

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

**ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE MANTENIMIENTO A
CAMIONES DE EXTRACCIÓN MINERA, KOMATSU 930, EN MINERA LOS PELAMBRES.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título profesional de ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno: Jonhatan José Duque Ramírez

Profesor Guía: Carlos Baldi González

2024

RESUMEN.

KEYWORDS: OPTIMIZACIÓN DE LOS CICLOS DE MANTENIMIENTO A CAMIONES DE EXTRACCIÓN MINERA.

Este trabajo de título se desarrolló en el contexto del contrato de mantenimiento de Komatsu para la minera Los Pelambres. El objetivo principal fue evaluar la viabilidad de reducir la frecuencia de mantenimiento en los camiones de extracción minera Komatsu, modelo 930E, para disminuir los costos asociados.

Se analizó específicamente la posibilidad de extender los ciclos de mantenimiento en estos camiones y comprender el impacto de esta estrategia en la disponibilidad operativa, los indicadores clave de mantenimiento y la reasignación de recursos.

En el primer capítulo, se realizó un análisis detallado de la situación actual del mantenimiento en MLP-KCH. Se incluyeron antecedentes generales sobre la relación entre las empresas, el caso de estudio y los indicadores del contrato MLP-KCH. Se examinaron las estrategias y tácticas de mantenimiento actuales, así como la planificación y programación de las tareas de mantenimiento. Se determinó la oportunidad de reducir la frecuencia de mantenimiento de 500 a 750 horas, disminuir la carga semanal de 14 a 9 equipos y reasignar tareas al personal de mantenimiento.

El segundo capítulo presentó una propuesta para un nuevo plan de mantenimiento basado en ciclos asignados. Se discutió la determinación de la frecuencia de mantenimiento, la estrategia para incrementar los intervalos de 500 a 750 horas, y se detalló la aplicación de la metodología Kaizen para mejorar los tiempos de mantenimiento. También se analizó el comportamiento de la indisponibilidad con diferentes ciclos de mantenimiento, destacando que la reducción de la carga semanal de 14 a 9 camiones permitió reducir la indisponibilidad de 2.6% a 1.7%.

En el último capítulo, se centró en el análisis de viabilidad de las mejoras propuestas desde una perspectiva técnico-económica. Se examinaron aspectos como las operaciones mineras, el movimiento de la mina, los sistemas de gestión minera, la depreciación y los gastos asociados. Además, se evaluaron los indicadores ante el cambio de estrategia de mantenimiento y los costos asociados a repuestos y la dotación del contrato en relación con el cambio de frecuencia de mantenimiento, logrando una disminución anual de 3.374.994 USD, lo cual representa un 14% en los costos de mantenimiento.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN MLP-KCH.....	3
1.1. Antecedentes generales entre MLP y KCH	4
1.1.1 Misión y Visión de KCH	4
1.1.2 Propósito y Valores KCH.....	5
1.2. Caso de estudio	6
1.3. Antecedentes del contrato.....	7
1.3.2 Actividades incluidas en el servicio	8
1.3.3 Tipos de equipos del contrato	8
1.3.4 Dotación contrato Base KCH.	9
1.4 Indicadores del contrato base MLP-KCH.....	12
1.4.1 Disponibilidad física y contractual	12
1.4.2 Confiabilidad Contractual.....	13
1.4.3 Mantenibilidad Contractual	13
1.4.4 Tiempo de mantenimiento programado v/s imprevisto	14
1.5 Mantenimiento actual de la flota de transporte.....	14
1.5.1 Estrategia de mantenimiento de Komatsu Chile.....	14
1.6 Tácticas de Mantenimiento.....	15
1.6.1 Mantenimiento Proactivo.....	16
1.6.2 Mantenimiento Predictivo	16
1.6.3 Mantenimiento Preventivo.....	16
1.6.3.1 Pautas de mantenimiento Preventivo (PM).....	16
1.6.3.2 Pautas cambio de componentes Preventivo	17
1.6.4 Mantenimiento Correctivo.....	17
1.7 Planificación de las tareas de mantenimiento	17
1.8 Abastecimiento de recursos para la mantención.....	18
1.9 Programación de las tareas de mantenimiento.....	20
1.10 Programa semanal.....	20

1.11	Ciclos de Mantenición preventiva actuales	22
1.12	Pautas de mantenimiento actuales	23
1.13	Comportamiento de los KPI del contrato con ciclos de PM de 500 horas	23
1.13.1	Tendencia de disponibilidad Caex	24
1.13.2	Tendencia de indisponibilidad Caex.....	24
1.13.3	Tendencia de MTBF Caex.....	25
1.13.4	Tendencia de MTTR Caex.....	26
1.13.5	Detenciones por sistema	26
1.14	Resumen de análisis de KPI con frecuencia de 500 horas.....	27
1.15	Frecuencia de mantenimiento	28
1.16	Estrategia de mantenimiento.....	28
1.17	Determinación de la frecuencia de mantenimiento	29
1.18	Frecuencia de mantenimiento Camión Komatsu 930 E, según Estándar de Fábrica	30
1.19	Propuesta de mejora en el cambio de frecuencia de mantenimiento	31
1.20	Estrategia de cambio de frecuencia de mantenimiento.....	32
CAPÍTULO 2: PROPUESTA CAMBIO FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO.....		35
2.1	Propuesta extensión ciclo de mantenimiento MLP	36
2.2	Repuestos asociados a Mantenición de 500 y 750 horas (Bins)	37
2.3	Tiempo ejecución de pautas de 750 horas	38
2.4	Cálculo de Programación semanal de mantenimiento con ciclos de 750 horas	38
2.5	Cálculo de Horas hombre para programación semanal de mantenimiento con ciclos de 750 horas	40
2.6	Metodología Kaizen aplicado para la mejora de tiempos en mantenimiento	41
2.7	Estudio de tiempo proyecto 5S	42
2.8	Layout de trabajo y las 5S	46
2.9	Modelo de mantenimiento tipo Pit F1 para disminuir los tiempos de mantenimiento preventivo.....	47
2.10	Comportamiento de indisponibilidad con ciclos de 500 y 750 horas.....	49
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO A PROPUESTAS		51
3.1	Operaciones mina	52
3.2	Movimiento mina.....	53

3.3	Sistema de gestión mina ASARCO	53
3.4	Depreciación	55
3.5	Explicación de gastos en minería	55
3.6	Distribución de gastos medios en transporte	57
3.7	Distribución de gastos medios en Camión de extracción Komatsu 930E	57
3.8	Evaluación de los indicadores ante el cambio de estrategia de mantenimiento	61
3.9	Evaluación económica de Estrategia de cambio de frecuencia de mantenimiento	64
3.10	Evaluación de costos asociados a repuestos en la estrategia de cambio de frecuencia de mantenimiento de 500 horas a 750 horas	66
3.11	Evaluación de costos fijos y dotación del contrato según cambio de frecuencia de mantenimiento	67
3.12	Evaluación general de costos	67
	CONCLUSIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 "Grafico ACL"	7
Ilustración 2 "Estrategia Mantenimiento KCH-MLP"	15
Ilustración 3 "Organigrama KCH-MLP"	18
Ilustración 4 "Caratula programa KCH-MLP"	21
Ilustración 5 "Programa PM, KCH-MLP"	21
Ilustración 6 "Pautas ciclo 500 horas".....	23
Ilustración 7 "Disponibilidad 2022, KCH-MLP".....	24
Ilustración 8 "Indisponibilidad 2022, KCH-MLP"	25
Ilustración 9 "MTBF 2022, KCH-MLP"	25
Ilustración 10 "MTTR 2022, KCH".....	26
Ilustración 11 "Detenciones imprevistas 2022, KCH"	26
Ilustración 12 "Horas fuera de servicio 2022, KCH-MLP"	27
Ilustración 13 "Cuadro de Lubricación camión Komatsu 930E"	30
Ilustración 14 "Boro aceite R5"	32
Ilustración 15 "TBN y hollín, aceite R5"	33
Ilustración 16 "Contactor Komatsu 930"	34
Ilustración 17 "MP 375 detalle"	36
Ilustración 18 "Extensión ciclo PM"	37
Ilustración 19 "Programación semanal, ciclo 500 horas"	39
Ilustración 20 "Time on tool, 2019"	42
Ilustración 21 "Etapas Proyecto 5S, 2016"	43
Ilustración 22 "Tamaño de muestra 5S, 2016"	43
Ilustración 23 "Tipos de tareas 5S, 2016"	44
Ilustración 24 "Encuesta de percepción, 2016"	44
Ilustración 25 "Percepción real, 2016".....	45
Ilustración 26 "Comparativa 2016 v/s 2019"	46
Ilustración 27 "Layout Naves de mantenimiento"	47
Ilustración 28 "Caso de negocio MLP".....	48
Ilustración 29 "Duración de PM, según F1"	49
Ilustración 30 "Curvas de indisponibilidad"	50
Ilustración 31 "Procesos operaciones mina"	53
Ilustración 32 "Cuadro Norma ASARCO"	54
Ilustración 33 "Gastos Mina 2018"	56
Ilustración 34 "Gastos Mina 2023"	56
Ilustración 35 "Gastos medios transporte 2023"	57

