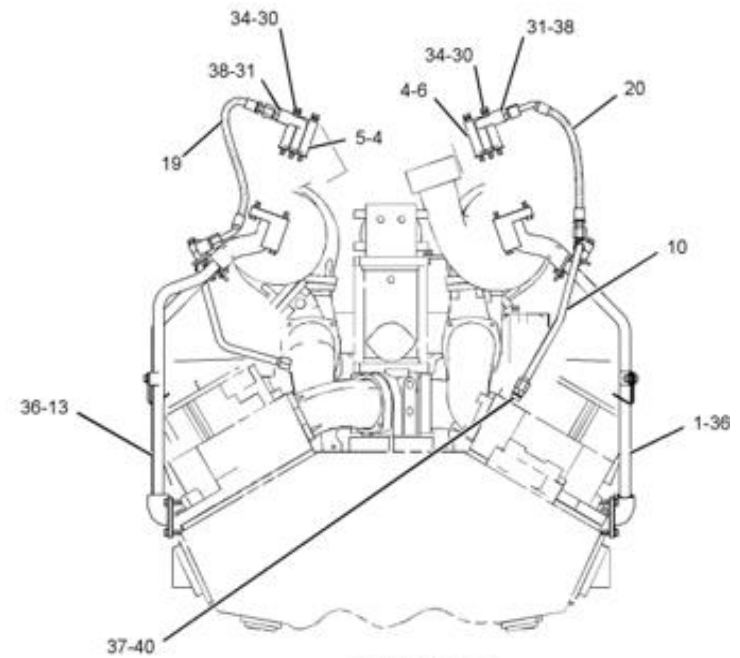
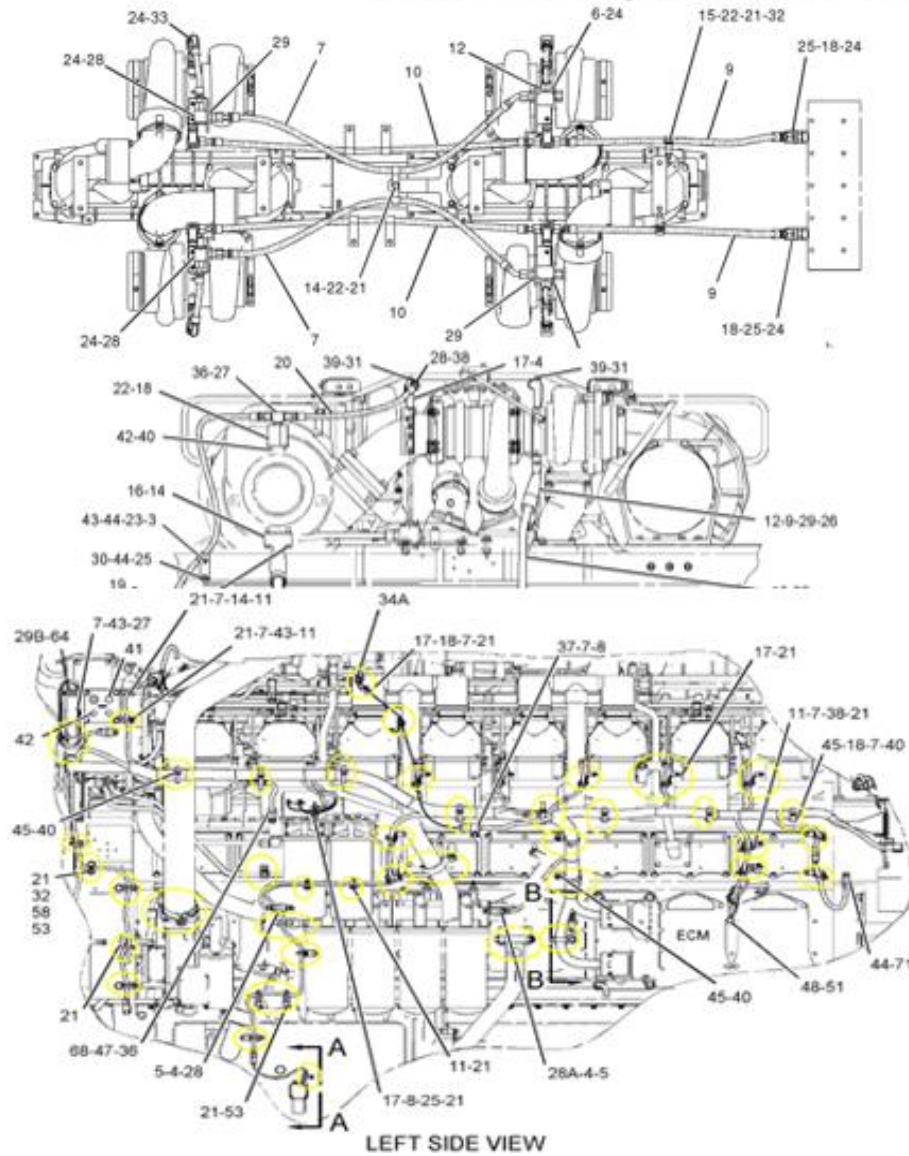


LÍNEAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO



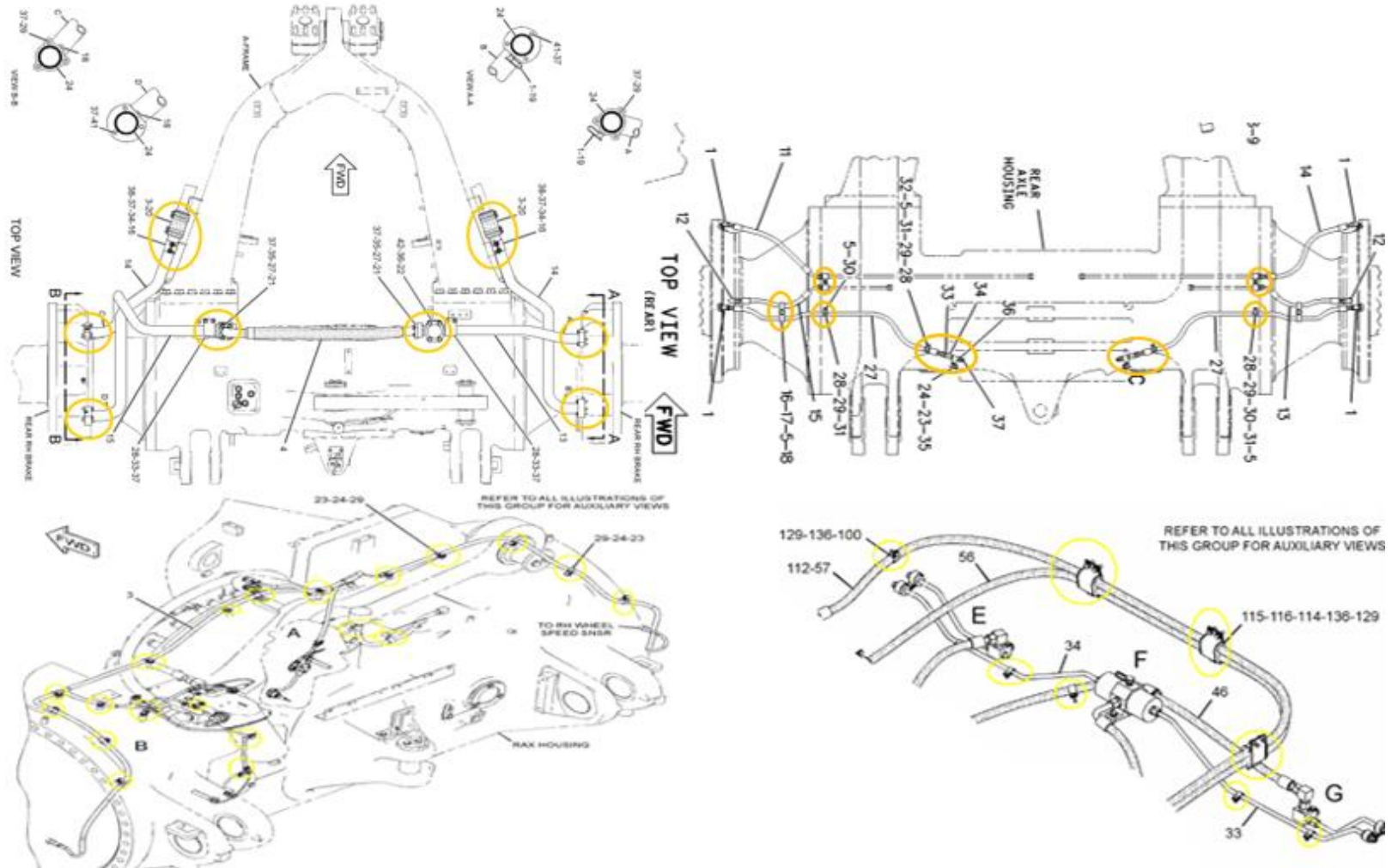
REFER TO ALL ILLUSTRATIONS OF THIS GROUP FOR AUXILIARY VIEW

SECCIÓN IZQUIERDA & POSTERIOR DEL MOTOR

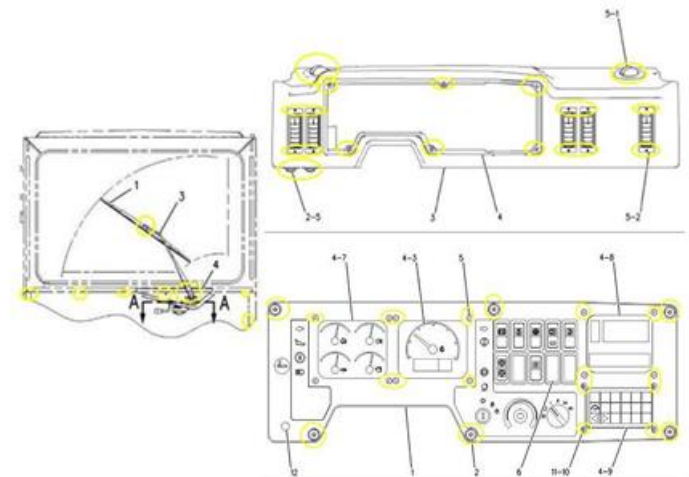
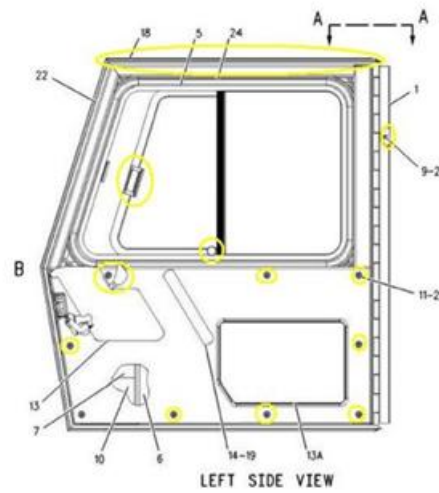
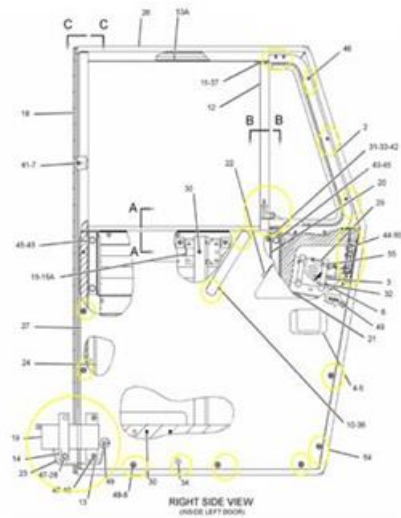
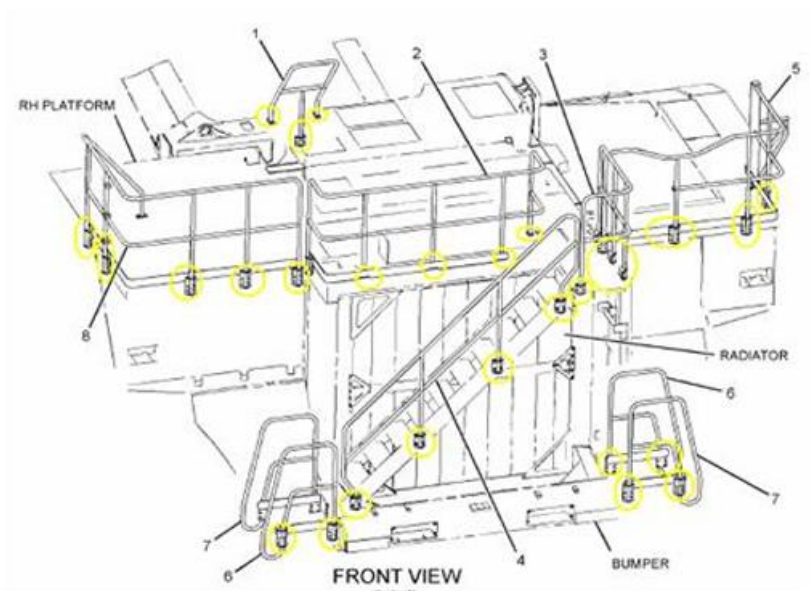
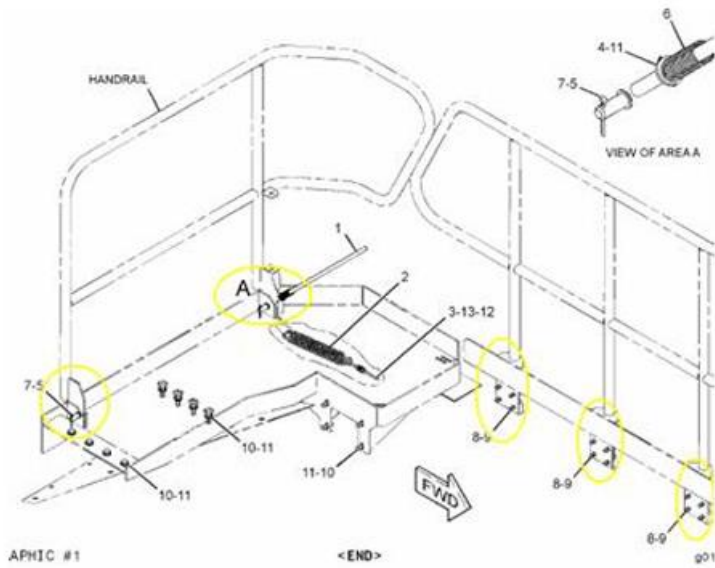


