

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE MEJORA DE MANTENIMIENTO INTEGRAL DE MOTORES
CUMMINS QSK60 EN FAENA LOS PELAMBRES**

Trabajo de Titulación para optar al
Título profesional de INGENIERO EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON
LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA

Alumno:

Sr. Germán Ariel Soza Sepúlveda

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

2024

RESUMEN

Keywords: OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MOTORES CUMMINS QSK60 EN CAMIONES DE EXTRACCIÓN MINERA.

Este trabajo de título se desarrolló en el contexto del contrato de mantenimiento de Komatsu en la faena Los Pelambres, Chile. El objetivo principal fue optimizar el mantenimiento preventivo de los motores Cummins QSK60 instalados en los camiones de extracción Komatsu 930E-3, E-4 y E-5.

En el primer capítulo, se llevó a cabo la recolección y análisis exhaustivo de todos los datos y antecedentes relacionados con el contrato de mantenimiento de Komatsu en la faena Los Pelambres, Chile. Se evaluó el activo más crítico del contrato y se analizó la gestión actual del plan de mantenimiento preventivo. Se determinó que el servicio de mantenimiento de motores Cummins QSK60 requiere optimización, ya que representa una nueva prestación de servicios de mantenimiento que aún no ha sido optimizada.

En el segundo capítulo, se documentaron las propuestas de mejoramiento a través de la estrategia de mantenimiento PMO (optimización del mantenimiento preventivo). Se aplicaron teóricamente los pasos del PMO identificando las demoras y problemas de cada una de las actividades de mantenimiento proponiendo planes de acción para mitigar y/o reducir las demoras. Además, se documentaron algunas de las propuestas de mejoramiento que si fueron aplicadas en faena Los Pelambres.

En el tercer capítulo, se llevó a cabo un análisis técnico-económico de las propuestas de mejora. Se consideró la continuidad de la situación actual del servicio de mantenimiento frente a la optimización a través de la metodología PMO. Para comparar ambos escenarios, se evaluaron no solo indicadores económicos como VAC, CAE y PAYBACK, sino también los beneficios y perjuicios potenciales de implementar la metodología PMO en la faena Los Pelambres.

ÍNDICE

RESUMEN	
SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CONTRATO KOMATSU EN FAENA LOS PELAMBRES.....	3
1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CONTRATO KOMATSU EN FAENA LOS PELAMBRES.....	4
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA KOMATSU	4
1.1.1. Komatsu Chile-Minera Los Pelambres	5
1.1.2. Abastecimiento de recursos en faena KCH-MLP.....	6
1.1.3. Dotación del contrato Base Komatsu Pelambres	8
1.2. ANTECEDENTES DEL CONTRATO KOMATSU PELAMBRES	11
1.2.1. Contrato Komatsu Pelambres	11
1.3. INDICADORES DEL CONTRATO KOMATSU PELAMBRES	12
1.3.1. Disponibilidad física y contractual	12
1.3.2. Confiabilidad Contractual	12
1.3.3. Mantenibilidad Contractual.....	13
1.3.4. Tiempo de mantenimiento programado vs imprevisto.....	13
1.3.5. Resumen de indicadores reales del contrato	13
1.4. SERVICIO DE MANTENIMIENTO KOMATSU PELAMBRES	14
1.5. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ACTUAL DE MOTORES CUMMINS QSK60 EN FAENA LOS PELAMBRES.....	16
1.5.1. Pauta de mantenimiento de Motores Cummins QSK60.....	16
1.5.2. Procedimiento de trabajo seguros	17
1.5.3. Gestión de insumos, repuestos y materiales.....	19
1.5.4. Gestión de herramientas.....	19
1.5.5. Gestión del capital humano.....	20
1.5.6. Diagnóstico general de la gestión de mantenimiento actual de Motores Cummins QSK60	30
CAPÍTULO 2: PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	31

2.	PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	32
2.1.	MARCO TEÓRICO DEL PMO (OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO).....	32
2.1.1.	Metodología PMO	32
2.1.2.	Similitud metodología RCM y PMO.....	32
2.1.3.	Pasos metodología PMO.....	33
2.1.4.	Aplicación de PMO en faena los Pelambres	45
CAPÍTULO 3 ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO RESPECTO A LAS MEJORAS PROPUESTAS		84
3.	ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO RESPECTO A LAS MEJORAS PROPUESTAS	85
3.1.	ACTIVIDADES MINERAS	85
3.1.1.	Transporte de mineral en área mina	86
3.1.2.	Sistema de gestión mina ASARCO.....	86
3.2.	DEPRECIACIÓN	88
3.3.	GASTOS EN MINERA LOS PELAMBRES	88
3.3.1.	Distribución de gastos en transporte	90
3.3.2.	Distribución de gastos medios en Camión Komatsu 930E	91
3.4.	ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO	92
3.5.	RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	99
3.6.	INDICADORES FINANCIEROS VAC, CAE, PAYBACK.....	99
3.6.1.	Valor Actual de Costos (VAC).....	99
3.6.2.	Costo anual equivalente CAE	100
3.6.3.	Payback.....	100
3.6.4.	Cálculo de vac, cae y payback	101
3.7.	PERJUICIOS IMPLÍCITOS PARA EL CONTRATO KOMATSU-MLP	102
3.8.	BENEFICIOS IMPLÍCITOS PARA EL CONTRATO KOMATSU-MLP	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		107
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN		109
ANEXOS		110
ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL 750 HORAS RESUMEN		111
ANEXO B: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL 750 HORAS COMPLETO		112
ANEXO C: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 750 HORAS RESUMEN... ..		114
ANEXO D: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 750 HORAS COMPLETO .		115
ANEXO E: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 1500 HORAS RESUMEN .		116

ANEXO F: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 1500 HORAS COMPLETO 117

ANEXO G: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 3000 HORAS RESUMEN. 119

ANEXO H: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 3000 HORAS COMPLETO 120

ANEXO I: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 6000 HORAS RESUMEN.. 122

ANEXO J: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 6000 HORAS COMPLETO 123

ANEXO K: PROCEDIMIENTO MANTENCIONES EN MOTORES DIESEL QSK 60 (CAEX) ..
..... 125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Jornada laboral Contrato KCH- MLP.....	8
Tabla 1-2 Dotación contrato KCH-MLP.....	9
Tabla 1-3 Dotación contrato DCC en KCH-MLP	9
Tabla 1-4 Dotación contrato DTSA en KCH-MLP.....	10
Tabla 1-5 Dotación contrato Modular Mining en KCH-MLP	10
Tabla 1-6 Dotación contrato Komatsu Cummins en KCH-MLP	10
Tabla 1-7 Dotación contrato Komatsu MLP.....	10
Tabla 1-8 Flota de transporte y Carguío	11
Tabla 1-9 Resumen KPIs 2019-2022, KCH-MLP	13
Tabla 1-10 Pauta de mantención 750h [1/5].....	21
Tabla 1-11 Pauta de mantención 750h [2/5].....	22
Tabla 1-12 Pauta de mantención 750h [3/5].....	23
Tabla 1-13 Pauta de mantención 750h [4/5].....	25
Tabla 1-14 Pauta de mantención 750h [5/5].....	27
Tabla 2-1 Datos preliminares para hoja de decisiones de preventivo	36
Tabla 2-2 Hoja de decisiones de preventivo preliminar.....	38
Tabla 2-3 Hoja de Decisiones de Preventivo Cuestionario	40
Tabla 2-4 Tabla análisis causal de tareas críticas	42
Tabla 2-5 Planes de acción para PMO.....	43
Tabla 2-6 pauta de motor diésel y problemas detectados	46
Tabla 2-7 Ruta crítica Pauta Mantenimiento situación base	50
Tabla 2-8 Tareas duplicadas y eliminadas	51
Tabla 2-9 Preguntas hoja de decisiones de preventivo preliminar	52
Tabla 2-10 Hoja datos preliminar PMO	54
Tabla 2-11 Aplicación Hoja decisiones PMO	59
Tabla 2-12 Aplicación Análisis causal de tareas críticas PMO	61
Tabla 2-13 Planes de acción de PMO.....	66
Tabla 2-14 Revisión nuevo plan de mantenimiento	69
Tabla 2-15 Comparación de duración planes mantenimiento base v/s propuesto PMO	72
Tabla 2-16 Mantenimiento global de la flota	73
Tabla 2-17 Nuevo plan de mantenimiento	77
Tabla 2-18 Comparativa de tiempos y frecuencias de ejecución	83
Tabla 3-1 Descripción norma ASARCO	87
Tabla 3-2 Valor hora de equipo de transporte	92
Tabla 3-3 Comparativa de costos plan antiguo v/s nuevo plan	93
Tabla 3-4 Inversión según el plan de acción	97
Tabla 3-5 Comparativa de costos proyecto	101
Tabla 3-6 Beneficios implícitos continuar sin optimización	105
Tabla 3-7 Beneficios implícitos con propuesta PMO	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Dotación base Komatsu MLP	6
Figura 1-2 Categorías de mantenimiento Komatsu v/s Cummins	14
Figura 1-3 Categorías de mantenimiento 2 Komatsu v/s Cummins	15
Figura 1-4 Fragmento Pauta mantenimiento Motor 750 horas	17
Figura 1-5 Procedimiento mantenciones en motores Diesel QSK60 (CAEX).....	18
Figura 1-6 Fragmento de procedimiento mantenimiento motores Cummins QSK60	18
Figura 2-1 Panel de Control Base de datos Komatsu	74
Figura 2-2 Bitácora de entrega turno Komatsu.....	75
Figura 2-3 Motor de búsqueda de informes de base de datos	76
Figura 3-1 Cuadro Norma ASARCO.....	87

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1 Organigrama Komatsu Chile – Minera Los Pelambres.	5
Diagrama 2-1 PMO.....	33
Diagrama 2-2 Paso a paso del PMO	34
Diagrama 2-3 hoja de decisión para PMO	41
Diagrama 2-4 Diagrama Jackknife septiembre 2023	45
Diagrama 3-1 Procesos operaciones mina	86
Diagrama 3-2 Resumen de planes de acción PMO	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1 Operación de la PORRATA de los componentes	12
Gráfico 1-2 Grafico circular resultados auditoria motores septiembre 2023.....	29
Gráfico 1-3 Resultado de auditoría motores septiembre 2023	29
Gráfico 2-1 El negocio del mejoramiento.....	53
Gráfico 3-1 Distribución de gastos mina 2018.....	89
Gráfico 3-2 Distribución de gastos mina 2023.....	89
Gráfico 3-3 Gastos medios transporte 2023	90
Gráfico 3-4 Gastos mantención Komatsu 930E	91

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

AMSA	:	Antofagasta Minerals Sociedad Anónima
CAEX	:	Camiones de extracción
CPH	:	Costo por hora
HH	:	Horas hombre
HPI	:	High Pressure Injection
KCC	:	Komatsu Cummins Chile
KCH	:	Komatsu Chile
LCC	:	Costo de ciclo de vida (Life Cycle Cost)
LPP	:	Labor Plus Part
MCRS	:	Modular Common Rail System
MLP	:	Faena minera Los Pelambres
MTBF	:	Mean Time Between Failures (MTBF: Tiempo medio entre fallas)
MTTR	:	Mean time to repair (MTTR: Tiempo medio de reparación)
PMO	:	Optimización del mantenimiento preventivo
QSK60	:	Modelo y cilindrada de motor Cummins
SSOMA	:	Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente
TBO	:	Tiempo entre reparaciones mayores (Time Between Overhaul)
USD	:	Dólares americanos

INTRODUCCIÓN

En la industria minera, la eficiencia y la confiabilidad de los equipos son factores cruciales que determinan el éxito de cualquier operación. En este contexto, los motores diésel desempeñan un papel vital, ya que son el núcleo de los camiones de extracción Komatsu, impulsando de manera eficiente el proceso y transporte de minerales. En particular, los motores Cummins QSK60 han ganado una amplia aceptación en operaciones mineras a nivel global debido a su capacidad excepcional para operar en condiciones extremas, como las que son comunes en las minas a cielo abierto.

La faena Los Pelambres, uno de los yacimientos más destacados de Chile y Sudamérica, depende en gran medida de estos motores Cummins QSK60 para mantener sus operaciones en marcha. Sin embargo, para garantizar la continuidad de las operaciones y maximizar la eficiencia, es imperativo que estos motores se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento.

El objetivo central de este trabajo de título es presentar una "Propuesta de Mejora de Mantenimiento Integral de Motores Cummins QSK60 en Faena Los Pelambres". A través de un análisis descriptivo de la situación actual, se identificarán oportunidades para optimizar el mantenimiento de estos motores, con el fin de reducir los costos operativos asociados sin comprometer la calidad del servicio.

Esta investigación cobra relevancia debido a la situación contractual actual en Faena Los Pelambres, donde la empresa Komatsu asume la responsabilidad de ejecutar el mantenimiento de motores Cummins QSK60.

Dado que la empresa Komatsu actualmente es responsable de la ejecución de la pauta de mantenimiento de motores Cummins QSK60, se requiere la estandarización e integración de estos procesos dentro de la estrategia de mantenimiento de Komatsu. Esto es especialmente relevante ya que los técnicos que llevarán a cabo estos trabajos son empleados de Komatsu que no tienen experiencia previa en este tipo de mantenimiento.

Este trabajo de título tiene como objetivo proponer mejoras en el mantenimiento basadas en la situación actual, abordando aspectos clave como el uso de insumos, repuestos, gestión de recursos humanos y la medición de los tiempos de las actividades de mantenimiento. No solo se busca estandarizar la pauta de mantenimiento de motores Cummins QSK60 de acuerdo con las estrategias de mantenimiento de Komatsu, sino que también se aprovechará la oportunidad para optimizar el mantenimiento preventivo mediante técnicas de optimización de mantenimiento preventivo (PMO).

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejoras de manera integral en la gestión del mantenimiento de motores Cummins QSK60 en el contrato KCH-MLP, asegurando su alineación con las estrategias de mantenimiento Komatsu, optimizando las tareas de mantenimiento preventivo aplicando las técnicas de PMO.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual del contrato Komatsu Pelambres con relación al servicio de mantenimiento de motores Cummins QSK60 modelos HPI y MCRS identificando las brechas en la gestión de mantenimiento.
- Proponer mejoras en la gestión del mantenimiento de motores Cummins QSK60, aplicando técnicas de PMO (Optimización del mantenimiento preventivo) reduciendo los tiempos de ejecución sin afectar la calidad de los procesos.
- Evaluar la factibilidad técnica-económica con el fin de analizar beneficios y perjuicios de implementación de las mejoras destinadas al mejoramiento de la gestión del mantenimiento preventivo de motores Cummins QSK60.

CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL
DEL CONTRATO KOMATSU EN FAENA LOS PELAMBRES

1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL CONTRATO KOMATSU EN FAENA LOS PELAMBRES

El primer capítulo se enfoca en analizar el contexto operativo y administrativo del contrato de Komatsu en la faena Los Pelambres, así como en diagnosticar la problemática de la situación actual del contrato.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA KOMATSU

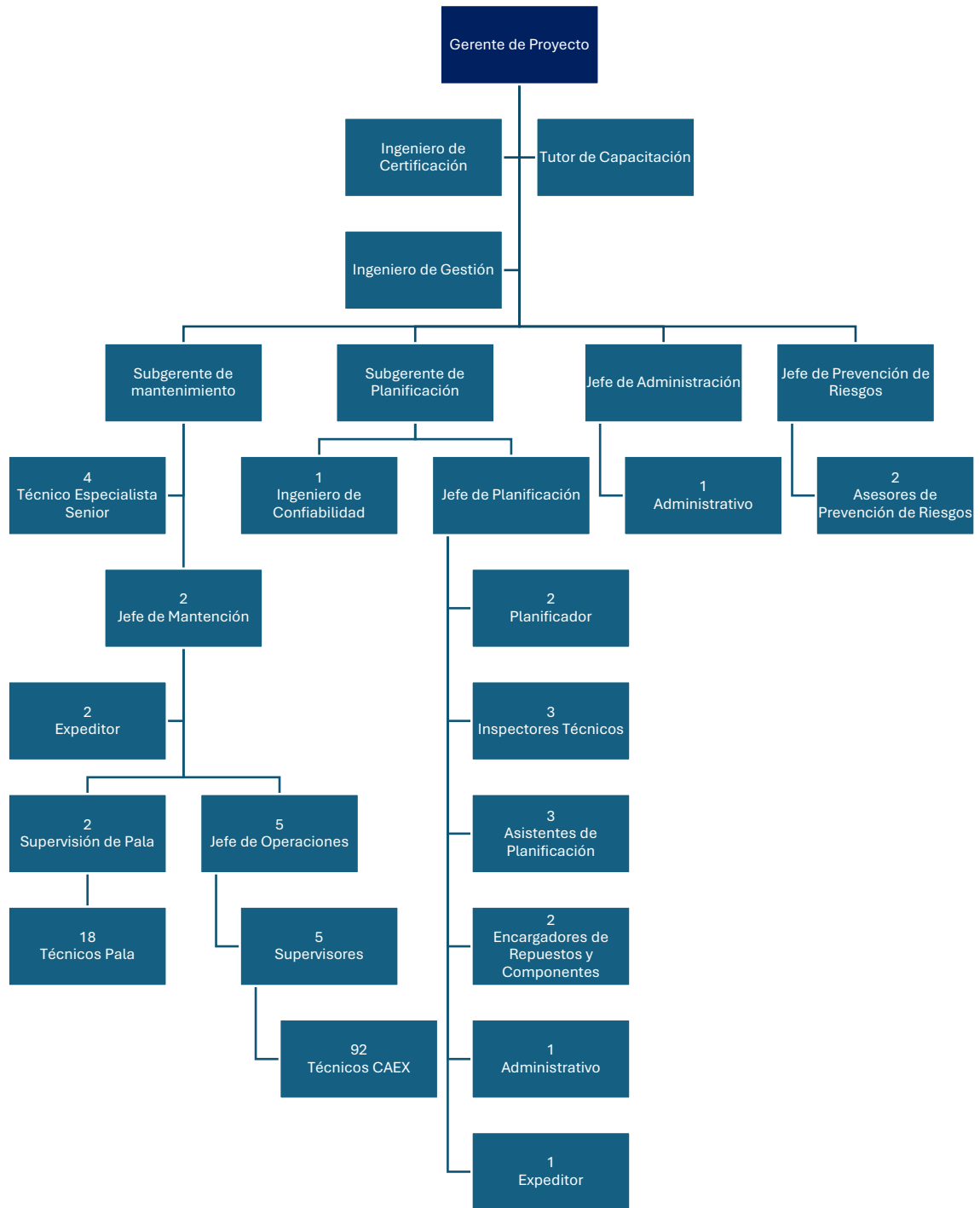
El fundador de Komatsu Meitaro Takeuchi asumió el control de la mina de cobre de Yusenji en 1902, impulsando mejoras tecnológicas y educativas en la comunidad al financiar proyectos de mecanización y establecer escuelas. Anticipando la disminución de los depósitos de cobre, fundó Komatsu Iron Works en 1917 para proporcionar una nueva fuente de empleo. En 1921, evolucionó a Komatsu Manufacturing Corporation, enfocándose en productos de acero fundido, marcando el inicio de la empresa actual.

La empresa, bajo el liderazgo de Takeuchi, mantuvo principios fundamentales como la calidad, la innovación tecnológica y el desarrollo humano. Comprometido con la comunidad, creó oportunidades educativas y de empleo, desafiando la mentalidad convencional al mantener la sede en la zona rural donde se fundó. Durante la Segunda Guerra Mundial, los equipos de Komatsu contribuyeron a satisfacer las demandas militares, y después de la guerra, el gobierno japonés buscó su ayuda para impulsar la producción agrícola. En la década de los cincuenta, Komatsu se globalizó, exportando productos y estableciendo presencia en varios países. La empresa expandió su alcance, manteniendo una estrategia de producción global y liderazgo local, invirtiendo en cada comunidad donde operaba. A lo largo de los desafíos, los equipos de Komatsu avanzaron juntos, innovando, diversificándose y expandiéndose globalmente para crear valor en los mercados y comunidades a los que servían.

La presencia de Komatsu en Chile se remonta a más de cien años, inicialmente a través de distribuidoras locales. No obstante, en 1999, la empresa tomó una decisión estratégica crucial al establecerse directamente en el país, dando origen al holding Komatsu Cummins Chile Limitada. Menos de una década después, en 2009, la oficina regional de Komatsu para América Latina en el sector minero se trasladó de Miami, Estados Unidos, a Santiago de Chile. Este cambio de ubicación no solo reconoció el trabajo destacado en Chile, sino también subrayó la confianza de la compañía en el país como un centro estratégico. Uno de los activos más destacados de Komatsu Chile es su compromiso con la Faena Los Pelambres, que se convierte en una unidad de negocio de gran relevancia. Esto se debe en gran parte a la cantidad de equipos que forman parte de este contrato y a los volúmenes significativos asociados con los servicios de mantenimiento y la venta de repuestos.

1.1.1. Komatsu Chile-Minera Los Pelambres

La dotación de personas que integra Komatsu Chile en minera los pelambres, son alrededor de 155 personas que están distribuidos en diferentes áreas, como operaciones, planificación, administración y el departamento de prevención de riesgo.



Fuente: Komatsu Chile Faena Los Pelambres

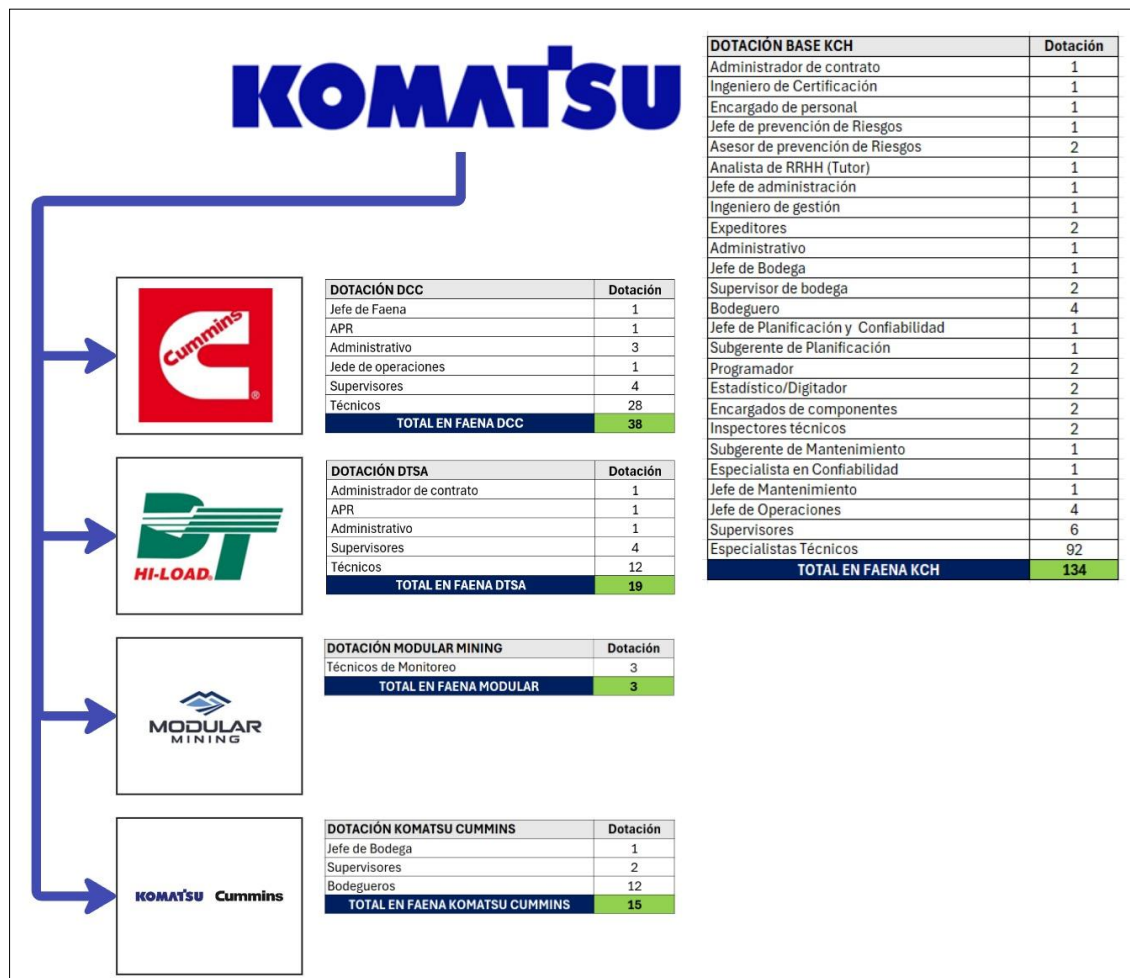
Diagrama 1-1 Organigrama Komatsu Chile – Minera Los Pelambres.

1.1.2. Abastecimiento de recursos en faena KCH-MLP

Para asegurar un abastecimiento efectivo de recursos para el mantenimiento, es crucial que las diversas divisiones de apoyo dentro de la empresa trabajen de manera coordinada. A continuación, se detalla la interacción entre las operaciones en faena, las sucursales y las funciones centralizadas de apoyo.

1.1.2.1. Dotación

La gestión de recursos humanos se encarga de la contratación y administración del personal en faena. En colaboración con el Centro de Formación Komatsu (CFK), se enfoca en aumentar la capacitación de técnicos, supervisores y administrativos. En Faena Los Pelambres, la dotación contractual es de 209 personas, incluyendo 92 técnicos dedicados al programa de mantenimiento y personal de soporte operativo y administrativo.



Fuente: Confección propia en base a contrato Komatsu MLP

Figura 1-1 Dotación base Komatsu MLP

1.1.2.2. Repuestos

La gerencia de repuestos estima el consumo futuro y genera solicitudes, mientras que el Departamento de cadena de suministros se encarga de la compra, transporte y almacenamiento de repuestos en centros de distribución y faenas.

1.1.2.3. Componentes

La subgerencia de componentes provee componentes para tareas programadas y no programadas, utilizando un nivel de servicio basado en la demanda esperada y ciclos de reparación en los talleres de Komatsu.

1.1.2.4. Instructivos y procedimientos de trabajo

La subgerencia de estandarización de procesos desarrolla y actualiza regularmente los instructivos y procedimientos aplicados a las diversas tareas de mantenimiento, almacenándolos en la Biblioteca virtual de Komatsu.

1.1.2.5. Herramientas especiales

Este departamento de estandarización diseña y adquiere herramientas especiales necesarias para ejecutar las tareas de mantenimiento.

1.1.2.6. Instalaciones

Las instalaciones necesarias, según lo acordado contractualmente, generalmente son proporcionadas por el cliente y deben cumplir con requisitos específicos como bodegas, baños, oficinas, pañoles y grúas puente.

1.1.2.7. Equipos de servicio

Utilizados durante detenciones en terreno, estos equipos como torres de iluminación, camiones lubricadores, grúas horquillas, y camiones pluma son esenciales para las operaciones de mantenimiento.

1.1.2.8. Equipos

Suministrados por el cliente para ejecutar tanto mantenimientos programados como no programados, la coordinación precisa entre ambas partes es crucial para asegurar la disponibilidad y el uso efectivo de los equipos según los intervalos y horas estipuladas.

1.1.3. Dotación del contrato Base Komatsu Pelambres

Según el contrato firmado entre MLP y KCH, la dotación base consta de un total de 191 personas en faena, que trabajan en turnos de 7x7 y 4x3, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1-1 Jornada laboral Contrato KCH- MLP

Turno	Inicio turno	Termino turno
Turno 7x7	08:00	20:00
	20:00	08:00
Turno 4x3	Lun – Mie 08:00	20:00
	Jue 08:00	13:00

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

Este contrato inicialmente contemplaba un total de 52 equipos Komatsu 930E. Con el transcurso del tiempo, la cantidad total de equipos ha aumentado a 56 desde el año 2017 hasta la actualidad. Actualmente, la dotación real en faena es de 209 personas, distribuidas entre el personal propio (como el Administrador de contrato, Asesor de seguridad, y personal de administración, planificación y técnicos) y el personal subcontratado, que incluye motoristas y soldadores asociados al contrato base.

Las siguientes tablas detallan la distribución del contrato base, separadas por Komatsu Chile, así como los subcontratos con Cummins Chile y Desarrollos Tecnológicos S.A.

Tabla 1-2 Dotación contrato KCH-MLP

EQUIPOS	CANTIDAD
930E-4	56

DOTACIÓN BASE KCH	Dotación
Administrador de contrato	1
Ingeniero de Certificación	1
Encargado de personal	1
Jefe de prevención de Riesgos	1
Asesor de prevención de Riesgos	2
Analista de RRHH (Tutor)	1
Jefe de administración	1
Ingeniero de gestión	1
Expedidores	2
Administrativo	1
Jefe de Bodega	1
Supervisor de bodega	2
Bodeguero	4
Jefe de Planificación y Confiabilidad	1
Subgerente de Planificación	1
Programador	2
Estadístico/Digitador	2
Encargados de componentes	2
Inspectores técnicos	2
Subgerente de Mantenimiento	1
Especialista en Confiabilidad	1
Jefe de Mantenimiento	1
Jefe de Operaciones	4
Supervisores	6
Especialistas Técnicos	92
TOTAL EN FAENA KCH	134

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

En las siguientes tablas se presenta la dotación de personal en las diferentes empresas analizadas.

Tabla 1-3 Dotación contrato DCC en KCH-MLP

DOTACIÓN DCC	Dotación
Jefe de Faena	1
APR	1
Administrativo	3
Jefe de operaciones	1
Supervisores	4
Técnicos	28
TOTAL EN FAENA DCC	38

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

Tabla 1-4 Dotación contrato DTSA en KCH-MLP

DOTACIÓN DTSA	Dotación
Administrador de contrato	1
APR	1
Administrativo	1
Supervisores	4
Técnicos	12
TOTAL EN FAENA DCC	19

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

Tabla 1-5 Dotación contrato Modular Mining en KCH-MLP

DOTACIÓN MODULAR MINING	Dotación
Técnicos	3
TOTAL EN FAENA DCC	3

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

Tabla 1-6 Dotación contrato Komatsu Cummins en KCH-MLP

DOTACIÓN KOMATSU CUMMINS	Dotación
Jefe de bodega	1
Supervisores	2
Bodegueros	12
TOTAL EN FAENA DCC	15

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

Resumiendo, el total de la dotación de Komatsu MLP consta de 209 personas, reflejado en la siguiente tabla con el total del capital humano.

Tabla 1-7 Dotación contrato Komatsu MLP

DOTACIÓN KOMATSU MLP	Dotación
KOMATSU CHILE	134
CUMMINS	38
DTSA	19
MODULAR	3
KOMATSU CUMMINS	15
TOTAL EN FAENA DCC	209

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

1.2. **ANTECEDENTES DEL CONTRATO KOMATSU PELAMBRES**

A continuación, se presentan los antecedentes más relevantes del contrato actual de la empresa Komatsu en minera Los Pelambres.

1.2.1. Contrato Komatsu Pelambres

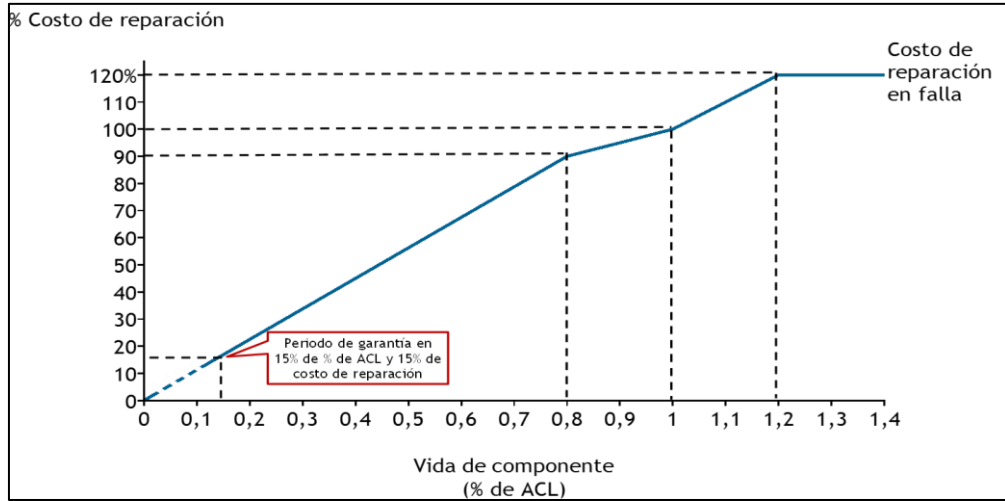
El contrato actual de Komatsu Chile con Minera Los Pelambres, conocido como contrato LPP (Labor Plus Part), comenzó a operar en el año 2018. En virtud de este acuerdo, Komatsu Chile suministra el personal necesario y los repuestos requeridos para llevar a cabo los servicios de mantenimiento de la flota de camiones 930E, los cuales son costeados por el cliente, es decir, Minera Los Pelambres. La composición de la flota de camiones de Komatsu Chile en Faena Los Pelambres.

Tabla 1-8 Flota de transporte y Carguío

Equipos	Cantidad
Camiones Komatsu 930 E-3	8
Camiones Komatsu 930 E-4	47
Camiones Komatsu 930 E-5	1
Pala Komatsu PC 5500	2
TOTAL	58

Fuente: Contrato Komatsu-MLP

Adicionalmente, Komatsu Chile mantiene un contrato denominado PORRATA, que se basa en un modelo de gestión de riesgos y costos para la duración y reparación de componentes. La operatividad de este contrato PORRATA en cuanto al porcentaje del tiempo de vida promedio de los componentes (ACL) en relación con el costo de reparación se ilustra en el grafico 1-1.



Fuente: Contrato Komatsu- MLP

Gráfico 1-1 Operación de la PORRATA de los componentes

1.3. INDICADORES DEL CONTRATO KOMATSU PELAMBRES

En esta sección, se presentan los indicadores clave del contrato entre MLP y KCH, diseñados para medir el desempeño técnico en términos de disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos bajo contrato. Estos indicadores se mantendrán válidos durante las primeras 90,000 horas de operación de los equipos, según el horómetro de cada uno.

1.3.1. Disponibilidad física y contractual

La disponibilidad contractual se establece con una meta del 86% para toda la flota de equipos, basada en las horas de operación mensual y excluyendo ciertas causas de detención. Se define como la proporción del tiempo total disponible menos las horas de reparación y mantenimiento, excluyendo detenciones por razones operacionales, mal uso, negligencia, espera de espacio en el taller, y otros eventos fuera de la responsabilidad de KCH. Además, KCH monitoriza la disponibilidad física con una meta del 85%, que incluye todas las detenciones, independiente de su causa.

1.3.2. Confiabilidad Contractual

El indicador de confiabilidad contractual se mide mediante el Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF o MTBF), que calcula la frecuencia de fallas de los equipos. Para el contrato MLP-KCH, este índice se fija en 50 horas. El TMEF se calcula mensualmente, sumando las horas de operación entre cada falla para obtener un promedio, lo que permite evaluar la confiabilidad del equipo en términos de tiempo operativo continuo sin fallas.