Ilustración 36 "Ficha Camión de extracción Komatsu 930E"	58
Ilustración 37 "Gastos Mantención camión Komatsu 930E"	58
Ilustración 38 "Valor hora equipo de carguío"	59
Ilustración 39 "Valor hora de equipo de transporte"	59
Ilustración 40 "Disponibilidad física transporte 2023"	61
Ilustración 41 "Tendencia MTBF transporte, 2023"	62
Ilustración 42 "Tendencia MTTR transporte, 2023"	62
Ilustración 43 "Tendencia eventos no programados transporte, 2023"	63
Ilustración 44 "Tendencia eventos no programados estructura, transporte 2023"	63
Ilustración 45 "Grafico dispersión logarítmica transporte 2023"	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 "Equipos Komatsu"	9
Tabla 2 "Jornada Laboral Contrato KCH- MLP"	9
Tabla 3 "Dotación Contrato KCH-MLP"	10
Tabla 4 "Dotación Contrato DCC en KCH-MLP"	11
Tabla 5 "Dotación Contrato DTSA en KCH-MLP"	11
Tabla 6 "Resumen Dotación Contrato DTSA en KCH-MLP"	11
Tabla 7 "Disponibilidad contractual KCH-MLP"	12
Tabla 8 "TMEF Contrato KCH-MLP"	13
Tabla 9 "TMPR Contrato KCH-MLP"	14
Tabla 10 "HH Declaradas, KCH-MLP"	20
Tabla 11 "Ciclos V/S Horas detención PM, KCH-MLP"	22
Tabla 12 "Ajuste HH para PM"	23
Tabla 13 "Resumen KPIs 2022, KCH-MLP"	27
Tabla 14 "Ciclo PM 500 horas 930E"	31
Tabla 15 "Bins de repuestos MP con motor Tier 1"	37
Tabla 16 "Bins de repuestos MP con motor Tier 2"	38
Tabla 17 "Tiempo ejecución, extensión ciclo PM"	38
Tabla 18 "Nueva frecuencia, extensión ciclo PM"	39
Tabla 19 "Programación semanal, ciclo 500 horas V/S cantidad de HH"	40
Tabla 20 "Programación semanal, ciclo 500 horas V/S cantidad de HH"	40
Tabla 21 "Calculo de HH, ciclo 750 horas"	41
Tabla 22 "Calculo de HH, ciclo 500 horas"	41
Tabla 23 "Calculo de HH, ciclo 750 horas"	41
Tabla 24 "Indisponibilidad v/s ciclo de PM"	50
Tabla 25 "Costo indisponibilidad ciclos de 500 horas"	65
Tabla 26 "Costo de indisponibilidad ciclos de 750 horas"	65
Tabla 27 "Costo de repuestos ciclos 500 horas"	66
Tabla 28 "Costo de repuestos ciclos de 750 horas"	66
Tabla 29 "Costo fijo de mantenimiento contrato KCH-MLP"	67
Tabla 30 "Evaluación de costos de mantenimiento"	67

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1 "DC Contrato KCH-MLP"	12
Fórmula 2 "TMEF Contrato KCH-MLP"	13
Fórmula 3 "TMPR Contrato KCH-MLP"	14
Fórmula 4 "Desviación de mantención"	17
Fórmula 5 "Valor depreciación"	55
Fórmula 6 "Costo depreciación"	55
Fórmula 7 "Costo neumáticos"	59
Fórmula 8 "Costo depreciación"	60
Fórmula 9 "Costo Mantenimiento"	60
Formula 10 "Costo mano de obra operador"	60
Formula 11 "Costo combustible"	60
Formula 12 "Rendimiento"	60
Formula 13 "Costo Producción"	61

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

HH: Horas hombre.

MTBF: Mean Time Between Failures (MTBF: Tiempo medio entre fallas)

MTTR: Mean time to repair (MTTR: Tiempo medio de reparación)

DF: Disponibilidad física

DC: Disponibilidad Contractual

GEMBA: Termino japonés que significa lugar real o lugar de trabajo

FULL MARC: Tipo de contrato significa, contrato de mantenimiento y reparación (Maintenance and repair contract),

LLP: Tipo de contrato significa mano de obra más pieza (Labor plus parts)

ACL: Tipo de contrato significa vida promedio de un componente (Average component life)

LCC: Costo de ciclo de vida (Life Cycle Cost)

CPH: Costo por hora

TBO: Tiempo entre reparaciones mayores (Time Between **Overhaul**)

FTE: Siglas en inglés que permiten medir el rendimiento de cada empleado (Full Time Equivalent)

LEAN KAIZEN: Termino japonés para identificar el desperdicio, también es una metodología de trabajo.

5S: Metodología de trabajo que incorpora las 5S (Seiri ,Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke)

DMP: Desviación de mantenimiento programado.

INTRODUCCIÓN

En el mundo de la industria minera, la eficiencia operativa y la rentabilidad son factores cruciales para el éxito continuo de las operaciones. En este contexto, el mantenimiento de la maquinaria juega un papel fundamental al garantizar un rendimiento óptimo de los equipos utilizados en las actividades extractivas. Los camiones de extracción minera son componentes esenciales de la cadena de producción, requieren un enfoque meticuloso en cuanto a su mantenimiento para asegurar su funcionamiento continuo y fiable.

Uno de los conceptos que ha ganado importancia en la gestión del mantenimiento es la extensión de ciclos de mantenimiento. Tradicionalmente, los ciclos de mantenimiento se establecen para mantener un equilibrio entre la disponibilidad de los equipos y la necesidad de intervenciones regulares para prevenir fallas catastróficas. No obstante, en busca de optimizar recursos y maximizar la disponibilidad operativa, surge la pregunta de si la extensión de estos ciclos podría ser una estrategia viable sin comprometer la confiabilidad de los camiones de extracción minera.

En este contexto, se propone abordar la factibilidad de ampliar los ciclos de mantenimiento en camiones de extracción minera de la marca Komatsu. Se pretende analizar en profundidad cómo esta extensión podría impactar la disponibilidad de los equipos y qué efectos tendría sobre indicadores clave como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio para la Reparación (MTTR). Además, se explorará la posibilidad de reevaluar y redistribuir eficientemente las horas-hombre (HH) asignadas al mantenimiento, con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos disponibles.

A lo largo de este trabajo, se examinarán estudios previos relacionados con la extensión de ciclos de mantenimiento, se describirá la metodología utilizada para llevar a cabo el análisis, se presentarán los resultados obtenidos y se discutirán las implicaciones prácticas de implementar esta estrategia en un entorno minero real. El objetivo final es proporcionar una comprensión integral de los aspectos clave involucrados en la toma de decisiones sobre la extensión de ciclos de mantenimiento en camiones de extracción minera Komatsu, considerando tanto los beneficios potenciales como las posibles limitaciones y desafíos.

OBJETIVO GENERAL

Proponer un nuevo plan de mantenimiento para camiones mineros Komatsu 930E, mediante la comparación y análisis de indicadores técnicos del contrato de mantenimiento disminuyendo la indisponibilidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual del contrato de mantenimiento de KCH en MLP mediante la descripción del contrato y el análisis de la situación actual de éste, identificando oportunidad de mejora.
- Proponer disminución en la frecuencia de mantenimiento a camiones mineros Komatsu modelo 930E, mediante evaluación técnico-económica disminuyendo los costos de mantenimiento.
- Evaluar económicamente las mejoras propuestas mediante valoración de costos determinando la factibilidad de estas.

CAPÍTULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN MLP-KCH

1.1. Antecedentes generales entre MLP y KCH

Komatsu Chile es una empresa líder en la distribución de equipos y maquinaria para la industria minera y de la construcción en Chile. La historia de Komatsu Chile está estrechamente relacionada con el desarrollo de la minería en el país, y uno de los proyectos emblemáticos con los que ha estado asociada es la Minera Los Pelambres.

Komatsu Chile se estableció en 1967 como una subsidiaria de Komatsu Ltd., una de las principales empresas fabricantes de maquinaria de construcción y minería a nivel mundial. Desde su inicio, Komatsu Chile se enfocó en proveer equipos de alta calidad y servicios a la industria minera y de la construcción en Chile.

Durante décadas, Komatsu Chile ha trabajado en estrecha colaboración con diversas compañías mineras en el país, proporcionando equipos y soluciones tecnológicas para mejorar la productividad y la eficiencia en la explotación de yacimientos mineros.

Minera Los Pelambres es una de las operaciones mineras más importantes en Chile. Se encuentra ubicada en la Región de Coquimbo y es conocida por su producción de cobre y molibdeno. La mina comenzó sus operaciones en la década de 1990. La empresa propietaria de Minera Los Pelambres es Antofagasta Minerals, una de las principales compañías mineras de Chile. La mina ha experimentado un crecimiento significativo a lo largo de los años y ha implementado tecnologías avanzadas para mejorar su eficiencia y reducir su impacto ambiental.

Komatsu Chile ha sido un proveedor clave de equipos y servicios para Minera Los Pelambres. Ha suministrado una variedad de maquinaria, incluyendo camiones de extracción, excavadoras y equipos de perforación, que son esenciales para las operaciones mineras de gran escala como las de Los Pelambres. Además de proporcionar equipos, Komatsu Chile también ha ofrecido soluciones de soporte y mantenimiento para garantizar que los equipos estén en óptimas condiciones de funcionamiento.

1.1.1 Misión y Visión de KCH

Visión:

“Ser protagonistas del éxito de nuestros clientes”, Komatsu no transa en temas relacionados con la calidad mientras avanza hacia el futuro, teniendo en cuentas estos tres aspectos:

- **Orientación al cliente;** Komatsu agradece y valora la opinión de sus clientes y trabaja continuamente para proporcionar soluciones y productos que aseguren la satisfacción de sus clientes.

- **Definición de causa raíz;** Nos enfocamos en la identificación desde su origen de los problemas para corregirlos desde su causa raíz y realizar todo lo posible para que no vuelvan a ocurrir.
- **Filosofía Gemba “Lugar de trabajo”;** Entender y realizar mejoramiento continuo del lugar de trabajo es fundamental para la empresa y desde aquí entregar información para implementar estrategias y políticas y planes de mejoramiento.

Misión:

“Entendemos las necesidades de nuestros Clientes para brindarles soluciones flexibles de suministro, soporte y servicio de maquinaria para procesos productivos en minería, construcción y forestal, resguardando la eficiencia integral de nuestros procesos, la sustentabilidad de nuestro negocio y el cuidado y desarrollo de nuestras personas”.

1.1.2 Propósito y Valores KCH

Nuestro propósito es crea valor a través de la fabricación e innovación tecnológicas para lograr un futuro sustentable donde las personas, los negocios y nuestro planeta prosperen juntos. (“Política Komatsu”, 2023)

Es así como en concordancia con nuestros valores, trabajando con perseverancia para cumplir nuestros compromisos, manteniendo la autenticidad que nos lleva como grupo a posicionarse como una alternativa confiable y de excelencia para nuestros clientes.

Nuestros Valores (“Política Komatsu”, 2023):

- **Superación:** Con un “espíritu osado” y sin miedo al fracaso, innovamos y aspiramos siempre a hacer más.
- **Perseverancia:** Incluso cuando la tarea es difícil seguimos comprometidos con nuestras promesas y las llevamos a cabo de forma confiada hasta su finalización.
- **Colaboración:** La creación de valor proviene del trabajo en equipo, la inclusión, el respeto, la diversidad y un enfoque ganador en todas las relaciones.
- **Autenticidad:** Para ganarnos y mantener la confianza, actuamos siempre con sinceridad, integridad y honestidad y comunicamos con transparencia.