Anexo 5: Ruta de inspección del camión Caterpillar 793D - Mecánico C

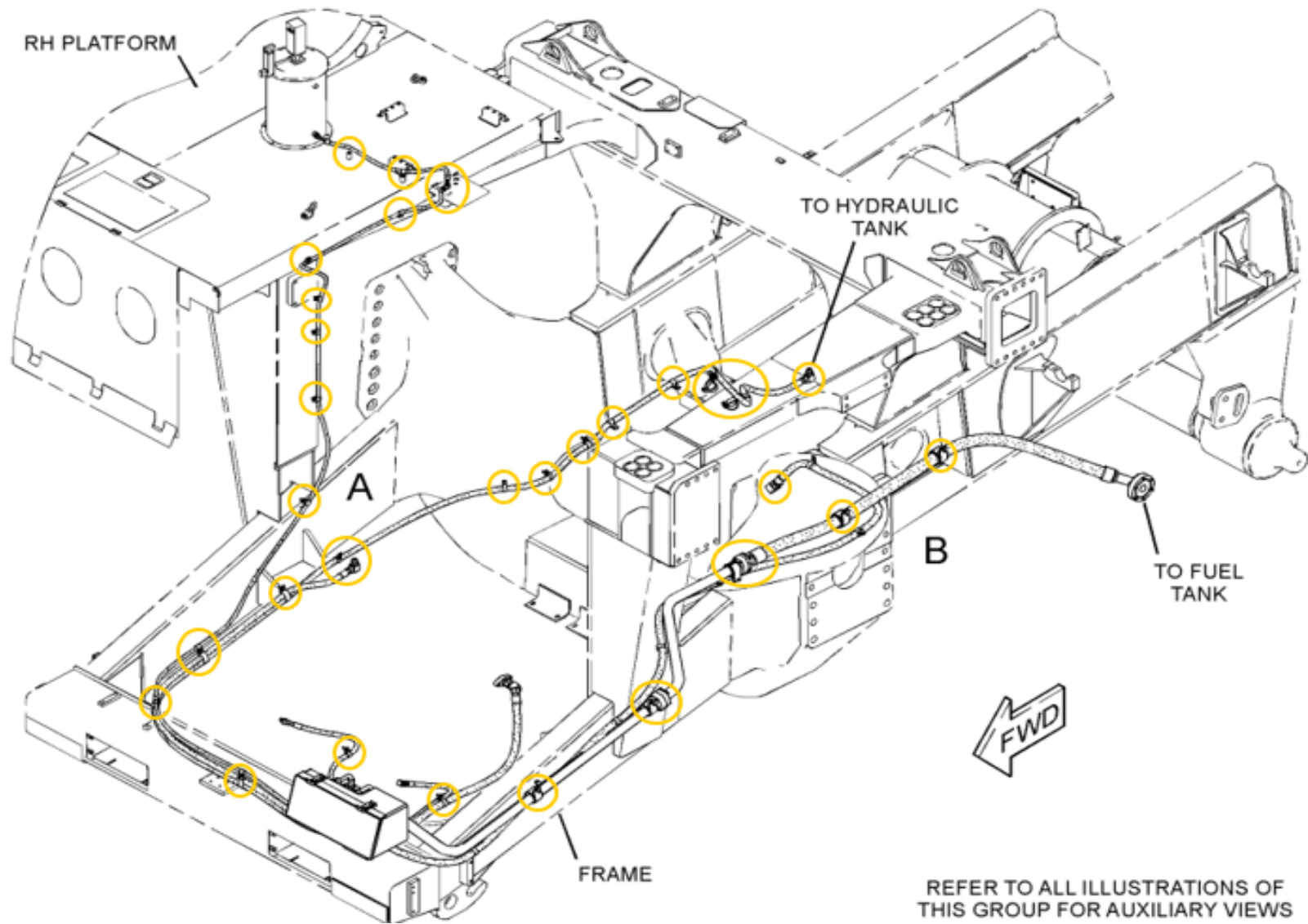
LÍNEAS DEL EJE DIFERENCIAL



Escaleras de accesos y Barandas



LÍNEAS DE TOMAS RÁPIDAS



Anexo 7: Checklist de preparación para PM – Camión Cat 793D

EQUIPO:	
FECHA:	
LIDER DE PM:	
SUPERVISOR RESPONSABLE:	
BAHÍA PARA PM:	

I. ¿CONTAMOS CON TODAS LAS HERRAMIENTAS REQUERIDAS PARA EL PM?

CAJA DE HERRAMIENTAS			
I. HERRAMIENTAS	SI	NO	ESTADO
01 Pistola eléctrica de ¼"			
02 Pistola eléctrica de 3/8"			
02 Pistola eléctrica de ½"			
01 Llave de Golpe de 7/8"			
01 Llave de Golpe de 1 ½"			
01 Vernier Digital			
01 Llave Ratchet de ½"			
Juego de llaves mixtas			
01 Extensión larga de ¼" x 2"			
01 Extensión larga de ¼" x 6"			
Dados Hexagonales 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 9/16", 15/16", 1 1/2"			
01 Dado Tubular Hexagonal 11 mm encastre ½"			
01 Dado Tubular Hexagonal 13 mm encastre ½"			
01 Comba de 12 libras de mango largo			
01 Llave stilson 36"			
01 Llave Francesa 1"			
01 Faja saca filtro de lona			
01 Faja saca filtro de cadena			
01 Torquimetro de 270 lb			
01 Bomba de Vacío			
01 Cinta métrica			
01 Multímetro			
Juego de Destornilladores Dieléctricos			
Juego de Dados Encastre 1/4 "			
Adaptadores De Dados			
01 Cúter			
01 Cuchilla			
01 Alicata de Corte			
01 Alicata Pata Cable Universal			
01 Alicata Pico Loro Regulable			

II. TRASLADAR LOS EQUIPOS AUXILIARES A LA BAHÍA DESIGNADA PARA EL PM

II. EQUIPOS AUXILIARES REQUERIDOS	SI	NO	ESTADO
01 Laptop con Adapter			
02 Tetragauge			
Escalera			
Equipo de engrase mobil grease (inspeccionar estado del conector)			
Puente Grúa			
Eslinga			
Equipo nivelador de suspensiones (Instalar balón de nitrógeno)			
Scissor Lift			

III. TRASLADAR Y REVISAR LAS RESERVAS REQUERIDAS PARA EL PM

III. RESERVAS REQUERIDAS	ORIGINAL	SAP	CANTIDAD	SI	NO
- FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	275-2604	1248225	4		
- FILTRO SEPARADOR DE COMBUSTIBLE	438-5385	1232447	2		
- FILTROS SECUNDARIOS DE COMBUSTIBLE	FF5317	1268849	2		
- FILTRO DE WASTEGATE	185-4369	1250325	1		
- FILTRO DE ACEITE DE DIRECCIÓN Y DEL VENTILADOR HIDRÁULICO	4656502	1332149	2		
- FILTROS DEL TANQUE DE DIRECCIÓN Y FAN	2492337	1141389	2		
- FILTRO DE ENFRÍAMIENTO DE FRENOS	277-5812	1247974	2		
- FILTRO DE DESCONEJÓN DEL FRENO DE ESTACIONAMIENTO	132-8875	1247033	1		
- FILTRO DE ACEITE DEL CONVERTIDOR DE PAR	132-8876	1134819	2		
- FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	132-8876	1134819	2		
- FILTRO DE ACEITE DEL EJE TRASERO	1R-0778	1247976	1		
- CAMBIAR FILTRO INTERIOR CABINA	107-0266	1248869	1		
- CAMBIAR FILTRO EXTERIOR CABINA	119-3355	1248969	1		
- FILTRO PRIMARIO DE AIRE (CONDICIÓN)	AF879NF	1278531	4		
- FILTRO SECUNDARIO DE AIRE (CONDICIÓN)	AF857	1268072	4		
- CAMBIAR FILTRO CONJUNTO SECADOR DE AIRE	107-5869	1248007	1		
- CAMBIAR KIT DE VÁLVULA DE DESCARGA DE SECADOR DE AIRE	121-5895	1249474	1		

- FILTRO DE COMBUSTIBLE	P551313	1268079	1		
- RESPIRADERO CONVERTIDOR	"6G-0078	1247975	1		
- RESPIRADERO DEL MOTOR: RESPIRADERO	4W3027	1039357	6		
- RESPIRADERO DEL MOTOR: SELLO	336031	1247462	6		
- RESPIRADERO DEL MOTOR: ABRAZADERA	4W3034	1038624	6		
- RESPIRADERO DE ROTOCHAMBERS	4H-6112	1283663	2		
- REJILLA DEL CONVERTIDOR DE PAR	6E-1473	1268288	1		
- SELLO DE REJILLA MAGNÉTICA DE TRANSMISIÓN (LAVAR)	5F0149	1264250	2		
- SELLO DE REJILLA DE ENFRIAMIENTO DE FRENOS POSTERIORES (LINEAS)	2H6338	1260538	2		
- SELLO DE REJILLA DE ENFRIAMIENTO DE FRENOS DELANTEROS (LINEAS)	5H6734	1247427	1		
- SELLO DE REJILLA DE SISTEMA DE LEVANTE (LINEAS)	4J0527	1048469	2		
- SELLO DE REJILLA DE SISTEMA DE LEVANTE (TANQUE)	6J2680	1251031	2		

RESERVAS ADICIONALES

RESERVAS ADICIONALES	ORIGINAL	SAP	CANTIDAD	SI	NO

IV. DESIGNAR TAREAS AL PERSONAL ENCARGADO DEL PM

IV. ASIGNACIÓN DE TAREAS	TÉCNICO
- Mecánico A	
- Mecánico B	
- Mecánico C	
- Mecánico D (Suspensiones)	
- Electricista A	

LIDER DE PM
Nombre / Firma

SUPERVISOR
Nombre / Firma

PM2 - CATERPILLAR 793D

		PM2 - 793D																																																																																																											
Nombre del recurso	T a	7:00 a. m.				8:00 a. m.				9:00 a. m.				10:00 a. m.				11:00 a. m.				12:00 p. m.				1:00 p. m.				2:00 p. m.				3:00 p. m.				4:00 p. m.																																																																							
		45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30																																																																				
1. Renova		Insp. Neumaticos																																																																																																											
2. Safety						Lavar camion																																																																																																							
3. LASER						Test de Funcionamiento HVAC y Calefacci								BL OQ UE O Mant. HVAC y Calefacci																																																																																															
4. Sec Tech														BL OQ UE O Insp. & Manto Sist. Contra Incendios																																																																																															
5. Conf-1						Toma Muestras Aceite				Insp. Tapones Magneticos de las ruedas								BL OQ UE O																																																																																											
5. Conf-2						Insp. Uniones Soldadura en tolva				Insp. Estructura Principal				Insp. Parachoques								BL OQ UE O				Insp. Pernos y Cilindros de Direcci				Insp. Pernos Susp. Delanteros				Insp. Pernos de Pin Pivot				Insp. Cilindros de Susp. Delanteros y Post																																																																							
Elect-A						VIMS-Diagnostico Electrico				Insp. Elect. Cabina				Insp. Cámaras				Insp. Elect. Luces				Switch-Bomba de Purgado de Combustible								BL OQ UE O				Insp. Elect. Superior				Insp. Elect. Sensores				Insp. Fusibles Relays Disyu				Insp. Elect. Alternador				Insp. Elect. Transmisi				Insp. Elect. Convertidor y Diferencial				Insp. Caja Baterias				Insp. Elect. Motor								Insp. Calidad (OFF)				Insp. Puntos Cali				DE SBL OQ UE O				Limpieza				Insp. Calidad																							
Mec-A						Test Eficiencia Frenos				Test Actuación Frenos				Test Convertidor				Test Transmisión				Test Dirección Fan Flota				Test de Motor				Trasladar el equipo a la bahía & Levante de Tolva				BL OQ UE O				Descarga Aceite RM&RD				Mantto Sist. Frenos				Mantto Sist. Enfria				Lavar Rejilla Transmisión				CB Filtro Convertidor de Par				CB Filtro Desconexión Freno Estacion				CB Res p Co				Mantto del Motor & CB Respiradero Motor				Lavar rejilla Motor // CB Filtro Separador Combustible				Medir desgaste de semi ejes				CB Aceite Motor				Rev. Nivel Fluido: Motor de tracci				Insp. Calidad (OFF)				Insp. Puntos Cali				DE SBL OQ UE O				Probar Equipo 3				Insp. Calidad				Entreg equip			
Mec-B						Test Eficiencia Frenos				Test Actuación Frenos				Test Convertidor				Test Transmisión				Test Dirección Fan Flota				Inspeccionar Motor				Descargar Aceite RM&RD				BL OQ UE O				Conectar Bomb. Potencia				Mantto Sist. Hidra				Mantto Sist. Hidra				Lavar rejillas del sistema de levantamineto				CB Filtro Enfriamiento Fren				CB Filtro Transmisión				CB Filtro & Kit Secador de Aire				Mantto del Motor & CB Respiradero Motor				CB Filtro Secundario Combustible				CB Filtro Aceite Motor				Medir desgaste de semi ejes				CB Aceite Diferencial				Rev. Nivel Fluido: Motor de tracci				Insp. Calidad (OFF)				Insp. Puntos Cali				DE SBL OQ UE O				Limpieza							
Mec-C						Test Actuación Frenos				Test Convertidor				Test Transmisión				Test Dirección Fan Flota				Inspeccionar Transmisión Converti				Descargar Aceite RM&RD				BL OQ UE O				Descarga Eje Diferencial				Lavar Rejilla Diferencial				CB Filtro Eje Trasero				CB Filtro Sistema Dirección				Mantto Escalas Cabin				CB Filtro Aceite Dirección & Direcc				CB Filtro Tanque				CB Filtro Wastes				CB Aceite Ruedas Delanteras				Insp. Filtros Aire				Limpiar Cajas Filtro de Air				Cambiar Filtros de Aire (Condición)				Rev. Nivel Fluido: Motor de tracci				Insp. Calidad (OFF)				Insp. Puntos Cali				DE SBL OQ UE O				Limpieza											
Mec-D														Inspeccionar Diferencial Mandos				Insp. Altura y Carga de Suspensiones				BL OQ UE O				Cargar acumuladores dirección				Llenar Tanque Grasa				Engrase-Bancos de Lubricación				Engrase-Áreas de engrace				Insp./Nivelación Altura&Carga Suspensiones								Insp. Calidad (OFF)				Insp. Puntos Cali				DE SBL OQ UE O				Limpieza																																															