1.3.3. Mantenibilidad Contractual

La mantenibilidad contractual se evalúa usando el Tiempo Medio Para Reparar (TMPR o MTTR), con una meta establecida de 5 horas para todo el rango de horómetros. Este indicador se calcula mensualmente, promediando los tiempos de reparación desde la última falla del mes anterior hasta la última falla del mes en curso. Para este cálculo, se excluyen las reparaciones programadas y se aplican las mismas exclusiones usadas en la disponibilidad. Este enfoque permite medir la eficiencia en la reparación de los equipos y la capacidad de retorno rápido a la operación.

1.3.4. Tiempo de mantenimiento programado vs imprevisto

Aunque este indicador no está presente en el contrato MLP-KCH, Komatsu Chile S.A. lo utiliza como meta corporativa a nivel nacional. El objetivo es alcanzar un 60% de mantenimiento programado y un 40% de mantenimiento imprevisto. Este balance busca optimizar la planificación y gestión del mantenimiento, minimizando interrupciones inesperadas y mejorando la eficiencia operativa a través de un enfoque proactivo en la programación del mantenimiento.

1.3.5. Resumen de indicadores reales del contrato

Con base a los datos reales presentados en la última auditoría de procesos 2023, se indicará la tendencia de indicadores del contrato, para tenerlo como un punto de referencia para la propuesta del PMO (optimización del mantenimiento preventivo). A continuación, se presenta un resumen de los indicadores y su evolución desde 2019 hasta 2022.

Tabla 1-9 Resumen KPIs 2019-2022, KCH-MLP

Indicadores	META	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022
Disponibilidad Contractual CAEX	>= 86%	87,75	87,81	87,73	89,84
Desviación de mantenimiento CAEX	<=15%	13,92	9,81	11,73	13,61
Evento Programados CAEX	>=60%	48,95	51,57	46	49
Tiempo Promedio entre fallas (MTBF) CAEX	>=50	75,83	77,71	68,4	72,1

Fuente: Auditoría de procesos 2023, KCH

1.4. **SERVICIO DE MANTENIMIENTO KOMATSU PELAMBRES**

El servicio de mantenimiento que ofrece Komatsu en minera Los Pelambres incluye variadas actividades dentro de los alcances del servicio. Incluye la planificación y programación del mantenimiento, estableciendo el plan matriz y programando las actividades para ejecutar intervenciones asociadas a la reparación y mantenimiento de los equipos. El mantenimiento preventivo sigue las pautas establecidas en los programas exigidos por el fabricante y aquellas recomendadas por Komatsu según su experiencia. Algunas actividades pueden ajustarse en intervalos o tareas según condiciones medioambientales, operativas o técnicas, sin afectar el precio ni los indicadores del servicio de Komatsu.

El mantenimiento predictivo y monitoreo de condiciones utiliza el sistema Komtrax Plus para tomar decisiones sobre mantenimiento preventivo, incluyendo la toma de muestras de aceite y la interpretación de análisis resultantes. Las reparaciones menores abordan problemas surgidos durante la operación normal del equipo, mientras que las reparaciones de componentes mayores se centran en reparaciones y overhauls en los talleres Komatsu Reman Center Chile o autorizados por KCH.

El mantenimiento y reparación de motores diésel cubre el mantenimiento y reparaciones en terreno de los motores diésel instalados en cada equipo, excluyendo reparaciones mayores y overhauls, que se realizan en maestranzas de Distribuidora Cummins Chile.

El servicio de mantenimiento del CAEX cuenta con dos activos principales que merecen ser destacados. Por un lado, tenemos el camión en sí, que incluye la estructura, sistemas hidráulicos como el levante, frenos y dirección, así como sistemas eléctricos de alta y baja potencia. Por otro lado, está el motor diésel Cummins QSK60, debido a las dimensiones del equipo, su construcción, tecnología y complejidad, así como su tasa de fallas, recibe mantenimiento programado por la empresa representante de fábrica, Cummins Chile. Gráficamente, estas dos categorías de mantenimiento del CAEX se pueden observar en la siguiente ilustración:

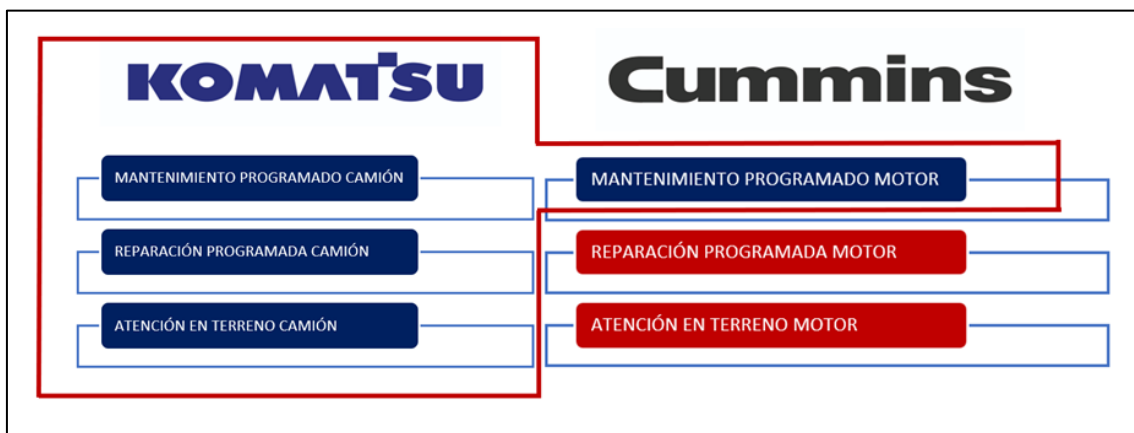


Fuente: Confección propia en base al contrato Komatsu MLP

Figura 1-2 Categorías de mantenimiento Komatsu v/s Cummins

A través de la ilustración anterior se puede identificar con color azul que Komatsu está encargado del mantenimiento programado, reparación programada y atención en terreno de camión. Por otra parte, con color rojo se identifica que la empresa Cummins se encarga del mantenimiento programado, reparación programada y atención en terreno del motor diésel. No obstante, tras decisiones contractuales del cliente en este caso AMSA (Antofagasta Minerals), en el año 2024 la empresa Komatsu toma responsabilidad de ejecución del mantenimiento programado de motor por lo que la Empresa Cummins sólo queda en responsabilidad de la reparación programada y atención en terreno por imprevistos que pueda tener el motor diésel.

A través de la siguiente ilustración se puede apreciar cual es la nueva responsabilidad de la empresa Komatsu Chile:



Fuente: Confección propia en base al contrato Komatsu MLP

Figura 1-3 Categorías de mantenimiento 2 Komatsu v/s Cummins

Tal como se aprecia en la ilustración anterior, la empresa Komatsu toma la responsabilidad de asumir el mantenimiento programado de motor y esto implica todas las complejidades que puedan existir de un nuevo proyecto tanto la gestión humana es decir que se necesitan técnicos capacitados para intervenir el motor diésel, gestión de documentación, seguir nuevos instructivos de trabajo, gestión de implementación de nuevas herramientas, por lo que el servicio de mantenimiento y la línea operativa como planificación tienen nuevos desafíos que asumir.

En cuanto a la dotación de personal se planifica la ejecución del mantenimiento programado de CAEX con 4 técnicos. Esto incluye 1 técnico con especialidad de eléctrico, 2 técnicos mecánicos hidráulicos y 1 técnico con especialidad como motorista para ejecutar las pautas de mantenimiento a cabalidad.

1.5. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ACTUAL DE MOTORES CUMMINS QSK60 EN FAENA LOS PELAMBRES

La empresa Komatsu toma el liderazgo y responsabilidad de ejecutar el mantenimiento de motores Cummins QSK60 por solicitud del cliente Antofagasta Minerals por lo que al ser una decisión tan rápida no se cuentan con todos los recursos a disposición para ejecutar correctamente las tareas, por lo que es necesario hacer un diagnóstico preliminar de la situación actual que se encuentra la empresa Komatsu para comenzar a gestionar la ejecución del mantenimiento de motores Cummins QSK60.


1.5.1. Pauta de mantenimiento de Motores Cummins QSK60

Las directrices de mantenimiento para motores Cummins QSK60 deben ser validadas por la fábrica de Cummins, ya que estas constituyen el estándar normativo fundamental que rige las labores a realizar por el personal de Komatsu. Por consiguiente, Cummins Chile, representante oficial de la fábrica en Chile y ubicada en Faena Los Pelambres, se encargará de asegurar que las tareas realizadas cumplan con los criterios adecuados tanto en términos de frecuencia de intervención como en la ejecución misma del mantenimiento.

En este contexto, Komatsu asume la responsabilidad de llevar a cabo la pauta de mantenimiento, lo que implica ejecutar las tareas especificadas por Cummins Chile para garantizar que el activo físico alcance la meta deseada de TBO (17,500 horas) en condiciones óptimas.

Tomar el control de la pauta de mantenimiento te sitúa en el papel de auditor de la ejecución, permitiéndote tener una visión más precisa del estado de tus activos físicos. Esto te brinda la capacidad de garantizar de manera eficiente la correcta ejecución tanto de las tareas programadas como de las no planificadas. Anteriormente, cuando Cummins Chile tenía el control total del activo físico, esta supervisión directa no era posible. Ahora, se establece una responsabilidad compartida para mantener el activo en condiciones operativas óptimas.

PM/930E-3/MLP/750



PAUTA DE MANTENCION 750h
Motor 930E-3 Faena MLP

EQUIPO		HORÓMETRO INICIO		HORA DE INICIO	
		HORÓMETRO TÉRMINO		HORA DE TÉRMINO	
FECHA		DURACIÓN NOMINAL		hrs.	SUPERVISOR
RUTA 1				hrs.	RUTA 3
RUTA 2				hrs.	OTROS
AUTÓNOMO				hrs.	

El balance de carga y la asignación adicional de H-H son responsabilidad exclusiva de la faena.

Cód	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	Realizado por	Programar (Si / No)	OBSERVACIONES
	VERIFICAR QUE EL EQUIPO SE ENCUENTRA LAVADO Y LIMPIO DE MANERA DE ASEGURAR UN CORRECTO TRABAJO Y DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES INDICADAS EN ESTE DOCUMENTO.			
	<i>Para la pauta de mantención siguiente, aplica como guía el Instructivo Técnico IG-0020-KCH REF E-009-KCH: Ejecución MP Equipos Komatsu.</i>			
	<i>Las siguientes actividades a realizar son con equipo ENERGIADO MOTOR DETENIDO. se deben tomar todas las precauciones de seguridad correspondientes. Según instructivo "Intervención de equipo energizado y/o en pruebas para camiones eléctricos IG-0004-KCH"</i>			

Fuente: Departamento Planificación Komatsu

Figura 1-4 Fragmento Pauta mantenimiento Motor 750 horas

1.5.2. Procedimiento de trabajo seguros

Los procedimientos de trabajo seguros son esenciales para llevar a cabo las tareas de mantenimiento de manera efectiva, ya que proporcionan los lineamientos esenciales para su ejecución. Estos documentos contienen descripciones detalladas de los elementos de seguridad requeridos, así como una lista completa de las herramientas necesarias. Además, ofrecen un paso a paso detallado de la tarea, garantizando la calidad de los trabajos realizados y minimizando el riesgo de accidentes o incidentes operacionales.

En este sentido la empresa Komatsu tuvo que confeccionar los procedimientos de trabajo de seguro en conjunto con el departamento de Cummins Chile y el área SSOMA (seguridad, salud ocupacional y medio ambiente) de Komatsu ya que son dos empresas que se gestionan de manera diferente. El resultado de la creación de esta documentación, aunque haya sido aprobado por el área SSOMA se identifican oportunidades de mejora.

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60	
	KOP - 1 - 1071 - MLP	REV.: 0

PROCEDIMIENTO MANTENCIONES EN MOTORES DIESEL QSK 60 (CAEX)

INDICE

- 1.- OBJETIVO
- 2.- ALCANCE
- 3.- RESPONSABILIDAD
- 4.- EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
- 5.- EPP
- 6.- BLOQUEOS
- 7.- PERSONAL REQUERIDO Y SUS COMPETENCIAS
- 8.- DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
- 9.- ALARMAS
- 10.- RESPUESTA ANTE IMPREVISTOS O EMERGENCIAS
- 11.- CONTROL DE CAMBIOS

IMPORTANTE

El presente procedimiento deberá utilizarse como un complemento a los procedimientos de fábrica (Shop Manual), para tomar conciencia de los peligros presentes durante la ejecución de la actividad y de las medidas de control que se requieran para minimizar los riesgos que puedan afectar la seguridad y salud de las personas, al medio ambiente y/o la calidad del servicio.

Ante cualquier desviación a lo establecido en este procedimiento, ya sea por falta de algún recurso o por un cambio en las condiciones ambientales, es obligación realizar un análisis seguro del trabajo (ART), el cual debe identificar los riesgos adicionales y sus respectivos controles.

	Nombre	Cargo	Fecha	Firma
Emitido por:	Evanan Maldonado	Subgerente Mantenimiento	28/06/23	
Revisado por:	Richard Torres	Jefe de Prevención de Riesgos	29/06/23	
Aprobado por:	Flavio Cofré	Subgerente de planificación	26/06/23	

Fuente: Departamento de planificación Komatsu

Figura 1-5 Procedimiento mantenciones en motores Diesel QSK60 (CAEX)

A continuación, la siguiente imagen refleja un fragmento del procedimiento de trabajo seguro.

19. Cerrar llave de paso del combustible.
20. Drenar filtros de combustible.
21. Retirar filtros de combustibles.
22. Instalar filtros de combustible.
23. Abrir llave de paso del combustible.
24. Cebiar sistema de combustible.
25. Cambiar filtros de refrigerante, según p al equipo.
26. Cerrar llave de paso refrigerante.
27. Retirar filtros de refrigerante.
28. Instalar filtros de refrigerante.
29. Abrir llave de paso refrigerante.

Fuente: PTS KOP-I-1071-MLP ("procedimiento de mantenciones en motores Diesel QSK60 (CAEX)")

Figura 1-6 Fragmento de procedimiento mantenimiento motores Cummins QSK60

Al analizar el estado actual del procedimiento de trabajo seguro destinado a garantizar la calidad en la ejecución de las tareas de mantenimiento, se identifica una oportunidad de mejora. Aunque el procedimiento está detallado paso a paso, podría beneficiarse de la inclusión de fotografías que proporcionen una referencia visual precisa de la ubicación de los componentes y cómo por ejemplo el verificar el cierre de una llave de paso. Aunque la información está bien detallada, el uso de imágenes podría eliminar cualquier ambigüedad y brindar una mayor claridad al técnico durante la ejecución de las tareas. Es importante tener en cuenta que los responsables técnicos del mantenimiento pueden no ser expertos en motores Cummins QSK60, y que no se requiere que estén certificados en la marca. Por lo tanto, es fundamental reconocer esta condición y considerarla como una oportunidad de mejora para facilitar la ejecución de las tareas de mantenimiento de manera eficiente y segura.

1.5.3. Gestión de insumos, repuestos y materiales.

En lo que respecta a la gestión de insumos, repuestos y materiales, se mantiene el enfoque actual. Desde la firma del contrato con Komatsu en la mina Los Pelambres, esta gestión ha sido delegada a una tercera empresa conocida como Komatsu Cummins Chile (KCC). Esta entidad se encarga de gestionar, almacenar y distribuir los insumos, repuestos y materiales tanto para Komatsu Chile (responsable del mantenimiento de CAEX y palas en la faena Los Pelambres) como para Cummins Chile (encargada del mantenimiento de motores Cummins QSK60 en faena Los Pelambres). Por lo tanto, se seguirá utilizando este sistema de gestión actual, aprovechando así la liberación y delegación de estas responsabilidades a terceros.

1.5.4. Gestión de herramientas

Esta parte de la gestión de mantenimiento es muy relevante, ya que para ejecutar una nueva línea de mantenimiento se necesitan tanto herramientas básicas como herramientas especiales y únicas que son validadas y certificadas por la fábrica de los motores Cummins QSK60. Por ende, es bastante crucial que se fijen correctamente los alcances y niveles de mantenimiento que ejecutarán los técnicos Komatsu en los motores Cummins QSK60, ya que al listar las tareas de mantenimiento se deberán solicitar todas y cada una de las herramientas necesarias para la correcta ejecución, como también el stock de redundancia de herramientas en caso de emergencias por pérdidas o deterioros de estas. Esto puede incurrir en costos por indisponibilidad, por falta de algunas herramientas para ejecutar el mantenimiento. Por ende, esta gestión es fundamental para las operaciones y el contrato de Komatsu en minera Los Pelambres.

1.5.5. Gestión del capital humano

Así como en los otros aspectos de gestión mencionados, es imprescindible contar con técnicos capacitados y entrenados para llevar a cabo las tareas de mantenimiento en los motores Cummins QSK60. Es importante señalar que los técnicos que se espera que se encarguen del mantenimiento de los motores no necesariamente tienen experiencia laboral previa en la ejecución de tareas de mantenimiento en motores diésel, si no que únicamente han realizado tareas de mantenimiento en los camiones Komatsu. Estas tareas se han centrado principalmente en áreas como hidráulica, neumática, electricidad, mediciones y lectura de planos, siempre aplicadas al contexto de los camiones Komatsu. Ahora se les encarga la responsabilidad adicional de llevar a cabo el mantenimiento en un motor diésel de alta potencia, lo que supone un nuevo desafío para todos los técnicos de Komatsu. Este cambio implica que los técnicos deberán familiarizarse con nuevos componentes y sistemas inherentes a los motores diésel, lo que requerirá una ampliación de sus conocimientos y la necesidad de capacitarse para cumplir con esta nueva línea de mantenimiento solicitada por el cliente, Antofagasta Minerals.

1.5.5.1. Auditoría de Gestión de conocimientos

Para realizar un diagnóstico de la situación actual de los conocimientos que poseen los técnicos para realizar una pauta de mantenimiento de motores diésel es que para motivos específicos de este trabajo de título es que se confeccionó un formato que permita auditar como nos encontramos actualmente en conocimientos de la pauta de mantenimiento que se entrega para ejecutar el mantenimiento de motores Cummins QSK60.


El objetivo de este documento consiste en listar todas y cada una de las tareas de mantenimiento y realizar una autoevaluación consultándole directamente al técnico que tan capacitado se siente de ejecutar cada tarea que le solicita el documento de mantenimiento en este caso llamado pauta de mantenimiento de motores Cummins QSK60. Este documento llamado "Auditoria de gestión de conocimientos de pauta de motor Cummins QSK60" se otorgó a los 4 turnos para que pudiesen dar un diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de motores Cummins QSK60.

Tabla 1-10 Pauta de mantención 750h [1/5]

KOMATSU®	PAUTA DE MANTENCIÓN 750h Motor 930E-4 Faena MLP		 UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA				
AUDITORIA DE GESTIÓN DE CONOCIMIENTOS DE PAUTA DE MOTOR CUMMINS QSK60							
NUNCA HA EJECUTADO	Técnico nunca ha ejecutado la actividad de mantenimiento						
EJECUTA CON SUPERVISIÓN	Técnico a ejecutado la actividad de mantenimiento con supervisión en la tarea de mantenimiento						
EJECUTA SIN SUPERVISIÓN	Técnico puede ejecutar actividad de mantenimiento sin supervisión en la tarea de mantenimiento						
LIDERA Y PUEDE ENSEÑAR	Técnico comprende principios de funcionamiento, puede liderar y enseñar tarea de mantenimiento						
NOMBRE DE TÉCNICO							
CARGO (MEC – ELEC)							
FECHA							
GRUPO (MARQUE CON X)	1		2		3		4

Fuente: Confección propia en base a Auditoría Gestión Conocimientos

Tabla 1-11 Pauta de mantención 750h [2/5]

©	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	NUNCA HA EJECUTADO	EJECUTA CON SUPERVISIÓN	EJECUTA SIN SUPERVISIÓN	LIDERA Y PUEDE ENSEÑAR
C	INICIAL (Con Equipo Energizado y Motor Detenido)				
C60	Realizar medición de restricción de admisión en cabina. Registrar valor				
C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2), Start/Stop, Fault Log.				
C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150				
C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos 				
C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150				
C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina				
C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener transmisión Specto)				
C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite				
C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistema Specto				
C68	Validar funcionamiento de luces de estanque auxiliar				
C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En caso de encontrar alguna desviación reportar.				
C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferencial Specto)				
C70	Validar limpieza de colectores de polvo				
C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas				
C72	Revisión general de fugas de aire, refrigerante y/o aceite				
C73	validar que no estén presentes ruidos extraños en el equipo. en caso de encontrarse alguna anomalía, dejar registro.				

Fuente: Confección propia en base a Auditoría Gestión Conocimientos

Tabla 1-12 Pauta de mantención 750h [3/5]

Cód	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	NUNCA HA EJECUTADO	EJECUTA CON SUPERVISIÓN	EJECUTA SIN SUPERVISIÓN	LIDERA Y PUEDE ENSEÑAR
N07	Inspeccionar pernos de fijación de escape, en caso de encontrarse con desviación, reponer.				
N44	Verificar fugas entre múltiple de escape y base de turbocargador (estado de empaquetadura)				
N08	Inspeccionar pernos de catridge, en caso de encontrarse con desviación, reponer.				
N45	Verificar que los seguros de tornillos de catridge turbocargadores se encuentren doblados, sino rectificar.				
N09	Inspeccionar integridad de bellows y fijación de abrazaderas.				
N46	Inspección de pernos de culata y fugas por empaquetaduras de base				
N10	Revisar que no exista fugas en el sistema de lubricación				
N11	Inspeccionar base, soporte y tapa de filtro Eliminator				
N47	Verificar el torque de los pernos en la base de eliminator e inspeccionar que no existan fisuras (torque de 33 lb-pie)				
N48	Revisión conector drenaje eliminator. Verificar que acople rápido esté en buen estado				
N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cárter se encuentren sin dobleces y libres de obstrucción en la punta. Se debe realizar limpieza				
N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrigeración, tanque de expansión y tapa de radiador				
N50	Revisar fugas del sistema de escape				
N13	Revisar que no exista fugas en el sistema de combustible				
N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de combustible				

N15	Decantado de agua de filtros de combustible primera etapa para Motor Diesel MCRS				
N16	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de filtros de combustible primera etapa (o ring np 3945125-00)				
N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor (Trunnion). Si cuenta con sistema automático de engrase, verificar nivel de grasa y funcionamiento, si es necesario, cambie depósito de grasa				
N18	Inspección y limpieza conectores contaminados y defectuosos				
N51	Revisar estado y fijación de conector sensor blowby y guardapolvo				
N52	Inspeccionar arneses (motor, J1939) y sensores de motor diésel (estado y fijación). visualizar sensor y arnés de nivel estanque auxiliar				
N19	Inspeccionar condición de rodillo tensor de correa de fan				
N53	Revisar que las aspas del ventilador estén en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (el torque de los pernos de las aspas del ventilador debe ser de 175 lb-pie)				
N54	Inspeccionar fugas por cubo ventilador y juego axial				
N20	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del ventilador				
N21	Validar giro libre del Alternador de 24 Volts				
N22	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del Alternador de 24 Volts				
N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (presencia de los 3 pernos de anclaje, presencia de fluidos, conexiones en buen estado)				

Fuente: Confección propia en base a Auditoría Gestión Conocimientos

Tabla 1-13 Pauta de mantención 750h [4/5]

	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	NUNCA HA EJECUTADO	EJECUTA CON SUPERVISIÓN	EJECUTA SIN SUPERVISIÓN	LIDERA Y PUEDE ENSEÑAR
N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulicas Prelube				
N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de motor.				
N25	Inspeccionar y validar termocuplas (fijación, estado de aislación y validar el ruteo del cableado no tenga roce con estructura)				
N26	inspección de las mangueras tanto de lubricación como de refrigeración de los turbos (alta y baja)				
N27	Verificar que no exista roces en flexibles en general (alimentación ecva, flexibles timing, caños de alimentación intercooler, alimentación y retorno de turbos de alta y baja)				
N28	Chequear condición de buje y eje centrifugo				
N29	Chequear condición hilo tapa centrifugo				
N30	Registrar peso filtro Spiratec				
N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador				
N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero (acople motor con alternador principal)				
N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos				
N34	Inspeccionar sellado de ductos de admisión con ultrasonido				
N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registrar valor				
N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI ✕				
N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etapa) para Motor Diesel MCRS				
N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de reserva.				
N58	Revisar nivel de refrigerante				

N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Etapa) para Motor Diesel MCRS				
N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI				
N39	Cambio de filtro de aceite para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI				
N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combustible para Motor Diesel MCRS				
N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambiar los filtros de aire HPI, realice el cambio de filtros de acuerdo a la restricción: - Restricción máxima permisible de admisión: 1) Elemento del filtro limpio: 15" H2O 2) Elemento del filtro sucio: 25" H2O Registrar el peso de filtros primarios retirados.				
N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva				
	Pruebas a realizar una vez terminadas todas las actividades de la Pauta de mantenimiento y previo a la entrega del equipo. Se deben tomar todas las precauciones de seguridad correspondientes.				
AN	PRUEBAS FINALES				
AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las inspecciones. Confirmar que todos los valores de torques y presiones medidos queden registrados en columna observaciones.				
AN02	Verificar que ninguna herramienta, perno, tuerca o cualquier elemento extraño quede en el equipo al término de la mantención. Si esto sucede puede provocar un daño o mal funcionamiento del equipo.				

Fuente: Confección propia en base a Auditoría Gestión Conocimientos

Tabla 1-14 Pauta de mantención 750h [5/5]

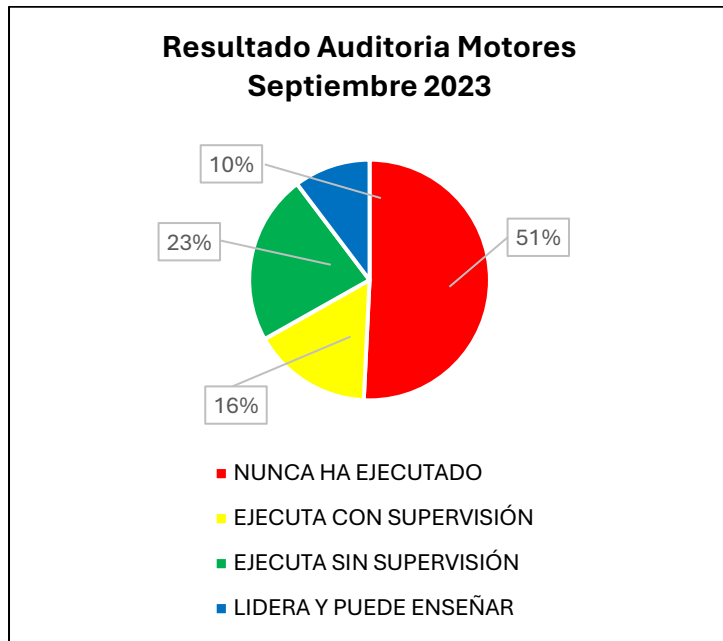
NOMBRE DE TÉCNICO	NUNCA HA EJECUTADO	EJECUTA CON SUPERVISIÓN	EJECUTA SIN SUPERVISIÓN	LIDERA Y PUEDE ENSEÑAR	TOTAL
GRUPO 1					0
Ivo Parra Lara	25	25	15	4	69
Robinson Pérez Lemus	53	11	4	1	69
Roberto Barrera C.	26	20	23	0	69
Nicolás Álvarez	47	7	11	4	69
José Leal	51	0	18	0	69
Javier Díaz López	36	0	33	0	69
Benjamín Martínez Geraldi	50	5	14	0	69
Sebastián Arenas Peñailillo	23	19	24	3	69
Juan Calderón	43	8	18	0	69
Germán Soza Sepúlveda	0	0	0	69	69
Manuel Jimenez B.	0	0	0	69	69
GRUPO 2					
Kevin Bacon Duran	31	7	0	31	69
Matías Cáceres	69	0	0	0	69
Esteban Silva	45	0	24	0	69
Enrique Herrera	45	1	22	1	69
Robinson Muñoz León	19	0	45	5	69
Iván Muñoz Osorio	1	41	22	5	69
Juan Basualto Colipe	0	0	0	69	69
Franco López V.	0	0	2	67	69
Fredy Jofré Escobar	43	11	14	1	69
Sergio Ramírez Pasten	51	0	18	0	69
Marcelo Balai	16	0	53	0	69
Dennis González	17	48	4	0	69
Pedro Álvarez B.	25	0	24	20	69
Carlos Quiroz Diaz	48	7	14	0	69
Sara Fierro	67	1	1	0	69
Luis Enrique González González	18	27	8	16	69
Jannss Pablo López López	55	0	0	14	69
F. Ballesteros Moya	23	4	4	38	69
Dennis Valentín Guzmán	31	1	6	31	69
Joaquín Chaparro	42	13	14	0	69
GRUPO 3					
Cristina Ossandón	59	0	10	0	69
Luis Castro	33	23	13	0	69
Alan Cuturrufo Caimanque	52	2	15	0	69
Gonzalo Dinamarca Peñaloza	21	0	48	0	69
Mario Rodríguez A.	0	3	35	31	69
Waldo Robles Rivera	42	4	23	0	69
Juan Ayala Carreño	52	11	6	0	69
Mauricio Vera	62	7	0	0	69
Daniel Urrea Acevedo	40	16	8	5	69
Jorge Olivares F	61	0	8	0	69
Luis Barrera Núñez	27	0	0	42	69

Juan Carlos Bravo	37	3	29	0	69
Ítalo Salinas A.	65	0	4	0	69
Felipe Meléndez Meléndez	0	0	69	0	69
Alexander Green Bernal	69	0	0	0	69
Diego Torres Castillo	0	0	53	16	69
Víctor Godoy Plaza	42	16	11	0	69
Giovanny Vasallo	51	0	18	0	69
Cristopher Moncada A.	1	0	27	41	69
GRUPO 4					
Nicolás Rojas Flores	19	27	23	0	69
Antonio Varas Araya	46	7	4	12	69
Juan Herrera O.	35	24	10	0	69
Hugo Rivera López	39	30	0	0	69
Francisco Robles Parada	33	12	24	0	69
Nelson González A	21	37	11	0	69
Cristian González Molina	40	19	10	0	69
Bernardo López Figueroa	53	0	15	1	69
Sergio Aguirre Castañas	55	12	2	0	69
Juan Flores León	26	13	12	18	69
Danilo Villalón	55	14	0	0	69
Carlos González Carrasco	45	16	8	0	69
Daniel Palma	69	0	0	0	69
Alejandro Puerson	66	0	3	0	69
Diego Miranda Araya	31	6	32	0	69
José Rivas Urrutia	0	59	10	0	69
Jaime Márquez Maturana	0	42	27	0	69
Samuel Fuentes Mancilla	0	57	12	0	69
Ignacio Álvarez Meriño	0	27	42	0	69
	NUNCA HA EJECUTADO	EJECUTA CON SUPERVISIÓN	EJECUTA SIN SUPERVISIÓN	LIDERA Y PUEDE ENSEÑAR	
	2347	743	1057	476	4623
	50,77%	16,07%	22,86%	10,30%	67

Fuente: Confección propia en base a Auditoría Gestión Conocimientos

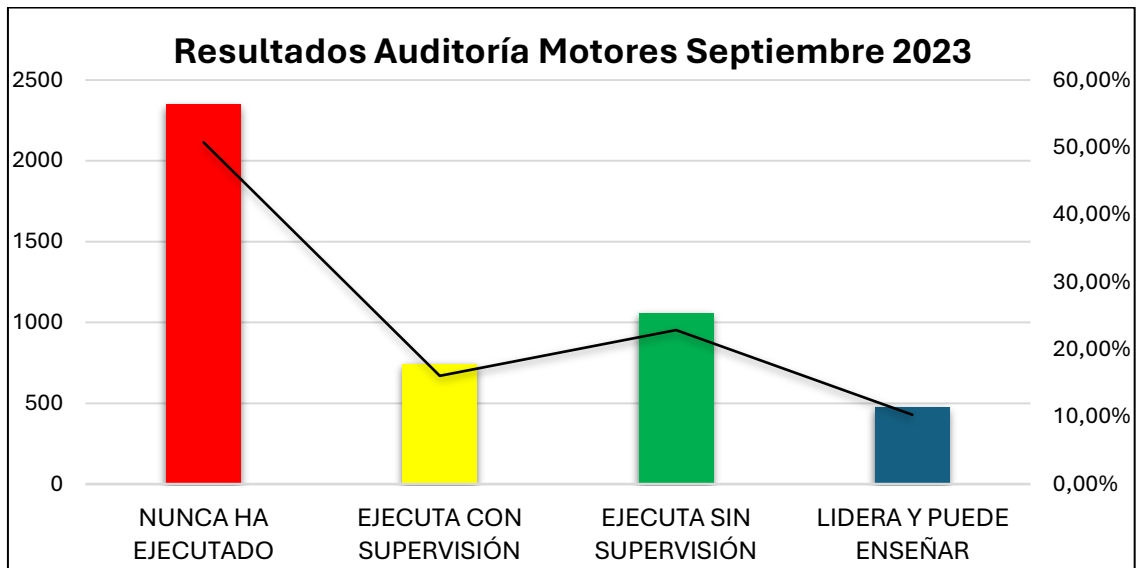
Este documento logró ser llenado por el personal técnico Komatsu que es responsable de ejecutar las laboras de mantenimiento del motor Cummins QSK60 para diagnosticar la situación actual de los conocimientos de los técnicos en cuanto a esta pauta de mantenimiento en específico.

1.5.5.2. Resultados tabulados



Fuente: Confección propia en base a Auditoría Gestión Conocimientos

Gráfico 1-2 Grafico circular resultados auditoria motores septiembre 2023



Fuente: Confección propia en base a Auditoría Gestión Conocimientos

Gráfico 1-3 Resultado de auditoría motores septiembre 2023

En esta auditoría participaron un total de 67 técnicos de mantenimiento de CAEX. Los resultados obtenidos reflejan lo que se había previsto inicialmente, y mediante este informe se puede constatar que solo el 10,30% de las tareas en general son realizadas por los técnicos, quienes se sienten capaces de "liderar y enseñar" en relación con las pautas de mantenimiento de los motores Cummins QSK60.

Es preocupante que, en septiembre de 2023, luego de tres meses después de asumir la responsabilidad de llevar a cabo el mantenimiento preventivo de este nuevo activo, obtengamos estos resultados. Esto indica que son muy pocas las personas que están llevando a cabo el mantenimiento de los motores, cuando en realidad todos deberían estar participando en las labores de mantenimiento preventivo de los motores Cummins.

1.5.6. Diagnóstico general de la gestión de mantenimiento actual de Motores Cummins QSK60

Tras realizar un análisis preliminar de la gestión actual del mantenimiento de los motores Cummins QSK60, se identifican varias deficiencias que representan oportunidades de mejora. Cualitativamente, las áreas que requieren mayor atención son la gestión de las pautas de mantenimiento, ya que constituyen el núcleo de lo que necesitamos mejorar para optimizar los indicadores clave y también gestión del capital humano ya que cuantitativamente se encuentra muy por debajo de lo esperado. Sin embargo, es necesario enfocarse en identificar las causas más significativas por las cuales el motor diésel llega a ser considerado un activo crítico en el diagrama Jackknife.