1.2. Caso de estudio

Minera los Pelambres, en su objetivo de aumentar el ciclo de vida de su activo, en este caso particular el camión de extracción 930E, está buscando determinadas formas de optimizar y bajar sus costos asociados al mantenimiento y con esto incrementar sus utilidades y mejorar su sistema de desempeño operacional de su flota de camiones.

Dentro de este plan, minera los Pelambres ha creado varias alternativas que van en búsqueda de la excelencia operacional y optimización de sus recursos, asociados al área de Transporte, estos son los siguientes:

- Implementar Proyecto Extensión Vida Útil Caex a 120.000 horas, transformándonos en el primer proyecto en Chile en lograr este hito, hay que recordar que los camiones de extracción Komatsu 930 E, tienen una vida útil de 90.000 horas. (aproximados 10 años de vida útil)
- Cambiar el tipo de aceite utilizado por los motores diésel Cummins QSK60, de un aceite mineral hacia un aceite semisintético, con el fin de mantener las propiedades del aceite y cuidar el motor, con esto aumentar el intervalo de cambio de aceite de 500 horas a 750 horas sin dañar los componentes de motor. El plan original es de llevar a intervalos de 500 horas a 1000 horas, pero todavía se encuentra en etapa de estudio.
- Implementar el monitoreo centralizado, o monitoreo a distancia, esto está en su primera etapa, en la cual se creó el Centro de monitoreo a distancia desde Santiago, donde se crea un departamento a cargo de la empresa SPM ingeniería, en la cual envían alerta a los correos corporativos de cualquier alarma o parámetro fuera de estándar y con esto poder reaccionar a tiempo ante una detención por condición crítica del equipo.

Lo último y con todas estas mejoras Minera los Pelambres se propuso estudiar e implementar el cambio de frecuencias de mantenimiento de la flota de camiones Komatsu 930E, llevando el equipo completo a frecuencias de mantenimiento desde 500 horas a una frecuencia de 750 horas.

Es por esto por lo que se estudiara el impacto que genere este cambio de frecuencias de mantenimiento, analizando indicadores claves, los cuales nos arrojaran si es factible o no seguir con esta estrategia.

1.3. Antecedentes del contrato

Komatsu Chile ofrece un servicio de mantenimiento y reparación especializado para equipos de gran tonelaje a Minera Los Pelambres.

El contrato entre Minera los Pelambres y Komatsu Chile S.A, remonta desde el año 2005. En esta primera etapa el contrato era del tipo CTP (Costo por tonelada transportada) y con una flota de camiones del tipo 830E y algunos Komatsu 930E, esto duro hasta el año 2015.

Desde el año 2016 al 2017 el contrato entre ambas partes se modifica a un contrato del tipo FULL MARC (Maintenance and repair contract), como parte integral del servicio el contratista se obliga, a prestar por su cuenta y riesgo y con trabajadores bajo su dependencia, los servicios correspondiente a mantenimiento y reparación de la flota actualmente en operación cuyo objetivo y alcance global considera realizar un servicio de reparación y mantenimiento garantizado asociado a dicha flota, de manera tal que esta flota se encuentre disponible para ser utilizada por MLP en el transporte de material mina (mineral y estéril).

Desde fines del año 2017 este contrato cambia a uno del tipo LPP + Prorrata (Aporte de repuesto y componentes menores + Prorrata de componentes mayores) que consiste en un servicio de mantenimiento y reparación que se realizara a la flota, que incluye toda la dotación necesaria (directa, indirecta y subcontratistas) para realizar las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, incluyendo la administración del contrato de servicios asociados a la atención de la flota, además de un acceso al pool nacional de componentes mayores de respaldo, mediante el pago de un tarifa horaria y cuota mensual por equipo, para camiones y pala respectivamente.

En la siguiente figura se muestra el grafico de vida útil de los componentes (ACL) versus el costo de reparación.

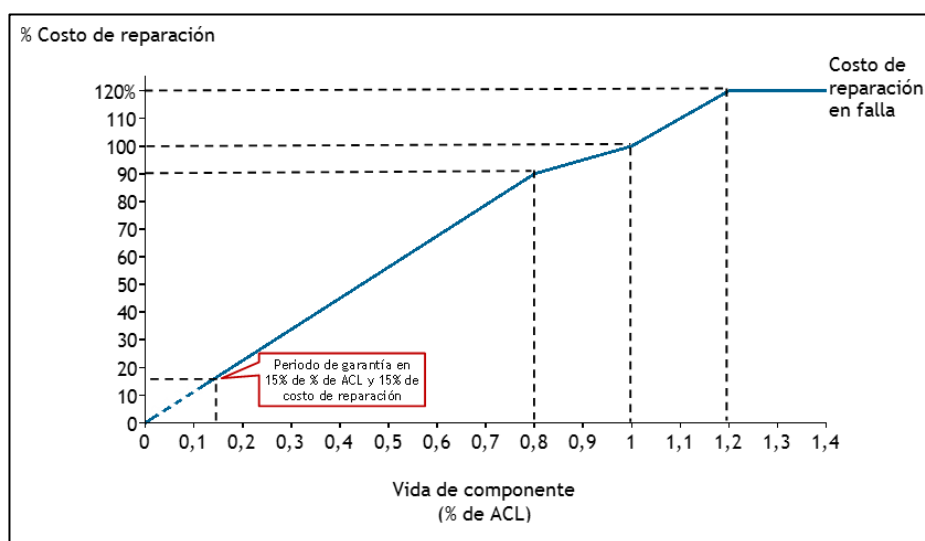


Ilustración 1 "Grafico ACL"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

1.3.2 Actividades incluidas en el servicio

Las siguientes actividades se incluyen dentro de los alcances del servicio:

- **Planificación y Programa del mantenimiento:** Incluye actividades requeridas para establecer el plan matriz de mantenimiento y la programación de las actividades que permitan poner en práctica las intervenciones asociadas a la reparación y mantenimiento de los equipos.
- **Mantenimiento Preventivo (Pautas de mantenimiento):** Considera la ejecución de todas las actividades descritas en los programas de mantenimiento exigidos por el fabricante y aquellas que de acuerdo con la experiencia de Komatsu son necesarias realizar. Algunas actividades indicadas en los planes de mantenimiento podrán sufrir modificaciones en sus intervalos o tareas dependiendo de las condiciones medioambientales, operacionales o técnicas. Estos cambios no afectarán el precio e indicadores del servicio prestados por Komatsu.
- **Mantenimiento Predictivo y monitoreo de condiciones:** Las actividades de monitoreo de condición del equipo mediante el sistema Komtrax Plus para la toma de decisiones sobre el mantenimiento preventivo. Además, incluye la toma de muestras de aceite e interpretación de resultados del análisis de aceite.
- **Reparaciones menores (Mantenimiento correctivo):** Considera las actividades necesarias para resolver los diferentes problemas que ocurran en el equipo durante su operación normal, debido a una falla o imprevisto.
- **Reparación de componentes mayores:** Considera las actividades de reparación y Overhaul de los componentes mayores reparables, las que serán realizadas en los talleres Komatsu Reman Center Chile o en talleres autorizados por KCH.
- **Mantenimiento y reparación de motores diésel:** Este servicio considera el mantenimiento y reparación en faena de los motores diésel instalado en cada equipo excluyendo las reparaciones mayores y overhaul de los motores diésel, las que serán realizadas en maestranza de Distribuidora Cummins Chile.

1.3.3 Tipos de equipos del contrato

Hoy en día el contrato cuenta con 59 equipos de la marca Komatsu, los cuales están separados por, camiones eléctricos y palas hidráulicas.

Los camiones eléctricos que cuenta hoy en día MLP, son 930E3 con una cantidad de 8 equipos, también cuenta con el modelo 930E4 con una cantidad de 48 de estos equipos, y últimamente se incorporó a la flota un camión modelo 930E5.

El Komatsu 930E es un camión de extracción minera diseñado para cargas de gran tonelaje en operaciones mineras a cielo abierto. Su capacidad de carga nominal es de aproximadamente 320 toneladas métricas (también conocidas como toneladas largas o toneladas imperiales).

Con respecto a la motorización de los camiones Komatsu 930, se puede decir que estos poseen en motor Cummins modelo QSK60, de 16 cilindros con una potencia neta de 2500 Hp, de los cuales hay 3 modelos que cumplen con la norma Tier1, Tier2 y Tier3.

Además, posee 2 palas hidráulicas del modelo PC5500-6, es una excavadora de minería ultra grande diseñada para aplicaciones de minería a cielo abierto y otros trabajos de excavación de gran envergadura. Su capacidad de carga nominal es impresionante y puede variar según la configuración específica de la máquina y las opciones de accesorios, pero en general, esta excavadora puede cargar entre 55 y 70 toneladas métricas. Poseen 2 motores Cummins modelo KTTA-38.

Equipos	Cantidad
Camiones Komatsu 930 E-3	8
Camiones Komatsu 930 E-4	48
Camiones Komatsu 930 E-5	1
Pala Komatsu PC 5500	2
TOTAL	59

*Tabla 1 "Equipos Komatsu"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP*

1.3.4 Dotación contrato Base KCH.

La dotación del contrato base según el contrato firmado entre MLP y KCH corresponde a un total de 191 personas en faena las cuales trabajan en jornadas de trabajo de 7x7 y 4x3, según el siguiente gráfico.

Turno	Hora de inicio del turno	Hora de término del turno
Turno 7x7	08:00	20:00
	20:00	08:00
Turno 4x3	Lu – Mie 08:00	20:00
	Jue 8:00	13:00

*Tabla 2 "Jornada Laboral Contrato KCH- MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP*

Este contrato contempla un total de 52 Equipos Komatsu 930E y 1 pala hidráulica. Debido a que el contrato ha ido evolucionando con el tiempo desde el año 2017 hasta hoy y la cantidad de equipos total aumento a 59, la dotación real en faena al presente de 248 personas, distribuidas en personal propio (Administrador de contrato, Asesor de seguridad, personal de

Administración, planificación y técnicos), además del personal de subcontratación donde se encuentran los motoristas y soldadores asociados al contrato base.