PM3 - CATERPILLAR 793D


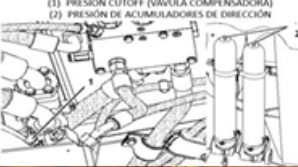



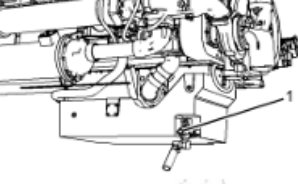
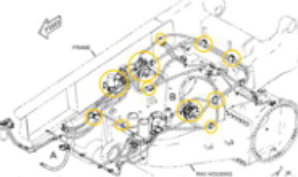
Nombre del recurso	T	7:00 a. m.					8:00 a. m.					9:00 a. m.					10:00 a. m.					11:00 a. m.					12:00 p. m.					1:00 p. m.					2:00 p. m.					3:00 p. m.					4:00 p. m.																																																																										
		45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45																																																																															
1. Renova		Insp. Neumaticos																																																																																																																							
2. Safety		Lavar camion																																																																																																																							
3. LASER		Test de Funcionamiento HVAC y					Mant. HVAC y Calefacción																																																																																																																		
4. Sec Tech							Insp. & Manto Sist. Contra Incendios																																																																																																																		
5. Conf-1		Toma Muestras de aceite					Insp. Tapones Magnéticos de la																																																																																																																		
5. Conf-2		Insp. Uniones de soldadura					Insp. Estructura Principal					Insp. Parachoques					Insp. Pernos y Cilindros de Direc.					Insp. Pernos de Susp. Delanter.					Insp. Pernos de Pin Delanter.					Insp. Cilindros de Susp. Delanter.																																																																																									
Elect-A		VIMS-Diagnostico Electrico					Insp. Elect. Cabina					Insp. Cámaras 360					Insp. Elect. Luces					Switch-Bomba de Purgado de Combustible					Insp. Elect. Secc. Supercapac.					Insp. Elect. Fusibles					Insp. Elect. Alternador					Insp. Elect. Transmisión, Convertidor y Diferencial					Insp. Caja Baterias					Insp. Elect Motor					Insp. Calidad (OFF)					Ins. Pu. nto					Limpieza					Ins. p. Calidad																																																	
Mec-A		Test de Eficiencia Freno					Test Actuación Freno Servicio					Medición de Pin Pivote					Test Dirección Fan Flota					Test de Motor					Trasladar el equipo a la bahía & Levante de					Descarga de Aceite Ruedas Delanter.					Mantto Sist. Freno					Mantto Sist. Freno					Lavar Rejilla Transmisión					CB Filtro Convertidor de Par					CB Filtro Desconexión Freno Es.					Mantto del Motor					Lavar rejilla de motor // CB Filtro Separador Combustible					CB Aceite Motor					Rev. Nivel Fluido: Motor d					Insp. Calidad (OFF)					Ins. Pu. nto					Limpieza					Probar Equipo 3 Vueltas					Ins. p. Calidad					Entregar														
Mec-B		Test de Eficiencia Freno					Test Actuación Freno Servicio					Medición de Pin Pivote					Test Dirección Fan Flota					Inspeccionar Motor					Descargar Aceite Ruedas Delanter.					Descarga de Aceite Ruedas Delanter.					Mantto Sist. Freno					Mantto Sist. Freno					CB Res. Enfriamiento					CB Filtro Lavar Rejilla Convertidor de Par					CB Filtro Transmisión					Mantto del Motor					CB Filtro Secundario Combust.					CB Filtro Aceite Motor					CB Aceite Transmisión					Rev. Nivel Fluido: Motor d					Insp. Calidad (OFF)					Ins. Pu. nto					Limpieza																								
Mec-C							Test Actuación Freno Servicio					Medición de Pin Pivote					Test Dirección Fan Flota					Inspeccionar Transmisión Conv.					Descargar Aceite Ruedas Delanter.					Mantto Sist. Freno					Mantto Sist. Freno					CB Filtro Eje Diferencial					Ajuste de Thrust Pin de Diferencial					CB Filtro Eje Tracer					Mantto Sist. Freno					Mantto Sist. Freno					CB Filtro Aceite Tanque					CB Filtro Aceite Tanque					CB Aceite Ruedas Delanter.					Resp. Ruedas Delanter.					Insp. Filtros Aire					Limpiar Cajas Filtro					Cambiar Filtros de Aire (Condición)					Insp. Calidad (OFF)					Ins. Pu. nto					Limpieza									
Mec-D																	Inspeccionar Diferencial Mand.					Insp. Altura y Carga de Suspensi.					Cargar Acumuladores de Dirección					Llenar Tanque de grasa					Engrase-Bancos de Lubricación					Engrase-Áreas de engrace					Insp./Nivelación Altura&Carga Suspensiones					Insp. Calidad (OFF)					Ins. Pu. nto					Limpieza																																																											

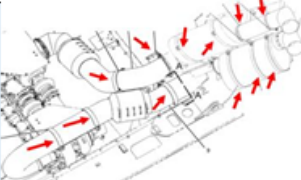
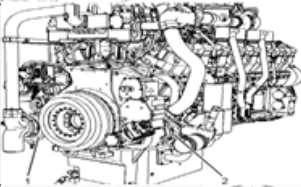
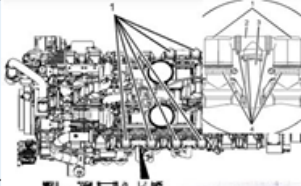
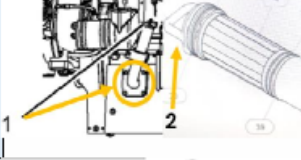
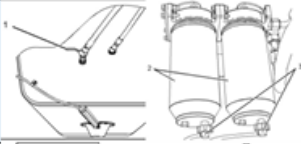
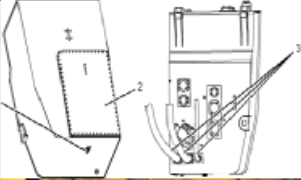

PM4 - CATERPILLAR 793D






Nombre del recurso	T a	7:00 a. m.					8:00 a. m.					9:00 a. m.					10:00 a. m.					11:00 a. m.					12:00 p. m.					1:00 p. m.					2:00 p. m.					3:00 p. m.					4:00 p. m.																																																																																									
		45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45																																																																																														
1. Renova		Insp. Neumaticos																																																																																																																																						
2. Safety		Lavar camion																																																																																																																																						
3. LASER		Test de Funcionamiento HVAC y										BL OQ UE O Mant. HVAC y Calefacción																																																																																																																												
4. Sec Tech												BL OQ UE O Insp. & Mantto Sist. Contra Incendios																																																																																																																												
5. Conf-1		Toma Muestras Aceite					Insp. taponemagneticos de las					BL OQ UE O																																																																																																																												
5. Conf-2		Insp. Uniones Soldadura en tolv					Insp. Estructura Principal					Insp. Parachoques					BL OQ UE O Insp. Pernos y Cilindros de Direc										Insp. Pernos de Susp. Delanter					Insp. Pernos de Pin Pivot					Insp. Cilindros de Susp. Delanter																																																																																																			
Elect-A		VIMS-Diagnostico Electrico					Insp. Elect. Cabina					Insp. Cámaras 360					Insp. Elect. Luces					Switch-Bomba de Purgado de Combustibl					BL OQ UE O Insp. Elect. Superior										Insp. Elect. Sensores					Insp. Fusibles Relays					Insp. Elect. Alternador					Insp. Elect. Transmisión, Convertidor y Diferencial					Insp. Caja Baterias					Insp. Elect. Motor					Insp. Calidad (OFF)					Ins p. Pu nto					DE SBL OQ UE					Limpieza					Ins p. Cali da																																																	
Mec-A		Test Eficiencia Freno					Test Actuación Frenos					Test Convertidor					Test Transmision					Test Dirección Fan					Test de Motor					Trasladar el equipo a la bahía & Levante					BL OQ UE O Descarga Frenos										Mantto Sist. Frenos					Mantto Sistema En					Lavar Rejilla Transmisión					CB Filtro Convertidor de Par					CB Filtro Desconexión Freno Est					CB Res p Co					CB Filtro cebado combustible					Mantto del Motor & CB Respiradero Motor					Lavar rejilla motor // CB Filtro Separador Comb					Lavar rejillas de succión del tanque del freno y del levantamiento					CB Aceite Motor					Rev. Nivel Fluido: Motor de tracción, Ta					Insp. Calidad (OFF)					Ins p. Pu nto					DE SBL OQ UE					Probar Equipo 3					Ins p. Cali da					Ent reg ar equ				
Mec-B		Test Eficiencia Freno					Test Actuación Frenos					Test Convertidor					Test Transmision					Test Dirección Fan					Inspeccionar Motor					Descargar Aceite Ruedas Delanter					BL OQ UE O Descarga R/A										Mantto Sistema Po					Mantto Sistema Hi					Lavar rejillas del sistema de levantamiento					Cambiar Res					CB Filtro Enfriamiento Freno					CB Filtro Transmisión					CB Rejilla Convertidor de Par					Mantto del Motor & CB Respiradero Motor					CB Filtro Secundario Combust					CB Filtro Aceite Motor					Lavar rejillas de succión del tanque del freno y del levantamiento					CB Aceite Levantos Frenos					Rev. Nivel Fluido: Motor de tracción, Ta					Insp. Calidad (OFF)					Ins p. Pu nto					DE SBL OQ UE					Limpieza									
Mec-C		Test Actuación Frenos					Test Convertidor					Test Transmision					Test Dirección Fan					Inspeccionar Transmisión Conv					Descargar Aceite Ruedas Delanter					BL OQ UE O Mantto Eje Diferencial										CB Filtro Eje Traser					Mantto Sistema Dirección					Lavar Rejilla Enfriamiento Frenos Posteriores & Delanteros					Mantto Escaleras Cabina					CB Filtro Dirección &					CB Filtros Tanque & Dire					CB Filtro Wa					CB Aceite Ruedas Delanter					CB Filtro & Kit Secador de Aire					Insp. Filtros Aire					Limpiar Filtro de Aire					Cambiar Filtros de Aire (Condición)					Rev. Nivel Fluido: Motor de tracción, Ta					Insp. Calidad (OFF)					Ins p. Pu nto					DE SBL OQ UE					Limpieza														
Mec-D												Inspeccionar Diferencial Mand					Insp. Altura y Carga de Suspensi					BL OQ UE O Cargar Acumuladores Dirección										Llenar Tanque Grasa					Engrase-Bancos de Lubricación					Engrase-Áreas de engrace					Insp./Nivelación Altura&Carga Suspensiones																																													Insp. Calidad (OFF)					Ins p. Pu nto					DE SBL OQ UE																																		

Anexo 9: Cartilla de ejecución de mantenimiento programado camión Caterpillar 793D

ESPECIALIDAD - TIPO DE MANTENIMIENTO				CARTILLA									
FLOTA:	793D							FECHA: _____					
PM:	PM4							NOMBRE: _____					
EQUIPO:	Mecánica	Total:		MEC-A				PM: _____					
ASIG:	Mec-A							EQUIPO: _____					
								SUPERVISOR: _____					
ESTADO DE EQUIPO	SUB SISTEMA	ITEM DE TRABAJO	IMAGEN	ACTIVIDAD	DETALLE DE LA ACTIVIDAD	PARÁMETROS	RESULTADOS DE MUESTREO	INICIO	FINAL	ASIGNO A	HERRAMIENTAS ESPECIALES	EQUIPO SUPLENTE	PERIENCIA OPERATIVA
Ayudado	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE DOCUMENTOS DE SEGURIDAD	Elaboración de IPERC Elaboración de permisos para operación de equipos auxiliares			7:30 a. m.	7:45 a. m.	15 mins	None-Mec-A/Mec-C/Mec-D		
Encomendado	Equipo	Equipo		TRASLADO DE EQUIPO HACIA TRUCKSHOP	Se procede a trasladar el equipo desde lavadero a la bahía designada.			7:45 a. m.	8:00 a. m.	15 mins	Mec-A		
Encomendado	Freno	Equipo		TEST DE EFICIENCIA DE FRENO	<ol style="list-style-type: none"> Arranque el motor y que la presión del aire aumente hasta la presión de operación. Oprima la válvula de rearmado del freno de estacionamiento (2). Conecte el interruptor del freno de estacionamiento (3). Mueva la palanca de control de la transmisión (1) a la posición primera velocidad. Aumente la velocidad del motor hasta 1200 RPM. LA MÁQUINA NO SE DEBE MOVER. Pruebe el freno secundario (4) y de servicio (5) y retardo, oprima la válvula de rearmado del freno de estacionamiento y desconecte el freno de estacionamiento, repita los pasos 4, 5 y 6. <p>Nota: Monitorear la temperatura del convertidor y transmisión durante las pruebas.</p>	Freno de estacionamiento (1200 RPM): Freno de retardo (1200 RPM): Freno Secundario (1200 RPM): Freno servicio (1200 RPM):		8:00 a. m.	8:15 a. m.	15 mins	Mec-A	Laptop, Adapter, Cable para descarga	
Encomendado	Freno	Equipo		TEST DE ACTUACION FRENO SERVICIO Y ESTACIONAMIENTO (SLACK & FRENO PARQUEO Y SECUNDARIO)	MEDIR Y AJUSTAR PRESIONES EN EL SLACK DELANTERO <ul style="list-style-type: none"> Retardador manual aplicado (395 a 499 Psi) Freno de servicio aplicado (494 a 624 Psi) Presión residual (15.4 Psi) MEDIR Y AJUSTAR PRESIONES EN EL SLACK POSTERIOR <ul style="list-style-type: none"> Retardador manual aplicado (502 a 634 Psi) Freno de servicio aplicado (627 a 792 Psi) Presión residual (8.4 Psi) MEDIR Y AJUSTAR PRESIÓN DEL FRENO DE PARQUEO Y SECUNDARIO <ul style="list-style-type: none"> Freno de parqueo y secundario (680 +/- 15 Psi) 	Realizar las pruebas a una presión de aire de 120 Psi		8:15 a. m.	8:25 a. m.	10 mins	Mec-A	Tetragauge	
Encomendado	Freno	Equipo		TEST DE ACTUACION FRENO SERVICIO Y ESTACIONAMIENTO (SISTEMA DE AIRE Y ENFRIAMIENTO)	MEDIR Y AJUSTAR PARÁMETROS DEL SISTEMA DE AIRE <ul style="list-style-type: none"> Presión Cutout del gobernador (120 Psi +/- 5 Psi) Presión Cut-in del gobernador (95 Psi) MEDIR Y AJUSTAR PARÁMETROS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO <ul style="list-style-type: none"> Temperatura del sistema de enfriamiento (79° a 93°C) Presión mínima de enfriamiento de frenos (BAJAS RPM // 2 Psi) Presión máxima de enfriamiento de frenos (ALTAS RPM // 65 Psi +/- 5 Psi) Presión de alivio de bomba de liberación de freno de parqueo. (115 Psi +/- 3 Psi) 			8:25 a. m.	8:35 a. m.	10 mins	Mec-A	Tetragauge	
Encomendado	Equipo	Equipo		TEST DE CONVERTIDOR	<ul style="list-style-type: none"> Presión de entrada del convertidor (AA) a Altas RPM (Aceite frío/Neutro/ 135 +/- 5 Psi) Presión de salida del convertidor en calado (BB) a Altas RPM (50 a 80 Psi) Velocidad de calado del convertidor (1721 +/- 65 RPM) MEDIR Y AJUSTAR PRESIONES EN EN MODO DIRECTO <ul style="list-style-type: none"> Presión piloto de embrague lockup (CC) a Bajas RPM (Neutro/50 +/- 10 Psi) Presión de señal de embrague lockup a 1300 RPM (Neutro/210 a 325 Psi) Presión primaria de embrague lockup (DD) a Bajas RPM (Neutro/155 +/- 5 Psi) Máxima presión de embrague lockup (DD) a 1300 RPM (Neutro/312 a 320 Psi) 			8:35 a. m.	8:55 a. m.	20 mins	Mec-A	Tetragauge	