Existen metodologías altamente efectivas para identificar la causa raíz de las fallas y eliminar modos de falla de manera eficiente. Sin embargo, este trabajo de titulación se centrará en abordar las deficiencias utilizando una metodología menos conocida llamada optimización del mantenimiento preventivo, en adelante PMO, la cual será detallada más adelante.

CAPÍTULO 2: PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

2. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

A continuación, se describen las propuestas de mejoramiento para el contrato Komatsu en minera Los Pelambres. En primer lugar, se dará un contexto teórico de la estrategia PMO (optimización del mantenimiento preventivo) para luego ser aplicado en el contrato.

2.1. MARCO TEÓRICO DEL PMO (OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO)

En este ítem se describirá el marco teórico de la estrategia PMO (optimización del mantenimiento preventivo) y su paso a paso.

2.1.1. Metodología PMO

El PMO, u Optimización del Mantenimiento Preventivo, es una estrategia o enfoque utilizado en la gestión de mantenimiento de equipos, maquinaria o sistemas. Su objetivo principal es maximizar la eficiencia y la fiabilidad de los activos a través de la aplicación de prácticas de mantenimiento preventivo de manera óptima.

En lugar de simplemente seguir un programa estándar de mantenimiento preventivo, el PMO implica analizar datos históricos, condiciones operativas actuales y otras variables relevantes para determinar el momento óptimo para realizar el mantenimiento preventivo. Esto puede ayudar a evitar mantenimientos innecesarios que pueden interrumpir la producción o generar costos adicionales, al tiempo que garantiza que los equipos estén en condiciones óptimas para operar de manera segura y eficiente.

La Metodología PMO no es tan simple de explicar sobre todo por el hecho que no tiene libros publicados ni bibliografía validada que respalden que esta estrategia sea realmente efectiva. No obstante, existe documentación publicada por Steve Turner donde explica su modelo PMO2000.

2.1.2. Similitud metodología RCM y PMO

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), introducido en la industria de la aviación en los años 70 y formalizado en 1978 por F. Stanley Nowlan y Howard Heap, es un proceso que asegura la disponibilidad total de los recursos físicos de una empresa mediante la identificación y frecuencia adecuada de las actividades de mantenimiento. Basado en la evaluación y monitoreo constante de los componentes críticos, el RCM aplica técnicas proactivas y predictivas para eliminar averías, proporcionar información sobre la capacidad de producción, y minimizar

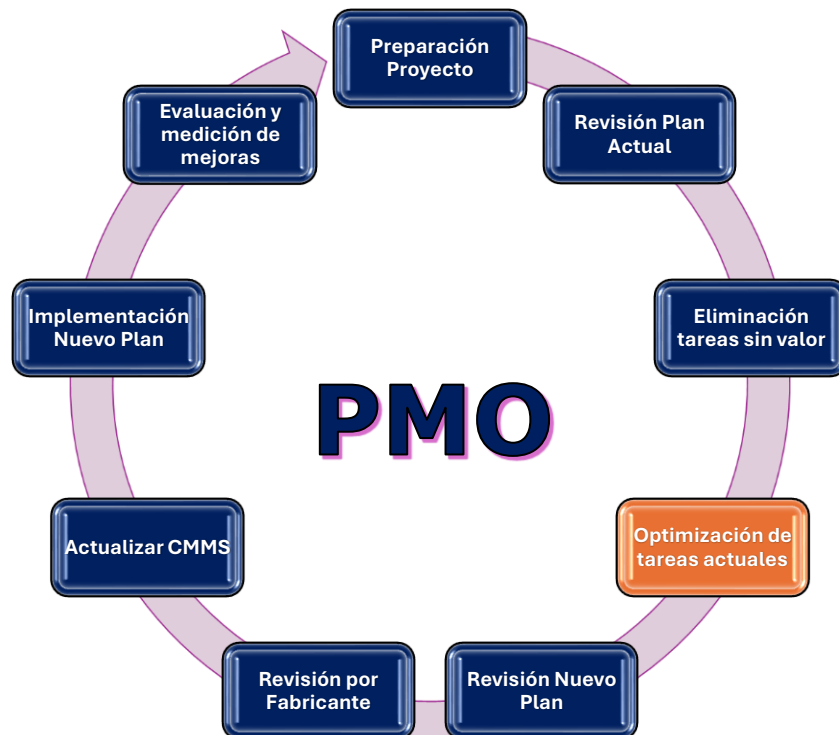
costos de reparación. Desarrollado por un equipo multidisciplinario, se adapta a las necesidades reales de la organización considerando la seguridad, el medio ambiente y la eficiencia operativa, fomentando una actitud crítica en el personal para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria.

La metodología PMO busca por otra parte maximizar la eficiencia del mantenimiento preventivo, es decir, que busca ordenar, clasificar, identificar patrones que permitan reducir los tiempos y mal gastar recursos en actividades de mantenimiento que no aportan valor al núcleo del proceso.

Frecuentemente, se asume que las metodologías persiguen el mismo objetivo al centrarse en aumentar la eficiencia de los procesos, la confiabilidad de los equipos y reducir el MTTR. Sin embargo, aunque comparten estas metas generales, el objetivo principal del PMO es más específico: reducir los tiempos logísticos asociados al mantenimiento preventivo y asegurar que los trabajos se ejecuten con la calidad adecuada. Esto implica una planificación meticulosa, la coordinación eficiente de recursos y personal, y la implementación de controles de calidad rigurosos para garantizar que las intervenciones preventivas sean efectivas y oportunas.

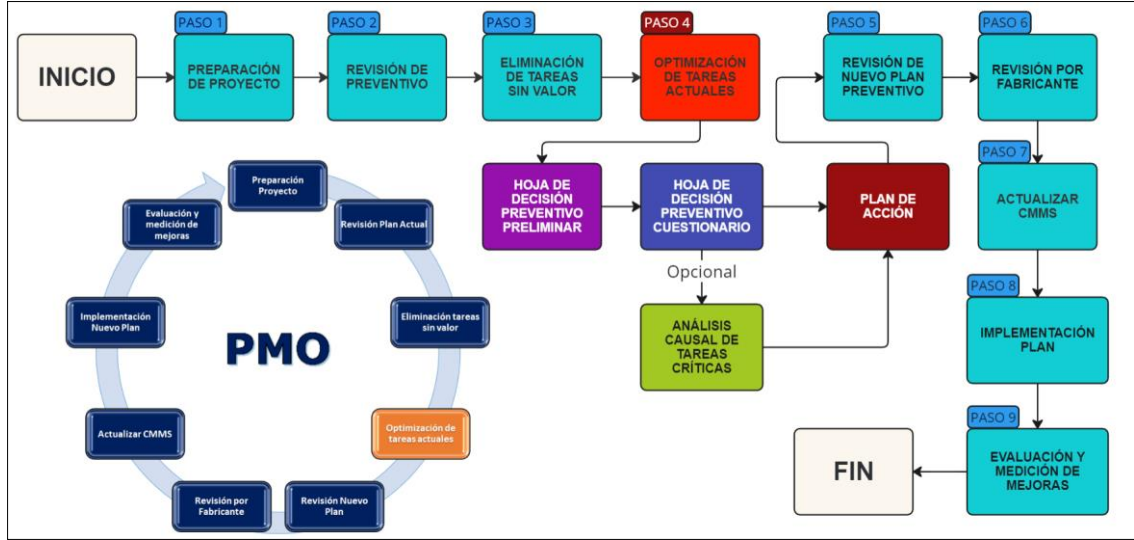
2.1.3. Pasos metodología PMO

El PMO u optimización del mantenimiento preventivo como ya se menciona en el punto anterior es una estrategia de la gestión de mantenimiento. Esta consta de 9 pasos claves para ser implementado, estos pasos se detallarán a continuación:



Fuente: Confección propia adaptado de PMO 2000

Diagrama 2-1 PMO



Fuente: Confección propia adaptado de PMO 2000

Diagrama 2-2 Paso a paso del PMO

2.1.3.1. Preparación el proyecto de optimización

Antes de iniciar un proyecto de optimización de mantenimiento, es esencial consultar a la gerencia para asegurar la alineación con los objetivos estratégicos de la empresa y obtener el apoyo necesario. Se deben discutir los objetivos del proyecto, como la mejora de la eficiencia y la reducción de tiempos de inactividad, y su alcance, incluyendo qué equipos o sistemas se verán afectados. Los recursos necesarios, como personal especializado y tecnología, también deben ser identificados. Es esencial definir los indicadores clave como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), para medir el éxito del proyecto. Además, se deben identificar riesgos potenciales y estrategias de mitigación, considerar posibles términos de faena y cambios en estrategias de mantenimiento, como la transición de un mantenimiento correctivo a un mantenimiento predictivo. Confirmar el apoyo activo de la gerencia y establecer un plan de comunicación claro para mantener a todas las partes interesadas informadas sobre el progreso del proyecto es vital para el éxito.

En este punto, es vital emplear técnicas de jerarquización de activos críticos para cuantificar y visualizar cuáles son los equipos más importantes de mi planta, faena o contrato. Estas técnicas permiten priorizar los equipos en función de su impacto en la operación. Se pueden utilizar herramientas como el diagrama de Pareto, que destaca los equipos que contribuyen más significativamente a los problemas, o el diagrama de dispersión logarítmico Jackknife, que ayuda a identificar los equipos más críticos y frecuencia de fallas.

2.1.3.2. Revisión plan de mantenimiento del equipo crítico

Para este punto cuando ya se identifica el equipo que se requiere optimizar se debe realizar una evaluación exhaustiva del plan de mantenimiento actual de ese equipo, en su defecto la pauta de mantenimiento con todos sus niveles dentro de ciclo de vida del activo. Este proceso incluye analizar la documentación existente, en todos los niveles de mantenimiento, es válido realizar entrevistas a trabajadores especializados y observaciones directas para recabar más antecedentes. Es importante revisar los instructivos, paso a paso o procedimientos de trabajo asociados a cada actividad de mantenimiento de la pauta de mantenimiento. También revisaremos los costos, recursos y equipos de apoyo actuales asociados con el mantenimiento del equipo y detectaremos problemas recurrentes y oportunidades de mejora. Finalmente, se documentarán todos los hallazgos y se preparará un informe detallado con las observaciones encontradas.

La correcta identificación de las tareas preventivas nos permitirá contar con más información para la optimización. Por ello, es fundamental identificar la ruta crítica de las actividades preventivas para establecer un escenario preliminar y detectar oportunidades de mejora.

2.1.3.3. Eliminación tareas duplicadas y sin valor

En este punto, si el análisis previo se ha realizado adecuadamente, ya se habrán identificado tareas o actividades de mantenimiento que no aportan valor en ningún nivel. Cuando se confeccionan pautas de mantenimiento hay veces que se documentan tareas duplicadas o actividades que ya están incluidas o contenidas en otras. Es crucial eliminar estas tareas redundantes o, en su defecto, unificar actividades cuando se refieren al mismo modo de falla, optimizando así el plan de mantenimiento y evitando esfuerzos innecesarios.

2.1.3.4. Optimización de tareas actuales

En este punto, se deben revisar las tareas que permanecen tras el análisis del punto anterior, ya que estas actividades son las que realmente aportan valor al activo. Se utilizará una propuesta propia creada para el presente trabajo de título que se deberán contestar una serie de preguntas que permitirán entender el contexto global del activo y ofrecer una optimización consistente.

I. Hoja de decisiones para PMO

Esta es una propuesta elaborada de manera personal para el trabajo de título donde se propone un formato tipo cuestionario para tomar decisiones para optimizar las tareas actuales de mantenimiento.

a) Datos Preliminar

Para comenzar a utilizar PMO (optimización del mantenimiento preventivo) es necesario en primer lugar llenar los datos preliminares

que servirá para alimentar a la hoja de decisiones de preventivo preliminar, para ello se realizan 3 preguntas:

- ¿Cuánto es el tiempo de ciclo de vida del activo?: Esta pregunta busca responder cuantas son las horas que por fábrica o por contrato tiene que cumplir para realizar un mantenimiento mayor, es decir, busca responder al TBO (time between overhual) del activo o tiempo entre reacondicionamiento del activo.
- ¿Cuántos son los activos que deben cumplir esta actividad de mantenimiento?: Esta pregunta está relacionada con la cantidad de activos similares que tengo en la flota o conjunto de activos que trabajan en similares condiciones operacionales.
- ¿Cuánto es la pérdida estimada por indisponibilidad por hora del activo que se está analizando?: CPH: Para calcular este costo se recomienda utilizar el costo de mejoramiento señalado en el libro Mantenimiento de equipos en minas a cielo abierto, Víctor Barrientos, es diferente en concepto al costo de falta por impacto en pérdida de producción, no obstante, es igual al costo por hora de indisponibilidad del equipo.

A continuación, se muestra la tabla que se utiliza para llenar los datos preliminares.

Tabla 2-1 Datos preliminares para hoja de decisiones de preventivo

Datos Preliminares para Hoja de Decisiones de Preventivo Preliminar		
¿Cuánto es el tiempo del ciclo de vida del activo? [En Horas]	/	Horas
¿Cuántos son los activos que deben cumplir esta actividad de mantenimiento? [La cantidad de activos]	/	[-]
¿Cuánto es la pérdida estimada por indisponibilidad por hora del activo que se está analizando? [en USD]	/	[USD]

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

b) Hoja de decisiones de preventivo preliminar

Para crear esta hoja de decisiones preliminar se deben listar todas las actividades de mantenimiento en todos sus niveles en la columna "Tarea/Actividad". A continuación, se explica punto por punto todas las columnas.

- Columna A: ID Tarea: En este punto se debe asignar un número de identificación único para la tarea/actividad.

- Columna B: Tarea/Actividad: Se debe identificar la tarea o actividad preventiva del plan de mantenimiento actual.
- Columna C: Te[*min*]: ¿Cuánto es el tiempo real para cada actividad o tarea? [En horas]
- Columna D: HP: ¿Cuántos técnicos se necesitan para ejecutar actividad?
- Columna E: F: ¿Cuál es la frecuencia de ejecución de la tarea planificada? [En Horas]
- Columna F: Tf[*h*]: ¿Cuánto es el tiempo del ciclo de vida del activo? [En Horas]
- Columna G: CA: ¿Cuántos son los activos que deben cumplir con esta tarea?
- Columna H: HHf: Cálculo de HH necesario para ejecutar tarea durante el ciclo de vida. No es necesario calcular nada, la formula en esta columna es la siguiente:

$$HHf = \left(\frac{Te}{60}\right) * HP * \left(\frac{F}{Tf}\right)$$

Donde:

HHf : Cálculo de HH necesario para ejecutar la tarea en el ciclo de vida.

Te : Tiempo real que toma cada actividad en minutos.

HP : Cantidad de técnicos necesarios para cada actividad.

F : Frecuencia de ejecución de cada actividad.

Tf : Tiempo del ciclo de vida del activo en horas.

- Columna I: PP: Esta columna refleja la pérdida estimada según el impacto en la producción de la actividad preventiva en el ciclo de vida del activo.

$$PP = \left(\frac{Te}{60}\right) * \left(\frac{F}{Tf}\right) * CPH$$

Donde:

PP : Pérdida de producción estimada en el ciclo de vida del activo.

Te : Tiempo real que toma cada actividad en minutos.

F : Frecuencia de ejecución de cada actividad.

Tf : Tiempo del ciclo de vida del activo en horas.

CPH : Costo por hora de indisponibilidad del activo.

- Columna J: TT: Indicar el tipo de tarea (tarea por condición, sustitución cíclica, reacondicionamiento cíclico, tarea predictiva).
- Columna K: MF: ¿Cuál modo de falla cubre esta actividad?

A continuación, se muestra un ejemplo de llenado de la hoja de decisiones preventivo preliminar.

Tabla 2-2 Hoja de decisiones de preventivo preliminar

HOJA DE DECISIONES DE PREVENTIVO PRELIMINAR									
ID Tarea	Tarea o Actividad	¿Cuánto es el tiempo real para cada actividad o tarea? [En minutos]	¿Cuántos técnicos se necesitan para ejecutar actividad?	¿Cuál es la frecuencia de ejecución de la tarea planificada? [En Horas]	¿Cuánto es el tiempo del ciclo de vida del activo? [En Horas]	¿Cuántos son los activos que deben cumplir esta actividad?	Cálculo de HH necesario para ejecutar tarea durante el ciclo de vida	Indicar el tipo de tarea (tarea por condición, sustitución cíclica, reacondicionamiento cíclico, tarea predictiva)	¿Cuál modo de falla cubre esta actividad?
ID Tarea	Tarea o Actividad	Te[min]	HP	F	Tf[h]	CA	HHf	TT	MF
001		1	2	500	17500	56	70	Tarea por condición	MF001
002		2	3	700	17500	56	150	Sustitución cíclica	MF004
003		3	1	500	17500	56	140	Reacondicionamiento cíclico	MF012
004		4	1	500	17500	56	210	Tarea por condición	MF002
005		5	1	500	17500	56	105	Tarea por condición	MF018
006		6	2	500	17500	56	140	Tarea predictiva	MF022

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

c) Hoja de decisiones de preventivo cuestionario

Se debe seguir el formato que se estaba ejecutando para responder un cuestionario acerca de las actividades o tareas preventivas del plan actual de mantenimiento.

- Columna L: a) ¿Esta tarea es adecuada para mitigar el modo de falla en su totalidad?
- Columna M: b) ¿Es inviable cambiar el tipo de tarea por otra por ejemplo de tarea por condición a predictivo sin afectar la capacidad de cubrir el modo de falla?
- Columna N: c) ¿La frecuencia de ejecución de la tarea es la adecuada o puede ser modificada?
- Columna O: d) ¿Se utilizan los recursos adecuados? Cantidad de personas, horas de ejecución, además, ¿los equipos de apoyo son los adecuados y se encuentra funcionando como corresponde?
- Columna P: ¿Es totalmente necesario ejecutar esta actividad/tarea? (ya que la ejecuta otra área)

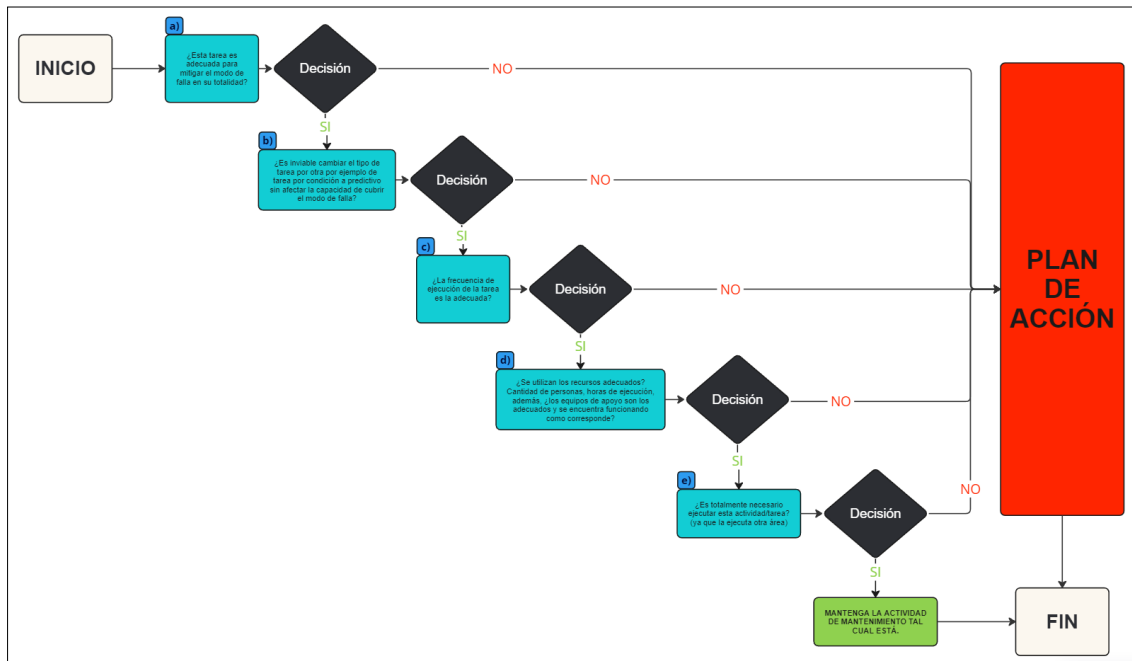
En la tabla 2-3 se muestra un ejemplo de llenado de la hoja de decisiones preventivo cuestionario.

Tabla 2-3 Hoja de Decisiones de Preventivo Cuestionario

Hoja de Decisiones de Preventivo Cuestionario				
¿Esta tarea es adecuada para mitigar el modo de falla en su totalidad?	¿Es inviable cambiar el tipo de tarea por otra por ejemplo de tarea por condición a predictivo sin afectar la capacidad de cubrir el modo de falla?	¿La frecuencia de ejecución de la tarea es la adecuada?	¿Se utilizan los recursos adecuados? Cantidad de personas, horas de ejecución, además, ¿los equipos de apoyo son los adecuados y se encuentra funcionando como corresponde?	¿Es totalmente necesario ejecutar esta actividad/tarea? (ya que la ejecuta otra área)
a)	b)	c)	d)	e)
SI	SI	SI	NO	SI
SI	SI	SI	SI	NO
SI	NO	SI	SI	SI
SI	SI	SI	NO	SI
SI	NO	NO	SI	SI
SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

El siguiente diagrama presenta el flujograma de decisiones en caso responder con un sí o con un no las preguntas del cuestionario de la hoja de decisiones.



Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

Diagrama 2-3 hoja de decisión para PMO

II. Análisis causal de tareas críticas

En el paso anterior del cuestionario se identificaron los problemas. Ahora es necesario determinar las causas de estos problemas. Este paso es opcional, por lo que se puede proceder directamente al plan de acción. No obstante, para lograr un análisis más completo, se recomienda emplear métodos más exhaustivos, como el método de las 6M o el diagrama de Ishikawa. Cabe destacar que el método del diagrama de Ishikawa puede ser modificado según la conveniencia del facilitador; cualquier dimensión puede ser ajustada o se puede agregar alguna nueva, y no siempre se utilizan todas las dimensiones.

A continuación, se detallan las dimensiones recomendadas para analizar:

- a) Mano de obra: Esta dimensión abarca las habilidades, competencias, motivaciones y eficiencias del personal. Se debe considerar si el personal cuenta con la capacitación adecuada, si existen incentivos para mejorar el desempeño y si hay problemas relacionados con la moral o la comunicación dentro del equipo de trabajo.
- b) Método: Se refiere a los instructivos y procedimientos que utiliza el personal como guía para ejecutar las tareas. Es esencial evaluar si los procedimientos están actualizados, son claros y están bien documentados. También se debe analizar si existen métodos estándar y si el personal sigue estos métodos de manera consistente.

- c) **Máquina:** Esta dimensión abarca el estado de los activos y posibles problemas de diseño que reducen la mantenibilidad. Se incluyen las causas provocadas por las herramientas utilizadas y la disminución de eficiencia debido a fallas logísticas en equipos de apoyo a la tarea. Es fundamental revisar el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de apoyo.
- d) **Materiales:** Se relaciona con las causas provocadas por la falta de insumos o por la calidad de los materiales que no cumple con los estándares requeridos. Es importante evaluar el proceso de adquisición, almacenamiento y manejo de los materiales, así como la relación con los proveedores y la gestión de inventarios.
- e) **Medio ambiente:** Esta dimensión se refiere a las condiciones intrínsecas del ambiente laboral, como temperatura, humedad, iluminación y acceso. Se debe analizar si el entorno de trabajo es seguro y cómodo, y si las condiciones ambientales están afectando el rendimiento del personal o la calidad del mantenimiento. Además, se deben considerar factores externos que puedan influir en el ambiente de trabajo.
- f) **Medición:** Abarca la precisión y la integridad de los datos recibidos, datos faltantes, datos erróneos, mala coordinación por falta de datos, seguimiento inadecuado, datos desagrupados o mediciones anteriores imprecisas que causan problemas en las tareas a ejecutar. Es crucial tener un sistema de medición robusto y confiable que permita un seguimiento adecuado y facilite la toma de decisiones basada en datos precisos.

Cada una de estas dimensiones puede ser modificada según la conveniencia del facilitador del método y el activo que esté analizando. Es posible ajustar cualquier dimensión o agregar nuevas según sea necesario, y no siempre es imprescindible utilizar todas las dimensiones mencionadas. Esto permite una flexibilidad en el análisis que se adapta a las necesidades específicas del proyecto o problema en cuestión.

A continuación, se muestra la tabla recomendada para utilizar el análisis causal de tareas críticas.

Tabla 2-4 Tabla análisis causal de tareas críticas

Análisis causal de tareas críticas					
Mano de obra	Método	Máquina	Materiales	Medio ambiente	Medición
1M	2M	3M	4M	5M	6M

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

III. Propuestas de solución a tareas críticas

Luego de completar todos los pasos anteriores se tendrán todos los antecedentes de las problemáticas y las causas detalladas de cada una de las tareas o actividades preventivas del plan de mantenimiento del activo. Se sugiere calcular el dato de la pérdida de producción del activo el ciclo de vida según el costo de indisponibilidad por hora, de esta forma comparar si se justificase la implementación de las propuestas de solución y sean consecuentes con el costo asociado a las problemáticas.

La siguiente tabla muestra un ejemplo de propuesta de solución a las tareas críticas que requieren planes de acción.

Tabla 2-5 Planes de acción para PMO

Propuesta de solución a las tareas críticas
Plan de acción
PdA
Eliminar tarea. Se ejecuta, pero no cubre ningún modo de falla
Modificar y cambiar tipo de tarea.
Modificar frecuencia según especialistas.
Modificar frecuencia según especialistas.
Mantener tarea tal como está.
Mantener tarea tal como está.
Modificar cantidad de personas y horas de ejecución

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

2.1.3.5. Revisión de nuevo plan mantenimiento

En este paso, es importante revisar las nuevas actividades de mantenimiento y asegurar que no se omitió ninguna tarea ya que puede que se hayan modificado una o varias tareas. Se deben ordenar y agrupar las nuevas actividades en un orden de tal manera que permita optimizar su ejecución de principio a fin.

Para completar este paso, es crucial identificar los modos de falla críticos que actualmente afectan al activo. Esto se debe a que los modos de falla identificados en el plan preventivo actual podrían no abordar adecuadamente las fallas que se están presentando. Por lo tanto, antes de organizar las nuevas tareas preventivas, se recomienda identificar si se requieren tareas adicionales no contempladas originalmente, que puedan prevenir la indisponibilidad del equipo.

2.1.3.6. Revisión de recomendaciones fabricante

Suena redundante, pero es muy importante revisar nuevamente que las nuevas actividades de mantenimiento propuestas no superen a las bases fijadas por el fabricante. La nueva pauta de mantenimiento deberá ser revisada y aprobada por el fabricante o el representante de la marca para evitar futuros inconvenientes o problemas de garantías.

2.1.3.7. Actualizar sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS)

Es importante preparar el sistema computarizado de gestión de mantenimiento antes de implementar el nuevo plan de mantenimiento ya que una vez se encuentre en proceso de ejecución se debe hacer un correcto registro en la base de datos de las tareas nuevas a realizar, asignando las responsabilidades correspondientes. En el caso de no poseer un sistema computarizado de gestión de mantenimiento es importante poseer mínimo una base de datos que almacene los datos relevantes y hallazgos para llevar un control efectivo del mantenimiento.

2.1.3.8. Implementar nuevo plan de mantenimiento

Cuando ya se encuentren todos los pasos anteriores ejecutados y validados se debe implementar el nuevo plan de mantenimiento entregando las nuevas pautas de mantenimiento a los técnicos con un periodo de adaptación y facilitadores que permitan entrenar al equipo de trabajo a ejecutar de correcta forma los nuevos planes de mantenimiento. Esta estrategia se debe mantener en el tiempo hasta que los equipos ya se encuentren plenamente familiarizados con el nuevo plan.

2.1.3.9. Evaluación y medición de mejoras

Tras la implementación del nuevo plan de mantenimiento se recomienda esperar un tiempo prudente según el núcleo del trabajo que podría ser de 3 a 6 meses para realizar una evaluación de indicadores claves, lo esperado es que se optimicen los tiempos de ejecución del mantenimiento preventivo y aumente la confiabilidad del activo ya que otro objetivo del PMO es mejorar la calidad de la ejecución de las tareas. Es importante, medir las mejoras es por lo que en el paso número 1 se debe establecer claramente los indicadores claves que busco optimizar y crear una curva de tendencias para saber si el plan de mantenimiento fue efectivo en su implementación. Por último, entrevistar a la línea técnica y supervisión de manera cualitativa sus impresiones del nuevo plan de mantenimiento, es valioso crear ambientes de trabajos cómodos para los trabajadores.

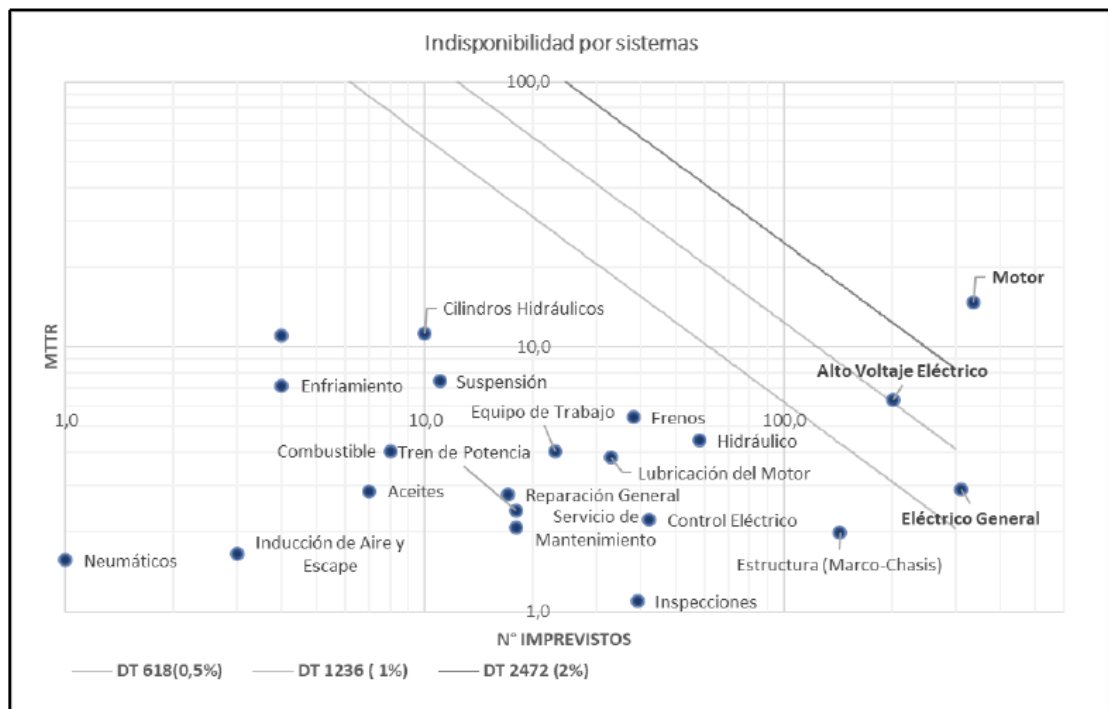
2.1.4. Aplicación de PMO en faena los Pelambres

A continuación, se documenta la aplicación del PMO (optimización del mantenimiento preventivo) en el contrato Komatsu de Faena Los Pelambres.

2.1.4.1. Preparación el proyecto de optimización

Para ejecutar un proyecto de optimización es importante siempre velar por que el activo que se esté analizando sea crítico. En este caso el mantenimiento programado del motor diésel es muy importante para la operación y se puede observar de manera gráfica que en el diagrama de dispersión se ubica sobre la ISO (2%) que supera las 2472 [horas] de detención.

En el diagrama 2-4 se muestra el diagrama jackknife de minera Los Pelambres septiembre 2023



Fuente: Confiabilidad Komatsu

Diagrama 2-4 Diagrama Jackknife septiembre 2023

La empresa Komatsu subcontrató a una empresa externa para que ejecutara el mantenimiento de los motores diésel. Por parte de la estrategia de la gerencia de Komatsu decide finiquitar el subcontrato y adjudicarse la responsabilidad de ejecutar y controlar el mantenimiento de motores diésel con técnicos propios el día 12 de junio de 2023. Durante la etapa inicial se detectan muchas demoras en la ejecución de las tareas por falta de estandarización de herramientas, instructivos de trabajo no son

claros para ejecutar las tareas, pautas de mantenimiento genéricas sin optimización. Por esta razón es importante investigar las causas raíz de manera más detallada y proponer soluciones rápidas y acertadas con costos justificados dentro del presupuesto de mantenimiento. Como indicador principal para este proyecto de optimización se tomará el tiempo medio para ejecutar el mantenimiento preventivo de la pauta de motor diésel, este indicador se mantiene en promedio dentro de las 12 [horas] o 14 [horas] para ejecutar el preventivo de motor diésel.

2.1.4.2. Revisión plan de mantenimiento del equipo crítico

En este paso se listan todas las tareas preventivas del plan de mantenimiento de todos los niveles de mantenimiento del activo y se realiza un análisis preliminar de los problemas detectados a través de recolección de información de observaciones, entrevistas a técnicos y supervisores de los 04 turnos y reuniones con personal de confiabilidad. Gracias a este breve análisis se logran detectar varios problemas asociados al plan de mantenimiento actual y actividades que causan demoras en la ejecución del mantenimiento preventivo, por lo que se demuestra que es necesario continuar con el paso a paso para optimizar el mantenimiento preventivo.