En las siguientes imágenes se detalla la distribución del contrato base, separado por Komatsu Chile y los subcontratos Cummins Chile y Desarrollos tecnológicos S.A

CANTIDAD DE EQUIPOS EN OPERACIÓN	
EQUIPO	CANTIDAD
930E-4	52
Monto Fijo Mensual (UF/mes)	
TOTAL VENTA	28.180
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 riesgo	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
Bodegero	4
Jefe de Planificación y confiabilidad	1
Subgerente de planificación	1
Programador	2
Estadístico/Digitador	2
Encargado de componentes	2
Inspectores Técnicos	2
Subgerente de mantenimiento	1
Especialista de confiabilidad	1
Jefe de Mantenimiento	1
Jefe de operaciones	4
Supervisores	6
Especialista Técnico	92
TOTAL EN FAENA KCH	134

*Tabla 3 "Dotación Contrato KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP*

A continuación, se detalla la dotación para el subcontrato Distribuidora Cummins Chile.

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

Tabla 4 "Dotación Contrato DCC en KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

El siguiente recuadro detalla la dotación para el subcontrato Desarrollos Tecnológicos S.A.

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

Tabla 5 "Dotación Contrato DTSA en KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

El siguiente cuadro detalla en resumen el total de dotación por contrato base de KCH y el exceso de dotación con que se encuentra hoy en faena.

RESUMEN DOTACIÓN EN FAENA MLP	CANTIDAD
DOTACIÓN BASE KCH	134
DOTACIÓN DCC	38
DOTACIÓN DTSA	19
TOTAL EN FAENA FINAL (SEGÚN CONTRATO)	191
DOTACIÓN REAL EN FAENA	248
EXCESO DE DOTACIÓN	57

Tabla 6 "Resumen Dotación Contrato DTSA en KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

En resumen, podemos asegurar que con respecto a la dotación original por contrato estamos con una sobre dotación de 57 personas, lo que significa un 30% más de dotación de la que se estimó por contrato original.

1.4 Indicadores del contrato base MLP-KCH

Todos los indicadores que veremos a continuación consideran un mecanismo de medición del desempeño técnico de los indicadores de Disponibilidad y confiabilidad contractual garantizada de los equipos bajo contrato, junto con la mantenibilidad y seguridad, los cuales serán válidos hasta las 90.000 horas de operación de los equipos según el horómetro de cada equipo.

1.4.1 Disponibilidad física y contractual

Para el caso de la disponibilidad contractual, este considera una meta de 86%, para todo el tramo de horómetros de la flota, según el siguiente cuadro:


	DISPONIBILIDAD CONTRACTUAL (DC)														
EQUIPO	-	6.001	12.001	18.001	24.001	30.001	36.001	42.001	48.001	54.001	60.001	66.001	72.001	78.001	84.001
	6.000	12.000	18.000	24.000	30.000	36.000	42.000	48.000	54.000	60.000	66.000	72.000	78.000	84.000	90.000
	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%

Tabla 7 "Disponibilidad contractual KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

La disponibilidad contractual (DC) para la flota por tramos, se medirá de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$DC(\%) = \frac{(\text{Horas del mes} - \text{Horas Rep y Mtto del mes})}{\text{Horas del mes}} \times 100$$

Fórmula 1 "DC Contrato KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

Donde:

Horas del mes: Corresponde a 24 horas por el número de días

Horas de reparación y mantenimiento del mes: equivale a las horas de detención del equipo, debido a causas atribuidas al mantenimiento del equipo, se excluyen a estos cálculos las detenciones originadas por los siguientes hechos:

1. Equipo fuera de operación por razones operacionales, incluye espera de operador o espera de equipo de carguío, colación, combustible, caminos tomados, fuerza mayor
2. Mal uso, abuso, negligencia, practica subestándar y practica operacional inadecuada.
3. Tiempo de espera por espacio en taller o espera de infraestructura.
4. Esperas por aporte de MLP.
5. Cualquier otro evento que no sea responsabilidad de KCH.

De igual forma KCH, velara y realizara seguimiento para mantener un control sobre la disponibilidad física que corresponde a un 85%, donde contempla las horas de detención totales del equipo independiente de la responsabilidad de la detención.


1.4.2 Confiabilidad Contractual

Se Utilizará como indicador de la confiabilidad contractual el índice de TMEF o también conocido como MTBF (tiempo medio entre fallas), el cual se calculará con una frecuencia mensual. Esto se medirá según la siguiente formula:

$$\text{Confiabilidad (TMEF)} = \frac{\text{Total tiempo operativo (Horas)}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}}$$

*Fórmula 2 "TMEF Contrato KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP*

Para cálculos del contrato entre MLP y KCH, este será de 50 horas, según el cuadro siguiente:

EQUIPO	CONFIABILIDAD CONTRACTUAL TMEF: Tiempo medio entre fallas (horas)														
	-	6.001	12.001	18.001	24.001	30.001	36.001	42.001	48.001	54.001	60.001	66.001	72.001	78.001	84.001
	6.000	12.000	18.000	24.000	30.000	36.000	42.000	48.000	54.000	60.000	66.000	72.000	78.000	84.000	90.000
	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

*Tabla 8 "TMEF Contrato KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP*

1.4.3 Mantenibilidad Contractual

Se utilizará como indicador de la mantenibilidad el índice TMPR (tiempo medio para reparar) o también conocido como MTTR, el cual se calculará con frecuencia mensual. Este en toda su banda de horómetros es de 5 horas. Estas fallas consideran fallas tanto de camión, como de motores Diesel y tolvas asociadas a este contrato.

Para efectos de cálculos de TMPR, real obtenido por el equipo en el mes, se promediarán los tiempos para reparar desde la última falla ocurrida en el mes anterior, hasta la última falla ocurrida en el mes cuyo TMPR se esté calculando. Para el cálculo de mantenibilidad, no se considerarán las reparaciones producto de las detenciones programadas y se mantendrán los mismos tiempos excluidos que las indicadas para el cálculo de disponibilidad.

Esto se define según la siguiente formula:

$$\text{Mantenibilidad (TMPR)} = \frac{\text{Total tiempo Fuera de servicio (Horas)}}{\text{N° de fallas}}$$

Fórmula 3 "TMPR Contrato KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

En la siguiente tabla se presentan los valores de Mantenibilidad para los camiones de extracción en toda la banda de horómetros.


	MANTENIBILIDAD CONTRACTUAL TMPR: Tiempo medio para reparar (horas)														
	-	6.001	12.001	18.001	24.001	30.001	36.001	42.001	48.001	54.001	60.001	66.001	72.001	78.001	84.001
	6.000	12.000	18.000	24.000	30.000	36.000	42.000	48.000	54.000	60.000	66.000	72.000	78.000	84.000	90.000
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Tabla 9 "TMPR Contrato KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

1.4.4 Tiempo de mantenimiento programado v/s imprevisto

Este indicador no se encuentra en el contrato entre MLP y KCH, pero si es una meta corporativa de Komatsu Chile S.A, la cual a nivel nacional es de un 60% de programado y un 40% de imprevisto.

1.5 Mantenimiento actual de la flota de transporte

El mantenimiento actual de la flota nace de la estrategia de Mantenimiento de Komatsu Chile, detalla en la “Estrategia General de mantenimiento”. La cual habla de asegurar la continuidad operacional de los equipos por medio de la ejecución del mantenimiento de acuerdo con las indicaciones y directrices o estándar dados por el fabricante, asegurando así la mejor disponibilidad y desempeño, con esto optimizar el LCC (Life Cycle Cost) para el cliente en este caso Minera los Pelambres y asegurando siempre la sustentabilidad de la rentabilidad y competitividad de Komatsu Chile. Con todo esto Komatsu Chile busca se protagonista del éxito de sus clientes.

1.5.1 Estrategia de mantenimiento de Komatsu Chile

La estrategia de mantenimiento nos entrega los lineamientos generales de cómo administrar y gestionar el mantenimiento de los equipos, cumpliendo las metas contractuales y

estándares de desempeño acordado entre MLP y KCH. Esta se establece en el instructivo interno KOP-M-008.

Estos alineamientos de la estrategia establecen actividades de mantenimiento deben ser realizadas sobre los distintos tipos de equipos, sistemas y componentes asociados al contrato.

La estrategia organiza las actividades a realizar en base a cuatro tácticas de mantenimiento; proactivo, predictivo, preventivo y correctivo. Cada una de estas tácticas es definida y administrada teniendo siempre en cuenta su impacto en seguridad, medio ambiente, disponibilidad, confiabilidad, costos, regulaciones legales e imagen de la compañía. Todas estas tareas o tácticas se desglosan en tareas concretas en los equipos que se ejecutarán, donde se definirán sus frecuencias de ejecución, junto a los procedimientos y medidas de control a realizar.

La forma en que debe ser realizada la estrategia de mantenimiento se fundamenta en ocho etapas que desarrolla Komatsu Chile, donde ejecuta los contratos de mantenimiento. En la siguiente imagen se presenta un abreviado explicación de cada una de las etapas y forma en que deben ser realizadas.

Estrategia de Mantenimiento Komatsu Chile



Ilustración 2 "Estrategia Mantenimiento KCH-MLP"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP

1.6 Tácticas de Mantenimiento

La gestión de fallas en equipos se basa en diversas estrategias de mantenimiento, todas ellas con el objetivo de equilibrar el costo total asociado a cada enfoque, su implementación y el impacto de una posible avería. Estas estrategias de mantenimiento se dividen en cuatro categorías principales: proactivo, predictivo, preventivo y correctivo. La elección y aplicación de cada una de estas estrategias se determina mediante las recomendaciones del fabricante, la experiencia de

Komatsu y, por último, los indicadores clave de rendimiento (KPI) y el nivel de riesgo empresarial que el cliente desee asumir. A continuación, se presentarán detalladamente estas cuatro estrategias desde la perspectiva de Komatsu Chile

1.6.1 Mantenimiento Proactivo

El enfoque proactivo de mantenimiento tiene como objetivo principal identificar y abordar las causas que generan las fallas, con el propósito de reducir su incidencia. Esto se logra mediante la transferencia de mejores prácticas que eliminan o reducen los riesgos desde su origen, como por ejemplo identificar la causa raíz. Estas prácticas mejoradas se implementan en el lugar de trabajo a través de campañas tanto externas como internas, que define la fábrica o planes de acción según la experiencia del personal en faena.