Encendido	Equipo	Equipo		TEST DE TRANSMISION MEDIR CON SOLENOIDE LOCK UP DESENERGIZADO <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de la transmisión Mdo. Convertidor Bajas RPM Neutro (>82°C) • Presión de bomba Mdo. Convertidor Bajas RPM Neutro (Mínimo 365 Psi) • Presión de lubricación Mdo. Convertidor Bajas RPM Neutro (1 Psi a 9 Psi) • Temperatura de la transmisión Mdo. Convertidor Altas RPM Neutro (< 121°C) • Presión de bomba Mdo. Convertidor Altas RPM Neutro (Máximo 445 Psi) • Presión de lubricación Mdo. Convertidor Altas RPM Neutro (22 Psi +/- 6 Psi) MEDIR CON SOLENOIDE LOCK UP ENERGIADO <ul style="list-style-type: none"> • Presión de bomba 1300 RPM 335 Psi +/- 10 Psi 				8:55 a. m.	9:15 a. m.	20 mins	Mec-A	Tetragauge			
Encendido	Dirección	Equipo		TEST SISTEMA DE DIRECCIÓN Y FAN FLOTA MEDIR Y AJUSTAR PARÁMETROS CON MOTOR APAGADO <ul style="list-style-type: none"> • Presión pre-carga de nitrógeno acumulador A 21° C (70° F) (950 +/- 50 Psi) MEDIR Y AJUSTAR PARÁMETROS CON MOTOR ENCENDIDO <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura Aceite dirección (38°C<T< 121° C) • Tiempo de ciclo (1 vuelta /segundo - IZQ/DER/IZQ) Alatas RPM (7 <t< 9 seg) • Número de giros de lado a lado - DER - IZQ (Prom: 3 veces) (3.4 a 4.5 giros) • Número de giros de lado a lado - IZQ - DER (Prom: 3 veces) (3.4 a 4.5 giros) • Presión de válvula solenoide y manifold de prioridad (Bajas RPM)/2650 +/- 75 Psi) • Presión de válvula compensadora (Bajas RPM/Desconectar Solenoide de enfriamiento /3500 +/- 50 Psi) • Presión de la válvula de alivio de la dirección (Bajas RPM / 3770 Psi +/- 60 Psi) 	Verificar carga de acumuladores de dirección (950 +/- 50 psi)			9:15 a. m.	9:35 a. m.	20 mins	Mec-A	Tetragauge			
Encendido	Motor	Equipo		TEST DE MOTOR Lanzar un Data logger (DLOG OK), registrar y validar los valores de la información en el VIMS. <ul style="list-style-type: none"> • Medir las Rpm. Baja en Vacío (700 +/- 10 Rpm) • Medir las Rpm. Alta en Vacío (1960 +/- 20 Rpm) • Medir las Rpm. En Stall (1600 +/- 10 Rpm) • Medir la Presión de Aceite a Baja Rpm (40 a 70 Psi) • Medir la Presión de Aceite a Alta Rpm (70 a 95 Psi) • Medir la Presión de Combustible sistema de baja en BAJA VACIO (63 psi +/- 5 psi) • Medir la Presión de Combustible sistema de baja en MOTOR CALADO (46 Psi a 90 Psi) • Medir la Presión de Boost en stall (32.6 psi +/- 4 psi) 				9:35 a. m.	9:55 a. m.	20 mins	Mec-A	Laptop, Adapter, Cable para descarga			
Encendido	Equipo	Equipo		TRASLADAR EL EQUIPO A LA BAHÍA	<ul style="list-style-type: none"> • Posicionar las ruedas delanteras para facilitar la descarga de aceite de estas. • Una vez finalizado la descarga de aceite, introducir el equipo a la bahía. 				9:55 a. m.	10:20 a. m.	25 mins	Mec-A			
Aparado	Equipo	Equipo		BLOQUEO	Realizar el aislamiento y bloqueo del switch master en el equipo				10:20 a. m.	10:30 a. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D, Elec-A			
Aparado	Motor	Motor		DESCARGAR ACEITE DEL MOTOR	Abra la válvula de drenaje (1) y drene el aceite en un recipiente adecuado.	Al finalizar cerrar la válvula de drenaje			10:30 a. m.	10:40 a. m.	10 mins	Mec-A	Llave mixta 1/2, bandeja		
Aparado	Equipo	Equipo		MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS	Inspeccionar y ajustar abrazaderas de las mangueras del sistema de frenos. (Seguir la ruta de inspección en el anexo) Detectar y eliminar fugas de las mangueras. Ante cualquier observación, reportar al supervisor	Ruta de inspección – Mecánico A			10:40 a. m.	10:55 a. m.	15 mins	Mec-A	Linterna, juego de llaves		

Acoplado	Motor	Motor		INSPECCIONAR SISTEMA DE ESCAPE	<ul style="list-style-type: none"> Ajustar y reponer todas las abrazaderas y soportes del sistema de escape y silenciadores Inspección estado y ajustar bellows y abrazaderas del múltiple de escape. Inspeccionar visualmente estado de mantas térmicas del tubo de escape 				1:10 p. m.	1:20 p. m.	10 mins	Mec-A,Mec-B	Linterna, juego de llaves		
Acoplado	Motor	Motor		MANTENIMIENTO DEL MOTOR DIESEL	<ul style="list-style-type: none"> Ajustar los soportes y abrazaderas centrales de los turbocompresores. Inspeccionar y ajustar abrazaderas de las líneas de lubricación del motor por signos de desgaste, daños o fugas. Seguir ruta de inspección del motor Ajustar mangueras y tapones del colector de escape (Crossover). Asegurar que la bomba de refrigerante (1) y la auxiliar (2) no tengan fugas. (Reemplazar los sellos de ser necesario) Inspeccionar y eliminar fugas de aceite de motor, combustible y refrigerante Inspeccionar y/o corregir desgaste por fricción entre cables, mangueras, cañerías. Inspección ajuste de soportes de motor y estado de gomas. 			1:20 p. m.	1:30 p. m.	10 mins	Mec-A,Mec-B	Pistola de 1/2", dado de 1/2", juegos de llaves, linterna			
Acoplado	Motor	Motor		CAMBIAR RESPIRADEROS DEL MOTOR	<ul style="list-style-type: none"> Afloje las abrazaderas (4). Saque la manguera (2) de los conjuntos de respiradero (1) y del tubo de ventilación (3). Cambie los 6 respiraderos (CAT- 4W3027), los 6 sellos (336031) y las 6 abrazaderas (4W3034) Instale los conjuntos de respiradero en las tapas de válvulas. Instale la manguera en los conjuntos de respiradero y en el tubo de ventilación. Apriete todas las abrazaderas. 	6 respiraderos (CAT 4W3027-SAP 1039357) 6 sellos (336031-SAP 1247462) 6 abrazaderas (CAT 4W3034-SAP 1038624)		1:30 p. m.	1:40 p. m.	10 mins	Mec-A,Mec-B	Pistola de 1/2", dado de 1/2"			
Acoplado	Motor	Motor		LAVAR REJILLA MAGNÉTICA DE MOTOR	<ul style="list-style-type: none"> Desmontar tubo de aceite de motor (1) Tirar del punto de agarre (2) y extraer la rejilla del motor. Realizar el muestreo de la rejilla (Confiabilidad) Lave la rejilla y el conjunto de tubo magnético en disolvente limpio no inflamable. Vuelva a instalar la rejilla. 	En caso de encontrar una excesiva cantidad de trozos de metal en la rejilla, reportar al supervisor para programar mantenimiento.		1:40 p. m.	2:00 p. m.	20 mins	Mec-A	Bandeja, llave francesa, dado 7/8, bandeja			
Acoplado	Equipo	Equipo		CAMBIAR FILTRO SEPARADOR DE COMBUSTIBLE	<ol style="list-style-type: none"> Cierre la válvula de corte de combustible (1). Abra las válvulas de drenaje (1) para drenar el agua. Quite el conjunto de tubo de drenaje (3), quite los elementos del separador de agua del combustible (2) y los sellos usados. Lubrique los sellos de los elementos nuevos con combustible diesel limpio. Instale los elementos nuevos con la mano hasta que el sello toque la base de montaje. Instale el conjunto de tubo de drenaje en la parte inferior de los elementos nuevos. 	2 unid. (CAT 438-5385 - SAP 1232447)		2:00 p. m.	2:20 p. m.	20 mins	Mec-A	Faja saca filtro, palanca rache 1/2", bandeja			
Acoplado	Freno	Equipo		LAVAR REJILLA DE SUCCIÓN DEL TANQUE DE FRENO Y LEVANTAMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> Verifique que se descargó completamente el aceite del tanque (1). Saque los pernos y la tapa (2) en la parte delantera del tanque. Limpie la basura de la parte inferior del tanque Quite las bridas y tres mangueras (3). Quite las rejillas de succión del tanque. Muestrear (Confiabilidad) y lavar las rejillas en disolvente limpio. Instale las rejillas de succión limpias e instale las mangueras y las bridas. Si la empaquetadura de la tapa está dañada, reemplácela. Limpie e instale la tapa en la parte delantera del tanque. 	En caso de encontrar una excesiva cantidad de trozos de metal en la rejilla, reportar al supervisor		2:20 p. m.	3:00 p. m.	40 mins	Mec-A,Mec-B	Dado de 18 mm, pistola de 1/2", eslinga, puente grúa, bandeja			
Acoplado	Motor	Motor		LLENAR ACEITE DE MOTOR	<ul style="list-style-type: none"> Llenar aceite de Motor 77 GAL (MOBIL 15W40 2014716) El aceite también puede ser agregado a través del conector de cambio de aceite (1) El interruptor de nivel de aceite de motor (2) provee una señal de entrada al ECM de Motor. 	77 GAL MOBIL 15W40 Asegurarse que los tapones y la rejilla estén correctamente instalados		3:00 p. m.	3:20 p. m.	20 mins	Mec-A	Bandeja, llave francesa, dado 7/8			




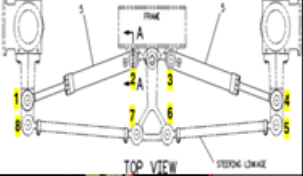

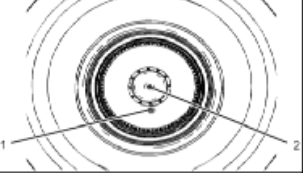
Agrupado	Equipo	Equipo		REVISAR NIVELES DE FLUIDO	<p>Verificar niveles de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceite de motor (77 GAL - MOBIL 15W40) • Aceite del tanque de dirección (70 GAL - MOBIL SAE10W) • Aceite del tanque de transmisión y convertidor (60 GAL - MOBIL SAE30W) • Aceite del tanque hidráulico (300 GAL - MOBIL SAE10W) • Refrigerante (225 GAL - ELC) • Aceite de ruedas delanteras (5.5 GAL C/U - MOBIL SAE60) • Aceite del diferencial y mandos finales (270 GAL - MOBIL SAE60) • Verificar nivel de tanque de grasa 	Verificar ajuste de tapones de ruedas, mandos finales, radiador, motor, convertidor - transmisión, diferencial, hidráulico, dirección, refrigerante y combustible		3:20 p. m.	3:45 p. m.	25 mins	Mec-A, Mec-B, Mec-C				
Agrupado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN FINAL DE CALIDAD-EQUIPO APAGADO	<p>Eliminar fugas y asegurar conexiones firmes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Líneas de combustible del tanque y la bomba de transferencia • Líneas de refrigerante del aftercooler y paneles del radiador • Líneas de la válvula de los cilindros y bomba de levante de tolva • Líneas del tanque y bombas del sistema dirección. • Líneas de la transmisión, convertidor y válvulas del Lock Up. • Líneas de refrigeración de los cubos de ruedas de delanteras (RH&LH) • Mangueras de presión y líneas de refrigeración de frenos del mando final • Líneas de refrigeración, lubricación y bomba del diferencial 	En caso de detectar fugas críticas, coordinar con el supervisor para programar su reparación		3:45 p. m.	4:05 p. m.	20 mins	Elect-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D				
Agrupado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN FINAL DE PUNTOS CALIENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que no haya cables sueltos aledaños a zonas calientes o al motor • Verificar que no haya trapos u otros elementos en zonas calientes próximas al motor, tableros eléctricos. • Verificar que no haya grasa sedimentada y tampoco próxima a zonas de calor • Verificar que el motor este limpio • Verificar que no haya mangueras en rozamiento próximas al motor • No debe de haber mangueras en rozamiento. 			4:05 p. m.	4:15 p. m.	10 mins	Elect-A, Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D				
Agrupado				DESBLOQUEO	Realizar el desbloqueo del equipo				4:15 p. m.	4:25 p. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D, Elect-A			
Enviado	Equipo	Equipo		PROBAR EL EQUIPO	Realizar pruebas del equipo afuera del taller (3 vueltas).				4:25 p. m.	4:45 p. m.	20 mins	Mec-A, Elect-A			
Enviado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN FINAL DE CALIDAD-EQUIPO ENCENDIDO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar funcionamiento de la bomba pre-lube del motor. 2. Realizar calentamiento de la máquina calando 5 veces. 3. Medir el voltaje del sistema eléctrico (25.5 - 29 V). 4. Evaluar funcionamiento de los purgadores automáticos del tanque de aire 5. Evaluar el tiempo de reacción de calado (máximo 20 segundos). 6. Medir la presión de refuerzo del motor (32.6 +/- 4 PSI). 7. Determinar la velocidad del motor en calado (Stall) (1721 +/- 65 RPM). 8. Evaluar el tiempo de levante de la tolva (19 - 21 segundos). 9. Calibrar la balanza del TPMS. 			4:45 p. m.	4:55 p. m.	10 mins	Mec-A, Elect-A				