Tabla 2-6 pauta de motor diésel y problemas detectados

Cód	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	PROBLEMAS DETECTADOS
C	INICIAL (Con Equipo Energizado y Motor Detenido)	
C60	Realizar medición de restricción de admisión en cabina. Registrar valor	No está especificado cual es el paso a paso a seguir cuando se encuentra un vacuómetro en 0 in/h2O
C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2), Start/Stop, Fault Log.	Problemas de conexión con el programa Insite, mal estado de conectores Inline y lentitud de computadores provocan una demora significativa para descargar la data de los motores diésel.
C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150	
C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos	
C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150	
C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite	
C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina	-
C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener transmisión Specto)	
C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistema Specto	-
C68	Validar funcionamiento de luces de estanque auxiliar	Se repite dato en pauta ruta 2 camión en punto C34 y en pauta de inspección de TK auxiliar.
C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En caso de encontrar alguna desviación reportar.	-
C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferencial Specto)	-
C70	Validar limpieza de colectores de polvo	La orientación del seguro para las tapas de colectores provoca demoras. La sobresaturación de los colectores de

		polvo provoca decantar la tapa completa extendiendo el tiempo de ejecución de esta tarea
C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas	Demoras en el tiempo de ejecución
C72	Revisión general de fugas de aire, refrigerante y/o aceite	-
C73	validar que no estén presentes ruidos extraños en el equipo. en caso de encontrarse alguna anomalía, dejar registro.	-
N43	Revisar estado de las siguientes señaléticas: - Advertencia altas presiones montada en parte superior de la cubierta del estanque de oleaje del radiador cerca de la tapa del radiador.	PUNTO REPETIDO DE PAUTA GENERAL
N07	Inspeccionar pernos de fijación de escape, en caso de encontrarse con desviación, reponer.	Demoras en el tiempo de ejecución
N44	Verificar fugas entre múltiple de escape y base de turbocargador (estado de empaquetadura)	-
N08	Inspeccionar pernos de catridge, en caso de encontrarse con desviación, reponer.	Demoras en el tiempo de ejecución
N45	Verificar que los seguros de tornillos de catridge turbocargadores se encuentren doblados, sino rectificar.	Demoras en el tiempo de ejecución
N09	Inspeccionar integridad de bellows y fijación de abrazaderas.	-
N46	Inspección de pernos de culata y fugas por empaquetaduras de base	-
N10	Revisar que no exista fugas en el sistema de lubricación	-
N11	Inspeccionar base, soporte y tapa de filtro Eliminator	-
N47	Verificar el torque de los pernos en la base de eliminator e inspeccionar que no existan fisuras (torque de 33 lb-pie)	-
N48	Revisión conector drenaje eliminator. Verificar que acople rápido esté en buen estado	-
N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cárter se encuentren sin dobleces y libres de obstrucción en la punta. Se debe realizar limpieza	-
N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrigeración, tanque de expansión y tapa de radiador	-
N50	Revisar fugas del sistema de escape	-
N13	Revisar que no exista fugas en el sistema de combustible	-
N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de combustible	-
N15	Decantado de agua de filtros de combustible primera etapa para Motor Diesel MCRS	-
N16	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de filtros de combustible primera etapa (oring NP 3945125-00)	-
N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor (Trunnion). Si cuenta con sistema automático de engrase, verificar nivel de grasa y funcionamiento, si es necesario, cambie depósito de grasa	- Dispositivo de engrase automático posee un soporte poco práctico y mantenible ya que para revisar el nivel de grasa se deben soltar 2 pernos y cortar 2 abrazaderas

N18	Inspección y limpieza conectores contaminados y defectuosos	-
N51	Revisar estado y fijación de conector sensor blowby y guardapolvo	-
N52	Inspeccionar arneses (motor, J1939) y sensores de motor diésel (estado y fijación). visualizar sensor y arnés de nivel estanque auxiliar	-
N19	Inspeccionar condición de rodillo tensor de correa de fan	¿Es efectiva la inspección visual con el rodillo puesto?
N53	Revisar que las aspas del ventilador están en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (el torque de los pernos de las aspas del ventilador debe ser de 175 lb-pie)	Demoras en el tiempo de ejecución
N54	Inspeccionar fugas por cubo ventilador y juego axial	-
N20	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del ventilador	Demoras en el tiempo de ejecución
N21	Validar giro libre del Alternador de 24 Volts	-
N22	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del Alternador de 24 Volts	-
N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (presencia de los 3 pernos de anclaje, presencia de fluidos, conexiones en buen estado)	-
N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulicas Prelube	-
N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de motor.	-
N25	Inspeccionar y validar termocuplas (fijación, estado de aislación y validar el ruteo del cableado no tenga roce con estructura)	-
N26	inspección de las mangueras tanto de lubricación como de refrigeración de los turbos (alta y baja)	-
N27	Verificar que no exista roces en flexibles en general (alimentación SVA, flexibles timming, caños de alimentación intercooler, alimentación y retorno de turbos de alta y baja)	-
N28	Chequear condición de buje y eje centrifugo	-
N29	Chequear condición hilo tapa centrifugo	-
N30	Registrar peso filtro Spiratec	-
N31	Realizar drenaje de aceite de eliminator	-
N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero (acople motor con alternador principal)	-
N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	-
N34	Inspeccionar sellado de ductos de admisión con ultrasonido	Toma tiempo ejecutar correctamente esta tarea
N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registrar valor	-
N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	Demoras en el tiempo de ejecución, problemas logísticos. Se deben instalar los filtros llenos de combustible. Los elementos para extraer combustible desde el estanque de Caex son elementos hechizos sin estándar, además no tienen un punto de almacenado fijo por lo que hay demoras por buscar y limpiar tarros para ejecutar tarea. Filtros de combustible se encuentran con excesivo aprete, se debe utilizar tubo para soltarlos. Esto provoca daños en el asentamiento del filtro

N36	Cambio de filtro de combustible separador (1º Etapa) para Motor Diesel MCRS	Demoras en el tiempo de ejecución, problemas logísticos. Tiene la misma condición del filtro HPI, se debe drenar y llenar el vaso con combustible por lo que tiene la misma condición de demoras para buscar tarros limpios y extraer combustible
N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de reserva.	-
N58	Revisar nivel de refrigerante	-
N37	Cambio de filtro de combustible separador (2º Etapa) para Motor Diesel MCRS	Filtros de combustible se encuentran con excesivo aprete, se debe utilizar tubo para soltarlos. Esto provoca daños en el asentamiento del filtro
N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI	-
N39	Cambio de filtro de aceite para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI	-
N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combustible para Motor Diesel MCRS	-
N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambiar los filtros de aire HPI, realice el cambio de filtros de acuerdo a la restricción: - Restricción máxima permisible de admisión: 1) Elemento del filtro limpio: 15" H2O 2) Elemento del filtro sucio: 25" H2O Registrar el peso de filtros primarios retirados.	Demoras en ejecución porque se deben solicitar los filtros a personal Cummins y eso provoca retrasos en buscar una transpaleta o carro de transporte que en ocasiones se encuentran todas utilizadas. Demoras por no posicionar correctamente el camión. En todas las ocasiones se prefiere la posición de los tapones de los MT1 y MT2 para microfiltrado y no se vela por el espacio que queda en la parte delantera para instalar una escalera o plataforma. Esto provoca adecuarse a las situaciones de cada camión sin poseer estándar. En ocasiones queda solo la opción de utilizar el alza hombre (elemento que no tiene redundancia) y que muchas veces se encuentra siendo utilizado y si no sin batería. Demoras provocadas por Capilares excesivamente saturados, incluso existen cajas de aire que poseen capilares desplazados esto provoca demoras ya que se debe instalar uno por uno.
N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva	Demoras por problemas logísticos por no poseer equipo de bomba de drenado en el área de trabajo. Demoras por el equipo de bomba de drenado al poseer una manguera de corta extensión se debe posicionar muy cerca del caex. Se entorpece el posicionamiento cuando existen más equipos de apoyo en el área como bombas de grasa, vims de refrigerante, plataformas, alza hombre, entre otros. Demoras por no poseer mangueras de aire para alimentar el equipo de bomba de drenado en el área de trabajo.
Pruebas a realizar una vez terminadas todas las actividades de la Pauta de mantención y previo a la entrega del equipo. Se deben tomar todas las precauciones de seguridad correspondientes.		
AN	PRUEBAS FINALES	
AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las inspecciones. Confirmar que todos los valores de torques y presiones medidos queden registrados en columna observaciones.	-
AN02	Verificar que ninguna herramienta, perno, tuerca o cualquier elemento extraño quede en el equipo al término de la mantención. Si esto sucede puede provocar un daño o mal funcionamiento del equipo.	-

Fuente: Operaciones Komatsu

I. Ruta crítica del plan de mantenimiento

Lo siguiente es la identificación de la ruta crítica de las actividades preventivas para la pauta de motor diésel por lo que para identificarla se utilizó el programa Microsoft Project, a continuación, se demuestra la situación base de la ruta crítica para la pauta de motor 750 horas.

Tabla 2-7 Ruta crítica Pauta Mantenimiento situación base

	Duración	Comienzo	Predecesoras	RUTA CRÍTICA
Inicio Mantenimiento Programado Motor 750h	0 mins	lun 08-07-24		
1. Pruebas Con Equipo Energizado	140 mins	lun 08-07-24	1	
2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	425 mins	lun 08-07-24	2	
3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	295 mins	lun 08-07-24	17	
4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	lun 08-07-24	39	
Finalización Mantenimiento Programado Motor 750h	0 mins	lun 08-07-24	61	
TOTAL	870 mins			

Confección propia en Microsoft Project

Según lo que indica la ruta crítica de la pauta de mantenimiento en su situación base, es decir, sin intervenir ni optimizar las actividades de mantenimiento nos muestra una duración total de las actividades de 870 minutos, convertidos en horas asciende a 14,5 horas para ejecutar la pauta de mantenimiento desde principio a fin.

2.1.4.3. Eliminación tareas duplicadas y sin valor

De acuerdo con el análisis anterior se eliminarán las tareas duplicadas y sin valor que no aportan a la confiabilidad del equipo.

Tabla 2-8 Tareas duplicadas y eliminadas

Cód	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	PROBLEMAS DETECTADOS
C	INICIAL (Con Equipo Energizado y Motor Detenido)	
N10	Revisar que no exista fugas en el sistema de lubricación.	Se repite punto de inspección con punto C72
N11	Inspeccionar base, soporte y tapa de filtro Eliminator.	Unificar con N47
N13	Revisar que no exista fugas en el sistema de combustible.	Unificar con punto C72
N15	Decantado de agua de filtros de combustible primera etapa para Motor Diesel MCRS.	Unificar con punto N16
N18	Inspección y limpieza conectores contaminados y defectuosos.	Unificado con punto N52
N21	Validar giro libre del Alternador de 24 Volts.	Unificar con punto N22
N27	Verificar que no exista roces en flexibles en general (alimentación ecva, flexibles timing, caños de alimentación intercooler, alimentación y retorno de turbos)	Eliminar es una verificación genérica, ya contemplada en otros puntos.
N28	Chequear condición de buje y eje centrifugo	Unificar con puntos N°29.
N31	Realizar drenaje de aceite de eliminator	Unificar con punto de verificación de conector de drenaje N°48.
N39	Cambio filtro de aceite para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI	Eliminar no aplica a ningún equipo de faena Los Pelambres.
N43	Revisar estado de las siguientes señaléticas: - Advertencia altas presiones montada en parte superior de la cubierta del estanque de oleaje del radiador cerca de la tapa del radiador.	Punto repetido de pauta general de CAEX
N50	Revisar fugas del sistema de escape	Se repite punto de inspección con punto C72
N52	Inspeccionar arneses (motor, J1939) y sensores de motor diésel (estado y fijación). visualizar sensor y arnés de nivel estanque auxiliar	Unificar con punto N°18.
C68	Validar funcionamiento de luces de estanque auxiliar	Se repite dato en pauta ruta 2 camión en punto C34 y en pauta de inspección de TK auxiliar.

Fuente: Confección propia en base a Operaciones Komatsu

2.1.4.4. Optimización de tareas actuales

Al limpiar la tabla y obtener solo las tareas que aportan valor al activo se procederá a ejecutar el paso de optimización de las tareas actuales a través de las hojas de decisiones para PMO.

I. Hoja de decisiones para PMO

Para este paso, se deberá contestar un cuestionario con cada una de las tareas preventivas que quedan del paso anterior.

a) Hoja de decisiones de preventivo preliminar

Para ejecutar este paso se deben contestar los siguientes pasos:

- Datos preliminares:

Tabla 2-9 Preguntas hoja de decisiones de preventivo preliminar

Hoja de Decisiones de Preventivo Preliminar		
¿Cuánto es el tiempo del ciclo de vida del activo? [En Horas]	17500	Horas
¿Cuántos son los activos que deben cumplir esta actividad de mantenimiento? [La cantidad de activos]	56	[-]
¿Cuánto es la pérdida estimada por indisponibilidad por hora del activo que se está analizando? [USD/hora]	455	[USD/hora]

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

Se responden las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto es el tiempo del ciclo de vida del activo? [En Horas]
El tiempo contractual pactado es de 17.500 horas de TBO para toda la flota de motores Cummins QSK60. Pasado este tiempo el motor diésel se encuentra con horas cumplidas para el overhaul por lo que se debe cambiar el motor por uno nuevo.
- ¿Cuántos son los activos que deben cumplir esta actividad de mantenimiento? [La cantidad de activos]
La cantidad de activos en este caso asciende al total de la flota de CAEX correspondientes a 56 motores diésel.
- ¿Cuánto es la pérdida estimada por indisponibilidad por hora del activo que se está analizando? [en USD]
La pérdida estimada por la indisponibilidad por una hora fuera de servicio del activo fue tomado como referencia de la norma ASARCO MLP y asciende a 455 USD/hora, esto se detallará en el capítulo 3. En cuanto a este costo de mantenimiento es importante mencionar que los 455 USD/hora Como concepto, corresponde al costo de falta, ya que el costo de mejoramiento está asociado a las horas planificadas para el mantenimiento preventivo. En teoría, se utiliza el costo de falta para estimar el ahorro de tiempo del mantenimiento preventivo, según el libro de Adolfo Arata Manual de gestión de activos y mantenimiento en la figura mostrada a continuación.

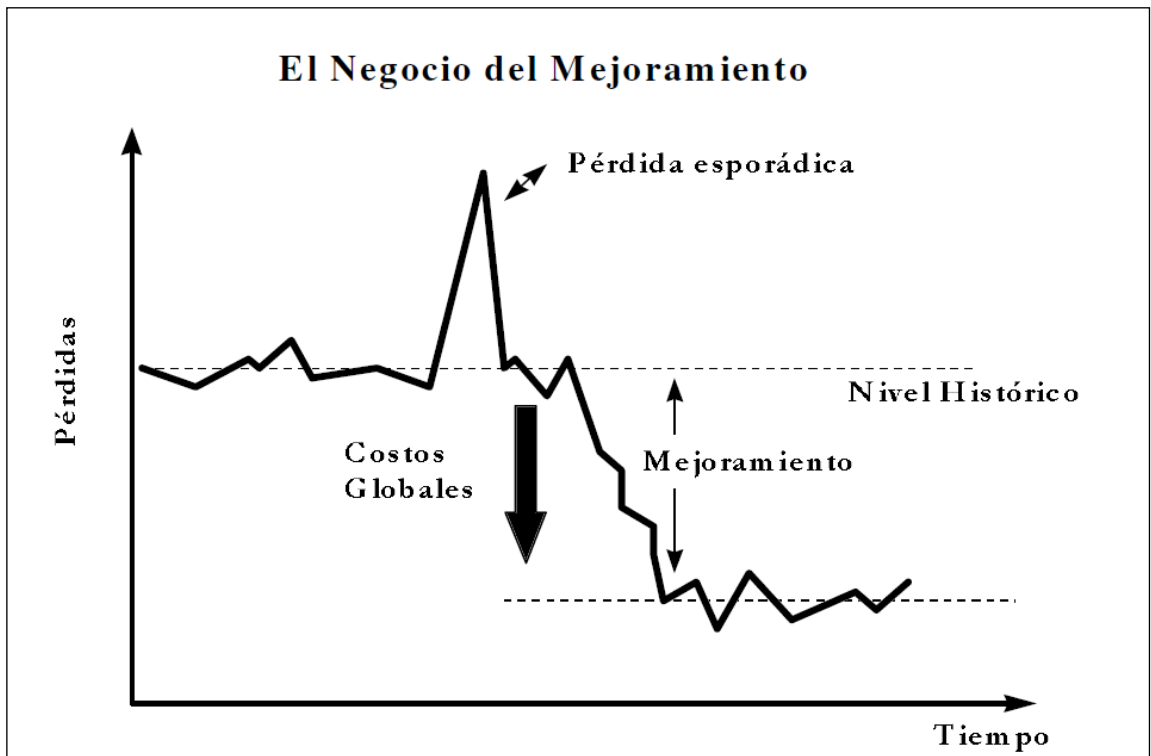


Gráfico 2-1 El negocio del mejoramiento

A continuación, se muestra la tabla que detalla la hoja de decisiones de preventivo preliminar.

Tabla 2-10 Hoja datos preliminar PMO

Hoja de Decisiones de Preventivo Preliminar										
ID Tarea	Tarea o Actividad	¿Cuánto es el tiempo real para cada actividad o tarea? [En minutos]	¿Cuántos técnicos se necesitan para ejecutar actividad?	¿Cuál es la frecuencia de ejecución de la tarea planificada? [En Horas]	¿Cuánto es el tiempo del ciclo de vida del activo? [En Horas]	¿Cuántos son los activos que deben cumplir esta actividad de mantenimiento?	Cálculo de HH necesario para ejecutar tarea durante el ciclo de vida	Pérdida estimada según impacto por producción [Dólar]	Indicar el tipo de tarea (tarea por condición, sustitución cíclica, reacondicionamiento cíclico, tarea predictiva)	¿Cuál modo de falla cubre esta actividad?
ID Tarea	Tarea o Actividad	Te[min]	HP	F	Tf[h]	CA	HHf	PP	TT	MF
N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambiar los filtros de aire. HPI, realice el cambio de filtros de acuerdo a la restricción: - Restricción máxima permisible de admisión: 1) Elemento del filtro limpio: 15" H2O. 2) Elemento del filtro sucio: 25" H2O. Registrar el peso de filtros primarios retirados.	60	1	750	17500	56	1306,67	USD 594.533	Sustitución cíclica	Pérdida de eficiencia de filtrado de motor diésel.
N18,52	Inspección y limpieza conectores contaminados y defectuosos. Inspeccionar arneses (motor, J1939) y sensores de motor diésel (estado y fijación). visualizar sensor y arnés de nivel estanque auxiliar	45	1	750	17500	56	980,00	USD 445.900	Tarea por condición	Circuito abierto, circuito a masa o corto circuito en el sistema electrónico de motor.
N34	Inspeccionar sellado de ductos de admisión con ultrasonido	40	1	750	17500	56	871,11	USD 396.356	Tarea por condición	Pérdida de bruñido en camisas del motor diésel.
N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva	40	1	750	17500	56	871,11	USD 396.356	Sustitución cíclica	Pérdida de lubricación y falla catastrófica.
C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267	Tarea por condición	Pérdida de eficiencia de filtrado de motor diésel.
C10,13,72	Revisión general de fugas de aire, refrigerante y/o aceite	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267	Tarea por condición	Fuga de sistemas críticos y falla castrófica.
N19	Inspeccionar condición de rodillo tensor de correa de fan	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267	Tarea por condición	Agarrotamiento mecánico de tensor y falla de correa de ventilador.

N25	Inspeccionar y validar termocuplas (fijación, estado de aislación y validar el ruteo del cableado no tenga roce con estructura)	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267	Tarea por condición	Pérdida de información crítica por no transmisión de datos.
N53	Revisar que las aspas del ventilador estén en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (torque de pernos de aspas del ventilador debe ser de 175 lb-pie)	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267	Tarea por condición	Vibración mecánica excesiva hacia el motor diésel.
N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267	Tarea por condición	Pérdida de información crítica por no chequear de manera preventiva.
C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2), Start/Stop, Fault Log.	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Tarea por condición	Saturación datos de ECM y pérdida de información por sobreescritura.
N07	Inspeccionar pernos de fijación de escape, en caso de encontrarse con desviación, reponer.	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Tarea por condición	Fugas de escape y pérdida de eficiencia de motor diésel.
N08	Inspeccionar pernos de catridge, en caso de encontrarse con desviación, reponer.	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Tarea por condición	Fugas de escape y pérdida de eficiencia de motor diésel.
N46	Inspección de pernos de culata y fugas por empaquetaduras de base	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Tarea por condición	Fugas de refrigerante y/o aceite pérdida de hermeticidad de empaquetadura.
N54	Inspeccionar fugas por cubo ventilador y juego axial	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Tarea por condición	Fugas de aceite motor e incorrecta operación de cubo ventilador.
N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registrar valor	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Tarea por condición	Pérdida de axial de cigüeñal, falla castaográfica de motor diésel.
N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Sustitución cíclica	Saturación de filtros de combustible y alarmas por baja presión de combustible.
N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etapa) para Motor Diesel MCRS	20	1	750	17500	56	435,56	USD 198.178	Sustitución cíclica	Saturación de filtros de combustible y alarmas por baja presión de combustible.
C73	validar que no estén presentes ruidos extraños en el equipo. en caso de encontrarse alguna anomalía, dejar registro.	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Falla mecánica por roce o partes y piezas sueltas.

N44	Verificar fugas entre múltiple de escape y base de turbocargador (estado de empaquetadura)	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Fugas de escape y pérdida de eficiencia de motor diésel.
N47	Verificar el torque de los pernos en la base de eliminador e inspeccionar que no existan fisuras (torque de 33 lb-pie)	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Fisuras por vibración excesiva en eliminador.
N15,16	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de filtros de combustible primera etapa (oring NP 3945125-00)	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Saturación de filtros de combustible y alarmas por baja presión de combustible.
N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor (Trunnion). Si cuenta con sistema automático de engrase, verificar nivel de grasa y funcionamiento, si es necesario, cambie depósito de grasa	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Pérdida de lubricación en rodamiento damper y falla castrófica.
N21 - N22	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del Alternador de 24 Volts. Validar giro libre del alternador 24 Volts	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Corte de correa por término de vida útil.
N26	inspección de las mangueras tanto de lubricación como de refrigeración de los turbos (alta y baja)	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Fuga de aceite por mangueras refrigeración de turbos.
N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Etapa) para Motor Diesel MCRS	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Sustitución cíclica	Saturación de filtros de combustible y alarmas por baja presión de combustible.
C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Saturación de datos del ECM y pérdida de información por sobreescritura.
N28 - N29	Chequear condición de buje y eje centrifugo. Chequear condición hilo tapa centrifugo	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633	Tarea por condición	Pérdida de filtrado en sistema crítico de lubricación de motor diésel.
C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Falta de lubricación del sistema principal de lubricación del motor diésel
C70	Validar limpieza de colectores de polvo	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Pérdida de eficiencia de filtrado de motor diésel.
N45	Verificar que los seguros de tornillos de catridge turbocargadores se encuentren doblados, sino rectificar.	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Fugas de escape y pérdida de eficiencia de motor diésel.

N09	Inspeccionar integridad de bellows y fijación de abrazaderas.	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Fugas de escape y pérdida de eficiencia de motor diésel.
N51	Revisar estado y fijación de conector sensor blowby y guardapolvo	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Circuito abierto, circuito a masa o corto circuito en sist. Elec. motor.
N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (presencia de los 3 pernos de anclaje, presencia de fluidos, conexiones en buen estado)	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Pérdida de pernos de anclaje de motores
N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulicas Prelube	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Circuito abierto, circuito a masa o corto circuito en sist. Elec. motor.
N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de motor.	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Vibración mecánica excesiva hacia el motor diésel.
N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador. Revisión conector drenaje eliminador. Verificar que acople rápido esté en buen estado	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Tarea por condición	Pérdida de filtrado en sistema crítico de lubricación de motor diésel.
N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Sustitución cíclica	Saturación y contaminación del sistema de refrigeración.
N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combustible para Motor Diesel MCRS	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089	Sustitución cíclica	Falla catastrófica de bomba de combustible por falta de lubricación.
N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de reserva.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Baja presión de lubricación por falta de aceite motor.
C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Pérdida de información crítica por no transmisión de datos.
C60	Realizar medición de restricción de admisión en cabina. Registrar valor	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Error de lectura en operación normal.
C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Saturación de datos del ECM y pérdida de información por sobreescritura.
C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Falta de lubricación del sistema principal de lubricación del motor diésel

C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener transmisión Specto)	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Pérdida de información crítica para detectar condición del equipo.
C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistema Specto	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Pérdida de información crítica para monitorear equipo.
C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En caso de encontrar alguna desviación reportar.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Incorrecta operación de abastecimiento de aceite al sistema de combustible.
C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferencial Specto)	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Falta de filtrado en sistema crítico de lubricación.
N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cárter se encuentren sin dobleces y libres de obstrucción en la punta. Se debe realizar limpieza	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Aumento de presión de blowby y alarma crítica.
N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrigeración, tanque de expansión y tapa de radiador	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Fugas de refrigerante en sistema de refrigeración.
N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de combustible	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Fuga interna de combustible por sistema de combustible.
N30	Registrar peso filtro Spiratec	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Falta de filtrado en sistema crítico de lubricación.
N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero (acople motor con alternador principal)	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Fuga de aceite por pérdida de hermetidad.
N58	Revisar nivel de refrigerante	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Alarma de bajo nivel de refrigerante.
AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las inspecciones. Confirmar que todos los valores de torques y presiones medidos queden registrados en columna observaciones.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Fugas o alarmas críticas en sistemas críticos de motor diésel.
AN02	Verificar que ninguna herramienta, perno, tuerca o cualquier elemento extraño quede en el equipo al término de la mantención. Si esto sucede puede provocar un daño o mal funcionamiento del equipo.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544	Tarea por condición	Fugas o alarmas críticas en sistemas críticos de motor diésel.

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

b) Hoja de decisiones de preventivo cuestionario

Tabla 2-11 Aplicación Hoja decisiones PMO

Hoja de Decisiones de Preventivo Cuestionario					
ID Tarea	¿Esta tarea es adecuada para mitigar el modo de falla en su totalidad?	¿Es inviable cambiar el tipo de tarea por otra por ejemplo de tarea por condición a predictivo sin afectar la capacidad de cubrir el modo de falla?	¿La frecuencia de ejecución de la tarea es la adecuada?	¿Se utilizan los recursos adecuados? Cantidad de personas, horas de ejecución, además, ¿los equipos de apoyo son los adecuados y se encuentra funcionando como corresponde?	¿Es totalmente necesario ejecutar esta actividad/tarea? (ya que la ejecuta otra área)
ID Tarea	a)	b)	c)	d)	e)
N41	SI	SI	SI	NO	SI
N18,52	SI	SI	SI	SI	NO
N34	SI	NO	SI	SI	SI
N42	SI	SI	SI	NO	SI
C71	SI	NO	NO	SI	SI
C10,13,72	SI	SI	SI	SI	SI
N19	NO	SI	SI	SI	SI
N25	SI	SI	SI	SI	NO
N53	SI	NO	SI	SI	SI
N33	SI	SI	SI	NO	SI
C61	SI	SI	NO	SI	SI
N07	SI	SI	SI	SI	NO
N08	SI	SI	SI	SI	NO
N46	SI	SI	SI	SI	NO
N54	NO	SI	SI	SI	SI
N35	SI	SI	SI	NO	SI
N56	SI	SI	SI	NO	SI
N36	SI	SI	SI	NO	SI
C73	SI	SI	SI	SI	NO
N44	SI	SI	SI	SI	NO
N47	SI	SI	NO	SI	SI
N15,16	SI	NO	SI	SI	SI
N17	SI	SI	SI	NO	SI
N21 - N22	SI	SI	SI	NO	SI
N26	SI	SI	SI	SI	NO
N37	SI	SI	SI	NO	SI
C62	SI	SI	SI	SI	SI
N28 - N29	SI	SI	SI	SI	SI
C74	SI	SI	NO	SI	SI
C70	SI	SI	SI	SI	SI
N45	SI	SI	SI	SI	NO
N09	SI	SI	SI	SI	NO
N51	SI	SI	SI	SI	NO
N23	SI	SI	SI	SI	SI
N55	SI	SI	SI	SI	SI

N24	SI	SI	SI	SI	SI
N31	SI	SI	SI	SI	SI
N38	SI	SI	SI	SI	SI
N40	SI	SI	SI	SI	SI
N57	SI	SI	SI	SI	SI
C64	SI	SI	SI	SI	SI
C60	SI	SI	SI	SI	SI
C63	SI	SI	NO	SI	SI
C66	SI	SI	SI	SI	SI
C65	SI	NO	SI	SI	SI
C67	SI	SI	SI	SI	SI
C75	SI	SI	SI	SI	SI
C69	SI	SI	SI	SI	SI
N49	SI	SI	SI	SI	SI
N12	SI	SI	SI	SI	SI
N14	SI	SI	SI	SI	SI
N30	SI	SI	SI	SI	SI
N32	SI	SI	SI	SI	SI
N58	SI	SI	SI	SI	SI
AN01	SI	SI	SI	SI	SI
AN02	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

II. Análisis causal de tareas críticas

Tabla 2-12 Aplicación Análisis causal de tareas críticas PMO

ID Tarea	Mano de obra	Método	Máquina	Materiales	Medio ambiente	Medición
ID Tarea	1M	2M	3M	4M	5M	6M
N41			Las plataformas que se utilizan para acceder a cambiar filtros de aire se encuentran en mal estado y aumentan el tiempo de la actividad.	El repuesto mismo de filtros de aire tiene una condición en el asentamiento que aumenta el tiempo de instalación del filtro.	El medioambiente juega un papel latente en el origen de esta falla, no se puede eliminar la sílice presente en el ambiente	
N18,52	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N34		Actualmente el procedimiento y las herramientas para realizar esta tarea hacen que se extienda el tiempo de ejecución de este preventivo.			El medioambiente juega un papel latente en el origen de esta falla, no se puede eliminar la sílice presente en el ambiente.	
N42		El procedimiento para cambiar el aceite no es sostenible en el tiempo ya que implica muchas demoras posicionar una batea de contención para cada caso, luego tiempos de demoras para drenar esa batea				
C71		No es necesario realizar aspirado de cajas ciclónicas en todos los mantenimientos programados.				

C10,13,72	Se debe capacitar al personal de Komatsu en motores diésel Cummins					
N19		Esta tarea preventiva no mitiga el modo de falla ya que se necesita destensar completamente el tensor fan para realizar una correcta medición del juego axial.				
N25	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N53		El procedimiento para realizar esta actividad es incorrecto ya que el 100% de las veces que se chequea el torque es correcto en los pernos.				
N33			Para realizar esta actividad hace falta herramientas específicas para reducir los tiempos de ejecución.			
C61		Esta actividad se realiza para eliminar la memoria de la ECU y que no se sobrescriban los datos, no obstante, esta actividad no es necesaria ya que se monitorea el equipo en tiempo real el 100% de la flota.				
N07	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N08	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para					

	no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N46	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N54		Esta tarea preventiva no mitiga el modo de falla ya que se necesita destensar completamente el tensor fan para realizar una correcta medición del juego axial.				
N35		El método para realizar esta tarea es muy extenso y no se posee la herramienta adecuada para realizar la tarea de manera eficiente.				
N56		El método para realizar esta tarea es muy extenso y no se posee la herramienta adecuada para realizar la tarea de manera eficiente.				
N36		El método para realizar esta tarea es muy extenso y no se posee la herramienta adecuada para realizar la tarea de manera eficiente.				
C73	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N44	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					

N47		Esta actividad toma bastante tiempo y no es viable chequear el torque de los pernos en todos los mantenimientos ya que eso terminaría por estirar los pernos eventualmente.				
N15,16		Esta actividad toma bastante tiempo y los vasos de combustible no siempre se encuentran saturados.				
N17				El cubre depósito por su construcción hace imposible verificar el nivel del depósito, por lo que muchas veces se extrae el depósito estando en nivel correcto perdiendo tiempo valioso de mantenimiento preventivo.		
N21 - N22			Esta actividad es correcta, pero se puede aumentar la eficiencia con las herramientas adecuadas.			
N26	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N37			Para realizar esta actividad hace falta herramientas específicas para reducir los tiempos de ejecución.			
C62		Esta actividad se realiza para eliminar la memoria de la ECU y que no se sobrescriban los datos, no obstante, esta actividad no es necesaria ya que se monitorea el equipo en tiempo real el 100% de la flota.				

N28 - N29						
C74		Esta actividad es necesaria pero la frecuencia de ejecución no es correcta. Además, se deben analizar técnicas de análisis de datos para monitorear condición.				
C70						
N45	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N09	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
N51	Esta actividad la sigue realizando personal especializado Cummins para no afectar la confiabilidad del activo. Por lo que era tarea la ejecuta otra área.					
C63		Esta actividad se realiza para eliminar la memoria de la ECU y que no se sobrescriban los datos, no obstante, esta actividad no es necesaria ya que se monitorea el equipo en tiempo real el 100% de la flota.				
C66		Esta actividad es necesaria pero la frecuencia de ejecución no es correcta. Además, se deben analizar técnicas de análisis de datos para monitorear condición.				