1.6.2 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se enfoca en anticipar y prever posibles problemas al identificar signos de deterioro en los sistemas y componentes de los equipos. Este enfoque implica la toma de medidas específicas basadas en la vigilancia constante de las condiciones, lo que incluye la detección temprana de señales de posibles fallos y la intervención oportuna para evitar situaciones anómalas en el funcionamiento de la maquinaria

1.6.3 Mantenimiento Preventivo

El enfoque del mantenimiento preventivo tiene como objetivo reducir al mínimo la posibilidad de fallo en el equipo o sus componentes. Esto se logra mediante la creación de planes que se ejecutan periódicamente, lo que disminuye las probabilidades de fallo o mal funcionamiento del equipo. La frecuencia de realización de estas actividades o tareas está vinculada al tiempo de uso, que a menudo se mide mediante el avance del horómetro

1.6.3.1 Pautas de mantenimiento Preventivo (PM)

Komatsu Chile a nivel nacional tiene estandarizadas las pautas de mantenimiento según la estrategia establecida por el fabricante y la estrategia que quiera ocupar el cliente, en el caso de Minera los Pelambres esta corresponde a ciclos o frecuencia de 500 horas de avance de horómetro.

Estas intervenciones realizadas periódicamente sobre los equipos en ciclos fijos de horas de operación, para reducir fallas regulares y repetitivas. El objetivo principal de estas actividades es aumentar la confiabilidad de los equipos y así contribuir a la continuidad operacional. Las pautas de mantenimiento combinan las indicaciones del fabricante del equipo con el conocimiento y la experiencia interna de Komatsu Chile, junto con las condiciones ambientales, geográficas y de utilización de los equipos. La realización de las mantenciones preventivas o conocidas también como PM, se controla por medio de la “desviación de la mantención”, la cual se detalla la forma de calcular.

$$\% DMP = \frac{(Horas reales - Horas proyectadas)}{Ciclo de PM}$$

*Fórmula 4 "Desviación de mantención"
Fuente: Contrato Komatsu-MLP*

1.6.3.2 Pautas cambio de componentes Preventivo

El cambio de componente preventivo se relaciona con una definición de uso de componente que optimiza el costo por hora (CPH), es decir, disminuye la relación entre el costo de reparación o reposición del componente, dadas las horas de uso de este. Esta definición implica cambiar el componente antes de la falla, antes estas definiciones y consideraciones se define como TBO (Time Between Overhaul), como el límite esperado de horas de uso del componente. También Komatsu maneja otro nombre asociado cuando se refiera a cambios de componentes por horas de uso y este es el ACL, que significa “Vida promedio del Componente”.

1.6.4 Mantenimiento Correctivo

Se hace referencia al enfoque de mantenimiento en el cual la reparación o sustitución de piezas y componentes se lleva a cabo en respuesta a un fallo. Esta estrategia se elige cuando representa la alternativa más eficaz en términos de equilibrio entre el control de costos, la continuidad operativa de los equipos y la mitigación de riesgos relacionados con la seguridad, el medio ambiente y la calidad del servicio proporcionado

1.7 Planificación de las tareas de mantenimiento

Es la base de llevar a cabo las acciones de mantenimiento pues la planificación se desprende el abastecimiento de los recursos, lo que permite generar la programación de los equipos.

La planificación busca contribuir al logro de las metas de la organización teniendo en cuenta la visión, políticas, estrategias y objetivos de la empresa.

Tanto la planificación como la programación de las tareas debe ser realizada en R+ M Care, que es el sistema oficial que posee Komatsu. Con esta información, se puede estimar el uso de los recursos, de manera de administrarlos con el fin de optimizar el gasto y el nivel de servicio de cada uno. Es muy importante que el proceso de programación y ejecución del trabajo sea ordenado y efectivo, para reducir los tiempos de espera por parte de los equipos y de las personas.

1.8 Abastecimiento de recursos para la mantención

Para garantizar la provisión puntual de recursos, es esencial que las diferentes divisiones de apoyo dentro de la empresa colaboren de manera coordinada. A continuación, se presenta la interacción entre las operaciones en faena, las sucursales y las funciones de apoyo centralizadas:

Dotación: La gerencia de recursos humanos es la encargada de gestionar la contratación de personas y cada faena de mantener y administrar la dotación. Adicionalmente se trabaja en conjunto con CFK (Centro de formación Komatsu), de manera de aumentar la capacitación de los técnicos, supervisores y administrativos. La dotación por contrato de Faena los Pelambres es de 191 personas, de las cuales solo 100 técnicos son los asociados a la realización del programa de mantenimiento y el resto es soporte a la operación (Administrativos, asesores, gerente, otros).

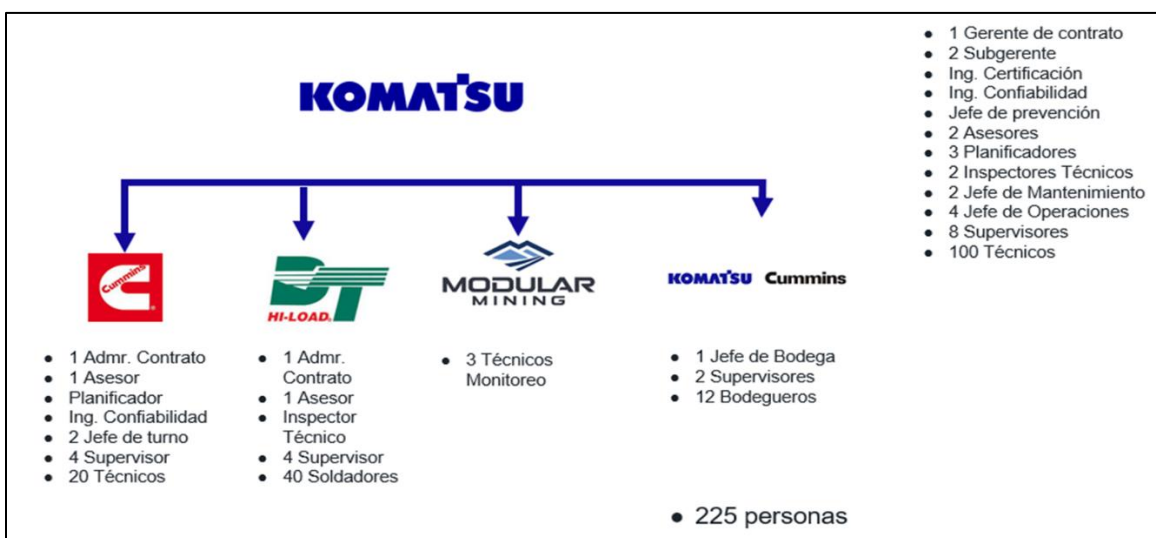


Ilustración 3 "Organigrama KCH-MLP"
Fuente: Elaboración Propia, Contrato KCH-MLP

Repuestos: La gerencia de repuestos es la encargada de estimar el consumo futuro de repuestos y generar las solicitudes de repuestos, siendo Supply Chain (Departamento de compras), el encargado de gestionar la compra, trasladar y almacenar los repuestos en centros de distribución y faenas.

Componentes: La subgerencia de componentes es la responsable de proveer componentes para las tareas programadas y no programadas. Este trabajo se basa en el concepto de nivel de servicio de componentes que relaciona la cantidad de componentes de soporte (Pool de componentes), con la demanda esperada y el ciclo de reparación en los talleres de Komatsu.

Instructivos y procedimientos de trabajo: Esto le corresponde a la subgerencia de estandarización de procesos, ellos son los encargados de generar los instructivos y procedimientos y procesos aplicados a las diversas tareas del mantenimiento. Estos documentos son actualizados de forma periódica y almacenados en la Biblioteca virtual de Komatsu.

Herramientas especiales: Al igual que los instructivos y procedimientos, esto es una tarea que le corresponde al departamento de Estandarización de Komatsu y es la carga de diseñar y comprar herramientas especiales para la ejecución de las tareas de mantenimiento.

Instalaciones: El responsable de proveerlas depende de lo acordado contractualmente, generalmente son suministradas por el cliente y tienen una capacidad y diseño dependiendo de la estrategia de mantenimiento que se establezcan. Estas deben tener según lo acordado, pero por lo general, bodega, baños, oficinas, pañol, puente grúa y otros.

Equipos de servicio: Son equipos utilizados en la realización de las tareas de mantenimiento, los cuales se utilizan por lo general en detenciones en terreno, estos pueden ser, torres de iluminación, camión lubricador, grúa horquillas, camión plumo entre otros.

Equipos: Los equipos son provistos por el cliente para realizar los trabajos de mantenimiento programado y no programado, es importante la coordinación entre ambas partes de manera de obtener los equipos en la frecuencia y cantidad de horas esperadas.

1.9 Programación de las tareas de mantenimiento

Una vez realizado el proceso de planificación y aseguramiento de los recursos, se procede a realizar la programación de actividades de mantenimiento, donde se detalla cada tarea de mantenimiento asociada a cada equipo.

En consecuencia, el Programa de Mantenimiento se configura a través del proceso de elaboración de una lista de tareas que deben llevarse a cabo. En este proceso se asignan los recursos y los tiempos disponibles, se determina el momento en que cada tarea planificada debe ejecutarse, teniendo en cuenta factores como los acuerdos contractuales, la disponibilidad de materiales, repuestos y mano de obra. La lista de tareas se elabora considerando la priorización de las actividades y teniendo en cuenta las distintas restricciones y recursos disponibles en la operación. El horizonte de tiempo contemplado suele ser de una o dos semanas, dependiendo de los turnos de trabajo en la operación

1.10 Programa semanal

El programa semanal se elabora teniendo en cuenta la asignación de actividades hasta alcanzar un nivel adecuado de utilización de la capacidad disponible, tanto en términos de personal como de otros recursos en las operaciones.




  		SEMANA 44							
		LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES	
		31-10-2022		01-11-2022		02-11-2022		03-11-2022	
KOMATSU CHILE		NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA
PLAN	TÉCNICOS TERRENO	4	4	4	4	4	4	4	4
	HH TERRENO	32	32	32	32	32	32	32	32
	TÉCNICOS MANTENCIÓN PALA	4	4	4	4	4	4	4	4
	HH MANTENCIÓN PALA	32	32	32	32	32	32	32	32
	TÉCNICOS MANTENCIÓN CAEX	13	12	13	12	13	12	13	12
	TÉCNICOS TASK FORCE	2	3	2	2	3	2	3	2
	TOTAL TÉCNICOS	15	15	15	14	16	14	16	14
	HH MANTENCIÓN	120	120	120	112	128	112	128	112
	TOTAL HORAS HOMBRE CAEX	120	120	120	112	128	112	128	112
	TOTAL HH DISPONIBLES	240		232		240		240	
TOTAL HH PROGRAMA SEMANA	1624								

Tabla 10 "HH Declaradas, KCH-MLP"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

La planificación de las tareas se realiza dentro de R+M Care, ya que está vinculada al seguimiento y registro de las Mantenciones Planificadas (PM), Cambio de Componentes (CC) y la gestión del Backlog (BKL).