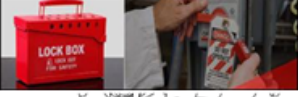


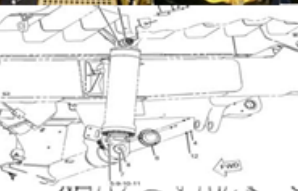
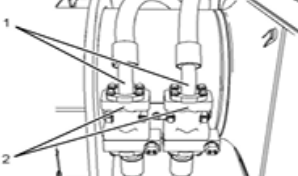
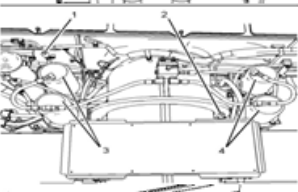
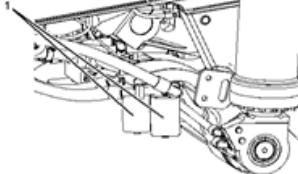
ESPECIALIDAD + TIPO DE MANTENIMIENTO	
FLOTA	793D
PM	PM4
EQUIPO	Mecánica Total
ASIG	Mec-B

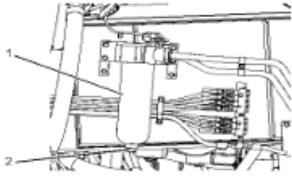

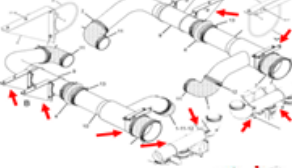
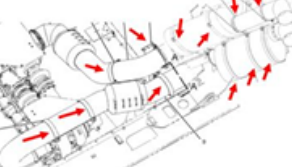
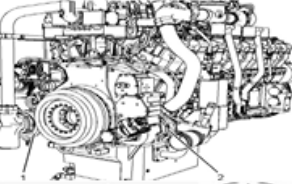
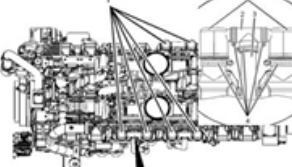
Get data



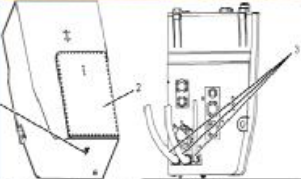
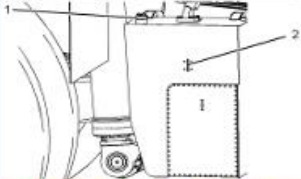


MEC-B




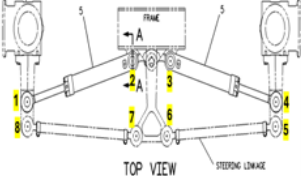

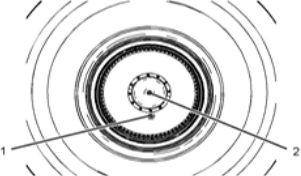
FECHA: _____
 NOMBRE: _____
 PM: _____
 EQUIPO: _____
 SUPERVISOR: _____

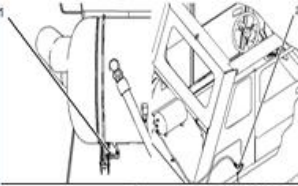
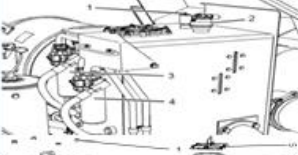
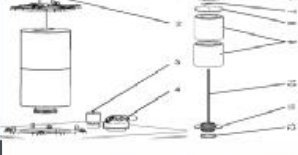




ESTADO DE EQUIPO	SUB SISTEMA	ZONA DE TRABAJO	IMAGEN	ACTIVIDAD	DETALLE DE LA ACTIVIDAD	PARÁMETROS	RESULTADOS DE INSPECCIÓN	INICIO	FINAL	TIEMPO	ASIGNADO A	HERRAMIENTAS ESPECIALES	EQUIPO DE REPORTE	POTENCIAL CORRECTIVO
Agujudo	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE DOCUMENTOS DE SEGURIDAD	Elaboración de IPERC Elaboración de permisos para operación de equipos auxiliares			7:30 a. m.	7:45 a. m.	15 mins	Elect-A,Mec-A,Mec-B,Mec-C,Mec-D			
Agujudo	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS AUXILIARES	Realizar lista de verificación de herramientas y equipos auxiliares necesarios para el PM.			7:45 a. m.	8:00 a. m.	15 mins	Elect-A,Mec-B,Mec-C,Mec-D			
Encendido	Equipo	Equipo		PRUEBAS DEL EQUIPO	Ejecutar pruebas antes del ingreso del equipo a la bahía <ul style="list-style-type: none"> • Test de eficiencia de freno • Test de actuación de freno • Test del convertidor • Test de la transmisión • Test de dirección • Test de motor 			8:00 a. m.	9:15 a. m.	75 mins	Mec-B,Mec-C			
Encendido	Dirección	Equipo		TEST SISTEMA DE DIRECCIÓN Y FAN FLOTA INSPECCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • En paralelo a la prueba del sistema de dirección realizar movimientos a la dirección para detectar signos de desgaste, juego excesivo y daño en las rótulas, barras y terminales de los brazos de dirección RH&LH y la barra estabilizadora posterior. • Detectar fugas de aceite en el cilindro de dirección RH & LH y realizar reparaciones según sea necesario. • Revisa el juego axial del pin pivot y de la barra estabilizadora posterior. 	OBS. ROTULA 1: 2: 3: 4: 5: 6: 7: 8:	9:15 a. m.	9:35 a. m.	20 mins	Mec-B,Mec-C	Linterna			
Encendido	Motor	Equipo		TEST DE DETECCIÓN DE FUGAS	Mientras se realiza el test de motor inspeccionar la sección frontal del equipo: Detectar vibración excesiva del amortiguador del damper del motor Detectar fugas de gases de admisión, escape del motor y silenciadores Detectar fugas de aceite, combustible y refrigerante del motor Detectar fugas y sonidos anormales de mangueras del Crossover del motor. Detectar fugas en mangueras de refrigerante, sistema de enfriamiento de frenos de ruedas delanteras y enfriador de aceite	Reportar cualquier observación al supervisor		9:35 a. m.	9:55 a. m.	20 mins	Mec-B	Linterna, juego de llaves		
Agujudo	Ruedas Delanteras	Equipo		DESCARGAR ACEITE – RUEDAS DELANTERAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coloque la rueda delantera de modo que el tapón de drenaje (1) esté apuntando hacia abajo. 2. Estacione la máquina en una superficie horizontal. Conecte el freno de estacionamiento y pare el motor 3. Quite el tapón de drenaje. 4. Deje que el aceite drene en un recipiente apropiado. 5. Limpie e instale el tapón de drenaje. 		9:55 a. m.	10:15 a. m.	20 mins	Mec-B,Mec-C	Comba 12 libras, Llave de golpe 7/8", Llave Ratchet de Encastre 3/4", bandeja			





Arreglos	Equipo	Equipo		BLOQUEO	Realizar el aislamiento y bloqueo del switch master en el equipo				10:20 a. m.	10:30 a. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D, Mec-A				
Arreglos	Freno	Equipo		DESCARGAR ACEITE DEL TANQUE DE FRENO Y LEVANTE DE TOLVA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quite la tapa del tubo de llenado (1) para evitar la formación de vacío en el tanque. 2. Quite el tapón de la válvula de drenaje del tanque (3). 3. Instale la tapa del tubo de llenado después de que se haya terminado el drenaje. Esto impedirá que la suciedad penetre en el sistema. 			10:30 a. m.	10:40 a. m.	10 mins	Mec-B	Bandeja, niple de drenaje, llave de 24 mm con palanca				
Arreglos	Equipo	Equipo		MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE POTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la integridad y fijación de los soportes y líneas del tanque combustible. • Asegurar y ajustar las conexiones del acople rápido Wiggins para eliminar fugas. • Inspeccionar y ajustar abrazaderas de las líneas del sistema de la transmisión y convertidor indicados en el ANEXO. • Ajustar las conexiones de las líneas conectadas a las bombas del sistema de transmisión (barrido, carga de la transmisión, carga del convertidor y lubricación) por daños, desgaste o fugas. 	Ruta de inspección – Mecánico B		10:40 a. m.	10:55 a. m.	15 mins	Mec-B	Linterna, juego de llaves				
Arreglos	Equipo	Equipo		MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y LEVANTE	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar rajaduras, daños y fisuras en el tanque hidráulico. • Inspeccionar y ajustar abrazaderas de las líneas hidráulicas y del sistema de levante indicados en el ANEXO. • Ajustar las conexiones de las líneas de succión y retorno por daños, desgaste o fugas. • Detectar fugas en cilindro de levante RH & LH y verificar el estado de las rótulas, asegurándose de que no haya desgaste excesivo. • Detectar daños o desgaste en PAD'S de tolva. • Revisar los pernos de anclaje de los cilindros de levante, de ser necesario ajustar a un torque de 1350 ± 75 PSI 	Ruta de inspección – Mecánico B		10:55 a. m.	11:10 a. m.	15 mins	Mec-B	Linterna, juego de llaves, llave RAD, regulador de flujo de aire				
Arreglos	Equipo	Equipo		LAVAR REJILLAS DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saque los pernos que conectan las mangueras (1) a las cajas (2) de las rejillas del sistema de levantamiento. Drene el aceite de las tuberías en un recipiente adecuado. 2. Quite las rejillas del sistema de levantamiento de las cajas. 3. Muestrear (Confiabilidad) y lavar las rejillas en disolvente limpio no inflamable. 4. Instale las rejillas limpias y las mangueras. Use sellos nuevos. Apriete los pernos y asegure que no haya fugas. 	En caso de encontrar una excesiva cantidad de trozos de metal en la rejilla, reportar al supervisor		11:10 a. m.	11:50 a. m.	40 mins	Mec-B	Dado de 18 mm, pistola de 1/2", eslinga, puente grúa, bandeja				
Arreglos	Equipo	Equipo		CAMBIAR RESPIRADEROS DEL CILINDRO DE AIRE-HIDRÁULICO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levante la tolva e instale el cable de retención en el pasador del punto de remolque trasero. 2. Quite los respiraderos (1) y (2) de los cilindros de aire/hidráulicos (3) y (4). 3. Instale los respiraderos nuevos. 4. Quite el cable de retención y baje la tolva. 	2 und (Cat 4H6112-SAP 1283663)		11:50 a. m.	12:00 p. m.	10 mins	Mec-B					
Arreglos	Freno	Equipo		CAMBIAR EL FILTRO DE ACEITE DE ENFRIAMIENTO DEL FRENO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quite las cajas del filtro (1). 2. Quite y descarte correctamente los elementos de filtro usados. 3. Lave las cajas de filtro en un disolvente limpio no inflamable. 4. Si un sello está dañado, reemplácelo con un sello nuevo. 5. Instale elementos de filtro nuevos en las cajas de filtro. 6. Instale las cajas de filtro 	2 filtros (Cat 277-5812 SAP 1247974)		12:00 p. m.	12:20 p. m.	20 mins	Mec-B	Bandeja, llave stilson, bomba de vacío				

Asignado	Equipo	Equipo		<p>CAMBIAR FILTRO DE TRANSMISIÓN</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Saque el tapón de drenaje (2) de la caja del filtro (1). Drene el aceite en un recipiente adecuado. Limpie e instale el tapón de drenaje. 2. Saque la tapa de la caja del elemento y el elemento. Deseche el elemento de filtro usado. 3. Lave la caja del filtro en disolvente limpio no inflamable. 4. Inspeccione los sellos en la base del filtro. Si los sellos están dañados, reemplácelos con sellos nuevos. 5. Instale el nuevo elemento de filtro en la caja. Instale la caja. 	1 unidad (Cat 1328876 SAP 1134819)			12:20 p. m.	12:40 p. m.	20 mins	Mec-B	Llave o dado de 18 mm, escalera, pistola 1/2", bandeja		
Asignado	Equipo	Equipo		<p>CAMBIAR REJILLA DE SALIDA DEL CONVERTIDOR DE PAR</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Saque el tapón de drenaje (2) de la parte inferior de la caja de la rejilla (1) y drene el aceite en un recipiente adecuado. Limpie e instale el tapón de drenaje. 2. Quite la caja de la rejilla. Quite la rejilla. Deseche la rejilla usada. 3. Lave la caja de la rejilla en disolvente limpio, no inflamable. 4. Inspeccione el sello en la base de la caja de la rejilla. Si el sello está dañado, reemplácelo con un sello nuevo. 5. Instale la nueva rejilla en la caja. Instale la caja de la rejilla. 	1 elemento Cat 6E1473 SAP 1268288			12:40 p. m.	1:00 p. m.	20 mins	Mec-B	Escalera, bandeja, llave de golpe 1 1/2", comba, bandeja		
Asignado	Motor	Motor		<p>INSPECCIONAR SISTEMA DE ADMISIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustar y reponer todas las abrazaderas y soportes del sistema de admisión • Verificar que todos los accesorios de montaje, juntas y conexiones estén bien ajustados asegurando la hermeticidad del sistema de admisión. 				1:00 p. m.	1:10 p. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B	Linterna, juego de llaves		
Asignado	Motor	Motor		<p>INSPECCIONAR SISTEMA DE ESCAPE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustar y reponer todas las abrazaderas y soportes del sistema de escape y silenciadores • Inspección estado y ajustar bellows y abrazaderas del múltiple de escape. • Inspeccionar visualmente estado de mantas térmicas del tubo de escape 				1:10 p. m.	1:20 p. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B	Linterna, juego de llaves		
Asignado	Motor	Motor		<p>MANTENIMIENTO DEL MOTOR DIESEL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustar los soportes y abrazaderas centrales de los turbocompresores. • Inspeccionar y ajustar abrazaderas de las líneas de lubricación del motor por signos de desgaste, daños o fugas. Seguir ruta de inspección del motor • Ajustar mangueras y tapones del colector de escape (Crossover). • Asegurar que la bomba de refrigerante (1) y la auxiliar (2) no tengan fugas. (Reemplazar los sellos de ser necesario) • Inspeccionar y eliminar fugas de aceite de motor, combustible y refrigerante • Inspeccionar y/o corregir desgaste por fricción entre cables, mangueras, cañerías. • Inspección ajuste de soportes de motor y estado de gomas. 				1:20 p. m.	1:30 p. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B	Pistola de 1/2", dado de 1/2", juegos de llaves, linterna		
Asignado	Motor	Motor		<p>CAMBIAR RESPIRADEROS DEL MOTOR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Afloje las abrazaderas (4). Saque la manguera (2) de los conjuntos de respiradero (1) y del tubo de ventilación (3). • Cambie los 6 respiraderos (CAT- 4W3027), los 6 sellos (336031) y las 6 abrazaderas (4W3034) • Instale los conjuntos de respiradero en las tapas de válvulas. • Instale la manguera en los conjuntos de respiradero y en el tubo de ventilación. Apriete todas las abrazaderas. 	6 respiraderos (CAT 4W3027-SAP 1039357) 6 sellos (336031-SAP 1247462) 6 abrazaderas (CAT 4W3034-SAP 1038624)			1:30 p. m.	1:40 p. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B	Pistola de 1/2", dado de 1/2"		