Fuente: Confección propia en base a archivo excel hoja de decisiones preventivo

III. Propuestas de solución a tareas críticas

Tabla 2-13 Planes de acción de PMO

ID Tarea	Plan de acción	Costo PdA	Responsable	Plazo
ID Tarea	PdA	CPdA	Res	Pla
N41	Se debe tener un plan de mantenimiento para los equipos de apoyo. Se debe investigar la causa raíz del problema de asentamientos de los filtros de aire.	USD 10.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N18,52	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -	Personal Cummins	31-12-2023
N34	Esta tarea pasa a predictivo ya que personal Cummins monitorea los parámetros vitales de la presión vacuométrica de los ductos de admisión y advierte cuando los parámetros se encuentran erróneos o existen pérdida de hermeticidad en los ductos. Actualmente el 100% de la flota cuenta con el sistema FIT de monitoreo de presión vacuométrica en ambos ductos de aire.	USD -	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N42	Se mejora el procedimiento para cambio de aceite, conectando directamente con bomba de drenado, aumentando la eficiencia de la actividad preventiva.	USD 100	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
C71	Se debe cambiar tarea preventiva a tarea por condición.	USD -	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
C10,13,72	Es totalmente necesario dejar la tarea como está, pero capacitando al personal en realizar una muy buena previa para verificar todos los puntos críticos que pueden provocar imprevistos en terreno. Una vez que se verifiquen todos los puntos críticos dar aviso a personal Cummins del estado del activo antes de ingresarlo a mantenimiento para que se asegure la calidad y confiabilidad del equipo.	USD 20.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N19	Este modo de falla corresponde a una falla súbita y aunque amerita un tiempo de reparación de 6 horas no corresponde a una falla catastrófica y puede ser llevado a tarea correctiva por la baja cantidad de frecuencia del modo de falla. Se debe consultar con fábrica el análisis causa raíz de falla.	USD -	Confiabilidad Cummins	31-12-2023
N25	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -	Personal Cummins	31-12-2023
N53	Se sugiere implementar un cambio en el procedimiento de esta inspección. Como se debe inspeccionar el torque de los pernos del aspa del ventilador se utilizará lacre químico para marcar los pernos y para el próximo mantenimiento se verificará con boroscopio que no haya perdido la marca, en caso de haber perdido la marca o se encuentre quebrado significa que el perno se soltó producto de la vibración.	USD 5.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N33	Se debe implementar herramientas específicas para aumentar la eficiencia de la actividad preventiva.	USD 1.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
C61	Se debe cambiar frecuencia de inspección de datos cada 1500 horas.	USD -	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N07	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -	Personal Cummins	31-12-2023
N08	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -	Personal Cummins	31-12-2023
N46	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -	Personal Cummins	31-12-2023

N54	Este modo de falla corresponde a una falla súbita y aunque amerita un tiempo de reparación de 6 horas no corresponde a una falla catastrófica y puede ser llevado a tarea correctiva por la baja cantidad de frecuencia del modo de falla. Se debe consultar con fábrica el análisis causa raíz de falla.	USD	-	Confiabilidad Cummins	31-12-2023
N35	Se debe implementar la herramienta adecuada para ejecutar la tarea de medición de axial y actualizar y estandarizar el procedimiento adecuado para realizarlo capacitando al personal.	USD	3.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N56	Se debe implementar la herramienta adecuada para ejecutar la tarea de medición de axial y actualizar y estandarizar el procedimiento adecuado para realizarlo capacitando al personal.	USD	3.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N36	Se debe implementar una plataforma para mejorar el acceso de esta actividad y aumentando la eficiencia de esta actividad disminuyendo los tiempos de ejecución.	USD	8.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
C73	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-	Personal Cummins	31-12-2023
N44	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-	Personal Cummins	31-12-2023
N47	Se debe realizar sólo una vez en el ciclo de vida del activo cuando el motor diésel es nuevo y luego sólo chequear el lacre químico en los pernos.	USD	2.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N15,16	Se debe cambiar la tarea de preventivo a correctivo.	USD	-	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N17	Se debe evaluar como cambiar el tipo de soporte para que el depósito sea visible en todo momento y se mejore el acceso de la actividad aumentando la eficiencia del preventivo.	USD	5.600	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N21 - N22	Se debe implementar herramientas específicas para aumentar la eficiencia de la actividad preventiva.	USD	1.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N26	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-	Personal Cummins	31-12-2023
N37	Se debe implementar herramientas específicas para aumentar la eficiencia de la actividad preventiva.	USD	2.000	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
C62	Se debe cambiar frecuencia de inspección de datos cada 1500 horas.	USD	-	Subgerente de Mantenimiento	31-12-2023
N28 - N29	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
C74	Dejar la misma frecuencia del punto C61. Además, investigar técnicas de análisis de datos para mantener esta actividad con monitoreo constante. En su defecto mejorar el sistema de presión de corte mecánico por uno digitalizado.	USD	-	Confiabilidad Cummins	31-12-2023
C70	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
N45	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-	Personal Cummins	31-12-2023
N09	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-	Personal Cummins	31-12-2023
N51	La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-	Personal Cummins	31-12-2023
N23	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
N55	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
N24	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
N31	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
N38	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
N40	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
N57	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023
C64	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12-2023

C60	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
C63	Se debe cambiar frecuencia de inspección de datos cada 1500 horas. Además, esta actividad se debe cambiar a monitoreo de condiciones.	USD	-	Confiabilidad Cummins	31-12- 2023
C66	Dejar la misma frecuencia del punto C61. Además investigar técnicas de análisis de datos para mantener esta actividad con monitoreo constante.	USD	-	Confiabilidad Cummins	31-12- 2023
C65	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
C67	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
C75	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
C69	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
N49	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
N12	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
N14	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
N30	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
N32	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
N58	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
AN01	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
AN02	Dejar actividad tal como está.	USD	-	Planificación Komatsu	31-12- 2023
COSTO TOTAL		USD		60.700	

Fuente: Confección propia en base a archivo excel hoja de decisiones preventivo

2.1.4.5. Revisión de nuevo plan mantenimiento

Tabla 2-14 Revisión nuevo plan de mantenimiento

REVISIÓN NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO								
ID Tarea	Tarea o Actividad	¿Cuánto es el tiempo real para cada actividad o tarea? [En minutos]	¿Cuántos técnicos se necesitan para ejecutar actividad?	¿Cuál es la frecuencia de ejecución de la tarea planificada? [En Horas]	¿Cuánto es el tiempo del ciclo de vida del activo? [En Horas]	¿Cuántos son los activos que deben cumplir esta actividad de mantenimiento?	Cálculo de HH necesario para ejecutar tarea durante el ciclo de vida	Pérdida estimada según impacto por producción [Dólar]
ID Tarea	Tarea o Actividad	Te[min]	HP	F	Tf[h]	CA	HHf	PP
C72	Revisión general de fugas de aire, refrigerante, aceite, escape y/o combustible	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267
N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambiar los filtros de aire. HPI, realice el cambio de filtros de acuerdo a la restricción: - Restricción máxima permisible de admisión: 1) Elemento del filtro limpio: 15" H2O. 2) Elemento del filtro sucio: 25" H2O. Registrar el peso de filtros primarios retirados.	30	1	750	17500	56	653,33	USD 297.267
N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633
N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633
N28 - N29	Chequear condición de buje y eje centrifugo. Chequear condición hilo tapa centrifugo	15	1	750	17500	56	326,67	USD 148.633
C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2), Start/Stop, Fault Log.	20	1	1500	17500	56	217,78	USD 99.089
N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registrar valor	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etapa) para Motor Diesel MCRS	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089

N21 - N22	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del Alternador de 24 Volts. Validar giro libre del alternador 24 Volts	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Etapa) para Motor Diesel MCRS	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
C70	Validar limpieza de colectores de polvo	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (presencia de los 3 pernos de anclaje, presencia de fluidos, conexiones en buen estado)	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulicas Prelube	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de motor.	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador. Revisión conector drenaje eliminador. Verificar que acople rápido esté en buen estado	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combustible para Motor Diesel MCRS	10	1	750	17500	56	217,78	USD 99.089
C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas	30	1	3000	17500	56	163,33	USD 74.317
N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor (Trunnion). Si cuenta con sistema automático de engrase, verificar nivel de grasa y funcionamiento, si es necesario, cambie depósito de grasa	15	1	1500	17500	56	163,33	USD 74.317
C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150	15	1	1500	17500	56	163,33	USD 74.317
C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos	10	1	1500	17500	56	108,89	USD 49.544
N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de reserva.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
C60	Realizar medición de restricción de admisión en cabina. Registrar valor	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener transmisión Specto)	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistema Specto	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En caso de encontrar alguna desviación reportar.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferencial Specto)	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cárter se encuentren sin dobleces y libres de obstrucción en la punta. Se debe realizar limpieza	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544

N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrigeración, tanque de expansión y tapa de radiador	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de combustible	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
N30	Registrar peso filtro Spiratec	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero (acople motor con alternador principal)	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
N58	Revisar nivel de refrigerante	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las inspecciones. Confirmar que todos los valores de torques y presiones medidos queden registrados en columna observaciones.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
AN02	Verificar que ninguna herramienta, perno, tuerca o cualquier elemento extraño quede en el equipo al término de la mantención. Si esto sucede puede provocar un daño o mal funcionamiento del equipo.	5	1	750	17500	56	108,89	USD 49.544
N19	Inspeccionar condición de rodillo tensor de correa de fan	30	1	6000	17500	56	81,67	USD 37.158
N15,16	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de filtros de combustible primera etapa (oring NP 3945125-00)	15	1	3000	17500	56	81,67	USD 37.158
N54	Inspeccionar fugas por cubo ventilador y juego axial	20	1	6000	17500	56	54,44	USD 24.772
C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150	5	1	1500	17500	56	54,44	USD 24.772
C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite	5	1	1500	17500	56	54,44	USD 24.772
N53	Revisar que las aspas del ventilador están en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (el torque de los pernos de las aspas del ventilador debe ser de 175 lb-pie)	30	1	17500	17500	56	28,00	USD 12.740
N47	Verificar el torque de los pernos en la base de eliminator e inspeccionar que no existan fisuras (torque de 33 lb-pie)	15	1	17500	17500	56	14,00	USD 6.370

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

En el marco de la implementación del PMO (Optimización del Mantenimiento Preventivo), uno de los aspectos más cruciales es la identificación de los modos de falla que actualmente afectan al activo y que podrían no estar contemplados en el plan de mantenimiento actual. Por ello, es posible que sea necesario incorporar nuevas tareas preventivas para eliminar las causas raíz de las problemáticas actuales.

Lamentablemente, en el marco de la ejecución de este trabajo de titulación, no se dispone de toda la información proporcionada por la empresa Cummins, ya que existen datos confidenciales sobre los modos de fallas que afectan a los motores diésel. Estos datos no se comparten en su totalidad con otras empresas, y no se divulgan todos los boletines técnicos. Por lo tanto, para no violar la confidencialidad de la información de Cummins, la empresa representante de los motores diésel en faena Los Pelambres, se ha decidido trabajar únicamente con el plan de mantenimiento preventivo actual recomendado por Cummins.

Además, es necesario identificar la nueva ruta crítica de las actividades preventivas en el nuevo plan de mantenimiento para compararla con la del plan base. A diferencia del plan de mantenimiento original, esta nueva propuesta establece actividades específicas para los mantenimientos a 750 horas, 1500 horas, 3000 horas y 6000 horas, con frecuencias diferenciadas para cada uno.

A continuación, se demuestra la comparación de la duración del nuevo plan de mantenimiento.

Tabla 2-15 Comparación de duración planes mantenimiento base v/s propuesto PMO

Frecuencia intervención	DURACIÓN				
	PLAN BASE	PLAN PROPUESTO PMO			
	750 horas	750 horas	1500 horas	3000 horas	6000 horas
Inicio Mantenimiento Programado Motor 750h	0 mins	0 mins	0 mins	0 mins	0 mins
1. Pruebas Con Equipo Energizado	140 mins	40 mins	95 mins	95 mins	95 mins
2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	425 mins	170 mins	185 mins	230 mins	230 mins
3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	295 mins	50 mins	50 mins	50 mins	100 mins
4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	10 mins	10 mins	10 mins	10 mins
Finalización Mantenimiento Programado Motor 750h	0 mins	0 mins	0 mins	0 mins	0 mins
TOTAL	870 mins	270 mins	340 mins	385 mins	435 mins

Fuente: confección propia en base a hoja de decisiones preventivo

En la tabla anterior se logra apreciar que la situación base plantea un total de 870 minutos o 14,5 horas para la ejecución de la pauta de mantenimiento de motor de 750 horas, todos los puntos de mantenimientos son iguales en las actividades que trae para ejecutar. Respecto al nuevo plan propuesto por el PMO se optimiza en un 68,96% la duración de mantenimiento preventivo en cuanto el nuevo plan de 750 horas. Se plantea una redistribución de las actividades de mantenimiento optimizando su frecuencia de ejecución.

Respecto al mantenimiento global de la flota de los 56 camiones se tabula a continuación,

Tabla 2-16 Mantenimiento global de la flota

	DURACIÓN				
	PLAN BASE	PLAN PROPUESTO PMO			
	750 horas	750 horas	1500 horas	3000 horas	6000 horas
DURACIÓN	14,5 horas	4,50 horas	5,67 horas	6,42 horas	7,25 horas
FLOTA	56 equipos	56 equipos	56 equipos	56 equipos	56 equipos
INTERVENCIÓN	24 veces	12 veces	6 veces	3 veces	2 veces
SUBTOTAL	19488 horas	3024 horas	1904 horas	1078 horas	812 horas
TOTAL	19488 horas	6819 horas			
COMPARACIÓN	Disminución de hasta el 63,47 % de las horas del preventivo				

Fuente: Confección propia en base a hoja de decisiones preventivo

Según se muestra en la tabla anterior, continuar con el plan de mantenimiento preventivo actual implicaría que el equipo dedicara un total de 19,488 horas al ciclo de vida del activo de la flota completa para realizar la pauta de motor. En cambio, con el nuevo plan propuesto, que incluye actividades diferenciadas según el nivel de mantenimiento, este tiempo se reduce significativamente a solo 6,819 horas, lo que representa una disminución del 63.47% en las actividades preventivas.

En los anexos del presente trabajo de título se deja como respaldo los nuevos planes de mantenimiento propuestos del PMO por confección propia a través de Microsoft Project.

2.1.4.6. Revisión de recomendaciones fabricante

Antes de proceder con la implementación de mejoras y el plan de acción, es fundamental asegurarnos de cumplir con las normativas del fabricante, en este caso, Cummins, la empresa responsable de los motores Cummins QSK60. Es necesario validar que las frecuencias de intervención no contravengan las normativas de cambio establecidas por la fábrica para los componentes, inspecciones o mantenimiento.

Para garantizar el cumplimiento de estas normativas, se deben revisar detalladamente todos los manuales y directrices proporcionadas por Cummins. Es crucial llevar a cabo una auditoría exhaustiva de los procedimientos actuales y compararlos con las recomendaciones y requisitos del fabricante. Además, se debe establecer una comunicación continua con los representantes de Cummins para aclarar cualquier duda o discrepancia que pueda surgir.

En la práctica, esta metodología se implementó de manera parcial en faena, y todas las recomendaciones fueron validadas por Cummins Chile. Esta validación asegura que todas las acciones y cambios realizados en el mantenimiento y operación de los motores Cummins QSK60 estén en línea con las mejores prácticas y estándares de calidad establecidos por el fabricante.

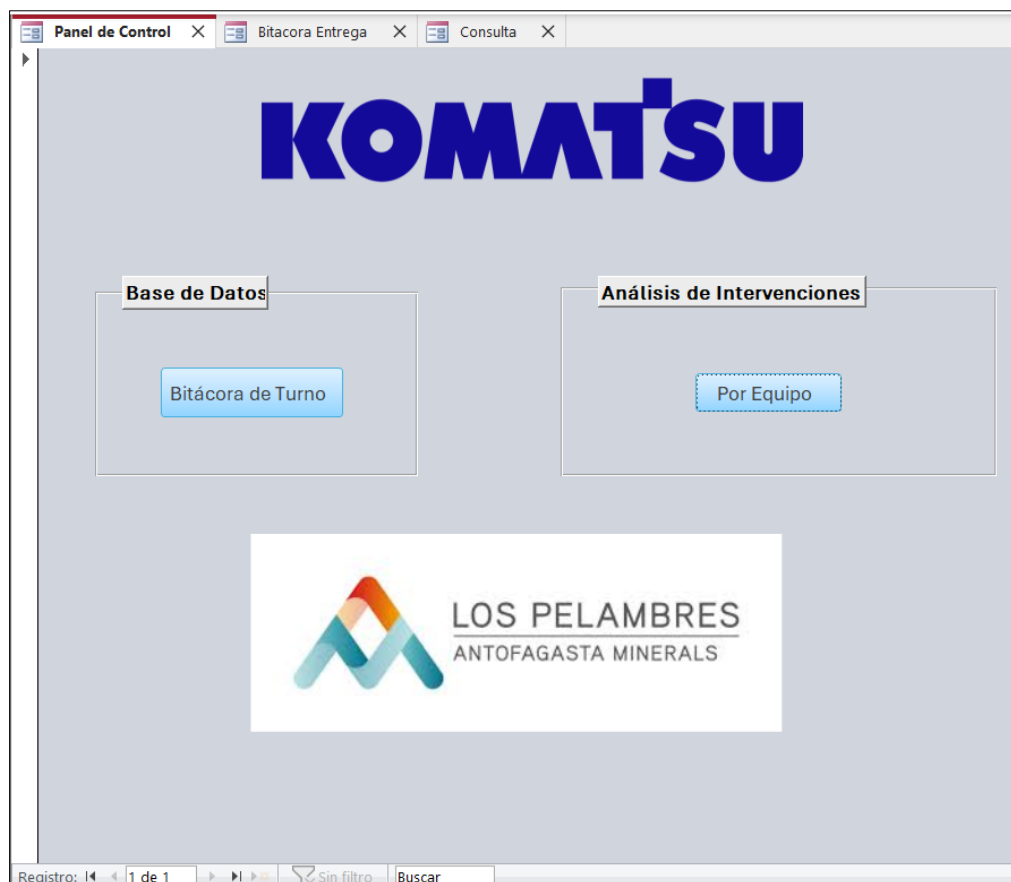
Antes de implementar cualquier mejora, es esencial asegurarse de que todas las actividades cumplan con las normativas del fabricante, validar las frecuencias de intervención y mantener una comunicación constante con Cummins.

2.1.4.7. Actualizar sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS)

Es recomendable implementar un sistema de seguimiento y registro de todas las intervenciones y mantenimientos realizados. Este sistema debe incluir detalles como la fecha de la intervención, los componentes revisados o reemplazados, y cualquier observación relevante. Tener un historial detallado y actualizado facilita la identificación de patrones y la toma de decisiones informadas para futuras acciones de mantenimiento.

Por ello se propuso a la jefatura utilizar una base de datos donde podamos llevar el control de los mantenimientos realizados. Esta base de datos es un archivo Access que fue especialmente creado para llevar la bitácora de intervenciones de la ejecución del mantenimiento de motores diésel para la empresa Komatsu.

En la próxima imagen se muestra el panel de control del archivo Access donde podemos acceder a la base de datos con cada una de sus bitácoras y además tenemos una opción para hacer un análisis de las intervenciones o un historial por equipo de lo intervenido.



Fuente: Confección propia en base a archivo Access base de datos Komatsu

Figura 2-1 Panel de Control Base de datos Komatsu

A continuación, se muestra una imagen “Bitácora de entrega turno Komatsu” que ilustra cómo se llena la bitácora de turno seleccionada en el panel de control. Esta bitácora solicita datos específicos sobre el equipo a intervenir, el tipo de mantenimiento realizado, el horómetro del equipo y la nave donde se atendió el equipo, es decir, el lugar físico de la atención. Además, se requiere la fecha de inicio y término de la intervención, junto con la identificación del supervisor a cargo del taller y el turno de la atención (diurno o nocturno).

Más abajo, se encuentra un campo igualmente importante para describir la reparación efectuada. En este punto, los técnicos pueden detallar toda la intervención realizada, así como los pendientes para el próximo turno. Esta digitalización de la bitácora, que antes se llevaba de manera física, permite respaldar toda la información de manera digital, asegurando un historial completo y accesible de las intervenciones.

The screenshot shows a web application interface for the Komatsu Bitácora de Entrega de Turno. The header features the Komatsu logo and the title 'BITACORA DE ENTREGA DE TURNO KOMATSU'. The form contains several input fields and dropdown menus:

- Equipo:** CA-50
- MP:** Imprevisto Terreno
- Horometro:** 86367,1
- Nave:** 1
- Fecha_Inicio:** 01-03-2024
- Fecha_Termino:** 02-03-2024
- Supervisor_Taller:** Cristian Caballero
- Turno:** Dia

Below these fields is a section titled 'Descripcion de Reparación Efectuada' with a large text area containing the text '- Esta es una prueba'. At the bottom of the form, there are four buttons: 'CERRAR BASE DE DATOS' (red), 'Guardar registro' (light blue), 'GUARDAR' (purple), and 'Nuevo Registro' (dark blue). The browser's status bar at the bottom shows 'Registro: 1 de 11' and a search bar.

Fuente: Confección propia en base a archivo Access base de datos Komatsu

Figura 2-2 Bitácora de entrega turno Komatsu

Por último, el archivo de la base de datos incluye un motor de búsqueda que permite consultar todos los informes almacenados. Esta opción facilita la selección de un equipo específico y la revisión de todas las intervenciones realizadas dentro de un rango de fechas. Resulta especialmente útil cuando se necesita analizar un equipo específico y obtener datos sobre intervenciones pasadas, lo que permite comprender mejor el historial del equipo y ser más precisos al identificar condiciones o fallas.

Panel de Control X Bitacora Entrega X Consulta X

KOMATSU

MOTOR DE BUSQUEDA DE INFORMES DE BASE DE DATOS

Equipo

FECHA INICIO

FECHA TERMINO

Registro: 1 de 3 Sin filtro Buscar

Fuente: Confección propia en base a archivo Access base de datos Komatsu

Figura 2-3 Motor de búsqueda de informes de base de datos

Es crucial actualizar el CMMS antes de comenzar a implementar el nuevo plan de mantenimiento. Una vez que el nuevo plan está en marcha, se generará una gran cantidad de datos, incluyendo información sobre las condiciones de los equipos, hallazgos encontrados en las inspecciones y datos concretos de mediciones realizadas. Para gestionar esta información de manera eficiente y evitar improvisaciones durante el proceso, es esencial que el CMMS esté completamente actualizado desde el inicio.


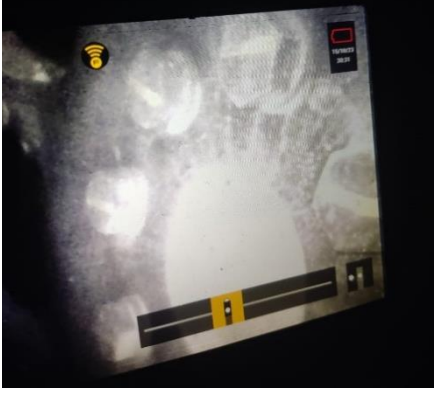


2.1.4.8. Implementar nuevo plan de mantenimiento

Tal como indica el título del trabajo, se trata de una propuesta de mejora integral del mantenimiento programado para los motores diésel QSK60 en la faena Los Pelambres. Por lo tanto, la intención no es implementarlo de inmediato, sino ofrecer una alternativa a la gerencia para ser más competitivos en el mercado a través de la mejora de nuestros procesos de mantenimiento internos. Este plan no se ha implementado paso a paso como se recomienda, sin embargo, algunos planes de acción se han aplicado a lo largo del tiempo, lo que ha mejorado la eficiencia del mantenimiento preventivo de los motores diésel. A continuación, se presentarán algunas de las mejoras más significativas.

Tabla 2-17 Nuevo plan de mantenimiento

Plan de acción	Registro/Documentación																																																																																																									
<p>C72. Revisión general de fugas de aire, refrigerante, aceite, escape y/o combustible.</p>	<p>Como plan de acción para abordar esta situación, se requería implementar un programa sólido de capacitación para el personal. Este fue uno de los puntos débiles identificados en la auditoría de gestión del conocimiento, ya que la mayoría del personal no contaba con las competencias necesarias para evaluar un motor diésel. Este aspecto del plan de mantenimiento es crucial para identificar problemas en los motores diésel. Una correcta verificación puede salvar componentes mayores o incluso el motor en su totalidad, pero para ello, es esencial que el personal esté adecuadamente capacitado. Por esta razón, la empresa Komatsu envió a un primer grupo de técnicos a capacitación para mejorar sus habilidades de inspección y atención de motores diésel. A continuación, se presenta un correo de respaldo de los cursos a realizar.</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: small;">Programa Capacitación Mantenimiento Motores 2023</p> <hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: left;"> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">FREDY ROBBER SEURA ORELLANA Para: German Ariel Soza Sepulveda; HUGO MARCELO BALDI ANDRADES; y 18 más CC: EVANAN ELIBERT MALDONADO MIRANDA; GUIDO ANTONIO LU HAMEN; y 10 más</p> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">Tue 21/09/2023 06:15 PM</p> </div> <div style="text-align: right; font-size: x-small;"> </div> </div> <p style="font-size: x-small; margin-top: 10px;">Estimados buenas tardes, esperando se encuentren bien, les comento que se realizaran capacitaciones de mantenimiento motores en los que están incluidos e invitados a participar de estos cursos orientados a mejorar su conocimiento en mantenimiento de motores, las coordinaciones serán realizadas por el centro formación komatsu (CFK) y Capacitaciones DCC, cualquier cambio será avisado con anticipación.</p> <p style="font-size: x-small; margin-top: 5px;">Estas capacitaciones serán en jornada de descanso de los técnicos y serán consideradas en el convenio sindical de capacitaciones, desde ya se invita a todos a participar de esta iniciativa de capacitación motores. cualquier duda o alcance relacionado a las capacitaciones estaremos en contacto.</p> <p style="font-size: x-small; margin-top: 5px;">Las primeras fechas serán modalidad WEBINAR (ON-LINE sincrónicas) destacadas en color celeste, para que puedan revisar el calendario.</p> <div style="background-color: yellow; padding: 2px; margin-top: 5px; font-size: x-small;"> <p>GUPO 1 corresponde a los turnos G1 y G2</p> <p>GUPO 2 corresponde a los turnos G3 y G4</p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>N_CUR SO</th> <th>LUGAR DE EJECUCIÓN</th> <th>MES</th> <th>DIA INICIO</th> <th>DIA FINAL</th> <th>AÑO</th> <th>NOMBRE CURSO</th> <th>HORAS</th> <th>TIPO ETAPAS</th> <th>APLICACIÓN</th> <th>DIRIGIDO_A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10877</td> <td>ON LINE</td> <td>OCTUBR E</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>2023</td> <td>OPERACIÓN & MANTENCIÓN HHP OSK60/ HPI (TEORICO)</td> <td>8</td> <td>FORMAC ION</td> <td>OSK60 CM500</td> <td>KOMATSU GRUPO 1</td> </tr> <tr> <td>10878</td> <td>ON LINE</td> <td>OCTUBR E</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>2023</td> <td>CM2330</td> <td>6</td> <td>FORMAC ION</td> <td>GENERICO</td> <td>KOMATSU GRUPO 1</td> </tr> <tr> <td>10880</td> <td>ON LINE</td> <td>OCTUBR E</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>2023</td> <td>OPERACIÓN & MANTENCIÓN HHP OSK60/ HPI (TEORICO)</td> <td>8</td> <td>FORMAC ION</td> <td>OSK60 CM500</td> <td>KOMATSU GRUPO 2</td> </tr> <tr> <td>10956</td> <td>ONLINE</td> <td>NOVIEM BRE</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>2023</td> <td>ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA (TEORICO)</td> <td>8</td> <td>FORMAC ION</td> <td>GENERICO</td> <td>KOMATSU GRUPO 1</td> </tr> <tr> <td>10912</td> <td>ON LINE</td> <td>FEBRERO</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>2024</td> <td>FAMILIARIZACIÓN OSK60 MCRS CM2150 (TEORICO)</td> <td>12</td> <td>FORMAC ION</td> <td>OSK60 MCRS</td> <td>KOMATSU GRUPO 1</td> </tr> <tr> <td>10914</td> <td>ON LINE</td> <td>FEBRERO</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>2024</td> <td>FAMILIARIZACIÓN OSK60 MCRS CM2150 (TEORICO)</td> <td>12</td> <td>FORMAC ION</td> <td>OSK60 MCRS</td> <td>KOMATSU GRUPO 2</td> </tr> </tbody> </table> <div style="background-color: yellow; padding: 2px; margin-top: 10px; font-size: x-small;"> <p>Participantes por grupo</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>GRUPO 1</th> <th>GRUPO 2</th> <th>GRUPO 3</th> <th>GRUPO 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sebastian Arenas</td> <td>Juan Basualto</td> <td>Felipe Melendez</td> <td>Ignacio Alvarez</td> </tr> <tr> <td>Roberto Barrera</td> <td>Franco López</td> <td>Diego Torres</td> <td>Jaime Manquez</td> </tr> <tr> <td>Manuel Jimenez</td> <td>Robinson Muñoz</td> <td>Mario Rodríguez</td> <td>José Rivas</td> </tr> <tr> <td>German Soza</td> <td>Luis Gonzales</td> <td>Christofer Mondaca</td> <td>Samuel Fuentes</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>GRUPO 1</th> <th>GRUPO 2</th> <th>GRUPO 3</th> <th>GRUPO 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sergio Pasten</td> <td>Hugo Baldi</td> <td>Yensy Campillay</td> <td>Francisco Robles</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="font-size: x-small; margin-top: 10px;"> <p>Atentamente</p> <p>Fredys Robber Seura Orellana Tutor de Capacitación Komatsu Chile S.A. Santiago Chile</p> <p>Cel. Capacitación +56 965191569 Cel Personal +56 9 77436677</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">Creating value together</p> </div> </div> </div>	N_CUR SO	LUGAR DE EJECUCIÓN	MES	DIA INICIO	DIA FINAL	AÑO	NOMBRE CURSO	HORAS	TIPO ETAPAS	APLICACIÓN	DIRIGIDO_A	10877	ON LINE	OCTUBR E	18	19	2023	OPERACIÓN & MANTENCIÓN HHP OSK60/ HPI (TEORICO)	8	FORMAC ION	OSK60 CM500	KOMATSU GRUPO 1	10878	ON LINE	OCTUBR E	20	20	2023	CM2330	6	FORMAC ION	GENERICO	KOMATSU GRUPO 1	10880	ON LINE	OCTUBR E	25	26	2023	OPERACIÓN & MANTENCIÓN HHP OSK60/ HPI (TEORICO)	8	FORMAC ION	OSK60 CM500	KOMATSU GRUPO 2	10956	ONLINE	NOVIEM BRE	2	3	2023	ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA (TEORICO)	8	FORMAC ION	GENERICO	KOMATSU GRUPO 1	10912	ON LINE	FEBRERO	8	9	2024	FAMILIARIZACIÓN OSK60 MCRS CM2150 (TEORICO)	12	FORMAC ION	OSK60 MCRS	KOMATSU GRUPO 1	10914	ON LINE	FEBRERO	15	16	2024	FAMILIARIZACIÓN OSK60 MCRS CM2150 (TEORICO)	12	FORMAC ION	OSK60 MCRS	KOMATSU GRUPO 2	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	Sebastian Arenas	Juan Basualto	Felipe Melendez	Ignacio Alvarez	Roberto Barrera	Franco López	Diego Torres	Jaime Manquez	Manuel Jimenez	Robinson Muñoz	Mario Rodríguez	José Rivas	German Soza	Luis Gonzales	Christofer Mondaca	Samuel Fuentes	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4	Sergio Pasten	Hugo Baldi	Yensy Campillay	Francisco Robles
N_CUR SO	LUGAR DE EJECUCIÓN	MES	DIA INICIO	DIA FINAL	AÑO	NOMBRE CURSO	HORAS	TIPO ETAPAS	APLICACIÓN	DIRIGIDO_A																																																																																																
10877	ON LINE	OCTUBR E	18	19	2023	OPERACIÓN & MANTENCIÓN HHP OSK60/ HPI (TEORICO)	8	FORMAC ION	OSK60 CM500	KOMATSU GRUPO 1																																																																																																
10878	ON LINE	OCTUBR E	20	20	2023	CM2330	6	FORMAC ION	GENERICO	KOMATSU GRUPO 1																																																																																																
10880	ON LINE	OCTUBR E	25	26	2023	OPERACIÓN & MANTENCIÓN HHP OSK60/ HPI (TEORICO)	8	FORMAC ION	OSK60 CM500	KOMATSU GRUPO 2																																																																																																
10956	ONLINE	NOVIEM BRE	2	3	2023	ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA (TEORICO)	8	FORMAC ION	GENERICO	KOMATSU GRUPO 1																																																																																																
10912	ON LINE	FEBRERO	8	9	2024	FAMILIARIZACIÓN OSK60 MCRS CM2150 (TEORICO)	12	FORMAC ION	OSK60 MCRS	KOMATSU GRUPO 1																																																																																																
10914	ON LINE	FEBRERO	15	16	2024	FAMILIARIZACIÓN OSK60 MCRS CM2150 (TEORICO)	12	FORMAC ION	OSK60 MCRS	KOMATSU GRUPO 2																																																																																																
GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4																																																																																																							
Sebastian Arenas	Juan Basualto	Felipe Melendez	Ignacio Alvarez																																																																																																							
Roberto Barrera	Franco López	Diego Torres	Jaime Manquez																																																																																																							
Manuel Jimenez	Robinson Muñoz	Mario Rodríguez	José Rivas																																																																																																							
German Soza	Luis Gonzales	Christofer Mondaca	Samuel Fuentes																																																																																																							
GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4																																																																																																							
Sergio Pasten	Hugo Baldi	Yensy Campillay	Francisco Robles																																																																																																							

<p>N42 Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva</p>	<p>Esta actividad de mantenimiento es una de las más frecuentes, ya que en cada parada programada se debe cambiar el aceite del motor. Sin embargo, como se identificó en la hoja de decisiones, esta tarea consume mucho tiempo debido a problemas logísticos causados por la falta de un procedimiento claro.</p> <p>Para optimizar el tiempo dedicado a este mantenimiento preventivo, se ha instalado un fitting directo desde la bomba de drenaje hasta el cárter del motor. Esta mejora permite extraer el aceite de manera directa, lo cual optimiza significativamente los tiempos de ejecución de la tarea de mantenimiento.</p> <div data-bbox="548 642 1417 1253">  <p>The images illustrate the maintenance improvement. The top-left photo shows a red pump connected to a tank. The top-right photo shows a close-up of a pipe fitting. The bottom-right photo shows two ball valves with blue handles.</p> </div>
<p>N35 Realizar medición de Juego Axial de motor. Registrar valor</p>	<p>La ejecución de esta tarea carecía de un procedimiento claro y específico sobre dónde colocar el reloj comparador de carátulas, lo cual generaba ambigüedad. Ante las diversas opciones proporcionadas por el procedimiento, se optó por la alternativa más sencilla y cómoda, la cual se ha estandarizado para su ejecución en todos los turnos, como se muestra en la imagen adjunta. De esta forma se estandarizan los procesos y se optimiza el tiempo para hacerlo de manera más eficiente.</p> <div data-bbox="548 1614 1036 2262">  <p>The photograph shows a close-up of a mechanical component, likely a motor, with a dial indicator being used for axial clearance measurement.</p> </div>

<p>N53 Revisar que las aspas del ventilador están en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (el torque de los pernos de las aspas del ventilador debe ser de 175 lb/pie)</p>	<p>Esta actividad es una de las que más tiempo tomaba en realizar ya que el personal Cummins solicita que se chequee el torque de los pernos del aspa del ventilador lo cual toma bastante tiempo por el acceso que tiene, se debe extraer una protección e ingresar dentro de la campana para chequear el torque de los pernos. Por ello, se ideó una solución donde los pernos serán chequeados sólo una vez a lo largo del ciclo de vida del motor diésel y será al inicio cuando se está armando el módulo de motor, se revisará el torque de los pernos a 175 lb/pie y se marcará el perno con lacre químico de esta forma luego solo se verificará con boroscopio el estado del perno liberando tiempo del preventivo.</p>   
<p>N56 Cambiar filtros de combustible Motor HPI</p>	<p>Esta actividad anteriormente tomaba mucho tiempo de ejecución ya que los filtros de combustible salen apretados por un error en la ejecución de aprete para mejorar esta situación se solicitó la herramienta especial Cummins P/N 3400157 para su correcta ejecución. A continuación, una ilustración de cómo se sacaban los filtros antes de llegar la herramienta especial.</p> 

Literalmente los técnicos debían atravesar una barretilla para hacer palanca al filtro por lo apretados que estaban y la llave de cadena no era suficiente para soltar el filtro de combustible. A continuación, la llegada de la herramienta especial.



Además, esta actividad tenía otra problemática que es el cebado de los filtros de combustible se ejecutaba de una manera rudimentaria y tomaba bastante tiempo porque se llenaban de manera manual antes de instalarse. Ahora con la mejora de este procedimiento se utiliza una bomba de cebado manual mejorando bastante el procedimiento de cambio de filtros HPI.



N36 Cambio de filtro de combustible separador (1º Etapa) para Motor Diesel MCRS

El cambio de este filtro tiene problemas de acceso ya que es incómodo posicionarse en el lugar de cambio porque se encuentra a 2 metros de altura. Por diseño no se puede cambiar de lugar porque está ubicado físicamente en esa posición por diseño para mejorar la mecánica de fluidos del paso de combustible al motor diésel. Por ende, se plantea un plan de acción que es posicionar una plataforma en el lugar justo debajo de los filtros de 1º etapa para mejorar la ergonomía del trabajador y por ende disminuir los tiempos del mantenimiento preventivo. A continuación, la ilustración de la mejora de la actividad.