**PROGRAMA DE MANTENCION SEMANAL
31 DE OCTUBRE AL 06 NOVIEMBRE DE 2022**

RESUMEN ACTIVIDADES

14 MANTENCIONES: CA105, CA82, CA99, CA59, CA101, CA51, CA95, CA53, CA108, CA85, CA89, CA73, CA58, CA74
CAMPAÑA A/C: CA85
CAMBIO ACEITE HIDRAULICO CA82, CA95, CA73

CAMBIO COMPONENTES:

CA79: NORMALIZAR EQUIPO PUESTA EN MARCHA
CA67: CAMBIO SUSPENSION DELANTERA IZQUIERDA POR CONDICION

REPARACIONES MOTOR DIESEL:

CA83: REPARACION FUGA REFRIGERANTE EXTERNA CULATAS 4R Y 7R
CA89: FUGA REFRIGERANTE EXTERNA CULATA 5L
CA82: MP 50 HRS POST CAMBIO COMPONENTE
MP 250 HRS: CA68, CA62, CA98
EVALUACION Y/O CAMBIO FILTROS AIRE SEGÚN CONDICION

REPARACIONES ESTRUCTURALES:

CA67: REPARAR FISURAS PTOS SG9, 87
CA59: CAMBIO DE PLANCHA SUPERIOR DE CANOPY (JUNTO CON MP)
CA101: CAMBIO REFUERZO LATERAL N° 36 (JUNTO CON MP)
CA83: REPARAR FISURAS PTOS 170, 11

ACTIVIDADES EXTRAS:

HOUSEKEEPING TALLER
MONTAJE CANOPY EN PISO TOLVA, MOVIMIENTO TOLVA RETIRADA DE CA92

MANTENIMIENTO PREVENTIVO BH-09/BH-12:

BH-09/ BH-12: INSPECCIONES DIARIAS
BH-09: MANT. 250 HR + BACKLOG + MEDICION RODADO + REPARACION BALDE

*Ilustración 4 "Caratula programa KCH-MLP"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP*

Es esencial verificar que los recursos necesarios para llevar a cabo estas actividades estén disponibles en cantidad suficiente, en buen estado y con la documentación necesaria para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad (como certificados de mantenimiento previo, certificados de calidad, certificados de pruebas, inspecciones previas, entre otros). Este proceso se supervisa mediante el programa de mantenimiento y control de herramientas críticas.

KOMATSU		Chile		PROGRAMA MANTENIMIENTO 31 DE OCTUBRE AL 06 NOVIEMBRE DE 2022						
ACT	EQUIPO	EECC	DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	DMP	HRS ACEITE	INGRESO	SALIDA	DURACI ÓN	HORAS TOTALES	\$
MANTENIMIENTO PREVENTIVO CAEX										
MP	CA-105	KCH	MP 500 HRS	20%	425	31-10-2022 12:00	01-11-2022 2:00	14	24	
MP		DT	INSPECCION DE TOLVAS + BACKLOGS			31-10-2022 12:00	31-10-2022 16:00	4		
MP		DCC	MP 1000 HRS + BACKLOG			31-10-2022 12:00	01-11-2022 9:00	21		
MP		CONTROL AVANCE								
MP	CA-82	KCH	MP 2500 HRS	20%	181	31-10-2022 18:00	01-11-2022 15:00	21	34	
MP		DT	INSPECCION DE TOLVAS + BACKLOGS			31-10-2022 18:00	31-10-2022 20:00	2		
MP		DCC	MP 500 HRS + BACKLOG			31-10-2022 18:00	01-11-2022 12:00	18		
MP		CONTROL AVANCE								
MP	CA-99	KCH	MP 500 HRS	20%	417	01-11-2022 12:00	02-11-2022 2:00	14	24	
MP		DT	INSPECCION DE TOLVAS + BACKLOGS			01-11-2022 12:00	01-11-2022 17:00	5		
MP		DCC	MP 500 HRS + BACKLOG			01-11-2022 12:00	02-11-2022 3:00	15		
MP		CONTROL AVANCE								
MP	CA-59	KCH	MP 1000 HRS	20%	417	01-11-2022 20:00	02-11-2022 12:00	16	24	
MP		DT	INSPECCION DE TOLVAS + BACKLOGS			01-11-2022 20:00	01-11-2022 22:00	2		
MP		DCC	MP 500 HRS + BACKLOG			01-11-2022 20:00	02-11-2022 12:30	16,5		
MP		CONTROL AVANCE								
MP	CA-101	KCH	MP 5000 HRS	16%	369	02-11-2022 12:00	03-11-2022 10:00	22	28	
MP		DT	INSPECCION DE TOLVAS + BACKLOGS			02-11-2022 12:00	02-11-2022 14:00	2		
MP		DCC	MP 500 HRS			02-11-2022 12:00	02-11-2022 18:00	6		
MP		CONTROL AVANCE								
MP	CA-51	KCH	MP 500 HRS	16%	403	02-11-2022 18:00	03-11-2022 8:00	14	24	
MP		DT	INSPECCION DE TOLVAS + BACKLOGS			02-11-2022 18:00	03-11-2022 12:30	18,5		
MP		DCC	MP 1000 HRS + BACKLOG			02-11-2022 18:00	03-11-2022 8:00	14		
MP		CONTROL AVANCE								
MP	CA-95	KCH	MP 1000 HRS	16%	404	03-11-2022 6:00	03-11-2022 22:00	16	32	
MP		DT	INSPECCION DE TOLVAS + BACKLOGS			03-11-2022 6:00	03-11-2022 8:00	2		
MP		DCC	MP 500 HRS + BACKLOG			03-11-2022 6:00	03-11-2022 12:30	6,5		
MP		CONTROL AVANCE								

*Ilustración 5 "Programa PM, KCH-MLP"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP*

Una vez que el equipo de operaciones ha elaborado el programa, es esencial que este sea revisado y aprobado por todas las áreas involucradas en el proceso, incluyendo Operaciones, Salud, Seguridad y Medio Ambiente (SSOMA), Administración y Planificación, así como los colaboradores directos de KCH. Todos ellos participarán en una reunión de programación.

En caso de que alguna de las partes interesadas no apruebe el programa, se realizarán ajustes en el programa semanal o se activará el plan de contingencia de la Compañía. Estas acciones se llevan a cabo para garantizar la confirmación de los recursos necesarios para la aprobación del programa por todas las partes involucradas.

El propósito fundamental de esta metodología es eliminar cualquier forma de improvisación en la ejecución de las actividades de mantenimiento, lo que a su vez contribuye a minimizar los riesgos asociados con la realización de dichos trabajos

1.11 Ciclos de Mantenimiento preventiva actuales

Los ciclos de mantenimiento preventivo realizados a los camiones de extracción Komatsu 930E, son ciclos de 500 horas, por lo cual se garantiza que al menos 1 vez al mes, estos sean intervenidos. Los ciclos de mantenimiento que se ejecutan en Minera Los Pelambres y los tiempos para su ejecución son los siguientes:

Actividad	# horas detención
500HRS Periodic Inspection	14.0
1.000HRS Periodic Inspection	16.0
2.500HRS Periodic Inspection	20.0
5.000HRS PERIODIC INSPECTION	20.0

*Tabla 11 "Ciclos V/S Horas detención PM, KCH-MLP"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP*

Esta cantidad de horas de detención asignada a cada ciclo de mantenimiento es sin agregar backlog, cambio de componentes, o campañas de fábrica, solo este tiempo es el destinado para la ejecución de la pauta de mantenimiento preventivo, por ende, si se agregasen tareas adicionales este tiempo debería aumentar.

Según la cantidad de 56 equipos que hoy posee la faena y el avance de horómetro que promedio es de 600 horas, hace que la programación de estos sea alrededor de 14 equipos por semana y los 56 equipos al mes, por lo cual genera tener una dotación fija y estable para poder ejercer esta gran cantidad de actividades.

Para lo que es el cálculo de dotación esta se calcula a un 80% del total de HH, declara para la ejecución del programa de mantenimiento, dejando el otro 20%, para el caso de

inasistencias, cursos u otros motivos. La dotación nominal de los 4 turnos con jornada de trabajo 7x7 es de 20 técnicos Komatsu y con esto se calcula las HH disponibles para ejecutar el programa.

SEMANA	SEMANA 35		
Etiquetas de fila	Suma de HORAS HOMBRE	% UTILIZACION	TOTAL HH DISP
DCC	320	71%	448
DT	320	63%	504
KCH	1496	81,0%	1848
Total general	2136		

Tabla 12 "Ajuste HH para PM"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

1.12 Pautas de mantenimiento actuales

Las pautas de mantenimiento preventivo están estandarizadas para todas las faenas que posean equipos Komatsu 930E, esta se encuentra para ciclos de mantenimiento de 500 horas, 1000 horas, 2500 horas y 5000 horas. Todas estas están diseñadas para que las desarrolle 4 técnicos (2 mecánicos y 2 eléctricos). Las pautas están seccionadas en cuatro rutas lógicas, Pauta 1 Mecánico, Pauta 2 Mecánico, Pauta 1 Eléctrico y Pauta 2 Eléctrico. Todo esto para que su ejecución sea de forma ordenada.