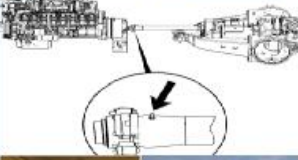




Apagado	Equipo	Equipo		<p>CAMBIO DE FILTROS SECUNDARIO DE COMBUSTIBLE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Quite los filtros secundarios de combustible (1) 2. Limpie las bases de montaje del filtro y quite los sellos usados. 3. Lubrique los sellos de los filtros nuevos con combustible diesel limpio. 4. Instale los filtros nuevos hasta que el sello toque la base de montaje. 5. Apriete todos los filtros 	2 filtros (FLEETGUARD FF5317 - SAP 1268849)			1:40 p. m.	2:00 p. m.	20 mins	Mec-B	Faja saca filtro, palanca rache 1/2", bandeja		
Apagado	Motor	Motor		<p>CAMBIAR FILTROS DE ACEITE DE MOTOR</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Quite los filtros usados de aceite del motor (1) y descártelos. 2. Limpie los conjuntos de base de filtro del aceite. Asegúrese de que se quiten todas las empaquetaduras anteriores. 3. Aplique una capa de aceite limpio de motor en cada sello de cada uno de los filtros de aceite nuevos. 4. Instale los filtros de aceite nuevos y apriete cada filtro hasta que el sello del filtro toque la base. 	4 unid. (CAT 275-2604 SAP 1248225)			2:00 p. m.	2:20 p. m.	20 mins	Mec-B	Faja saca filtro, palanca rache 1/2, bandeja		
Apagado	Freno	Equipo		<p>LAVAR REJILLA DE SUCCIÓN DEL TANQUE DE FRENO Y LEVANTAMIENTO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique que se descargó completamente el aceite del tanque (1). 2. Saque los pernos y la tapa (2) en la parte delantera del tanque. 3. Limpie la basura de la parte inferior del tanque 4. Quite las bridas y tres mangueras (3). 5. Quite las rejillas de succión del tanque. 6. Muestrear (Confiabilidad) y lavar las rejillas en disolvente limpio. 7. Instale las rejillas de succión limpias e instale las mangueras y las bridas. 8. Si la empaquetadura de la tapa está dañada, reemplácela. 9. Limpie e instale la tapa en la parte delantera del tanque. 	En caso de encontrar una excesiva cantidad de trozos de metal en la rejilla, reportar al supervisor			2:20 p. m.	3:00 p. m.	40 mins	Mec-A, Mec-B	Dado de 18 mm, pistola de 1/2", eslinga, puente grúa, bandeja		
Apagado	Freno	Equipo		<p>LLENAR ACEITE AL TANQUE DE FRENO Y LEVANTE DE TOLVA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Quite y lave la tapa y el anillo de retención en la rejilla del tubo de llenado. Quite la rejilla. 2. Si el sello de la tapa esta dañado, use uno nuevo. 3. Instale el colador del tubo de llenado y el anillo de retención. 4. Llene el tanque del sistema de levantamiento y frenos. 5. Añada aceite al tanque para aumentar el nivel del aceite hasta la marca "FULL" (Lleno) en la mirilla superior (2). 6. Levante la tolva y añada aceite, si es necesario. 	300 GAL MOBIL SAE 10W Asegurarse que los tapones y rejillas estén correctamente instalados			3:00 p. m.	3:20 p. m.	20 mins	Mec-B	Pistola de 1/2", dado de 1/2"		
Apagado	Equipo	Equipo		<p>REVISAR NIVELES DE FLUIDO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceite de motor (77 GAL - MOBIL 15W40) • Aceite del tanque de dirección (70 GAL - MOBIL SAE10W) • Aceite del tanque de transmisión y convertidor (60 GAL - MOBIL SAE30W) • Aceite del tanque hidráulico (300 GAL - MOBIL SAE10W) • Refrigerante (225 GAL - ELC) • Aceite de ruedas delanteras (5.5 GAL C/U - MOBIL SAE60) • Aceite del diferencial y mandos finales (270 GAL - MOBIL SAE60) • Verificar nivel de tanque de grasa 	Verificar ajuste de tapones de ruedas, mandos finales, radiador, motor, convertidor - transmisión, diferencial, hidráulico, dirección, refrigerante y combustible			3:20 p. m.	3:45 p. m.	25 mins	Mec-A, Mec-B, Mec-C			
Apagado	Equipo	Equipo		<p>INSPECCIÓN FINAL DE CALIDAD- EQUIPO APAGADO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eliminar fugas y asegurar conexiones firmes de: • Líneas de combustible del tanque y la bomba de transferencia • Líneas de refrigerante del aftercooler y paneles del radiador • Líneas de la válvula de los cilindros y bomba de levante de tolva • Líneas del tanque y bombas del sistema dirección. • Líneas de la transmisión, convertidor y válvulas del Lock Up. • Líneas de refrigeración de los cubos de ruedas de delanteras (RH&LH) • Mangueras de presión y líneas de refrigeración de frenos del mando final • Líneas de refrigeración, lubricación y bomba del diferencial 	En caso de detectar fugas críticas, coordinar con el supervisor para programar su reparación			3:45 p. m.	4:05 p. m.	20 mins	Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D			

ESPECIALIDAD + TIPO DE MANTENIMIENTO										CARTILLA				Rev. 1.0	
FLOTA	793D									FECHA:					
PM	PM4									NOMBRE:					
EQUIPO	Mecánico	Total									PM:				
ASIG	Mec-C									EQUIPO:					
										SUPERVISOR:					
										MEC-C					
ESTADO DE EQUIPO	SUB SISTEMA	ZONA DE TRABAJO	IMAGEN	ACTIVIDAD	DETALLE DE LA ACTIVIDAD	PARÁMETROS	RESULTADOS DE INSPECCIÓN	INICIO	FINAL	TIEMPO	ASIGNADO	HERRAMIENTAS ESPECIALES	EQUIPO DE SOPORTE	POTENCIAL COMERCIAL	
Asignado	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE DOCUMENTOS DE SEGURIDAD	Elaboracion de IPERC Elaboracion de permisos para operación de equipos auxiliares			7:30 a. m.	7:45 a. m.	15 mins	Elect-A,Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D				
Asignado	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS AUXILIARES	Realizar lista de verificación de herramientas y equipos auxiliares necesarios para el PM.			7:45 a. m.	8:00 a. m.	15 mins	Elect-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D				
Encendido	Equipo	Equipo		PRUEBAS DEL EQUIPO	Ejecutar pruebas antes del ingreso del equipo a la bahía <ul style="list-style-type: none"> • Test de eficiencia de freno • Test de actuación de freno • Test del convertidor • Test de la transmisión • Test de dirección • Test de motor 			8:00 a. m.	9:15 a. m.	75 mins	Mec-B, Mec-C				
Encendido	Dirección	Equipo		TEST SISTEMA DE DIRECCIÓN Y FAN FLOTA INSPECCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • En paralelo a la prueba del sistema de dirección realizar movimientos a la dirección para detectar signos de desgaste, juego excesivo y daño en las rótulas, barras y terminales de los brazos de dirección RH&LH y la barra estabilizadora posterior. • Detectar fugas de aceite en el cilindro de dirección RH & LH y realizar reparaciones según sea necesario. • Revisa el juego axial del pin pivot y de la barra estabilizadora posterior. 	OBS. ROTULA 1: 2: 3: 4: 5: 6: 7: 8:		9:15 a. m.	9:35 a. m.	20 mins	Mec-B, Mec-C	Linterna			
Encendido	Equipo	Equipo		TEST DE DETECCIÓN DE FUGAS	Mientras se realiza el test de motor inspeccionar la sección media del equipo: Revisar el estado del eje cardan delantero Detectar fugas en las bombas de FAN, levante, transmisión, convertidor y enfriamiento de frenos. Detectar fugas en el conjunto transmisión – convertidor Detectar fugas de aceite de mangueras del sistema y tanque hidráulico Detectar fugas de aceite de mangueras del tanque de combustible Detectar fugas en cilindro de levante RH&LH y sus mangueras	Reportar cualquier observación al supervisor		9:35 a. m.	9:55 a. m.	20 mins	Mec-C	Linterna, juego de llaves			
Asignado	Ruedas Delanteras	Equipo		DESCARGAR ACEITE – RUEDAS DELANTERAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coloque la rueda delantera de modo que el tapón de drenaje (1) esté apuntando hacia abajo. 2. Estacione la máquina en una superficie horizontal. Conecte el freno de estacionamiento y pare el motor 3. Quite el tapón de drenaje. 4. Deje que el aceite drene en un recipiente apropiado. 5. Limpie e instale el tapón de drenaje. 			9:55 a. m.	10:15 a. m.	20 mins	Mec-B, Mec-C	Comba 12 libras, Llave de golpe 7/8", Llave Ratchet de Encastre 3/4", bandeja			





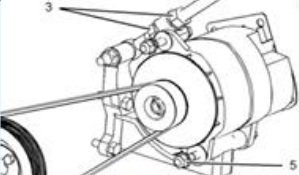
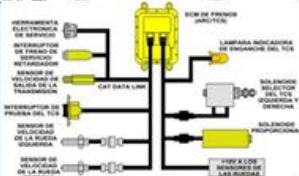
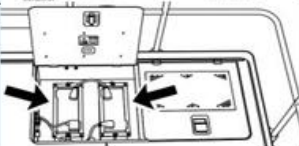
Acoplado	Equipo	Equipo		PURGAR TANQUES NEUMÁTICOS PRIMARIO Y SECUNDARIO 1. Abra la válvula de drenaje (1) del tanque primario y (2) del tanque secundario. 2. Drene la humedad y el sedimento del tanque de aire en un recipiente adecuado. 3. Cierre la válvula de drenaje del tanque de aire				12:35 p. m.	12:45 p. m.	10 mins	Mec-C					
Acoplado	Dirección	Equipo		CAMBIAR FILTRO DE ACEITE DE DIRECCIÓN Y DEL VENTILADOR HIDRÁULICO 1. Oprima el botón (1) en la válvula de alivio. 2. Quite lentamente la tapa (2) del tanque hidráulico de la dirección para aliviar la presión. 3. Quite el filtro de drenaje de la caja (3) del ventilador hidráulico y el filtro de drenaje de la caja (4) del sistema de dirección. 4. Limpie las bases de montaje y quite los sellos usados de los filtros. 5. Lubrique los sellos de los filtros nuevos con aceite limpio. 6. Instale los filtros nuevos hasta que el sello toque la base de montaje.	2 unid. (Cat 4656502 SAP 1332149)		12:45 p. m.	1:00 p. m.	15 mins	Mec-C	Balde, saca filtro, rache palanca de 1/2"					
Acoplado	Dirección	Equipo		CAMBIAR LOS FILTROS DEL TANQUE DE DIRECCIÓN 1. Quite cuatro tuercas (1) de la tapa del filtro y saque el conjunto filtro (2) 2. Quite la tapa del filtro (5) del prisionero (10), el pasador de resorte (7) y el espaciador (8). Saque y descarte los elementos usados de filtro (9). 3. Instale los filtros nuevos, el pasador de resorte y el espaciador. 4. Inspeccione el sello de la tapa del filtro (6), el sello (12) del conjunto de retención (11). Reemplace cualquier sello que esté dañado. 5. Instale la tapa del filtro sobre el prisionero. Apriete la tapa del filtro. 6. Instale el filtro en el tanque y las tuercas de la tapa del filtro	02 filtros (Cat 2492337 SAP 1141389)		1:00 p. m.	1:15 p. m.	15 mins	Mec-C	Llave mixta 9/16,, rache palanca de 1/2", dado 9/16					
Acoplado	Motor	Motor		CAMBIO DE FILTRO SECADOR WASTEGATE - Cambiar filtro secador wastegate 1 filtros (Cat 185-4369 SAP 1250325)	1 und		1:15 p. m.	1:25 p. m.	10 mins	Mec-C						
Acoplado	Ruedas Delanteras	Equipo		CAMBIAR ACEITE DE RUEDAS DELANTERAS 1. Llene el compartimiento de aceite hasta la parte inferior de la abertura del tapón de llenado. MOBIL SAE 60 SAP 2014692 (11 GAL) 2. Limpie e instale el tapón de la abertura de llenado. Use el mismo procedimiento para el otro cojinete de la rueda delantera.	MOBIL SAE 60 SAP 2014692 (11 GAL) Asegurarse que los tapones estén correctamente instalados		1:25 p. m.	1:45 p. m.	20 mins	Mec-C	Comba 12 libras, Llave de golpe 7/8", Llave Ratchet de Encastre 3/4"					
Acoplado	Equipo	Equipo		CAMBIAR CONJUNTO SECADOR DE AIRE Y KIT DE VÁLVULA DE DESCARGA DE SECADOR DE AIRE • Cambio de conjunto secador de aire 1 conjunto (Cat 1075869 SAP 1248007) • Cambiar kit de válvula de descarga de secador de aire 1 (Kit Cat 121-5895 SAP 1249474)			1:45 p. m.	2:05 p. m.	20 mins	Mec-C	Dado 9/16", Pistola de 3/8", llave mixta 24mm, Llave mixta 10 mm					
Acoplado	Equipo	Equipo		INSPECCIONAR FILTROS DE AIRE - CAMBIAR FILTROS DE AIRE (CONDICIÓN) • Inspeccionar y pesar filtros de aire • Limpiar tazas de base de filtro de aire En base a la condición de los filtros de aire: • Cambiar filtro primario de aire 4 unid (AF879NF- SAP 1278531) • Cambiar filtro secundario de aire 4 unid (AF857-SAP 1268072)	4 unid		2:05 p. m.	3:20 p. m.	75 mins	Mec-C	Arnés de seguridad	Piscador ma-levadiza tipo tjera				