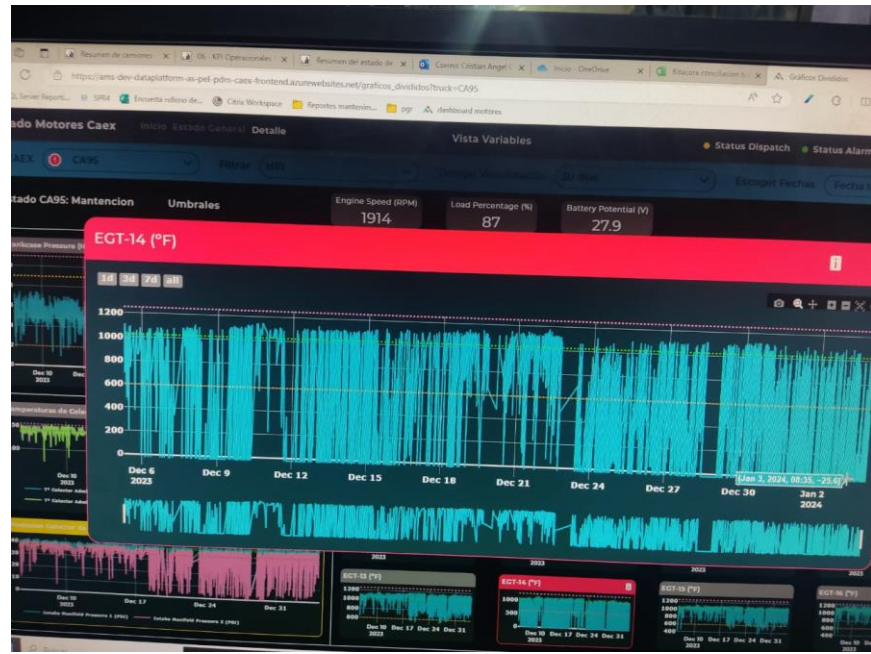
A continuación, la vista que tiene el trabajador ahora con la plataforma adecuada para realizar el cambio de los filtros de combustible de una manera más ergonómica.



N34
Inspeccionar sellado de ductos de admisión con ultrasonido

Esta actividad es una de las tareas que más tiempo tomaba su ejecución que era inspeccionar con ultrasonido el sellado de los ductos de admisión. La empresa Cummins con su filial Fleetguard implementaron un sistema de monitoreo de condiciones de la presión de admisión de los 4 turbos de baja por ende se encuentra en monitoreo constante y cuando se encuentran desviaciones en los parámetros o se disparan los niveles de sílice en las muestras de aceite estas levantan las alarmas y pueden ser detectadas de manera remota. Por ende, esta actividad puede ser reemplazada por monitoreo de condiciones.

La empresa Komatsu por otra parte, le da uso a un dashboard interno para monitorear los equipos, pero en este caso monitorear los parámetros vitales de la flota de motores diésel.



Fuente: Confección propia en base a operaciones Komatsu

2.1.4.9. Evaluación y medición de mejoras

Como se ha mencionado anteriormente no se ha implementado el PMO (optimización del mantenimiento preventivo) como tal por ende no se le puede hacer un seguimiento real de las mejoras que se propusieron como objetivo para la ejecución del PMO. No obstante, las mejoras que se mencionaron que se han ido implementando si se les puede hacer un seguimiento real del impacto ya que en un comienzo tenían un tiempo promedio de ejecución y ahora disminuyó significativamente. De hecho, tanto así que la pauta de motor diésel en un comienzo estaban planificadas para 14,2 horas con un técnico, estas disminuyeron a 6 horas de planificación que se cumple con lo real. Estas mejoras se deben en su mayoría a la experiencia de los técnicos en el tiempo que llevan ejecutando el mantenimiento de motor diésel, los cursos de capacitación a los que fueron enviados los técnicos mantenedores de motor diésel y las tareas que fueron traspasadas al personal Cummins.

Esto parece una contradicción porque finalmente el motor diésel de todas maneras se interviene por el personal Cummins y eso hace que aumente o se mantengan las horas de intervención del preventivo y no exista una real optimización porque sólo le envié mi trabajo a la otra empresa. No obstante, existe un tiempo que no se consideró para este trabajo de título que es el tiempo que obtiene el técnico mantenedor de motor cuando se desocupa de la pauta de motor diésel y ahora puede utilizar el tiempo restante como HH de apoyo a la pauta de mantención de camión

tanto en sus sistemas hidráulicos, mecánicos y eléctricos. En este sentido, se acorta la real ejecución del mantenimiento completo del camión al optimizar por una parte la pauta de motor diésel.

A continuación, un resumen de la mejora en los tiempos de las actividades de mantenimiento mencionadas que se alcanzaron a implementar.

Tabla 2-18 Comparativa de tiempos y frecuencias de ejecución

ID Tarea	Tarea o Actividad	¿Cuánto es el tiempo real para cada actividad o tarea? [En minutos]	¿Cuál es la frecuencia de ejecución de la tarea planificada? [En Horas]	Tiempo Real con mejora	Frecuencia de intervención con mejora
ID Tarea	Tarea o Actividad	Te[min]	F	Te[min]	Fi
N34	Inspeccionar sellado de ductos de admisión con ultrasonido	40	750	Monitoreo	Monitoreo
N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva	40	750	15	750
C72	Revisión general de fugas de aire, refrigerante y/o aceite	30	750	30	750
N53	Revisar que las aspas del ventilador están en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (el torque de los pernos de las aspas del ventilador debe ser de 175 lb-pie)	30	750	30	17500
N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registrar valor	20	750	10	750
N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	20	750	10	750
N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etapa) para Motor Diesel MCRS	20	750	10	750

Fuente: Confección propia en base a archivo Excel hoja de decisiones preventivo

CAPÍTULO 3 ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO
RESPECTO A LAS MEJORAS PROPUESTAS

3. ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO RESPECTO A LAS MEJORAS PROPUESTAS

Para implementar planes de acción y mejoras en la gestión de mantenimiento, es fundamental justificar el costo de inversión involucrado. En el análisis de la optimización del mantenimiento preventivo, cada hora que el equipo está detenido genera costos de indisponibilidad, es decir, costos por hora de tonelada no movilizada. Por lo tanto, es crucial conocer los costos y gastos asociados a tener el equipo inactivo.

Calcular los costos y gastos por hora de detención de un activo en una planta de producción es más directo. Sin embargo, determinar los costos de indisponibilidad de los equipos móviles en minería es más complejo. Esto se debe a que el cálculo depende de diversos factores, como el circuito que está cumpliendo el camión, si está extrayendo material estéril, el tipo de ley que está transportando, el valor del mineral en ese momento y otros factores que hacen que los costos sean variables a lo largo del año.

A pesar de la complejidad, es importante estimar o aproximar el costo por hora de indisponibilidad. Esto nos permitirá evaluar si los planes de acción o la inversión realizada son retribuidos adecuadamente o si, por el contrario, no vale la pena invertir tanto dinero y es más rentable cambiar todo el mantenimiento a correctivo. Por lo tanto, es fundamental realizar un análisis detallado para tomar decisiones informadas sobre la gestión de mantenimiento.

El costo de indisponibilidad por hora de faena Los Pelambres ha sido calculado y se mencionará más adelante.

3.1. ACTIVIDADES MINERAS

Las actividades mineras abarcan una amplia gama de procesos y áreas de especialización que deben integrarse de manera armoniosa en un único proceso de toma de decisiones para maximizar la eficiencia y el rendimiento económico.

Las operaciones mineras se dividen en cinco áreas principales: Perforación, Tronadura, Carguío, Transporte y Servicios. La última categoría, servicios, incluye equipos esenciales para el desarrollo del proyecto, como aljibes, bulldozers, motoniveladoras y otros equipos similares.



Fuente: Proyecto ASARCO MLP

Diagrama 3-1 Procesos operaciones mina

Este proceso tiene un valor promedio de operación denominado "Costo mina", que en los últimos meses ha sido de 2,7 US\$/ton. Este valor incluye el mantenimiento, es decir, es el costo promedio por mover una tonelada.

3.1.1. Transporte de mineral en área mina

El transporte de material o mineral en el área mina puede ser estéril, de baja, mediana o alta ley. Parte de este material se destina a botaderos asignados y otra parte al chancado, dependiendo de la ley final de material que se quiera obtener. En Minera Los Pelambres, el movimiento de mina es de 440,000 toneladas por día. Por lo tanto, es crucial estimar el tiempo que el equipo minero, específicamente el camión de extracción estará disponible para realizar esta tarea.

Es importante destacar que el camión minero Komatsu 930E tiene una capacidad promedio de acarreo de 320 toneladas por ciclo de carga y descarga. Este dato permite calcular la utilización diaria de cada camión y determinar los tiempos disponibles necesarios, lo cual es fundamental para gestionar el ciclo de mantenimiento de manera efectiva.

3.1.2. Sistema de gestión mina ASARCO

La Norma ASARCO, también conocida como ASARCO 1000, es un conjunto de estándares de seguridad y salud ocupacional ampliamente aplicados en la industria minera. Fue desarrollada por la American Smelting and Refining Company (ASARCO).

La norma ASARCO establece el contexto y los parámetros para definir los conceptos y asignar los tiempos en los cuales el equipo está activo durante la operación. Estos se definen de la siguiente manera:

Tabla 3-1 Descripción norma ASARCO

Concepto	Descripción
Tiempo nominal	Es el tiempo en el cual se produce la medición, este tiempo es de 24 horas.
Disponible	Espacio de tiempo en el cual el equipo se encuentra mecánicamente habilitado para operar.
No Disponible	Tiempo en que el equipo se encuentra fuera de servicio, ya sea por una intervención programada, algún imprevisto eléctrico o mecánico.
Operativo	Tiempo en el cual el equipo se encuentra mecánicamente apto y con operador, para cumplir con las actividades asignadas asociadas a la operación.
Reserva	Tiempo en el que el equipo se encuentra mecánicamente apto para ser operado, pero no está operando, ya sea por falta de operador, sin postura o alguna condición especial de la operación (detención de la mina o por parte de ella).
Utilización efectiva	Tiempo en el cual el equipo se encuentra desarrollando las tareas para las cuales fue desarrollado.
Perdida Operacional	Tiempo en el que el equipo no puede cumplir las tareas para las cuales fue desarrollado.
Demora programada	Tiempo en el cual el equipo no cumple la función debido a actividades normadas por ley (colación, cambio de turno).
Demoras no programadas	Período durante el cual el equipo no puede desempeñar sus funciones debido a condiciones operativas específicas o a ineficiencias.

Fuente: Confección propia en base a ...

En la siguiente imagen de la norma ASARCO, se aprecian las diferencias en los conceptos explicados:

Tiempo Nominal				
Disponible			No Disponible	
			Mantenimiento Programado	Mantenimiento NO Programado
Operativo			Reserva	
Utilización Efectiva	Pérdidas Operacionales	Demoras		
		Programadas	No Programadas	

Fuente: Proyecto ASARCO MLP

Figura 3-1 Cuadro Norma ASARCO

3.2. DEPRECIACIÓN

Para entender la depreciación y su impacto en los costos en Minera Los Pelambres, especialmente en relación con los equipos Komatsu 930E, es crucial analizar cómo se aplica el método de las unidades de producción. La depreciación se refiere a la reducción del valor de un activo con el tiempo debido a factores como el desgaste, el paso del tiempo y la obsolescencia o vejez. Estos factores son esenciales para evaluar cómo se deteriora un equipo tanto por su uso como por su antigüedad.

El método de las unidades de producción, utilizado por el grupo AMSA para calcular la depreciación de los equipos, se basa en la cantidad de unidades producidas durante la vida útil del equipo. En el caso de los equipos Komatsu 930E, la vida útil estimada es de 46.500 horas. Este método se diferencia de otros porque considera el uso efectivo del equipo, proporcionando una visión más precisa de su depreciación.

La fórmula utilizada para calcular la depreciación con este método es la siguiente:

$$\text{Valor Depreciado Producto (VDP)} = \frac{\text{Valor del Activo}}{\text{Unidades producidas durante la vida útil}}$$

Esta fórmula permite calcular la pérdida de valor del equipo en función de su uso real, considerando tanto el valor inicial del equipo como su valor de salvamento al final de su vida útil.

En resumen, entender y calcular la depreciación es vital para la gestión financiera y operativa en Minera Los Pelambres. Este cálculo no solo refleja el valor real y el desgaste del equipo con el tiempo, sino que también permite realizar estudios económicos precisos para tomar decisiones informadas sobre proyectos y mejoras. La depreciación, al ser un componente clave del costo, ayuda a mantener una visión clara y precisa de la viabilidad económica y el rendimiento operativo de los equipos mineros.

3.3. GASTOS EN MINERA LOS PELAMBRES

Para comprender los costos asociados al mantenimiento, es fundamental analizar cómo se distribuyen estos gastos en una operación minera. A continuación, se detallan los gastos de la mina en un cuadro comparativo, donde se observa un incremento de al menos 3 puntos porcentuales en los gastos relacionados con el mantenimiento de transporte en MLP.



Fuente: Proyecto ASARCO MLP

Gráfico 3-1 Distribución de gastos mina 2018



Fuente: Proyecto ASARCO MLP

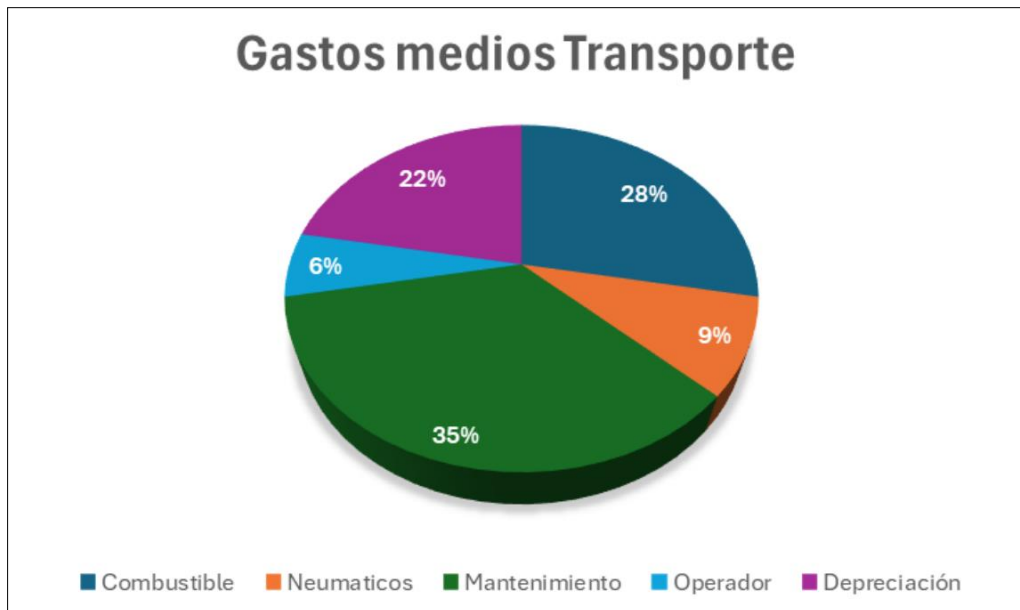
Gráfico 3-2 Distribución de gastos mina 2023

En 2018, los gastos de mantenimiento de la mina fueron de 1.99 US\$/ton. Para 2023, estos costos aumentaron a 2.7 US\$/ton, lo que representa un incremento del 35.7% en el valor del mantenimiento de la mina.

3.3.1. Distribución de gastos en transporte

La operación de equipos de transporte de mineral concentra sus mayores gastos en tres áreas principales: mantenimiento (35%), combustible (28%) y depreciación (22%). Cualquier cambio en estos tres aspectos impacta significativamente el costo por tonelada transportada. Más adelante, se mostrarán las variaciones que resultan del cambio de frecuencia en el mantenimiento, específicamente en el rubro de Mantenimiento, ya que las fluctuaciones en los demás, como el precio del combustible, no se considerarán. En el siguiente gráfico se muestra la distribución promedio de los gastos de transporte.

A continuación, se aprecia la distribución promedio de los gastos de transporte.



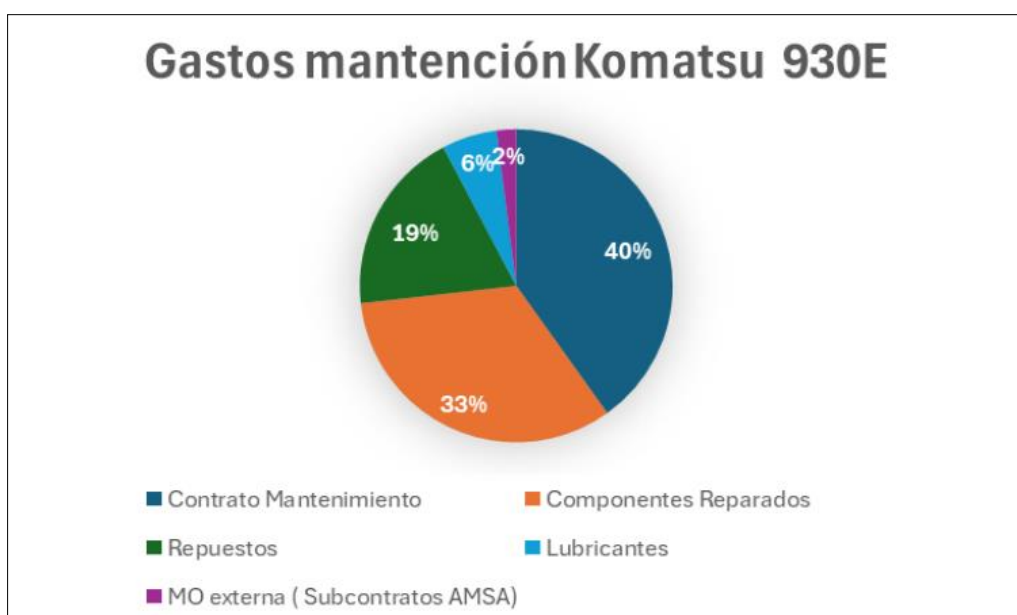
Fuente: Proyecto ASARCO MLP

Gráfico 3-3 Gastos medios transporte 2023

Los factores a considerar para definir el costo por tonelada transportada en el transporte incluyen mantenimiento, mano de obra, combustible, depreciación, neumáticos y rendimiento. Los parámetros para tener en cuenta son el precio del combustible, la distancia en pendiente, la distancia total recorrida, la pendiente en la mina o en los circuitos y las restricciones de velocidad. Todos estos elementos combinados determinan el costo por tonelada, un parámetro que se revisa constantemente.

3.3.2. Distribución de gastos medios en Camión Komatsu 930E

A continuación, se desglosan los gastos asociados al camión de extracción Komatsu 930E, resaltando los costos más significativos que pueden variar según el tipo de motor seleccionado y si estos se mejoran para operar sin problemas a altitudes superiores a 4000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Sin embargo, se presentan los costos medios de mantenimiento del camión de extracción Komatsu 930E en términos porcentuales, ya que se trata de información confidencial. Se observa que los costos asociados al contrato directo de mantenimiento son los más elevados debido a que este servicio es realizado por la empresa fabricante y su mano de obra especializada.



Fuente: Proyecto ASARCO MLP

Gráfico 3-4 Gastos mantención Komatsu 930E

Basado en estos valores mencionados y considerando todos los aspectos relacionados con la operación de camiones u otros equipos mineros, AMSA calcula un costo operativo por equipo, conocido como "Costo de operación por hora". Este costo se utiliza para evaluar proyectos nuevos o estimar el impacto financiero de la indisponibilidad de equipos por hora.

A continuación, se presentan los diferentes costos por hora de equipos de carga y transporte para analizar sus variaciones.

Tabla 3-2 Valor hora de equipo de transporte

	CAT 793F	CAT 797F	KOMATSU 930E
TRANSPORTE			
Total [USD/hr]	417	525	455

Fuente: Proyecto ASARCO MLP

Por ende, el valor que se utilizará para este trabajo de título como valor hora del equipo es de 455 [USD/hr].

3.4. ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO

El plan de mantenimiento actual para motores diésel se encuentra con muchas oportunidades de mejora por la ineficiencia que se detecta en varias dimensiones por lo que al proponer la aplicación del PMO (optimización del mantenimiento preventivo) se logra identificar cuáles son las brechas que no detectamos que nos demoran para ejecutar el mantenimiento preventivo y se les debe identificar las causas raíces de las demoras entonces cuando se identifica luego podemos aplicar un plan de acción, no obstante, el plan de acción no puede ser a libre albedrío o cualquier plan de acción porque significa una inversión o un costo que tiene que ser correctamente justificado. Uno de los aspectos más relevantes para el PMO es el valor hora del equipo, es decir que significa que el equipo se detenga una hora de operación. También se pueden utilizar otras métricas importantes como el impacto a la seguridad o el medio ambiente, no obstante, como el PMO se aplica a empresas que ya llevan años en el mercado y que ya se aplicó un RCM quiere decir que las actuales actividades de mantenimiento son las que realmente mitigan los riesgos en seguridad y ambientales del equipo, pero siempre se recomienda ir verificando si esta situación cambió por algún tema del entorno.

Tabla 3-3 Comparativa de costos plan antiguo v/s nuevo plan

ID Tarea	Tarea o Actividad	Pérdida estimada según impacto por producción [Dólar]	ID Tarea	Tarea o Actividad Nueva	Nueva Pérdida estimada según impacto por producción [Dólar]
ID Tarea	Tarea o Actividad	PP	ID Tarea	Tarea o Actividad Nueva	PP
N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambiar los filtros de aire. HPI, realice el cambio de filtros de acuerdo a la restricción: - Restricción máxima permisible de admisión: 1) Elemento del filtro limpio: 15" H2O. 2) Elemento del filtro sucio: 25" H2O. Registrar el peso de filtros primarios retirados.	\$ 594.533	N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambiar los filtros de aire. HPI, realice el cambio de filtros de acuerdo a la restricción: - Restricción máxima permisible de admisión: 1) Elemento del filtro limpio: 15" H2O. 2) Elemento del filtro sucio: 25" H2O. Registrar el peso de filtros primarios retirados.	\$ 297.267
N18,52	Inspección y limpieza conectores contaminados y defectuosos. Inspeccionar arneses (motor, J1939) y sensores de motor diésel (estado y fijación). visualizar sensor y arnés de nivel estanque auxiliar	\$ 445.900	-	-	-
N34	Inspeccionar sellado de ductos de admisión con ultrasonido	\$ 396.356	-	-	-
N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva	\$ 396.356	N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y cambio de aceite a estanque de reserva	\$ 148.633
C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas	\$ 297.267	C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas	\$ 74.317
C10,13,72	Revisión general de fugas de aire, refrigerante y/o aceite	\$ 297.267	C72	Revisión general de fugas de aire, refrigerante, aceite, escape y/o combustible	\$ 297.267
N19	Inspeccionar condición de rodillo tensor de correa de fan	\$ 297.267	N19	Inspeccionar condición de rodillo tensor de correa de fan	\$ 37.158
N25	Inspeccionar y validar termocuplas (fijación, estado de aislación y validar el ruteo del cableado no tenga roce con estructura)	\$ 297.267	-	-	-
N53	Revisar que las aspas del ventilador están en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (el torque de los pernos de las aspas del ventilador debe ser de 175 lb-pie)	\$ 297.267	N53	Revisar que las aspas del ventilador están en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento (el torque de los pernos de las aspas del ventilador debe ser de 175 lb-pie)	-
N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	\$ 297.267	N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	\$ 148.633

C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2), Start/Stop, Fault Log.	\$ 198.178	C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2), Start/Stop, Fault Log.	\$ 99.089
N07	Inspeccionar pernos de fijación de escape, en caso de encontrarse con desviación, reponer.	\$ 198.178	-	-	-
N08	Inspeccionar pernos de catridge, en caso de encontrarse con desviación, reponer.	\$ 198.178	-	-	-
N46	Inspección de pernos de culata y fugas por empaquetaduras de base	\$ 198.178	-	-	-
N54	Inspeccionar fugas por cubo ventilador y juego axial	\$ 198.178	N54	Inspeccionar fugas por cubo ventilador y juego axial	\$ 24.772
N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registrar valor	\$ 198.178	N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registrar valor	\$ 99.089
N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	\$ 198.178	N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	\$ 99.089
N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etapa) para Motor Diesel MCRS	\$ 198.178	N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etapa) para Motor Diesel MCRS	\$ 99.089
C73	validar que no estén presentes ruidos extraños en el equipo. en caso de encontrarse alguna anomalía, dejar registro.	\$ 148.633	-	-	-
N44	Verificar fugas entre múltiple de escape y base de turbocargador (estado de empaquetadura)	\$ 148.633	-	-	-
N47	Verificar el torque de los pernos en la base de eliminador e inspeccionar que no existan fisuras (torque de 33 lb-pie)	\$ 148.633	N47	Verificar el torque de los pernos en la base de eliminador e inspeccionar que no existan fisuras (torque de 33 lb-pie)	\$ 6.370
N15,16	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de filtros de combustible primera etapa (oring NP 3945125-00)	\$ 148.633	N15,16	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de filtros de combustible primera etapa (oring NP 3945125-00)	\$ 37.158
N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor (Trunnion). Si cuenta con sistema automático de engrase, verificar nivel de grasa y funcionamiento, si es necesario, cambie depósito de grasa	\$ 148.633	N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor (Trunnion). Si cuenta con sistema automático de engrase, verificar nivel de grasa y funcionamiento, si es necesario, cambie depósito de grasa	\$ 74.317
N21 - N22	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del Alternador de 24 Volts. Validar giro libre del alternador 24 Volts	\$ 148.633	N21 - N22	Inspeccionar condición y validar tensión de la correa del Alternador de 24 Volts. Validar giro libre del alternador 24 Volts	\$ 99.089
N26	inspección de las mangueras tanto de lubricación como de refrigeración de los turbos (alta y baja)	\$ 148.633	-	-	-
N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Etapa) para Motor Diesel MCRS	\$ 148.633	N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Etapa) para Motor Diesel MCRS	\$ 99.089
C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150	\$ 148.633	C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150	\$ 74.317
N28 - N29	Chequear condición de buje y eje centrifugo. Chequear condición hilo tapa centrifugo	\$ 148.633	N28 - N29	Chequear condición de buje y eje centrifugo. Chequear condición hilo tapa centrifugo	\$ 148.633
C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos	\$ 99.089	C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos	\$ 49.544

C70	Validar limpieza de colectores de polvo	\$ 99.089	C70	Validar limpieza de colectores de polvo	\$ 99.089
N45	Verificar que los seguros de tornillos de catridge turbocargadores se encuentren doblados, sino rectificar.	\$ 99.089	-	-	-
N09	Inspeccionar integridad de bellows y fijación de abrazaderas.	\$ 99.089	-	-	-
N51	Revisar estado y fijación de conector sensor blowby y guardapolvo	\$ 99.089	-	-	-
N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (presencia de los 3 pernos de anclaje, presencia de fluidos, conexiones en buen estado)	\$ 99.089	N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (presencia de los 3 pernos de anclaje, presencia de fluidos, conexiones en buen estado)	\$ 99.089
N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulicas Prelube	\$ 99.089	N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulicas Prelube	\$ 99.089
N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de motor.	\$ 99.089	N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de motor.	\$ 99.089
N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador. Revisión conector drenaje eliminador. Verificar que acople rápido esté en buen estado	\$ 99.089	N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador. Revisión conector drenaje eliminador. Verificar que acople rápido esté en buen estado	\$ 99.089
N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI	\$ 99.089	N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel MCRS y para Motor HPI	\$ 99.089
N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combustible para Motor Diesel MCRS	\$ 99.089	N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combustible para Motor Diesel MCRS	\$ 99.089
N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de reserva.	\$ 49.544	N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de reserva.	\$ 49.544
C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina	\$ 49.544	C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina	\$ 49.544
C60	Realizar medición de restricción de admisión en cabina. Registrar valor	\$ 49.544	C60	Realizar medición de restricción de admisión en cabina. Registrar valor	\$ 49.544
C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150	\$ 49.544	C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150	\$ 24.772
C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite	\$ 49.544	C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite	\$ 24.772
C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener transmisión Specto)	\$ 49.544	C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener transmisión Specto)	\$ 49.544
C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistema Specto	\$ 49.544	C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistema Specto	\$ 49.544
C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En caso de encontrar alguna desviación reportar.	\$ 49.544	C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En caso de encontrar alguna desviación reportar.	\$ 49.544
C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferencial Specto)	\$ 49.544	C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferencial Specto)	\$ 49.544

N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cárter se encuentren sin dobleces y libres de obstrucción en la punta. Se debe realizar limpieza	\$ 49.544	N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cárter se encuentren sin dobleces y libres de obstrucción en la punta. Se debe realizar limpieza	\$ 49.544
N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrigeración, tanque de expansión y tapa de radiador	\$ 49.544	N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrigeración, tanque de expansión y tapa de radiador	\$ 49.544
N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de combustible	\$ 49.544	N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de combustible	\$ 49.544
N30	Registrar peso filtro Spiratec	\$ 49.544	N30	Registrar peso filtro Spiratec	\$ 49.544
N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero (acople motor con alternador principal)	\$ 49.544	N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero (acople motor con alternador principal)	\$ 49.544
N58	Revisar nivel de refrigerante	\$ 49.544	N58	Revisar nivel de refrigerante	\$ 49.544
AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las inspecciones. Confirmar que todos los valores de torques y presiones medidos queden registrados en columna observaciones.	\$ 49.544	AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las inspecciones. Confirmar que todos los valores de torques y presiones medidos queden registrados en columna observaciones.	\$ 49.544
AN02	Verificar que ninguna herramienta, perno, tuerca o cualquier elemento extraño quede en el equipo al término de la mantención. Si esto sucede puede provocar un daño o mal funcionamiento del equipo.	\$ 49.544	AN02	Verificar que ninguna herramienta, perno, tuerca o cualquier elemento extraño quede en el equipo al término de la mantención. Si esto sucede puede provocar un daño o mal funcionamiento del equipo.	\$ 49.544
TOTAL		\$ 8.620.733	TOTAL		\$ 3.499.253

Fuente: Confección propia en base a archivo excel hoja de decisiones preventivo

Al verificar cuales son los costos actuales del mantenimiento aplicados con el PMO estos son sacados con una fórmula explicada en el paso a paso:

$$PP = \left(\frac{Te}{60}\right) * \left(\frac{F}{Tf}\right) * CPH$$

Donde el último CPH el costo por hora del equipo es el más relevante ya que con el podemos estimar el costo de la detención del equipo según el tiempo que está el equipo en mantenimiento.

El antiguo plan contempla un total de 18.947 [horas] de detención del equipo para ejecutar el mantenimiento preventivo esto convertido a costo por hora de \$ 455 [USD/hora] asciende a \$8.620.733 [USD] sólo por pérdidas asociadas a la detención del equipo por el tiempo programado promedio.

El nuevo plan de mantenimiento después de aplicar el PMO contempla un total de sólo 7.719 [horas] de detención del equipo para ejecutar el mantenimiento preventivo esto convertido a costo por hora de \$ 455 [USD/hora] asciende a \$3.511.933 [USD] sólo por pérdidas asociadas a la detención del equipo por el tiempo programado promedio.

Pero esto requiere una inversión que según el plan de acción que se requiere implementar adjuntado a continuación.

Tabla 3-4 Inversión según el plan de acción

Plan de acción	Costo PdA
PdA	CPdA
Se debe tener un plan de mantenimiento para los equipos de apoyo. Se debe investigar la causa raíz del problema de asentamientos de los filtros de aire.	USD 10.000
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -
Esta tarea pasa a predictivo ya que personal Cummins monitorea los parámetros vitales de la presión vacuométrica de los ductos de admisión y advierte cuando los parámetros se encuentran erróneos o existen pérdida de hermeticidad en los ductos. Actualmente el 100% de la flota cuenta con el sistema FIT de monitoreo de presión vacuométrica en ambos ductos de aire.	USD -
Se mejora el procedimiento para cambio de aceite, conectando directamente con bomba de drenado, aumentando la eficiencia de la actividad preventiva.	USD 100
Se debe cambiar tarea preventiva a tarea por condición.	USD -
Es totalmente necesario dejar la tarea como está, pero capacitando al personal en realizar una muy buena previa para verificar todos los puntos críticos que pueden provocar imprevistos en terreno. Una vez que se verifiquen todos los puntos críticos dar aviso a personal Cummins del estado del activo antes de ingresarlo a mantenimiento para que se asegure la calidad y confiabilidad del equipo.	USD 20.000
Este modo de falla corresponde a una falla súbita y aunque amerita un tiempo de reparación de 6 horas no corresponde a una falla catastrófica y puede ser llevado a tarea correctiva por la baja cantidad de frecuencia del modo de falla. Se debe consultar con fábrica el análisis causa raíz de falla.	USD -
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -
Se sugiere implementar un cambio en el procedimiento de esta inspección. Como se debe inspeccionar el torque de los pernos del aspa del ventilador se utilizará lacre químico para marcar los pernos y para el próximo mantenimiento se verificará con boroscopio que no haya perdido la marca, en caso de haber perdido la marca o se encuentre quebrado significa que el perno se soltó producto de la vibración.	USD 5.000
Se debe implementar herramientas específicas para aumentar la eficiencia de la actividad preventiva.	USD 1.000
Se debe cambiar frecuencia de inspección de datos cada 1500 horas.	USD -
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD -

La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
Este modo de falla corresponde a una falla súbita y aunque amerita un tiempo de reparación de 6 horas no corresponde a una falla catastrófica y puede ser llevado a tarea correctiva por la baja cantidad de frecuencia del modo de falla. Se debe consultar con fábrica el análisis causa raíz de falla.	USD	-
Se debe implementar la herramienta adecuada para ejecutar la tarea de medición de axial y actualizar y estandarizar el procedimiento adecuado para realizarlo capacitando al personal.	USD	3.000
Se debe implementar la herramienta adecuada para ejecutar la tarea de medición de axial y actualizar y estandarizar el procedimiento adecuado para realizarlo capacitando al personal.	USD	3.000
Se debe implementar una plataforma para mejorar el acceso de esta actividad y aumentando la eficiencia de esta actividad disminuyendo los tiempos de ejecución.	USD	8.000
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
Se debe realizar sólo una vez en el ciclo de vida del activo cuando el motor diésel es nuevo y luego sólo chequear el lacre químico en los pernos.	USD	2.000
Se debe cambiar la tarea de preventivo a correctivo.	USD	-
Se debe evaluar como cambiar el tipo de soporte para que el depósito sea visible en todo momento y se mejore el acceso de la actividad aumentando la eficiencia del preventivo.	USD	5.600
Se debe implementar herramientas específicas para aumentar la eficiencia de la actividad preventiva.	USD	1.000
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
Se debe implementar herramientas específicas para aumentar la eficiencia de la actividad preventiva.	USD	2.000
Se debe cambiar frecuencia de inspección de datos cada 1500 horas.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar la misma frecuencia del punto C61. Además, investigar técnicas de análisis de datos para mantener esta actividad con monitoreo constante. En su defecto mejorar el sistema de presión de corte mecánico por uno digitalizado.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
La ejecuta otra empresa por lo que se elimina de la pauta de mantenimiento.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Se debe cambiar frecuencia de inspección de datos cada 1500 horas. Además, esta actividad se debe cambiar a monitoreo de condiciones.	USD	-
Dejar la misma frecuencia del punto C61. Además, investigar técnicas de análisis de datos para mantener esta actividad con monitoreo constante.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
Dejar actividad tal como está.	USD	-
COSTO TOTAL	USD	60.700

Fuente: Confección propia en base a archivo excel hoja de decisiones preventivo

Se requiere una inversión de \$60.700 para implementar el plan de acción del PMO, esto justificado por cada uno de los ítems del análisis causa raíz que se realizó para recomendar el plan de acción.