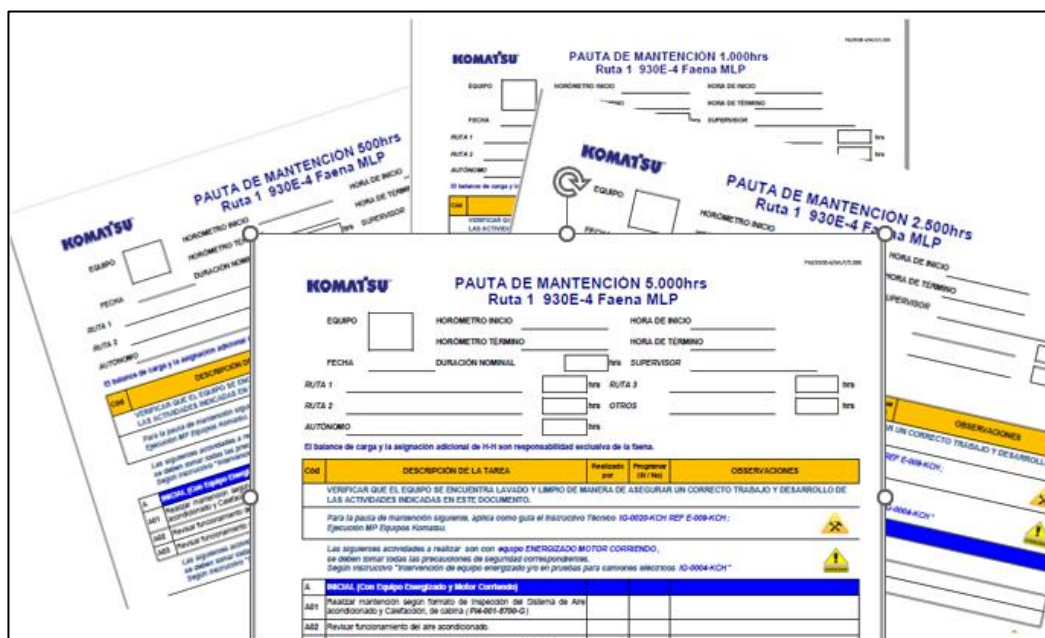


Ilustración 6 "Pautas ciclo 500 horas"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

1.13 Comportamiento de los KPI del contrato con ciclos de PM de 500 horas

Ahora procederemos a examinar los Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) correspondientes al año 2022, período en el cual se llevaron a cabo intervalos de mantenimiento

preventivo programado cada 500 horas de funcionamiento. Realizaremos un análisis detallado de cada uno de estos indicadores.

Los datos para analizar fueron obtenidos con la siguiente flota, de las cuales solo analizaremos la flota de camiones:

- 8 camiones Komatsu 930 E-3
- 47 camiones Komatsu 930 E-4
- 1 camiones Komatsu 930 E-5
- 2 pala Komatsu PC5500

1.13.1 Tendencia de disponibilidad Caex

Los datos analizados corresponden a una flota de 56 CAEX 930E, los cuales fueron analizados desde enero del 2022 hasta enero del 2023, donde se ve un aumento considerable en el mes de junio, debido a toma de caminos (condición anexa al contrato) y donde los equipos quedaron operativos, pero sin ser utilizados. Este año el promedio anual de disponibilidad contractual fue de 89.84%, siendo la meta por contrato de 86%.

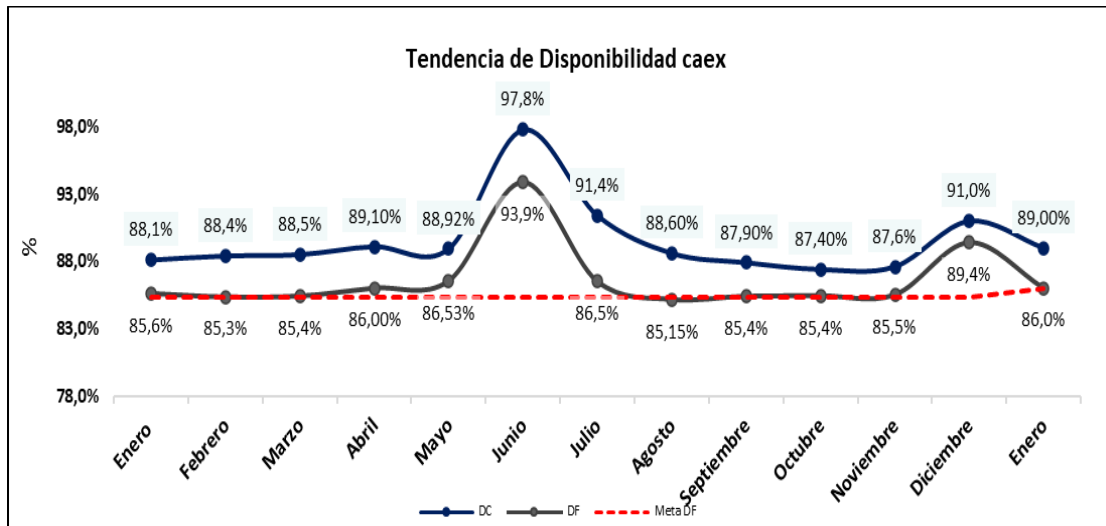


Ilustración 7 "Disponibilidad 2022, KCH-MLP"
Fuente: Auditoria Procesos 2023, KCH

1.13.2 Tendencia de indisponibilidad Caex

En este punto se analiza el comportamiento en la misma fecha que el anterior gráfico, separado por indisponibilidad del plan (Equipos Programados), indisponibilidad de los excluidos (detenciones que no están en el contrato entre MLP y KCH) y los equipos que aportan indisponibilidad en RI (Detenciones no programadas). El otro punto para analizar es que, con ciclos

de mantenimiento de 500 horas, la indisponibilidad promedio que aporta el mantenimiento es de 5% promedio.

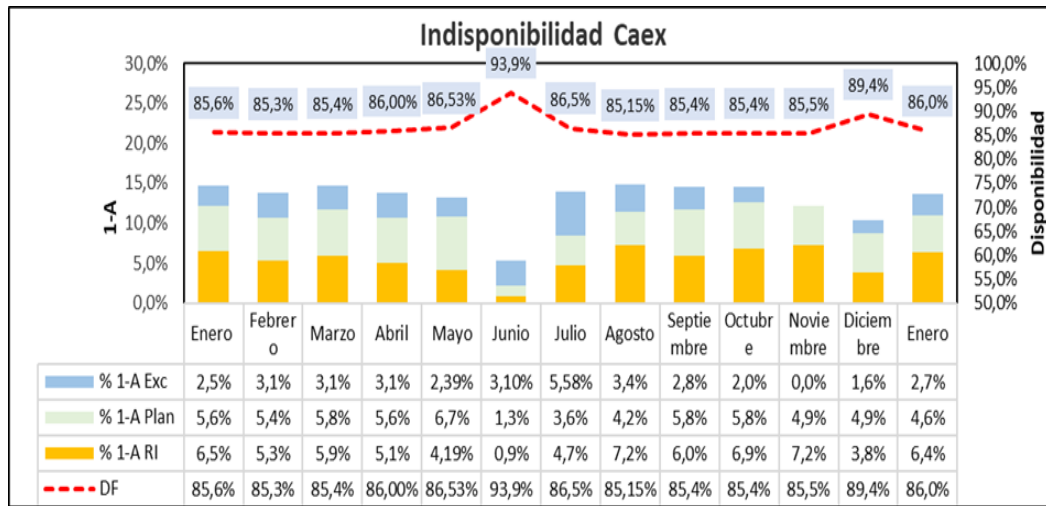


Ilustración 8 "Indisponibilidad 2022, KCH-MLP"
Fuente: Auditoria Procesos 2023, KCH

1.13.3 Tendencia de MTBF Caex

Con respecto a este punto que mide la mantenibilidad de la flota, se puede apreciar que el promedio anual fue de 72.1 horas, sobre la meta contractual de 50 horas, pero bajo meta del Holding como KPI interno que es superior a 75 horas. Al analizar la data de esta fecha se aprecia que antes de mayo, la baja en este indicador se debe a fallas en los motores diésel de la flota y posterior a esta fecha los factores que mantuvieron la baja se relacionan a fallas en motores de tracción y suspensiones delanteras.

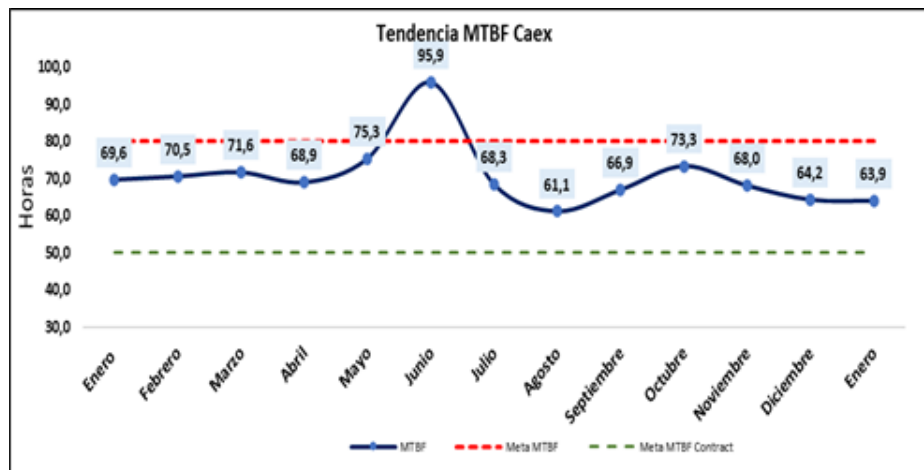


Ilustración 9 "MTBF 2022, KCH-MLP"
Fuente: Auditoria Procesos 2023, KCH

1.13.4 Tendencia de MTTR Caex

En cuanto al Tiempo Medio de Reparación (MTTR), se evidencia que, durante el período observado en 2022, se mantuvo consistentemente por encima de los parámetros contractuales. Esto se debió en gran medida a la escasez de piezas de repuesto tanto a nivel local como nacional, ocasionada por las restricciones derivadas de la pandemia de COVID-19 y el cierre de fronteras.

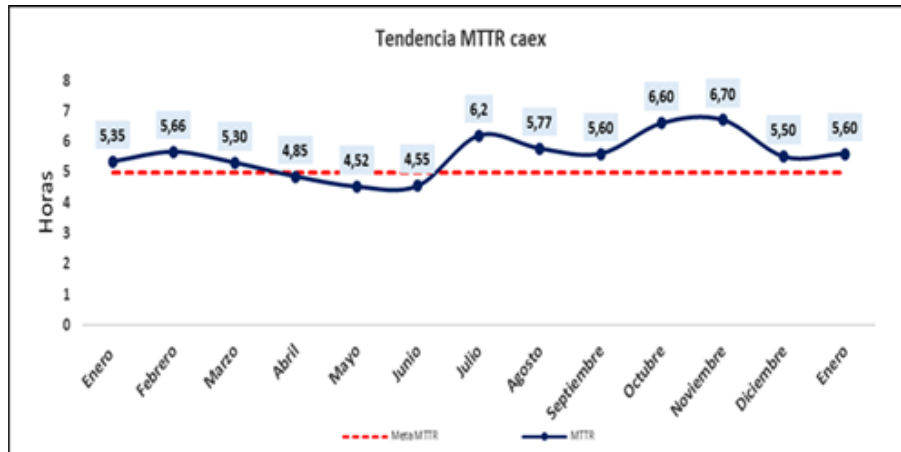


Ilustración 10 "MTTR 2022, KCH"
Fuente: Auditoria Procesos 2023, KCH

1.13.5 Detenciones por sistema

El último análisis es con respecto a los distintos sistemas que conforman el camión Komatsu 930E, donde se aprecia una tendencia clara al alza de detenciones asociadas a motor y a eléctrico principal y la gran cantidad de horas fuera de servicio atribuibles a motor diésel, que es el componente que más aporta a la indisponibilidad.