Acoplado	Equipo	Equipo		REVISAR NIVELES DE FLUIDO	<p>Verificar niveles de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceite de motor (77 GAL - MOBIL 15W40) • Aceite del tanque de dirección (70 GAL - MOBIL SAE10W) • Aceite del tanque de transmisión y convertidor (60 GAL - MOBIL SAE30W) • Aceite del tanque hidráulico (300 GAL - MOBIL SAE10W) • Refrigerante (225 GAL - ELC) • Aceite de ruedas delanteras (5.5 GAL C/U - MOBIL SAE60) • Aceite del diferencial y mandos finales (270 GAL - MOBIL SAE60) • Verificar nivel de tanque de grasa 	<p>Verificar ajuste de tapones de ruedas, mandos finales, radiador, motor, convertidor - transmisión, diferencial, hidráulico, dirección, refrigerante y combustible</p>		3:20 p. m.	3:45 p. m.	25 mins	Mm-AMM-S/Mm-C			
Aparado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN FINAL DE CALIDAD-EQUIPO APAGADO	<p>Eliminar fugas y asegurar conexiones firmes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Líneas de combustible del tanque y la bomba de transferencia • Líneas de refrigerante del aftercooler y paneles del radiador • Líneas de la válvula de los cilindros y bomba de levante de tolva • Líneas del tanque y bombas del sistema dirección. • Líneas de la transmisión, convertidor y válvulas del Lock Up. • Líneas de refrigeración de los cubos de ruedas de delanteras (RH&LH) • Mangueras de presión y líneas de refrigeración de frenos del mando final • Líneas de refrigeración, lubricación y bomba del diferencial 	<p>En caso de detectar fugas críticas, coordinar con el supervisor para programar su reparación</p>		3:45 p. m.	4:05 p. m.	20 mins	Elva-A,Mm-AMM-S/Mm-C,Mm-D			
Aparado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN FINAL DE PUNTOS CALIENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que no haya cables sueltos aledaños a zonas calientes o al motor • Verificar que no haya trapos u otros elementos en zonas calientes próximas al motor, tableros eléctricos. • Verificar que no haya grasa sedimentada y tampoco próxima a zonas de calor • Verificar que el motor este limpio • Verificar que no haya mangueras en rozamiento próximas al motor • No debe de haber mangueras en rozamiento. 			4:05 p. m.	4:15 p. m.	10 mins	Bac-A,Mm-A,Mm-B/Mm-C,Mm-D			
Aparado				DESBLOQUEO	Realizar el desbloqueo del equipo			4:15 p. m.	4:25 p. m.	10 mins	Mm-A,Mm-B/Mm-C,Mm-D,Bac-A			
	Equipo	Equipo		LIMPIEZA	Realizar limpieza al taller.			4:25 p. m.	4:55 p. m.	30 mins	Mm-B/Mm-C			

ESPECIALIDAD + TIPO DE MANTENIMIENTO										CARTILLA				
FLOTA	793D									FECHA:				
PM	PM4									NOMBRE:				
EQUIPO	Mecánico	Total								PM:				
ASIG	Mec-D									EQUIPO:				
										SUPERVISOR:				
										MEC-D				
ESTADO DE EQUIPO	SUB SISTEMA	ZONA DE TRABAJO	IMAGEN	ACTIVIDAD	DETALLE DE LA ACTIVIDAD	PARÁMETROS	RESULTADOS DE INSPECCIÓN	INICIO	FINAL	TIEMPO	FORMAS A	HERRAMIENTAS ESPECIALES	EQUIPO DE RESPONTO	POTENCIAL CORRECTIVO
Acabado	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE DOCUMENTOS DE SEGURIDAD	Elaboración de IPERC Elaboración de permisos para operación de equipos auxiliares			7:30 a. m.	7:45 a. m.	15 mins	Electric-Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D			
Acabado	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS AUXILIARES	Realizar lista de verificación de herramientas y equipos auxiliares necesarios para el PM.			7:45 a. m.	8:00 a. m.	15 mins	Electric-Mec-B, Mec-C, Mec-D			
Enmendado	Diferencial	Diferencial		TEST DE DETECCIÓN DE FUGAS	Mientras se realiza el test de motor inspeccionar la sección posterior del equipo: <ul style="list-style-type: none"> • Detectar desgaste y juego excesivo en la barra estabilizador posterior • Detectar fugas en mandos finales y diferencial • Verificar el estado de los bota piedras, asegurándose de que estén en buenas condiciones y correctamente fijados. 	Reportar cualquier observación al supervisor		9:35 a. m.	9:55 a. m.	20 mins	Mec-D	Linterna, juego de llaves		
Acabado	Suspensiones	Suspensión delantera y estabilizador		INSPECCION ALTURA Y CARGA DE SUSPENSIONES	Detectar signos de desgaste o daño en rotulas de Suspensiones Posteriores. <ul style="list-style-type: none"> • Medir altura de Suspensiones Delanteras (10 +/- 0.5 pulg) • Medir altura de Suspensiones Traseras (8 +/- 0.5 pulg) • Medir presión en el VIMS de Suspensiones Delanteras (464 +/- 5 ps) • Medir presión en el VIMS de Suspensiones Traseras (268 +/- 5 ps) 	IZQUIERDA ALT DELAN: ALT TRAS: PRES DELAN: PRES TRAS: DERECHA ALT DELAN: ALT TRAS: PRES DELAN: PRES TRAS:		9:55 a. m.	10:15 a. m.	20 mins	Mec-D	Flexometro		
Acabado	Equipo	Equipo		BLOQUEO	Realizar el aislamiento y bloqueo del switch master en el equipo			10:20 a. m.	10:30 a. m.	10 mins	Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D, Electric-A			
Acabado	Equipo	Equipo		VERIFICAR CARGA DE ACUMULADOR DE DIRECCIÓN	Verificar carga de los acumuladores de dirección a 21° C (70° F): <ul style="list-style-type: none"> • Presión de Acumulador de dirección delantero Blader (950 +/- 50 psi) • Presión de Acumulador de dirección posterior Piston (950 +/- 50 psi) 	Presión de acumulador de dirección Delantero: Posterior:		10:30 a. m.	10:50 a. m.	20 mins	Mec-D	Equipo para cargar acumuladores de presión		

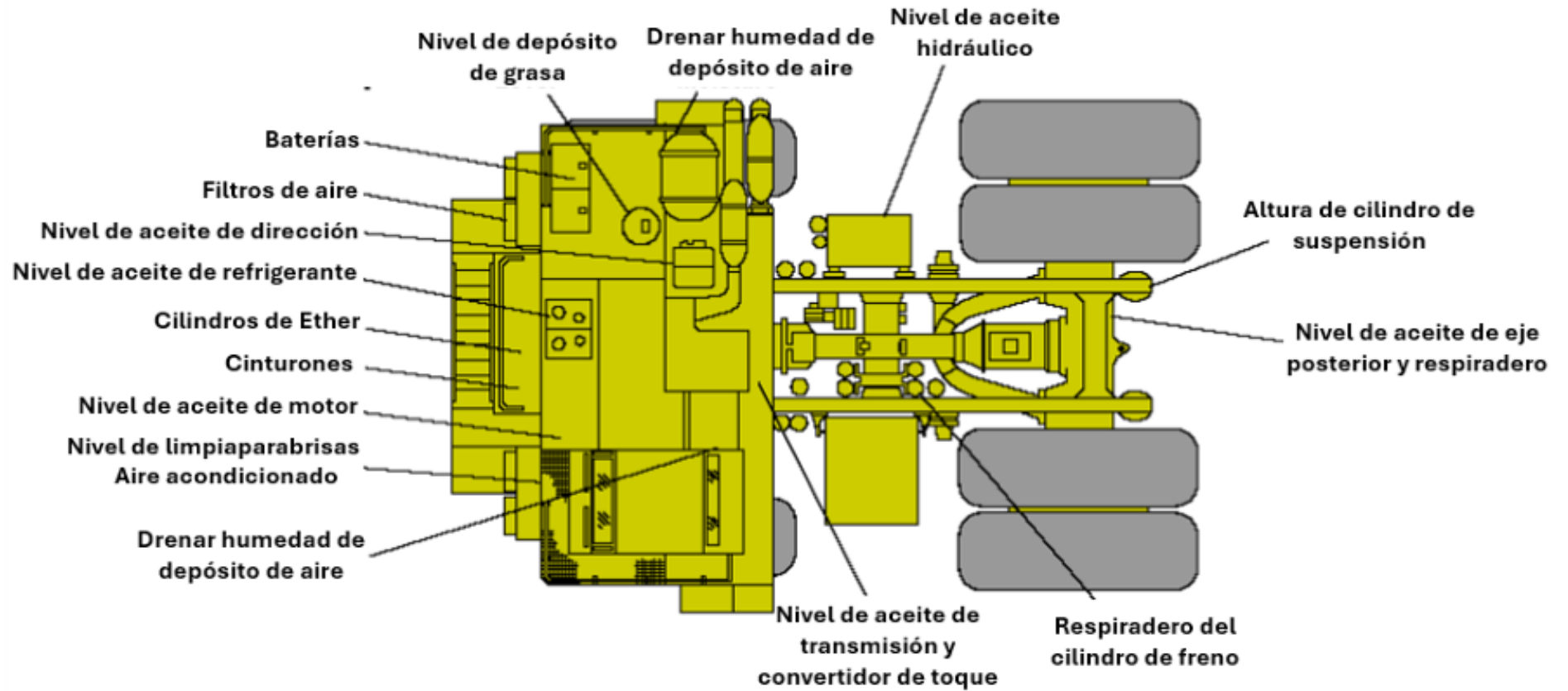
Aparato	Equipo	Equipo		LLENADO DE TANQUE DE GRASA	<ul style="list-style-type: none"> Revisar tapa de tanque de grasa y eliminar fugas de líneas de grasa Verificar funcionamiento de bomba de Auto lubricación. Llenar tanque de grasa con Mobilgrease XHP 220 				10:50 a. m.	11:05 a. m.	15 mins	Mec-O			Mobilgrease XHP 220
Aparato	Equipo	Equipo		ENGRASE DE BANCOS DE LUBRICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Revisar y limpiar inyectores Engrasar bancos de lubricación derecho, izquierdo y posterior. Inspeccionar y ajustar abrazaderas de las líneas del sistema de engrase y tomas rápidas indicados en el ANEXO. 	Ruta de inspección – Mecánico D			11:05 a. m.	11:35 a. m.	30 mins	Mec-O	Linterna, juego de llaves		Mobilgrease XHP 220
Aparato	Equipo	Equipo		ENGRASAR ÁREAS DE ENGRASE	<p>Eliminar fugas de líneas de grasa y verificar el correcto engrase de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Terminales de dirección Juego axial del pin pivot Cardan principal Cardan impulsor de bombas Terminales de cilindro de levante de Tolva Suspensiones delanteras y posteriores. Polea ventilador de FAN 				11:35 a. m.	11:55 a. m.	20 mins	Mec-O			Mobilgrease XHP 220
Aparato	Suspensiones	Suspensión delantera y posterior		NIVELACIÓN DE ALTURA Y CARGA DE SUSPENSIONES	<p>Inspeccionar y reportar fugas en suspensiones delanteras y posteriores</p> <p>Detectar signos de desgaste o daño en rotulas de Suspensiones Posteriores RH&LH.</p> <p>Detectar facturas y fisuras en pernos de sujeción de suspensión delantera</p> <p>Bajar a 0 y nivelar altura y carga de suspensiones</p> <p>Nivelar altura de Suspensiones Delanteras (10 +/- 0.5 pulg)</p> <p>Nivelar altura de Suspensiones Traseras (8 +/- 0.5 pulg)</p> <p>Ajustar presión de Suspensiones Delanteras (464 +/- 5 ps)</p> <p>Ajustar presión de Suspensiones Traseras (268 +/- 5 ps)</p>	<p>IZQUIERDA</p> <p>ALT DELAN:</p> <p>ALT TRAS:</p> <p>PRES DELAN:</p> <p>PRES TRAS:</p> <p>DERECHA</p> <p>ALT DELAN:</p> <p>ALT TRAS:</p> <p>PRES DELAN:</p> <p>PRES TRAS:</p>			11:55 a. m.	3:15 p. m.	200 mins	Mec-O	Vernier, Tetragauge		Equipo nivelador de suspensiones, soporte de suspensiones
Aparato	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN FINAL DE CALIDAD-EQUIPO APAGADO	<p>Eliminar fugas y asegurar conexiones firmes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Líneas de combustible del tanque y la bomba de transferencia Líneas de refrigerante del aftercooler y paneles del radiador Líneas de la válvula de los cilindros y bomba de levante de tolva Líneas del tanque y bombas del sistema dirección. Líneas de la transmisión, convertidor y válvulas del Lock Up. Líneas de refrigeración de los cubos de ruedas de delanteras (RH&LH) Mangueras de presión y líneas de refrigeración de frenos del mando final Líneas de refrigeración, lubricación y bomba del diferencial 	En caso de detectar fugas críticas, coordinar con el supervisor para programar su reparación			3:45 p. m.	4:05 p. m.	20 mins	Elect-A,Mec-A,Mec-B,Mec-C,Mec-D			
Aparato	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN FINAL DE PUNTOS CALIENTES	<ul style="list-style-type: none"> Verificar que no haya cables sueltos aledaños a zonas calientes o al motor Verificar que no haya trapos u otros elementos en zonas calientes próximas al motor, tableros eléctricos. Verificar que no haya grasa sedimentada y tampoco próxima a zonas de calor Verificar que el motor este limpio Verificar que no haya mangueras en rozamiento próximas al motor No debe de haber mangueras en rozamiento. 				4:05 p. m.	4:15 p. m.	10 mins	Elect-A,Mec-A,Mec-B,Mec-C,Mec-D			
Aparato				DESBLOQUEO	Realizar el desbloqueo del equipo				4:15 p. m.	4:25 p. m.	10 mins	Mec-A,Mec-B,Mec-C,Mec-D,Elect-A			