Con esta inversión hay que asegurar que se realicen los cambios de frecuencia de las actividades que le requieren y el traspaso formal de las actividades al departamento de Cummins se puede obtener un ahorro de costos de \$5.121.480 por la implementación del PMO.

3.5. RETORNO DE LA INVERSIÓN

Para aterrizar un poco el cálculo se estima que esos \$8.620.733 USD de costo de preventivo son en 3 años de operación, estos 3 años de operación se calculan por un promedio de 6000 horas anuales de operación del motor diésel si lo dividimos en el tiempo del TBO del activo las 17.500 horas da un resultado de 2,92 años por ende se aproxima a 3 años, si lo pasamos a costo anual sería estimado en \$2.873.578 USD. Por otra parte, los ahorros potenciales al ascender a \$5.121.480 USD anualizado en \$1.707.160 USD.

Si la inversión que se necesita es de al menos \$60.700 USD esta retornaría en teoría al primer mes de implementación. Contemplando que existe un periodo de adaptación a la implementación las posibilidades de que funcione según las mejoras que se han incorporado apunta a que la inversión económicamente si es rentable disminuir los tiempos de preventivo, además esta tiene feed back inmediata de los técnicos al medir los tiempos nuevos de ejecución.

Se pueden calcular los indicadores económicos para justificar implementar la inversión que trae el PMO.

3.6. INDICADORES FINANCIEROS VAC, CAE, PAYBACK

A continuación, se presentan los indicadores financieros de la propuesta de implementación del PMO (optimización del mantenimiento preventivo)

3.6.1. Valor Actual de Costos (VAC)

El Valor Actual de Costos (VAC) es un indicador financiero similar al Valor Actual Neto (VAN) que permite traer a valor presente los costos de un proyecto. En el presente trabajo de título, es crucial calcular el VAC, ya que el mantenimiento preventivo involucra constantemente costos de ejecución. Con la optimización del mantenimiento preventivo (PMO), se busca reducir estos costos. Por lo tanto, es

necesario recalcular el costo de continuar con el plan de mantenimiento actual o aplicar la inversión en mejoras. Estos parámetros financieros son fundamentales para tomar decisiones basadas en datos financieros concretos. Se calcula según la siguiente fórmula:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial

C_t : Costos incurridos durante el periodo t

n : horizonte de evaluación

r : tasa de descuento

3.6.2. Costo anual equivalente CAE

El Costo Anual Equivalente (CAE) financiero es una medida utilizada para comparar los costos anuales de diferentes proyectos o inversiones que tienen diferentes vidas útiles. El CAE convierte el valor presente de los costos de un proyecto en una serie de pagos anuales equivalentes durante su vida útil. Esto permite comparar de manera más directa proyectos con diferentes duraciones y estructuras de costos. La ecuación que permite calcular el CAE es el siguiente:

$$CAE = VAC * \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1}$$

Donde:

VAC : Valor actual de costos

i : tasa de descuento

n : número de períodos

3.6.3. Payback

El payback, o período de recuperación de la inversión, es un indicador financiero que mide el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial de un proyecto a través de sus flujos de efectivo netos. Es una herramienta simple y comúnmente utilizada para evaluar la viabilidad de proyectos e inversiones.

Para calcular el período de payback, se suman los flujos de efectivo anuales generados por el proyecto hasta que la suma acumulada sea igual a la inversión inicial. El payback se expresa en unidades de tiempo, como años o meses.

$$Payback = \frac{I_0}{F_t}$$

Donde:

I_0 : es la inversión inicial

F_t : son los flujos de efectivo netos en el período t

t : es el período de tiempo

En este caso, el Payback se calculará con el flujo neto del período de tiempo de 1 año.

3.6.4. Cálculo de vac, cae y payback

Los indicadores financieros previamente mencionados serán calculados para el presente trabajo de título en base a la inversión que requiere la implementación del PMO (optimización del mantenimiento preventivo), estos indicadores financieros sirven para tomar decisiones en base a datos financieros concretos y permiten validar la rentabilidad de un proyecto.

Tabla 3-5 Comparativa de costos proyecto

Detalle	Continuar sin Optimización	Con propuesta PMO
Costo de mantenimiento preventivo anual estimado	\$ 2.873.578	\$ 1.166.418
Tasa descuento	10%	10%
Ciclo Vida	3 años	3 años
Inversión	\$ -	\$ 60.700
Costo total	\$ 2.873.578	\$ 1.166.418
VA Costo mantenimiento	\$ 7.146.163	\$ 2.900.708
VAC (VA+Inversión)	\$ 7.146.163	\$ 2.961.408
CAE	\$ 2.873.578	\$ 1.190.826
PAYBACK (AÑOS)	-	0,04
PAYBACK (DÍAS)	-	13,17

Fuente: Confección propia en base a archivo excel hoja de decisiones preventivo

Al realizar los cálculos, se obtiene lo siguiente: el VAC, que representa el Valor Actual de Costos del mantenimiento durante el ciclo de vida, es de \$7,146,163 USD. En cambio, si se implementara el PMO, el costo de mantenimiento se reduce a \$2,961,408 USD mediante una inversión de \$60,700 USD. Se espera un payback o retorno de inversión de aproximadamente 13.15 días. Por ende, este proyecto se percibe como altamente rentable debido a la baja inversión inicial requerida.

3.6.4.1. Costo de mantenimiento preventivo anual estimado

El valor del costo de mantenimiento preventivo anual es calculado a partir de la sumatoria de costos resultado de las actividades preventivas que resume el plan de mantenimiento actual contra el plan de mantenimiento propuesto con la implementación del PMO

3.6.4.2. Tasa de descuento

La tasa de descuento es un porcentaje utilizado para calcular el valor presente de futuros flujos de efectivo en proyectos de inversión. Está compuesta por la tasa libre de riesgo, que es el retorno de una inversión sin riesgo como los bonos del gobierno; el riesgo sistemático o beta, que mide la volatilidad del proyecto en relación con el mercado; y el premio por riesgo de mercado, que es el retorno adicional que los inversores exigen por asumir riesgos de mercado. Estos componentes juntos reflejan el costo de oportunidad del capital y el riesgo del proyecto, permitiendo evaluar y comparar inversiones de manera informada. En este caso se utilizó una tasa de descuento del 10% obtenida de información financiera de proyectos mineros actuales.

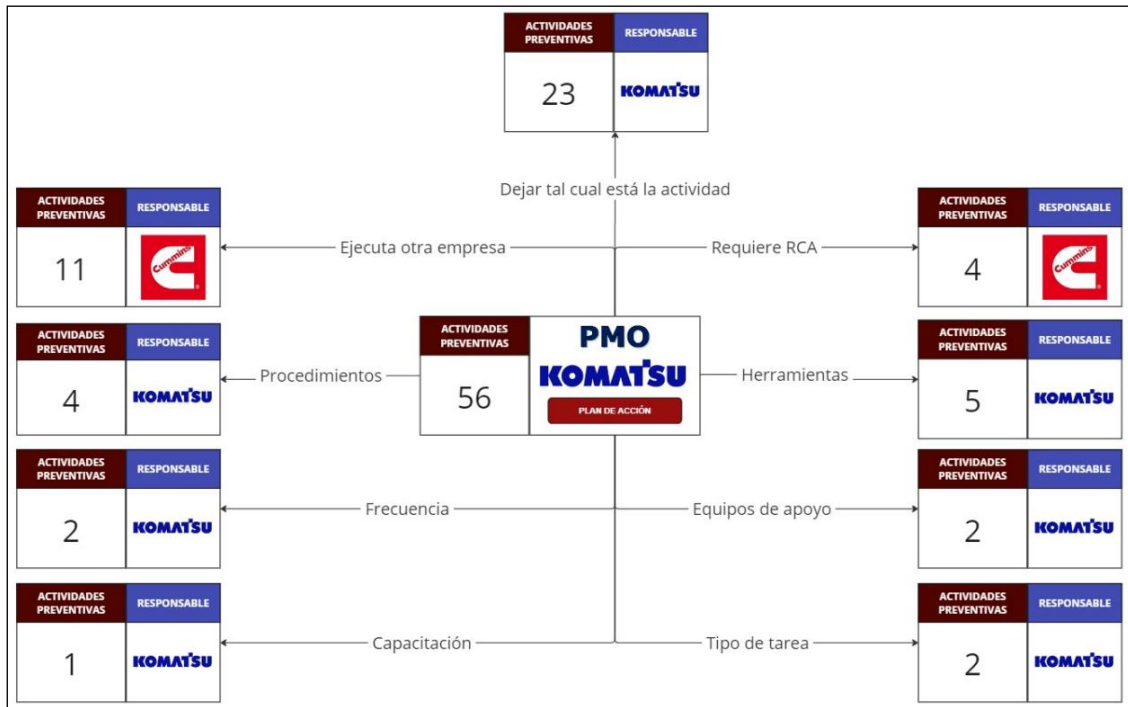
3.6.4.3. Ciclo de vida

El ciclo de vida o vida útil de proyecto se estimó en 3 años ya que el TBO de los activos es de 17.500 horas y se estima que un motor diésel opera alrededor de 6.000 horas anuales, por ende, su ciclo de vida útil de es de aproximadamente 3 años.

3.7. PERJUICIOS IMPLÍCITOS PARA EL CONTRATO KOMATSU-MLP

Dentro del marco de los beneficios que trae el PMO se analizarán en detalle los perjuicios que se encuentran implícitos de liberar horas de mantenimiento preventivo. Al aplicar el PMO en faena los Pelambres se debe desglosar que sucede con las actividades que recae en lo realiza otra empresa, no es tan fácil como liberar un mantenimiento preventivo e indicar que otra empresa se hará responsable, en el mundo ideal es fácil decir esto, no obstante, y más aún en una faena como minera los Pelambres donde tienen el Holding completo de la empresa Komatsu Chile, Cummins, DTSA, Komatsu Cummins y Modular. Por ende, al pasar las HH de ejecución de las tareas a otra empresa no es más que una publicidad engañosa ya que las HH de todas formas se hace cargo el Holding de ellas por lo que no sería una real optimización de las tareas.

A continuación, se muestra una ilustración con el resumen de los resultados de la propuesta de planes de acción del PMO.



Fuente: Confección propia en base a archivo excel hoja de decisiones preventivo

Diagrama 3-2 Resumen de planes de acción PMO

En resumen, de las 56 actividades preventivas evaluadas mediante el cuestionario de la hoja de decisiones, se determinó que 23 actividades (41%) deben mantenerse sin cambios, ya que su ejecución actual es adecuada. Sin embargo, se identificaron 18 actividades (32%) que requieren optimización en diversos aspectos, tales como procedimientos, herramientas, equipos de apoyo, frecuencia de ejecución, tipo de tarea y capacitación especializada. Estas actividades necesitan algún tipo de mejora por parte de Komatsu.

Por otro lado, hay 4 actividades que requieren un análisis más profundo mediante un análisis de causa raíz, el cual debe ser realizado por personal especializado del departamento de confiabilidad de Cummins. Estas actividades representan el 7,14% del total.

Por último, hay 11 actividades (19,6% del total) que deben dejar de ser ejecutadas por el personal de Komatsu, ya que corresponden a reparaciones del motor diésel. El personal de Komatsu no está capacitado para llevar a cabo estas tareas que requieren una reparación más exhaustiva por parte del personal Cummins.

En estas dos últimas situaciones, donde el personal de Cummins se hace cargo de las tareas de mantenimiento, la empresa Komatsu Chile se beneficia indirectamente. Aunque dentro del holding, Komatsu Cummins tienen una participación accionaria compartida, y el recurso humano sigue siendo utilizado, simplemente cambia de responsabilidad de una empresa a otra. Por lo tanto, no se trata de una optimización real, ya que alguien más está realizando el trabajo. Sin embargo, existe un beneficio implícito que se explicará a continuación.

3.8. BENEFICIOS IMPLÍCITOS PARA EL CONTRATO KOMATSU-MLP

En la organización, el mantenimiento de los equipos Komatsu, específicamente los camiones CAEX, se lleva a cabo por un equipo compuesto por cuatro técnicos especializados. Cada uno desempeña roles específicos: un técnico se especializa en sistemas eléctricos, mientras que dos técnicos se dedican a los sistemas hidráulicos y mecánicos de los camiones, y un cuarto técnico es especialista en motores diésel. La ejecución de los mantenimientos de los camiones CAEX normalmente demanda entre 12 y 36 horas promedio con la intervención de los cuatro técnicos depende de la extensión de las pautas planificadas y de los imprevistos que se detecten durante la ejecución del mantenimiento e inspecciones.



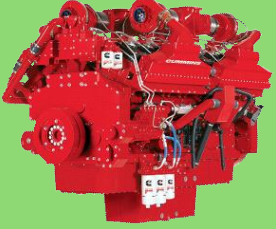

Antes de la implementación de la optimización del mantenimiento preventivo (PMO), el técnico especialista en motores diésel dedicaba entre 14 y 15 horas exclusivamente al mantenimiento del motor. Sin embargo, este proceso requería un tiempo considerable, dejando poco margen para contribuir en otras áreas críticas del mantenimiento. Con la introducción parcial de mejoras bajo el PMO, el tiempo necesario para completar la pauta de mantenimiento del motor se ha reducido significativamente a un rango de 5 a 6 horas. Esta eficiencia ganada ha permitido al especialista en motores diésel redistribuir su tiempo y conocimientos para apoyar más efectivamente en otras áreas de mantenimiento del camión, como los sistemas eléctricos, hidráulicos, mecánicos y estructurales.

Este enfoque integral ha resultado en una mejora tangible en el tiempo global de detención del equipo. La capacidad del especialista en motores diésel para abordar múltiples facetas del mantenimiento no solo ha optimizado los recursos humanos disponibles, sino que también ha contribuido a la reducción de los tiempos de inactividad del equipo, mejorando así la disponibilidad operativa y la eficiencia general de los camiones CAEX en el contexto operativo de la organización.

Este análisis subraya la importancia estratégica de implementar prácticas de mantenimiento optimizadas como parte de una gestión eficiente de activos, destacando cómo la optimización del mantenimiento preventivo puede traducirse en beneficios significativos tanto operativos como económicos para las operaciones de Komatsu en minera los Pelambres.



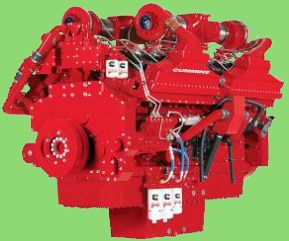

A continuación, se muestra la ilustración de la comparación de los beneficios implícitos esperados con la optimización del mantenimiento de la pauta de motor:

Tabla 3-6 Beneficios implícitos continuar sin optimización

		CONTINUAR SIN OPTIMIZACIÓN																																			
DETALLE (HORAS)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
MANTENIMIENTO CAEX																																					
		OBSERVACIÓN																																			
	PERSONAS	<p>Al continuar sin optimización de la pauta de mantenimiento de motores, se estima que la pauta global de mantenimiento del CAEX tome un tiempo promedio de 36 horas planificado.</p>																																			
																																					
DETALLE (HORAS)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
PAUTA DE MOTOR																																					
		OBSERVACIÓN																																			
	PERSONAS	<p>Al continuar sin optimización de la pauta de mantenimiento de motores, se estima que la pauta de mantenimiento de motor tome un tiempo promedio de 14 o 15 horas.</p>																																			
																																					

Fuente: Confección propia en base a operaciones Komatsu

Tabla 3-7 Beneficios implícitos con propuesta PMO

		CON PROPUESTA PMO																																					
DETALLE (HORAS)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
MANTENIMIENTO CAEX																																							
		OBSERVACIÓN																																					
	PERSONAS 	El mantenimiento global del CAEX es el beneficio más esperado ya que al contar con un técnico más se espera reducir en un 16,67% el tiempo de detención del CAEX por mantenimiento preventivo.																																					
																																							
DETALLE (HORAS)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
PAUTA DE MOTOR																																							
		OBSERVACIÓN																																					
	PERSONAS 	Al optimizar la pauta de mantenimiento de motor puedo reducir de 14 o 15 horas de ejecución en promedio a 5 o 6 horas en promedio. Esto me permite contar con una persona que aporta recurso humano a los demás sistemas críticos del camión.																																					

Fuente: Confección propia en base a operaciones Komatsu

Aunque existe un perjuicio al implementar planes de acción que redirigen los recursos a otra empresa dentro del mismo holding, esto nos proporciona un beneficio no contemplado que es el apoyo del recurso humano que realiza el mantenimiento de motores diésel. Al reducir su carga laboral debido a las horas dedicadas al plan de mantenimiento preventivo de ese activo, pueden luego apoyar contractualmente en el mantenimiento de los camiones, que incluye los sistemas hidráulicos, eléctricos, estructurales y todas las rutas de mantenimiento necesarias para completar el mantenimiento global del camión.

Se estima que el apoyo de un cuarto técnico en el mantenimiento del camión de extracción puede reducir el tiempo de mantenimiento planificado de 36 horas en al menos un 16,67% cuando dispone de al menos 8 horas de apoyo libre. Esto se debe a que el técnico puede realizar tareas de mantenimiento individuales o paralelas, así como apoyar en el cambio de componentes críticos, siempre y cuando la gestión del recurso humano sea adecuada. Esta estimación se basa en experiencias operativas y no ha sido calculada utilizando métodos de estimación de tiempos de mantenimiento preventivo ni indicadores de tiempo llave en mano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir, en el presente trabajo de título se ha analizado de manera completa la gestión del plan de mantenimiento actual de motores Cummins QSK60 en faena Los Pelambres, aplicando la estrategia de mantenimiento PMO.

En el primer capítulo, se ha diagnosticado con éxito la situación actual de contrato de Komatsu en faena minera Los Pelambres. Se identificó el activo más crítico del contrato y su condición actual de la gestión de mantenimiento donde se identificaron las oportunidades de mejora. Es importante contar indicadores claves que permitan evaluar de manera rápida la gestión en este caso del servicio de mantenimiento, si implementamos mejoras y no sabemos medirlas nunca sabremos qué tan efectivas son.

En el segundo capítulo, se logró con éxito la formulación teórica para implementar la estrategia PMO en el plan actual de mantenimiento. Se identificaron todas las demoras actuales en las actividades preventivas, las cuales generalmente se deben a deficiencias como la falta de un plan adecuado para los equipos de apoyo, herramientas específicas no implementadas, frecuencias incorrectas de intervención para actividades no críticas, falta de capacitación del personal y procedimientos de trabajo genéricos que no facilitan una ejecución eficiente de las tareas.

En el tercer capítulo, se analizaron los indicadores económicos clave para validar la viabilidad de implementar los planes de acción propuestos por el PMO. Toda inversión, por pequeña que sea, debe justificar su desembolso ante la gerencia, demostrando que el gasto o costo está respaldado por beneficios potenciales. Según los indicadores económicos evaluados, la implementación del PMO muestra una viabilidad significativa: el VAC se reduce de \$7,146,163 USD a \$2,961,408 USD con una inversión de \$60,700 USD. Esto resulta en un retorno de la inversión (PAYBACK) de 13.17 días, lo cual indica una inversión mínima en comparación con los ahorros potenciales. Este nivel de rentabilidad es muy atractivo cuando se presenta adecuadamente a la gerencia.

A nivel técnico, las propuestas de mejora potenciales del PMO presentan prejuicios implícitos, como la reasignación de recursos de una empresa a otra dentro del mismo Holding, lo cual no constituye una optimización real. No obstante, esta acción también conlleva un beneficio implícito: al descongestionar el tiempo dedicado al mantenimiento preventivo, se puede asignar más recursos humanos al mantenimiento de los CAEX, reduciendo hasta un 16,67% el tiempo total de inactividad del equipo para llevar a cabo el mantenimiento preventivo global.

Generalmente, las áreas de operaciones o quienes ejecutan los trabajos diarios enfrentan problemas y deficiencias relacionados con retrasos y demoras en la ejecución del mantenimiento. La metodología o estrategia PMO (optimización del mantenimiento preventivo) permite registrar sistemáticamente estas deficiencias de manera objetiva y demostrable para la gerencia. Esto permite visibilizar de manera rápida los alcances técnicos y el análisis de costos de mejoras antes y después de implementar un nuevo plan de mantenimiento preventivo.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

ARATA, Adolfo. Manual de gestión de activos. 1a ed. 2005. 960 p. Ril Editores. 9562844331.

BARRIENTOS, Victor. Mantenimiento de equipos en minas a cielo abierto. 2021. Independently published. 195 p. 979-8713244910.

Biblioteca KCH, "Estrategia de mantenimiento Predictivo Komatsu Chile S.A"

CAMARA. Capitalización de CODELCO. [en línea]
<https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=24039&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION#:~:text=Notas%3A%20Tasa%20de%20descuento%3A%2010,en%20d%C3%B3lares%2C%20antes%20de%20impuestos.>

CNE. Aprueba Informe Técnico Preliminar que fija la Tasa de descuento a que hace referencia el artículo 118 de la Ley General de Servicios Eléctricos. [en línea]
<https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2022/01/REX-588-2021.pdf>

KOMATSU. Contrato CS-326 KCH-MLP. Biblioteca KCH.

KOMATSU. Estrategia de mantenimiento Predictivo Komatsu Chile S.A. Biblioteca KCH, KOP-M-014

KOMATSU. Estrategia general de mantenimiento Komatsu Chile S.A. Biblioteca KCH, KOP-M-008

KOMATSU. Programación de mantenimiento en faena Komatsu Chile S.A. Biblioteca KCH, KOP-M-017

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad II (RCM). 2ª ed. 1997. Industrial Press, Inc. 448 p. 0831131462

Norma ASARCO MLP (Documento interno MLP, 2020)

PARRA, Carlos. CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. España. 2012. 260 p. INGEMAN. 9788495499677.

RELIABILITYWEB. PMO optimización de mantenimiento. [en línea]
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/pmo-optimizacion-de-mantenimiento>

REPOSITORIODIGITAL. Análisis de los coeficientes beta: evidencia en el mercado de activos chileno. [en PDF]
<https://repositoriodigital.bcentral.cl/xmlui/bitstream/handle/20.500.12580/3602/BCCh-rec-v21n3dic2018p076-093.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SILO. PMO optimización de mantenimiento. [en línea]
https://silo.tips/download/pmo-optimizacion-del-plan-de-mantenimiento-planned-maintenance-optimisation-el-a#google_vignette

UCHILE. Revista gestión minera. Tasa de descuento en proyectos mineros columna Rafael Epstein. [en PDF] <https://www.dii.uchile.cl/wp-content/uploads/2012/04/REVISTA-GESTION-MINERA-Tasa-de-Descuento-en-Proyectos-Mineros-columna-Rafael-Epstein-abril-2012.pdf>

ANEXOS

ANEXOS

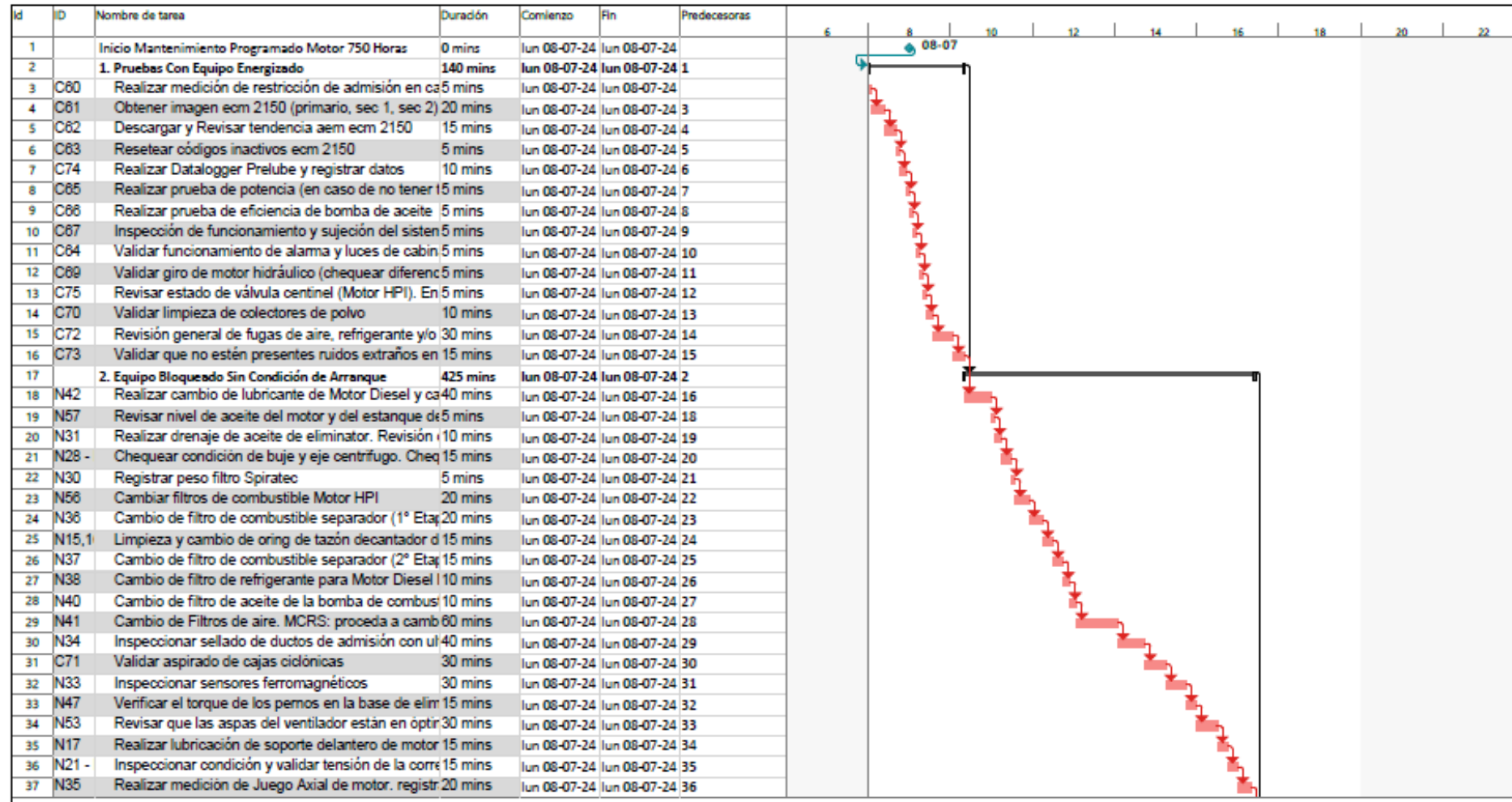
Para todas las rutas criticas presentadas en los siguientes anexos se considera el siguiente esquema:

Proyecto: Proyecto1 Fecha: sáb 06-07-24	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Tareas criticas	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		División crítica	
	Tarea inactiva		solo el comienzo		Progreso	
	Hito inactivo		solo fin		Progreso manual	

ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL 750 HORAS RESUMEN

Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	
1		Inicio Mantenimiento Programado Motor 750 Horas	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24		
2		1. Pruebas Con Equipo Energizado	140 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	1	
17		2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	425 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	2	
39		3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	295 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	17	
59		4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	39	
62		Finalización Mantenimiento Programado Motor 750 Hora	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	61	

ANEXO B: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL 750 HORAS COMPLETO



ANEXO C: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 750 HORAS RESUMEN

Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Gantt Chart																			
							45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30
1		Inicio Mantenimiento Programado Motor 750 Horas	0 mins	Jun 08-07-24	Jun 08-07-24																					
2		1. Pruebas Con Equipo Energizado	40 mins	Jun 08-07-24	Jun 08-07-24	1																				
10		2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	170 mins	Jun 08-07-24	Jun 08-07-24	2																				
26		3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	50 mins	Jun 08-07-24	Jun 08-07-24	10																				
34		4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	Jun 08-07-24	Jun 08-07-24	26																				
37		Finalización Mantenimiento Programado Motor 750 Hora	0 mins	Jun 08-07-24	Jun 08-07-24	34																				

ANEXO D: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 750 HORAS COMPLETO

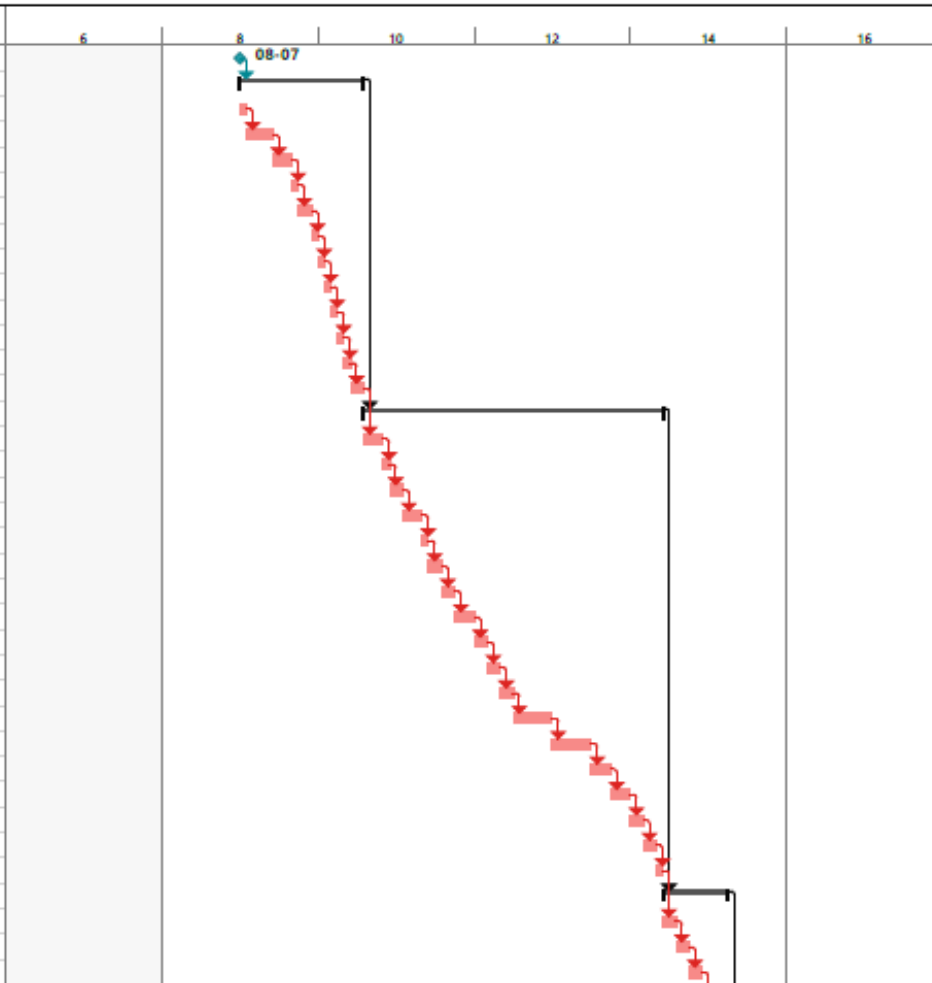
Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Gantt Chart											
							45	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30
1		Inicio Mantenimiento Programado Motor 750 Horas	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24		08-07											
2		1. Pruebas Con Equipo Energizado	40 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	1	08-07											
3	C60	Realizar medición de restricción de admisión en ca	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24		08-07											
4	C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	3	08-07											
5	C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabin	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	4	08-07											
6	C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sisten	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	5	08-07											
7	C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferenc	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	6	08-07											
8	C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	7	08-07											
9	C70	Validar limpieza de colectores de polvo	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	8	08-07											
10		2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	170 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	2	08-07											
11	N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y ca	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	9	08-07											
12	N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	11	08-07											
13	N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador. Revisión	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	12	08-07											
14	N28 -	Chequear condición de buje y eje centrifugo. Cheq	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	13	08-07											
15	N30	Registrar peso filtro Spiratec	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	14	08-07											
16	N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	15	08-07											
17	N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Eta	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	16	08-07											
18	N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Eta	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	17	08-07											
19	N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	18	08-07											
20	N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combus	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	19	08-07											
21	N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a camb	30 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	20	08-07											
22	N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	21	08-07											
23	N21 -	Inspeccionar condición y validar tensión de la corre	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	22	08-07											
24	N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registr	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	23	08-07											
25	N58	Revisar nivel de refrigerante	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	24	08-07											
26		3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	50 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	10	08-07											
27	N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (p	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	25	08-07											
28	N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidrául	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	27	08-07											
29	N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de m	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	28	08-07											
30	N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cá	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	29	08-07											
31	N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrig	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	30	08-07											
32	N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de cc	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	31	08-07											
33	N32	Validar que no exista fuga a través de retén traser	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	32	08-07											
34		4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	26	08-07											
35	AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	33	08-07											
36	AN02	Verificar que ninguna herramienta, perno, tuerca o	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	35	08-07											
37		Finalización Mantenimiento Programado Motor 750 Hora	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	34	08-07											

ANEXO G: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 3000 HORAS RESUMEN

Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras						
1		Inicio Mantenimiento Programado Motor 3000 Horas	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24		6	8	10	12	14	16
2		1. Pruebas Con Equipo Energizado	95 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	1		8	10	12	14	16
15		2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	230 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	2		8	10	12	14	16
34		3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	50 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	15		8	10	12	14	16
42		4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	34		8	10	12	14	16
45		Finalización Mantenimiento Programado Motor 3000 Hora	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	42		8	10	12	14	16

ANEXO H: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 3000 HORAS COMPLETO

Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1		Inicio Mantenimiento Programado Motor 3000 Horas	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	
2		1. Pruebas Con Equipo Energizado	95 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	1
3	C60	Realizar medición de restricción de admisión en cat	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	2
4	C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2),	20 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	3
5	C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	4
6	C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	5
7	C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	6
8	C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener tr	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	7
9	C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	8
10	C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistem	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	9
11	C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	10
12	C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferenci	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	11
13	C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	12
14	C70	Validar limpieza de colectores de polvo	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	13
15		2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	230 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	2
16	N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y car	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	14
17	N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	16
18	N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador. Revisión o	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	17
19	N28 -	Chequear condición de buje y eje centrífugo. Chequ	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	18
20	N30	Registrar peso filtro Spiratec	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	19
21	N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	20
22	N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etap	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	21
23	N15,1	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	22
24	N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Etap	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	23
25	N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	24
26	N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combusti	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	25
27	N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambi	30 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	26
28	C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas	30 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	27
29	N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	28
30	N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	29
31	N21 -	Inspeccionar condición y validar tensión de la corre	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	30
32	N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registra	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	31
33	N58	Revisar nivel de refrigerante	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	32
34		3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	50 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	15
35	N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (pri	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	33
36	N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulica	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	35
37	N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de mot	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	36



Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	6	8	10	12	14	16
38	N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero car	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	37						
39	N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrige	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	38						
40	N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de cor	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	39						
41	N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	40						
42		4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	34						
43	AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las ir	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	41						
44	AN02	Verificar que ninguna herramienta, pemo, tuerca o i	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	43						
45		Finalización Mantenimiento Programado Motor 3000 Hora	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	42						

ANEXO I: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 6000 HORAS RESUMEN


Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Gantt Chart						
1		Inicio Mantenimiento Programado Motor 6000 Horas	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24		6	8	10	12	14	16	18
2		1. Pruebas Con Equipo Energizado	95 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	1		8	10				
15		2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	230 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	2			10	14			
34		3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	100 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	15				14	16		
44		4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	34						16	18
47		Finalización Mantenimiento Programado Motor 6000 Hora	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	44							18

ANEXO J: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO PMO 6000 HORAS COMPLETO

Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	6	8	10	12	14	16	18
1		Inicio Mantenimiento Programado Motor 6000 Horas	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24								
2		1. Pruebas Con Equipo Energizado	95 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	1							
3	C60	Realizar medición de restricción de admisión en ca	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24								
4	C61	Obtener imagen ecm 2150 (primario, sec 1, sec 2),	20 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	3							
5	C62	Descargar y Revisar tendencia aem ecm 2150	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	4							
6	C63	Resetear códigos inactivos ecm 2150	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	5							
7	C74	Realizar Datalogger Prelube y registrar datos	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	6							
8	C65	Realizar prueba de potencia (en caso de no tener tr	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	7							
9	C66	Realizar prueba de eficiencia de bomba de aceite	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	8							
10	C67	Inspección de funcionamiento y sujeción del sistem	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	9							
11	C64	Validar funcionamiento de alarma y luces de cabina	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	10							
12	C69	Validar giro de motor hidráulico (chequear diferenci	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	11							
13	C75	Revisar estado de válvula centinel (Motor HPI). En	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	12							
14	C70	Validar limpieza de colectores de polvo	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	13							
15		2. Equipo Bloqueado Sin Condición de Arranque	230 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	2							
16	N42	Realizar cambio de lubricante de Motor Diesel y car	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	14							
17	N57	Revisar nivel de aceite del motor y del estanque de	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	16							
18	N31	Realizar drenaje de aceite de eliminador. Revisión o	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	17							
19	N28 -	Chequear condición de buje y eje centrífugo. Chequ	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	18							
20	N30	Registrar peso filtro Spiratec	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	19							
21	N56	Cambiar filtros de combustible Motor HPI	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	20							
22	N36	Cambio de filtro de combustible separador (1° Etap	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	21							
23	N15,1	Limpieza y cambio de oring de tazón decantador de	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	22							
24	N37	Cambio de filtro de combustible separador (2° Etap	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	23							
25	N38	Cambio de filtro de refrigerante para Motor Diesel	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	24							
26	N40	Cambio de filtro de aceite de la bomba de combusti	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	25							
27	N41	Cambio de Filtros de aire. MCRS: proceda a cambi	30 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	26							
28	C71	Validar aspirado de cajas ciclónicas	30 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	27							
29	N33	Inspeccionar sensores ferromagnéticos	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	28							
30	N17	Realizar lubricación de soporte delantero de motor	15 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	29							
31	N21 -	Inspeccionar condición y validar tensión de la corre	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	30							
32	N35	Realizar medición de Juego Axial de motor. registra	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	31							
33	N58	Revisar nivel de refrigerante	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	32							
34		3. Equipo Bloqueado Con Condición de Arranque	100 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	15							
35	N19	Inspeccionar condición de rodillo tensor de correa d	30 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	33							
36	N54	Inspeccionar fugas por cubo ventilador y juego axia	20 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	35							
37	N23	Inspeccionar condición de motores de arranque (pri	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	36							

Id	ID	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	6	8	10	12	14	16	18
38	N55	Verificar estado y conexiones eléctricas e hidráulica	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	37							
39	N24	Verificar estado de soportes amortiguadores de mo	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	38							
40	N49	Inspeccionar que las mangueras de respiradero cár	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	39							
41	N12	Revisar que no exista fugas en el sistema de refrige	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	40							
42	N14	Inspección y limpieza de acusetes de bomba de cor	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	41							
43	N32	Validar que no exista fuga a través de retén trasero	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	42							
44		4. Pruebas Finales Para Entrega	10 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	34							
45	AN01	Revisar pauta y confirmar realización de todas las ir	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	43							
46	AN02	Verificar que ninguna herramienta, pemo, tuerca o r	5 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	45							
47		Finalización Mantenimiento Programado Motor 6000 Hora	0 mins	lun 08-07-24	lun 08-07-24	44							

ANEXO K: PROCEDIMIENTO MANTENCIONES EN MOTORES DIESEL QSK 60 (CAEX)

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	

PROCEDIMIENTO MANTENCIONES EN MOTORES DIESEL QSK 60 (CAEX)




INDICE


- 1.- OBJETIVO
- 2.- ALCANCE
- 3.- RESPONSABILIDAD
- 4.- EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
- 5.- EPP
- 6.- BLOQUEOS
- 7.- PERSONAL REQUERIDO Y SUS COMPETENCIAS
- 8.- DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
- 9.- ALARMAS
- 10.- RESPUESTA ANTE IMPREVISTOS O EMERGENCIAS
- 11.- CONTROL DE CAMBIOS

IMPORTANTE

El presente procedimiento deberá utilizarse como un complemento a los procedimientos de fábrica (Shop Manual), para tomar conciencia de los peligros presentes durante la ejecución de la actividad y de las medidas de control que se requieran para minimizar los riesgos que puedan afectar la seguridad y salud de las personas, al medio ambiente y/o la calidad del servicio.

Ante cualquier desviación a lo establecido en este procedimiento, ya sea por falta de algún recurso o por un cambio en las condiciones ambientales, es obligación realizar un análisis seguro del trabajo (ART), el cual debe identificar los riesgos adicionales y sus respectivos controles.

	Nombre	Cargo	Fecha	Firma
Emitido por:	Evanan Maldonado	Subgerente Mantenimiento	28/04/23	
Revisado por:	Richard Torres	Jefe de Prevención de Riesgos	29/06/23	
Aprobado por:	Flavio Cofré	Subgerente de planificación	26/06/23	

	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	

1. OBJETIVO

- Establecer un estándar de desempeño para una correcta ejecución de la tarea "MANTENCIÓN DE MOTORES DIESEL QSK 60", en forma segura y planificada controlando sus riesgos asociados, manteniendo equipos disponibles y asegurando su continuidad de marcha.

2. ALCANCES Y REFERENCIAS

- Aplica solo para motores QSK60 HPI.
- Para toda faena que se realice "MANTENCIÓN DE MOTORES DIESEL QSK60", en tareas de trabajos programados (Monitoreo - Por uso) y/o condición (Contra falla - Condición) del equipo, para mantenciones de 50, 375, 750, 1500, 3000 y 6000 hrs.
- Asegurar las recomendaciones del protocolo Trastornos Músculo Esqueléticos (TMERT) en el desmontaje y montaje de los pernos del componente (Evitando movimientos repetitivos).
- Se recomienda realizar rotación de la tarea en la cuadrilla de personas, con el fin de disminuir los tiempos de exposición.

3. RESPONSABILIDAD

Gerente de Proyectos

- Será responsable de aprobar del presente procedimiento, haciendo los ajustes, correcciones que sean necesarios y aprobando los recursos necesarios para su correcta aplicación.

Jefe depto. SSOMA

- Será responsable de la revisión del presente procedimiento, haciendo los ajustes y correcciones que sean necesarios en materia de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.
- Será su responsabilidad informar y realizar las modificaciones necesarias al procedimiento, cuando existan modificaciones o nuevas normativas legales aplicables.

Subgerente de Mantenimiento


- Será responsable de emitir el presente procedimiento, haciendo los ajustes, correcciones que sean necesarios y entregando los recursos necesarios para su correcta aplicación.
- Entregará instrucciones a los Jefes Operativos y Supervisores para la correcta implementación, aplicación, verificando y exigiendo el cumplimiento del presente Procedimiento.
- Realizara los cambios cuando sea necesario, según requerimientos operacionales.
- Proporcionará todos los recursos, elementos y herramientas definidos para la correcta aplicación del Procedimiento.

Jefe de Mantenimiento

- Coordinará y solicitará todos los recursos, elementos y herramientas definidos para la aplicación del procedimiento.
- Difundirá el procedimiento a toda la línea de supervisión y líderes de grupo.
- Exigirá a su línea de supervisión el cumplimiento de este procedimiento.

Jefes de Operaciones, Supervisor

- Exigirá y revisará el análisis de riesgo del trabajo (ART) cuando se requiera.

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - 1 - 1071 - MLP	REV.: 0	


- Será el encargado de realizar los controles que se han establecido de acuerdo con el análisis de riesgo realizado.
- Entregará la capacitación a todos los trabajadores a su cargo, sobre la forma correcta de aplicar el presente procedimiento y las medidas de control a los riesgos presentes en el procedimiento.
- Controlará que todos los elementos para la correcta aplicación del presente procedimiento se encuentren en condiciones adecuadas e informará al Jefe de Operaciones las desviaciones detectadas o la falta de alguna herramienta fundamental para la correcta aplicación de la tarea.
- Verificará que todos los riesgos del entorno se encuentren controlados y que el lugar de trabajo reúna las condiciones de seguridad para la ejecución de la actividad.
- Denunciará todo posible incidente, no conformidad o sugerencia detectada durante la operación en la plataforma Previsis.
- Velará por el cumplimiento de este procedimiento, aplicando técnicas preventivas de control.

Trabajadores

- Participará en la confección del análisis de riesgo del trabajo.
- Usará en todo momento los elementos de protección personal requeridos para la tarea.
- Dará cumplimiento al procedimiento y acatarán todas las órdenes impartidas por su supervisor directo.
- Informará a su Supervisor cualquier modificación de las condiciones del entorno, nuevos riesgos identificados o nuevas etapas de la tarea.
- Consultar a su supervisor sobre cualquier duda que tenga, antes o durante la ejecución del trabajo.
- Ante un riesgo no controlado deberá detener los trabajos y solicitar a su Supervisor el análisis de la actividad.
- Sin perjuicio de las mantenciones y/o revisiones realizadas por el personal especialista; es
- Obligación de todo trabajador verificar el buen funcionamiento de los equipos, maquinarias y elementos de control con que deba efectuar su labor. También verificará materiales y el buen orden y limpieza del lugar de trabajo.
- Si el trabajador observa defectos o fallas en los equipos y sistemas antes mencionados en cualquier lugar de la faena, debe dar cuenta de inmediato a sus superiores, sin perjuicio de las medidas que pueda tomar, conforme a lo que esté autorizado.

4. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Repuestos	Herramientas	Equipos	Equipos de apoyo	Insumos	Sustancias Peligrosas
1. Filtros de combustible . 2. Filtros de refrigerante . 3. Filtros de aire . 4. Filtro de aceite .	1. Caja Mecánico standard. 2. Extensión Eléctrica. 3. Iluminación Portátil. 4. Linternas.		1. Radio de comunicación. 2. Computador. 3. Maleta Inline.	1. Libreta de anotaciones. 2. Tabla clip. 3. Lápiz 4. Bolsas de basura.	

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - 1 - 1071 - MLP	REV.: 0	

5. EPP REQUERIDOS

Equipos de protección personal básico	Equipos de protección personal específico	Equipos de protección personal Período Invierno	Equipos de protección personal (COVID-19)
1. Casco de seguridad con barbiquejo. 2. Lentes de seguridad claros y oscuros (foto cromáticos) 3. Zapatos de seguridad. 4. Buzo tipo piloto. 5. Chaleco reflectante. 6. Guantes de cabritilla. 7. Protectores auditivos de copa y/o desechables. 8. Respirador doble vía con filtros mixtos. (si se requiere)	1. Guantes de goma nitrilo. 2. Guantes hyflex 3. Guantes protección distal 4. Lentes Herméticos. (en caso de ráfagas) 5. Bloqueador (Día) 6. Legionario (Día) 7. Arnés de Seguridad y Cola de Vida Tipo Y 8. Casco espacio reducido. Nota: Se utiliza EPP según sea el riesgo de exposición	1. Crampones en caso de presencia de hielo. 2. Ropa de invierno. 3. RECCO 4. Balaclava 5. Guantes térmicos Nota: Se utiliza EPP según sea el riesgo de exposición según corresponda. Nota: Solo aplica para las faenas que estén expuesto a climas adversos.	1. Protector respiratorio desechable (N95 o equivalente) o Mascarilla desechable. 2. Guantes quirúrgicos. Nota: Esta medida tendrá duración de acuerdo a recomendación a Autoridad Sanitaria.

6. BLOQUEOS

- Tarjeta de identificación de dispositivo de bloqueo
- Candado de bloqueo
- Tenazas de bloqueo
- Cintas de delimitación de área o conos según aplique.
- Cartel de "No operar equipo energizado"
- Cuñas



7. PERSONAL REQUERIDO Y SUS COMPETENCIAS

- Técnico Mecánico y Eléctrico, con conocimiento en cuanto al uso de herramientas e instrumentos a utilizar.


8. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

8.1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

1. Coordinar con supervisor la ejecución de la inspección y/o intervención motor diésel según corresponda.
2. Realizar revisión y preparación de las herramientas y equipos a utilizar, cerciorarse que estén en buen estado identificándolo con el código de color según mes en curso, evidenciando a través de Pre - uso según equipos y herramientas a utilizar.
IMPORTANTE: Revisar las herramientas, de estar en buen estado identificar de acuerdo al código del mes, según directrices cliente.
3. Una vez que tenga preparado las herramientas y las coordinaciones previas para realizar el trabajo, trasladarse al lugar donde se encuentra el equipo, respetando los accesos peatonales y/o respetando velocidades al momento de ingresar a la mina.
4. El líder del equipo de trabajo deberá confeccionar en conjunto con equipo de trabajo el ART/AST identificando riesgos y peligros asociados a la tarea con sus respectivos controles operacionales a

	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - 1 - 1071 - MLP	REV.: 0	


- utilizar, y posteriormente dar conocer los procedimientos e instructivo que se utilizaran en la tarea dejando evidencia en **"KCC-FR-PP-02" o equivalente a esté.**
5. Dirigirse de forma segura y por lugares aptos para espera de ingreso de equipo a Taller
 6. Proceder a bloquear las energías existentes según instructivo genérico **IG-0001- KCH REF E-0001- KCH "Bloqueo y Desenergización Camiones Eléctricos" o interno o equivalente a esté;** acuñaando equipo instalando las cuñas (posición 2-1), y aplicando sistema de bloqueo individual luego de los bloqueos departamentales realizado por supervisor del área.
 7. Asegurar que se desenergizaron las energías existentes del equipo (E. Eléctrica - Mecánica - Cinética - Hca. Cero), verificando las energías residuales.
Nota: Será obligación verificar energía cero antes de intervenir el equipo, realizando la medición de voltaje con multítester en posición de solenoide de motor de arranque (cable rojo) o en positivo de alternador de 24V, la que deberá dar siempre 0V.
 8. Ingresar a motor, asegurándose de verificar puntos de anclaje para proceder a realizar mantención.
Nota: Antes de utilizar Arnés de seguridad y accesorios se deberá inspeccionar estado de arnés de seguridad y puntos de anclajes habilitados según formato interno o externo, de detectarse desviaciones dirijase a supervisor para solucionar este tema.
 9. Asegúrese de estar atento a las condiciones del trabajo al subir y bajar del motor y al momento de transitar por plataforma.
 10. Utilice linterna adosada al casco o focos portátiles para la iluminación correcta del área a trabajar.
 11. Proceder a dar contacto a equipo.
 12. Instalar computador y evaluar parámetros de funcionamiento de motor diésel (Quantum).
 13. Realizar prueba de potencia (PM-Clinic) y verificar código de falla de motor y verificación visual de luces indicadoras de falla.
 14. Cambiar Bloqueo en equipo. (De equipo energizado a trabajos con Energía cero).
 15. Usar elementos de protección personal adecuados.
 16. Iluminar área de trabajo (cuando aplique).
 17. Drenar y abastecer con aceite de motor diésel según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.
 18. Cambiar filtros de combustible, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.
 19. Cerrar llave de paso del combustible.
 20. Drenar filtros de combustible.
 21. Retirar filtros de combustibles.
 22. Instalar filtros de combustible.
 23. Abrir llave de paso del combustible.
 24. Cebiar sistema de combustible.
 25. Cambiar filtros de refrigerante, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.
 26. Cerrar llave de paso refrigerante.
 27. Retirar filtros de refrigerante.
 28. Instalar filtros de refrigerante.
 29. Abrir llave de paso refrigerante.
 30. Relleno de refrigerante a nivel.
 31. Cambiar filtros de aceite, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.
 32. Liberar presión de los filtros de aceite para drenar.
 33. Desmontar filtro de aceite.
 34. Instalar filtros de aceite.

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - 1 - 1071 - MLP	REV.: 0	



35. Cambio de filtro de aire, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.
36. Retirar filtros primarios de aire.
37. Retirar filtros secundarios de aire.
38. Instalar filtros secundarios de aire.
39. Instalar filtros primarios de aire.
40. Instalar tapas porta filtro de polvo.
41. Limpiar Caja Ciclónica
42. Dejar decantando filtros de Aceite, Combustible y de líquido refrigerante por 24 hrs. en contenedores de decantación.
43. Segregación de Residuos generados en mantención.
44. Realizar inspección visual mediante pauta a motor diésel.
45. Realizar ajuste de abrazaderas en general a motor diésel.
46. Realizar aseo sector.
47. Retirar barra de seguridad de dirección del equipo. (Solo si el equipo posee barra de bloqueo de dirección).
48. Retirar bloqueo (Candado, Tenaza y Tarjeta).
49. Poner en marcha motor diésel con personal autorizado
50. Realizar pruebas de potencia finales (PM Clinic), para verificar que no existan fugas y el buen funcionamiento del equipo.
51. Inspección de los soportes de motor en el chasis (Pernos y gomas). De encontrar cualquier anomalía informar de inmediato para su corrección.
52. Entregar equipo por Motor Diesel.
53. Realizar aseo sector.


8.2. PROCEDIMIENTO SEGURO DE TRABAJO / ANÁLISIS DE SEGURIDAD

Nº	PASOS	INCIDENTES	MEDIDAS DE PRECAUCIÓN
1	Coordinar con supervisor del área la ejecución de la inspección y/o intervención motor diésel según corresponda.	Errores en la recepción de la información. Descoordinación de trabajos cruzados.	Desplazarse con precaución por el área. Verificar que la información recibida corresponda a la situación real. Verificar coordinación con todos los involucrados (Int./Ext).
2	Realizar revisión y preparación de las herramientas y equipos a utilizar, cerciorarse que estén en buen estado identificándolo con el código de color según mes en curso, evidenciando a través de Pre - uso según equipos y herramientas a utilizar.	Caída del mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Instrumentos de evaluación dañados, descalibrados, descargados o no disponible.	Adecuada planificación de las tareas a través del supervisor o líder del área donde se realizarán los trabajos. Desplazarse con precaución por el área.
3	Una vez que se tengan preparadas las herramientas y las coordinaciones previas para realizar el trabajo, trasladarse al lugar donde se encuentra el equipo, respetando los accesos peatonales y/o respetando velocidades al momento de ingresar a la mina.	Personal sin experiencia en la inspección de camiones de extracción. Caída al mismo nivel. Ingreso de personal no autorizado.	Mecánico a ejecutar la tarea, debe tener conocimiento y experiencia en la mantención a realizar. Mecánico que no esté en condiciones físicas, psíquicas o que no sabe realizar la intervención, deberá dar aviso a su supervisión o líder de equipo. Desplazarse con precaución por el área. Delimitar o segregar el área de trabajo.


KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	

4	El líder del equipo de trabajo deberá confeccionar en conjunto con equipo de trabajo el ART/AST identificando riesgos y peligros asociados a la tarea con sus respectivos controles operacionales a utilizar, y posteriormente dar conocer los procedimientos e instructivo que se utilizaran en la tarea dejando evidencia en KCC-FR-PP-02 "Registro de reuniones" o equivalente a esté.	Desconocimiento o mala evaluación de peligros, riesgos y consecuencias existentes o asociados a la tarea. Evaluación del entorno deficiente (No considerar extensión de tarea). No comprender el procedimiento.	El supervisor y en su reemplazo la persona que se designe debe dar la capacitación del procedimiento de trabajo y deberá dejar registro de ellas, además deberá confeccionar en cada tarea que realiza el análisis seguro de trabajo (ART, AST). Asegurar el entendimiento del procedimiento.
5	Dirigirse de forma segura y por lugares aptos para espera de ingreso de equipo a Taller.	Desconocimiento o mala evaluación de peligros, riesgos y consecuencias existentes o asociados a la tarea. Evaluación del entorno deficiente (No considerar extensión de tarea).	Se debe confeccionar el análisis seguro de trabajo, detallando el Paso a paso de las tareas sus medidas de control, además de verificar la participación y conocimiento de todos los involucrados.
6	Proceder a bloquear las energías existentes según instructivo genérico IG-0001- KCH REF E-0001- KCH "Bloqueo y Desenergización Camiones Eléctricos" o interno o equivalente a esté; acunando equipo instalando las cuñas (posición 2-1), y aplicando sistema de bloqueo individual luego de los bloqueos departamentales realizado por supervisor KOMATSU.	Tenaza y tarjeta en mal estado Exposición a energías no controladas. Caída del mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Desplazamiento inesperado de equipo por no instalación de cuñas.	Uso de tarjeta y tenaza en buen estado. Utilice protocolo de bloqueo de equipos. Desplazarse con precaución por el área. Uso de cuñas en el equipo.
7	Asegurar que se desenergizaron las energías existentes del equipo (E. Eléctrica - Mecánica - Cinética - Hidráulica. Cero), verificando las energías residuales.	Tenaza y tarjeta en mal estado Exposición a energías no controlada. Caída del mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Desplazamiento inesperado de equipo por no instalación de cuñas.	Uso de EPP obligatorio. Uso de tarjeta y tenaza en buen estado. Desplazarse con precaución por el área. Uso de cuñas en el equipo.
8	Ingresar a motor, asegurándose de verificar puntos de anclaje para proceder a realizar mantención.	Caidas de mismo o distinto nivel. Electrocución por extensión eléctrica portátil en mal estado.	Uso de EPP obligatorio. Extensión eléctrica y portátil en buen estado.
9	Asegúrese de estar atento a las condiciones del trabajo al subir y bajar del motor y al momento de transitar por plataforma.	Caída al mismo o distinto nivel. Barandas en mal estado	Pre uso de arnés y cabo de vida. Uso de arnés de seguridad con cabo de vida. Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar del equipo. Verificar que las barandas se encuentren en buen estado.
10	Utilice linterna adosada al casco o focos portátiles para la iluminación correcta del área a trabajar.	Golpes. Caída del mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Baja iluminación en el área de trabajo.	Uso de EPP obligatorio. Uso de Arnés de seguridad y cabo de vida enganchado a la estructura del equipo, por sobre la cabeza. Uso de buzo de papel. Verificar que la iluminación sea la adecuada para el sector de trabajo.


PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60			
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	
11	Proceder a dar contacto al equipo.	No bloquear equipo en cartel de equipo energizado. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Personal sin experiencia o no autorizado.	Utilice protocolo de bloqueo de equipos desenergizados. Desplazarse con precaución por el área Personal capacitado autorizado y con las competencias adecuadas para operar equipo.
12	Instalar computador y evaluar parámetros de funcionamiento de motor diésel (Quantum).	Sobresfuerzo al subir con pc al equipo. Caída a distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Mal funcionamiento del computador.	Utilizar mochila para computador, para evitar sobresfuerzos. Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar del equipo. Revisar computador y cables, previo a subir al equipo.
13	Realizar prueba de potencia (PM-Clinic) y verificar código de falla de motor y verificación visual de luces indicadoras de falla.	Ruido al poner en marcha y acelerar equipo. Mal funcionamiento del computador.	Utilizar protector auditivo tipo copa. Mantener cerrada la cabina del camión. Revisar computador y cables, previo a subir al equipo.
14	Cambiar Bloqueo en equipo. (De equipo energizado a trabajos con Energía).	Tenaza y tarjeta en mal estado No bloquear equipo en letrero de equipo energizado. Exposición a energías no controladas. Caída del mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Desplazamiento inesperado de equipo por no instalación de cuñas.	Uso de tarjeta y tenaza en buen estado. Utilice protocolo de bloqueo de equipos. Desplazarse con precaución por el área Uso de cuñas en el equipo.
15	Colocarse elementos de protección personal adecuados.	Utilizar EPP en mal estado. No utilizar EPP.	Uso de EPP obligatorio en buen estado (casco, protector auditivo, lentes de seguridad, guantes, zapato de seguridad). Revisión de EPP cada vez que inicia el turno.
16	Iluminar área de trabajo (cuando aplique).	Caídas de mismo nivel. Electrocución por mal estado de extensión eléctrica y portátil.	Uso de EPP obligatorio. Extensión eléctrica y portátil en buen estado. Iluminación portátil revisada y en buen estado. Desplazarse con precaución por el área.
17	Drenar y abastecer con aceite motor diésel según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.	Contacto con lubricante. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de aceite.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
18	Cambiar filtros de combustible, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.	Contacto con combustible. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
19	Cerrar llave de paso del combustible.	Llave en mal estado. Contacto con combustible. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Verificar el buen estado de la llave previo a utilizar. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
20	Drenar filtros de combustible.	Contacto con combustible. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
21	Retirar filtros de combustibles.	Contacto con combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel.

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	


		Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
22	Instalar filtros de combustible.	Contacto con combustible. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
23	Abrir llave de paso del combustible.	Llave en mal estado. Contacto con combustible. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Verificar el buen estado de la llave previo a utilizar. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
24	Cebiar sistema de combustible.	Llave en mal estado. Contacto con combustible. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Verificar el buen estado de la llave previo a utilizar. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
25	Cambiar filtros de refrigerante, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.	Contacto con refrigerante. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de refrigerante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
26	Cerrar llave de paso refrigerante.	Llave en mal estado. Contacto con refrigerante. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Verificar el buen estado de la llave previo a utilizar. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
27	Retirar filtros de refrigerante.	Contacto con refrigerante. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de refrigerante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
28	Instalar filtros de refrigerante.	Contacto con refrigerante. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de refrigerante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
29	Abrir llave de paso refrigerante.	Llave en mal estado. Contacto con refrigerante. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Verificar el buen estado de la llave previo a utilizar. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
30	Relleno de refrigerante a nivel.	Llave en mal estado. Contacto con refrigerante. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de combustible.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Verificar el buen estado de la llave previo a utilizar. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo.

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - 1 - 1071 - MLP	REV.: 0	



			Uso de elementos de contención de derrames.
31	Cambiar filtros de aceite, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.	Contacto con lubricante. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de lubricante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
32	Liberar presión de los filtros de aceite para drenar.	Contacto con lubricante. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de lubricante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
33	Desmontar filtro de aceite.	Contacto con lubricante. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de lubricante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
34	Instalar filtros de aceite.	Contacto con lubricante. Caídas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Derrame de lubricante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de nitrilo). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
35	Cambio de filtro de aire, según procedimiento incluido en manual Komatsu correspondiente al equipo.	Golpeado por estructura Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Plataforma/Alza Hombre en mal estado.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Uso de Arnés de seguridad y cabo de vida enganchado a la estructura del equipo, por sobre la cabeza. Revisar previamente la plataforma/alza hombre Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar por plataforma. Pre uso de plataforma/alza Hombre En caso de alza hombre debe estar autorizado, con las competencias y capacitado para operar el equipo.
36	Retirar filtros primarios de aire.	Golpeado por estructura Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Plataforma/Alza Hombre en mal estado.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Uso de Arnés de seguridad y cabo de vida enganchado a la estructura del equipo, por sobre la cabeza. Revisar previamente la plataforma/alza hombre Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar por plataforma. Pre uso de plataforma/alza Hombre. En caso de alza hombre debe estar autorizado, con las competencias y capacitado para operar el equipo.
37	Retirar filtros secundarios de aire.	Golpeado por estructura Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Plataforma/Alza Hombre en mal estado.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Uso de Arnés de seguridad y cabo de vida enganchado a la estructura del equipo, por sobre la cabeza. Revisar previamente la plataforma/alza hombre Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar por plataforma. Pre uso de plataforma/alza Hombre. En caso de alza hombre debe estar autorizado, con las competencias y capacitado para operar el equipo.

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	

38	Instalar filtros secundarios de aire.	Golpeado por estructura Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Plataforma/Alza Hombre en mal estado.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Uso de Arnés de seguridad y cabo de vida enganchado a la estructura del equipo, por sobre la cabeza. Revisar previamente la plataforma/alza hombre Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar por plataforma. Pre uso de plataforma/alza Hombre En caso de alza hombre debe estar autorizado, con las competencias y capacitado para operar el equipo.
39	Instalar filtros primarios de aire.	Golpeado por estructura Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Plataforma/Alza Hombre en mal estado.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Uso de Arnés de seguridad y cabo de vida enganchado a la estructura del equipo, por sobre la cabeza. Revisar previamente la plataforma/alza hombre Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar por plataforma. Pre uso de plataforma/alza Hombre. En caso de alza hombre debe estar autorizado, con las competencias y capacitado para operar el equipo.
40	Instalar tapas porta filtro de polvo.	Golpeado por estructura. Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Plataforma/Alza Hombre en mal estado.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Uso de Arnés de seguridad y cabo de vida enganchado a la estructura del equipo, por sobre la cabeza. Revisar previamente la plataforma/alza hombre Utilice tres puntos de apoyo al subir/bajar por plataforma. Pre-uso de plataforma/alza Hombre. En caso de alza hombre debe estar autorizado, con las competencias y capacitado para operar el equipo.
41	Limpiar Caja Ciclónica.	Ingreso de polvo a vías respiratorias. Caída a distinto Nivel	Trabajo en Altura Física que regule entre otros: a) Uso del SPDC (Sistema Personal Detención de Caídas) sobre 1,5 m de altura. sistema de protección contra caídas en buenas condiciones Verificar la certificación, instalación, uso correcto, almacenamiento y disponibilidad de SPDC, puntos de anclaje y líneas de vida. Utilizar mascara medio rostro con filtros P-100.
42	Dejar decantando filtros de Aceite, Combustible y de líquido refrigerante por 24 hrs. en contenedores de decantación.	Contenedores en mal estado. Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Sobresfuerzo. Derrame de lubricante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Revisar contenedor previo al uso (en buen estado). Evitar cualquier sobresfuerzo en el traslado y trasvasije. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
43	Segregación de Residuos generados en mantención.	Contenedores en mal estado. Caídas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Sobresfuerzo. Derrame de lubricante.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Desplazarse con precaución por el área. Revisar contenedor previo al uso (en buen estado).

KOMATSU	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	

			Evitar cualquier sobreesfuerzo en el traslado y trasvasije. HDS presente en la zona de trabajo. Uso de elementos de contención de derrames.
44	Realizar inspección visual mediante pauta a motor diésel.	Caidas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos.	Desplazarse con precaución por el área. Uso de arnés de seguridad sobre 1,5 mts. De altura.
45	Realizar ajuste de abrazaderas en general a motor diésel.	Caidas de mismo o distinto nivel por resbalamiento o tropiezos. Golpeado por o contra estructura.	Uso de EPP obligatorio. Desplazarse con precaución por el área. Utilizar herramientas de mano en buen estado. Evitar sobreesfuerzos al apretar abrazaderas.
46	Realizar aseo sector.	Orden y limpieza deficiente Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Polvo en suspensión.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. Utilizar mascara medio rostro con filtros P-100.
47	Retirar barra de seguridad de dirección del equipo. (Solo si el equipo posee barra de bloqueo de dirección).	Barra de seguridad en mal estado. Exposición a energías no controladas. Caída del mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Desplazamiento inesperado de equipo por no instalación de cuñas.	Uso de EPP obligatorio. Uso de barra de seguridad en buen estado. Utilice protocolo de bloqueo de equipos. Desplazarse con precaución por el área Uso de cuñas en el equipo.
48	Retirar bloqueo (Candado, Tenaza y Tarjeta).	Tenaza y tarjeta en mal estado Exposición a energías no controladas. Caída del mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Desplazamiento inesperado de equipo por no instalación de cuñas.	Uso de EPP obligatorio. Uso de tarjeta y tenaza en buen estado. Desplazarse con precaución por el área. Uso de cuñas en el equipo.
49	Poner en marcha motor diésel con personal autorizado.	Ruido por aumento de decibeles.	Utilizar EPP (Guante de cabritilla, protector auditivo tipo copa).
50	Realizar pruebas de potencia finales (pm clinic), para verificar que no existan fugas y el buen funcionamiento del equipo.	Ruido por aumento de decibeles.	Utilizar EPP (Guante de cabritilla, protector auditivo tipo copa).
51	Inspección de los soportes de motor en el chasis (Pernos y gomas). De encontrar cualquier anomalía corregir situación.	Tenaza y tarjeta en mal estado. Exposición a energías no controladas. Caída del mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Desplazamiento inesperado de equipo por no instalación de cuñas.	Uso de EPP obligatorio. Uso de tarjeta y tenaza en buen estado. Desplazarse con precaución por el área Uso de cuñas en el equipo.
52	Entregar equipo a Komatsu.	Errores en la recepción de la información. Descoordinación de los trabajos cruzados con otras empresas.	Desplazarse con precaución por el área. Verificar que la información recibida corresponda a la situación real. Verificar coordinación con todos los involucrados (Int./Ext).
53	Realizar aseo sector.	Orden y limpieza deficiente. Caidas de mismo nivel por resbalamiento o tropiezos. Polvo en suspensión.	Uso de EPP obligatorio (guantes de cabritilla). Uso de buzo de papel. Desplazarse con precaución por el área. Utilizar mascara medio rostro con filtros P-100.

	PROCEDIMIENTO MANTENCIONES DE MOTORES DIESEL QSK 60		
	KOP - I - 1071 - MLP	REV.: 0	

9. ALARMAS

Estar atento a las alarmas sonoras, luminosas o aquellas que indiquen que los parámetros utilizados estén fuera de lo normal, verificar esto en equipos de apoyo que se utilizan, por ejemplo: alarmas de avance o retroceso de alza hombre, meza de trabajo, también de los equipos móviles como camionetas, equipos de alto tonelaje o manómetros.

Si se ha detectado que existe una deficiencia en las alarmas antes mencionadas, dar aviso de forma inmediata a su supervisor directo para solucionar dicho problema.

9.1- Alarmas específicas de la tarea.

- Alarma sonora de retroceso del camión

10. RESPUESTA ANTE IMPREVISTOS O EMERGENCIA

En caso de que se detecte una situación anómala que implique un incidente se deberá avisar al supervisor para su evaluación y decisión de reportar en el Previsis.

Para actuar frente a emergencias se deben aplicar lo definido en el documento KOP-PL-019-MLP "Plan de Emergencia Truck Shop".

11. CONTROL DE CAMBIOS

Cambios respecto a la revisión anterior
N/A