ESPECIALIDAD + TIPO DE MANTENIMIENTO										CARTILLA				
FLOTA	793D									FECHA:				
PM	PM4									NOMBRE:				
EQUIPO	Eléctrico	Total								PM:				
ASIG	Elect-A									EQUIPO:				
										SUPERVISOR:				
										ELEC-A				
ESTADO DE EQUIPO	Sub SISTEMA	ZONA DE TRABAJO	IMAGEN	ACTIVIDAD	DETALLE DE LA ACTIVIDAD	PARÁMETROS	RESULTADOS DE INSPECCIÓN	INICIO	FINAL	TIEMPO	ASIGNADO A	HERRAMIENTAS ESPECIALES	EQUIPO DE RESPORTE	POTENCIAL EFECTIVO
Acabado	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE DOCUMENTOS DE SEGURIDAD	Elaboracion de IPERC Elaboracion de permisos para operación de equipos auxiliares			7:30 a. m.	7:45 a. m.	15 mins	Elect-A, Mec-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D			
Acabado	Equipo	Equipo		PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS AUXILIARES	Realizar lista de verificación de herramientas y equipos auxiliares necesarios para el PM.			7:45 a. m.	8:00 a. m.	15 mins	Elect-A, Mec-B, Mec-C, Mec-D			
Encomendado	Equipo	Cabina Del Operador		DIAGNOSTICO ELÉCTRICO - VIMS	<ul style="list-style-type: none"> Revisar códigos activos y registrados Revisar tensión de baterías Revisar posición de acelerador (Debe llegar ente 99 - 100%) Revisar mecanismo de Pedal Acelerador Revisar parámetros de sensores Verificar funcionamiento de solenoides y switch de ARC (Prueba con ET) Verificar funcionamiento de la válvula del TCS, el ET mostrará 44% cuando el freno esté completamente enganchado (Durante la prueba, los frenos de parqueo/secundario deben estar liberados) 			8:00 a. m.	8:22 a. m.	22.5 mins	Elect-A	Laptop, VIMS, Adapter, Cable para Descarga		
Encomendado	Equipo	Cabina Del Operador		INSPECCIÓN ELÉCTRICA – INSPECCIÓN DE CABINA	<ul style="list-style-type: none"> Verificar estado de indicadores de panel de cabina Inspeccionar estado exterior de switch general de cabina Verificar funcionamiento del sistema de limpiaparabrisas Inspeccionar sistema de control de ventana (793D) Verificar funcionamiento del switch de Control Automático del Retardador (ARC) Verificar funcionamiento de alarma escalera Inspeccionar luces de indicadores y palanca de cambios 			8:22 a. m.	8:45 a. m.	22.5 mins	Elect-A	Multímetro, juego de destornilladores dieléctricos, juego de dados, juego de alicates, llave mixta 5/8, alicate pico loro, stilson		
Encomendado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE CÁMARAS 360	<ul style="list-style-type: none"> Verificar funcionamiento de la pantalla ubicada en la cabina, mostrando las 4 cámaras Verificar cables y conectores sueltos en ECU 360 Sujetar la base y conectores sueltos de la cámara: Frontal, Izquierda, Derecha y Posterior. 		Parallelo Cámara Derecha: Cámara Izquierda: Cámara Frontal: Cámara Posterior:	8:45 a. m.	9:07 a. m.	22.5 mins	Elect-A	Multímetro, juego de destornilladores dieléctricos, juego de dados, juego de alicates		
Encomendado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN ELÉCTRICA – REVISIÓN DE LUCES	<ul style="list-style-type: none"> Inspeccionar luces de escaleras Inspeccionar luces delanteras: Alta, baja, neblineros Inspeccionar luces posteriores: Retroceso y pase Inspeccionar luces de parqueo (posterior) Inspeccionar luces direccionales: Delanteras y posteriores Inspeccionar alarma de retroceso y bocina Limpiar micas en general Verificar funcionamiento de Pay Load Meter y Led numérico verde 			9:07 a. m.	9:30 a. m.	22.5 mins	Elect-A	Multímetro, Pistola de Impacto 1/2", juego de destornilladores dieléctricos, juego de dados, juego de alicates		

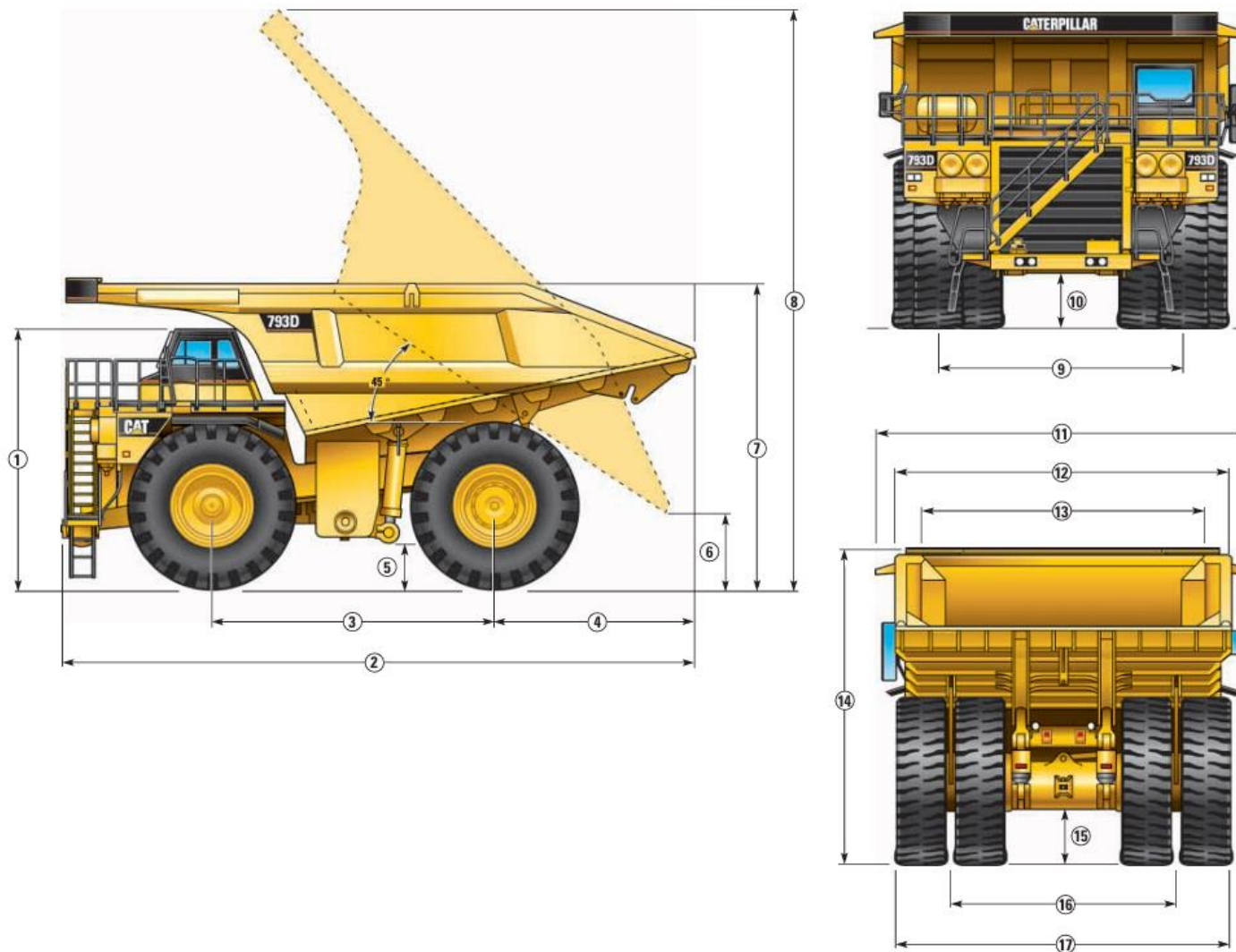
Embarcación	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN DE MOTOR DE PURGADO DE COMBUSTIBLE	Revisar motor de purgado de combustible y switch de accionamiento.					9:30 a. m.	10:10 a. m.	40 mins	Elect-A	Multmetro, Pistola de impacto 1/2", juego de destornilladores dieléctricos, juego de dados, juego de alicates		
Apoyado	Equipo	Equipo		BLOQUEO	Realizar el aislamiento y bloqueo del switch master en el equipo					10:20 a. m.	10:30 a. m.	10 mins	Mico-A, Mico-B, Mico-C, Mico-D, Elect-A			
Apoyado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN DE HARNES Y DISYUNTORES	<ul style="list-style-type: none"> Revisar consola de fusibles, relays y disyuntores. Revisar conectores y harness en parte posterior de la cabina. Corregir roces en Harness, fijar de ser necesario. 					10:30 a. m.	10:52 a. m.	22.5 mins	Elect-A	Vernier, Multítester, Pistola de impacto 1/2", juego de dados y destornilladores dieléctricos, alicate pico loro, llave Stilson, Profiler		
Apoyado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN ELÉCTRICA SENSORES Y ECM'S	<ul style="list-style-type: none"> Efectuar limpieza, aspirado y sellado de consola de ECM's en cabina. Limpiar conectores ECM en cabina, de transmisión y motor (Colocar pernos faltantes, conectores y soportes) Inspeccionar sensores y harness de Motor y convertidor Inspeccionar sensores de sistema de dirección Inspeccionar sensores de levante de tolva Inspeccionar sensores y harness de transmisión y diferencial Inspeccionar sistema de prelubricación Verificar los sensores de velocidad camshaft primario y secundario. 					10:52 a. m.	11:15 a. m.	22.5 mins	Elect-A	Multítester, llave mixta 5/8, alicate pico loro, stilson		
Apoyado	Equipo	Equipo		INSPECCIONAR ALTERNADOR	<ul style="list-style-type: none"> Sacar tapa de protección de alternador y revisar por ruido o juego excesivo Verificar estado de la faja de alternador, templador y guarda de protección Gire las tuercas de ajuste (3) para aumentar o disminuir la tensión de la correa. (Reemplace la correa de ser necesario) Revisar estado de cables de alimentación. 					11:15 a. m.	11:35 a. m.	20 mins	Elect-A	Juego de dados, Pistola de Impacto 1/2", juego de alicates (corta, pala cable universal, pico loro regulable)		
Apoyado	Equipo	Equipo		MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE CONTROL DE TRACCION Y ARC	<ul style="list-style-type: none"> Limpiar conectores del ECM de freno (ARC/TCS) Revisar harness de válvula de control de levante, reparar o fijar. Revisar motor de arranque (bornes de conexión y harness). Revisar cables de solenoides de arrancadores Limpiar válvula y sensores de TCS Limpiar válvula ARC 					11:35 a. m.	12:05 p. m.	30 mins	Elect-A	Multítester, llave 13 mm y 19 mm dieléctrica, juego de desarmadores, pistola 1/2", juego de dados		
Apoyado	Equipo	Equipo		INSPECCIÓN ELÉCTRICA – CAJA DE BATERÍAS	<ul style="list-style-type: none"> Revisar tensión de baterías y nivel de líquido con analizador Revisar estado de bornes y terminales (sulfatados, desgaste) Inspeccionar estado de tapa y seguro de baterías. Inspeccionar estado de guarda de batería Inspeccionar caja de interruptores de bloqueo (estado de los interruptores). 					12:05 p. m.	12:25 p. m.	20 mins	Elect-A	Multítester, llave 13 mm y 19 mm dieléctrica, juego de desarmadores, pistola 1/2", juego de dados, analizador de baterías		

Apagado	Motor	Equipo		<p>INSPECCIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR (LADO IZQUIERDO)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar todos los seguros "C". (CONN 66 y CONN 68) • Inspeccionar Harness de inyectores y conectores (CONN 65 y 70) • Inspeccionar Switch GP de nivel (215) • Inspeccionar Sensor GP – Temperatura de Turbo LH & RH (147) • Inspeccionar Sensor GP - Speed (Timing, Crankshaft) (138) • Inspeccionar Switch - Electric Fuel Priming Pump (212) • Inspeccionar Compresor - Harness - Conectores (109) • Inspeccionar Sensor - Engine Coolant Temperature (135) • Inspeccionar Switch AS - Remote Shutdown (302) 	Al mover los conectores y harness de los puntos críticos y de inspección no se debe generar ningún evento eléctrico.			12:25 p. m.	12:40 p. m.	15 mins	Elect-A	Multitester, llave 13 mm y 19 mm dieléctrica, juego de desarmadores, pistola 1/2", juego de dados		
Apagado	Motor	Equipo		<p>INSPECCIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR (LADO DERECHO)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar Harness de inyectores y conectores (CONN 55 y 72) • Inspeccionar Relay - Prelube (124) • Inspeccionar Sensor GP - Turbo Pressure (145 y 157) • Inspeccionar Sensor GP – Temperatura de Turbo LH & RH (156) • Conector de calibración de Speed timing (CONN 71) • Inspeccionar Sensor - Crankcase Pressure (132) & Engine Speed (137) • Inspeccionar Sensor - Front Aftercooler Temperature (139) • Inspeccionar Sensor - Rear Aftercooler Temperature (151) • Inspeccionar Switch AS - Pressure (Refrigerant, Hi, Lo) (213) 			12:40 p. m.	12:55 p. m.	15 mins	Elect-A	Multitester, llave 13 mm y 19 mm dieléctrica, juego de desarmadores, pistola 1/2", juego de dados			
Apagado	Equipo	Equipo		<p>INSPECCIÓN FINAL DE CALIDAD-EQUIPO APAGADO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar posibles códigos y eventos en el tablero • Verificar el ajuste correcto de los terminales de baterías • Revisión general de estado de harness y cables eléctricos y clips • Revisar luces direccionales, neblineros, carretera, motor, escalera y frenos de servicio • Revisar claxon, alarma y luces de retroceso • Verificar limpieza de cabina 			12:55 p. m.	1:15 p. m.	20 mins	Elect-A				
Apagado	Equipo	Equipo		<p>INSPECCIÓN FINAL DE PUNTOS CALIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que no haya cables sueltos aledaños a zonas calientes o al motor • Verificar que no haya trapos u otros elementos en zonas calientes próximas al motor, tableros eléctricos. • Verificar que no haya grasa sedimentada y tampoco próxima a zonas de calor • Verificar que el motor este limpio • Verificar que no haya mangueras en rozamiento próximas al motor • No debe de haber mangueras en rozamiento. 			4:05 p. m.	4:15 p. m.	10 mins	Elect-A, Elec-A, Elec-B, Elec-C, Elec-D				
Apagado				<p>DESBLOQUEO</p> <p>Realizar el desbloqueo del equipo</p>			4:15 p. m.	4:25 p. m.	10 mins	Misc-A, Misc-B, Misc-C, Misc-D, Elect-A				
Encendido	Equipo	Equipo		<p>INSPECCIÓN FINAL DE CALIDAD-EQUIPO ENCENDIDO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar funcionamiento de la bomba pre-lube del motor. 2. Realizar calentamiento de la máquina calando 5 veces. 3. Medir el voltaje del sistema eléctrico (25.5 - 29 V). 4. Evaluar funcionamiento de los purgadores automáticos del tanque de aire 5. Evaluar el tiempo de reacción de calado (máximo 20 segundos). 6. Medir la presión de refuerzo del motor (32.6 +/- 4 PSI). 7. Determinar la velocidad del motor en calado (Stall) (1721 +/- 65 RPM). 8. Evaluar el tiempo de levante de la tolva (19 - 21 segundos). 9. Calibrar la balanza del TPMS. 			4:45 p. m.	4:55 p. m.	10 mins	Misc-A, Elec-A				

Anexo 10: Principales componentes del camión Caterpillar 793D



Anexo 11: Vista lateral, frontal y posterior del camión Caterpillar 793D



Anexo 12: Camión minero Caterpillar 793D captando mineral de la pala