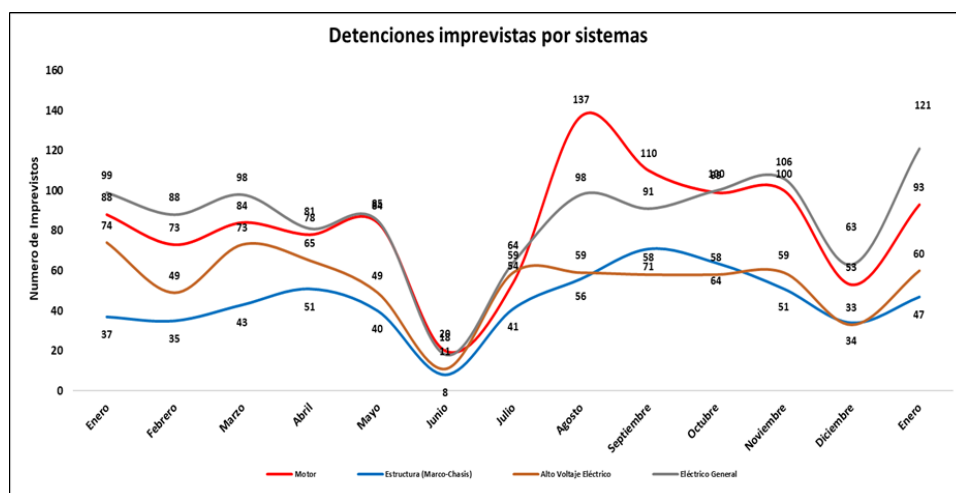


Ilustración 11 "Detenciones imprevistas 2022, KCH"
Fuente: Auditoria Procesos 2023, KCH

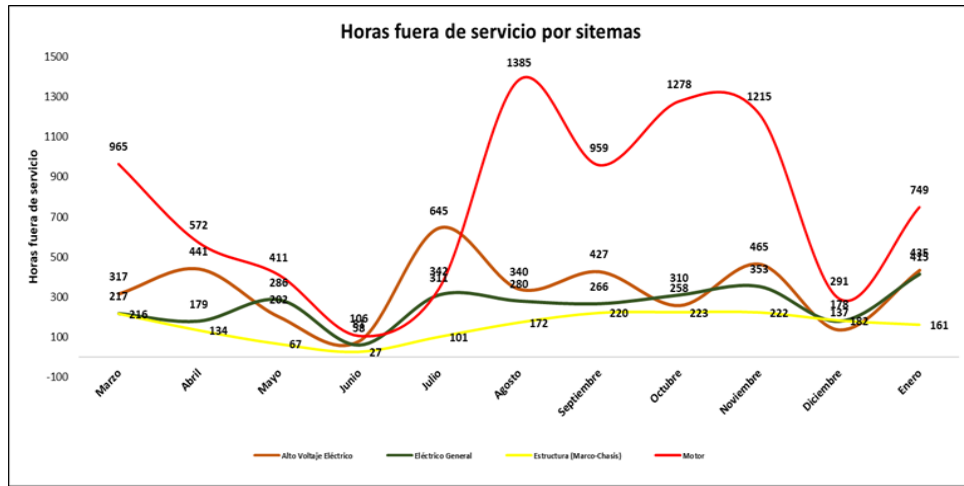


Ilustración 12 "Horas fuera de servicio 2022, KCH-MLP"
Fuente: Auditoria Procesos 2023, KCH

1.14 Resumen de análisis de KPI con frecuencia de 500 horas

En base a estos datos es que se analizara la nueva propuesta de cambios de frecuencias de mantenimiento, velando por cumplir los KPI contractuales e interno y observando el comportamiento de estos indicadores claves. A continuación, se presenta un resumen de los indicadores y su comportamiento desde el 2019 al 2022.

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

Tabla 13 "Resumen KPIs 2022, KCH-MLP"
Fuente: Auditoria Procesos 2023, KCH

La imagen anterior muestra que todos los indicadores han estado dentro de los parámetros esperados y han cumplido con los términos del contrato base. Por lo tanto, surge la pregunta de por qué considerar un cambio en la frecuencia de mantenimiento si los objetivos clave se están cumpliendo satisfactoriamente.

La razón radica en la iniciativa de Minera los Pelambres de optimizar sus costos relacionados con el mantenimiento. Esta optimización se puede lograr ajustando la frecuencia de mantenimiento, reduciendo la cantidad de equipos que reciben mantenimiento por mes. Esta medida tiene el potencial de disminuir los costos asociados a cada Mantenimiento Programado (MP), sin comprometer los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) asociados a estos equipos.

Al variar la frecuencia de mantenimiento, se busca maximizar la eficiencia de los recursos disponibles, manteniendo al mismo tiempo la integridad operativa de los equipos. Es importante destacar que este enfoque se basa en un análisis de los datos operativos y de rendimiento, con el objetivo de garantizar que cualquier ajuste en la frecuencia de mantenimiento sea respaldado por evidencia sólida y no comprometa la confiabilidad y disponibilidad de los equipos

1.15 Frecuencia de mantenimiento

La optimización de la eficiencia operativa y el aumento del retorno de la inversión constituyen dos pilares fundamentales en la estrategia empresarial. Alcanzar un equilibrio exitoso en esta área requiere que todos los recursos involucrados en el proceso productivo funcionen de manera óptima. Para lograr esta sinergia, la gestión y la frecuencia de mantenimiento de los equipos desempeñan un papel crítico.

En paralelo, el establecimiento de relaciones sólidas con los proveedores que suministran equipos es de gran importancia. Colaborar estrechamente con ellos permite la identificación precisa de las necesidades, facilita el soporte y contribuye al mantenimiento adecuado de estos activos.

El mantenimiento de los equipos en una empresa debe llevarse a cabo de manera estratégica, siguiendo requisitos adaptados a las necesidades particulares de la organización. Es por eso por lo que se crea un plan de mantenimiento, que se define como una secuencia de actividades planificadas y calendarizadas destinadas a garantizar el funcionamiento adecuado de un equipo o sistema de producción, de acuerdo con una periodicidad determinada.

Los objetivos del plan de mantenimiento se centran en optimizar el desempeño de los equipos al identificar las tareas esenciales y oportunas. Para lograrlo, se debe establecer parámetros de control, asignar los recursos adecuados y definir los procedimientos específicos para cada tarea.

Sin embargo, un elemento clave en la gestión del plan de mantenimiento es la determinación de la frecuencia con la que se llevarán a cabo estas actividades. La frecuencia de mantenimiento influye directamente en la continuidad de la producción y en la búsqueda de la máxima confiabilidad, disponibilidad y rentabilidad de los equipos, reduciendo al mínimo las posibles interrupciones y fallos.

1.16 Estrategia de mantenimiento

Cuando una empresa decide llevar a cabo labores de mantenimiento, debe tomar una decisión importante: si optar por el mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo. Excepto en el caso del mantenimiento correctivo, que implica responder a una falla ya ocurrida, es esencial

llevar a cabo una gestión efectiva para asegurar que las actividades de mantenimiento se realicen de manera sistemática y planificada.

Sin embargo, es de vital importancia definir la frecuencia de mantenimiento de cada equipo. Al crear un plan de acción, es necesario considerar las tareas y sus respectivas periodicidades. Estas tareas están diseñadas para prevenir posibles fallos y requieren la ejecución de acciones preventivas antes de que surjan problemas.

La frecuencia de mantenimiento se refiere a la cantidad de acciones necesarias que deben llevarse a cabo en un período de tiempo determinado. Dependiendo de la duración de ese intervalo, la periodicidad de las tareas de mantenimiento puede ser la siguiente:

- Diaria o semanal.
- Mensual
- Trimestral
- Mantenimiento Anual

1.17 Determinación de la frecuencia de mantenimiento

La determinación de la frecuencia de mantenimiento preventivo se realiza de tres formas:

- Utilizando métodos estadísticos
- Implementando modelos matemáticos
- Basándose en la experiencia o lo establecido por el fabricante del equipo, o también basándose en la experiencia de los técnicos o departamentos de soportes que elaboran los planes de mantenimiento.

Luego de haber estudiado y seleccionado alguna de estas 3 opciones, existen otras dos formas para designar la frecuencia con la cual es necesario realizar la tarea de mantenimiento, estas son:

- Siguiendo la frecuencia fijada, indicando los intervalos en que se deben realizarse las tareas.
- Establecer las tareas realizar basándose en las horas de funcionamiento.

En el caso del Camión Komatsu 930E, se determinó basarse en la frecuencia establecida por el fabricante y a esta realizar modificaciones basándose en la experiencia de los departamentos de ingeniería y soporte por parte de Komatsu Y Minera los Pelambres, además de ir incorporando nuevas tecnologías de monitoreo por condición lo que hace estudiar y proponerse modificar la periodicidad o frecuencia de mantenimiento.

1.18 Frecuencia de mantenimiento Camión Komatsu 930 E, según Estándar de Fábrica

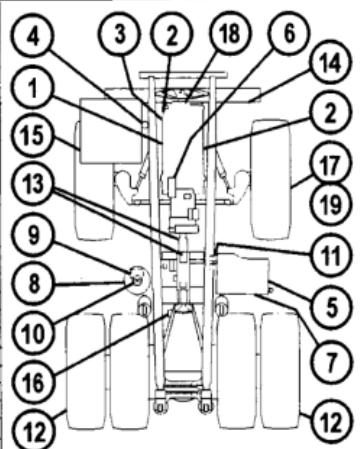
El mantenimiento preventivo recomendado contribuirá a extender la vida útil y a garantizar la confiabilidad del camión y sus componentes. El uso de lubricantes adecuados y la realización de revisiones y ajustes a intervalos recomendados son de vital importancia.

Los requerimientos de lubricación hacen referencia a la clave de lubricación ya que de este punto depende o es de gran importancia al momento de definir los intervalos de mantenimiento, debido a las nuevas tecnologías existentes en los lubricantes es posible hoy en día aumentar los intervalos de mantenimiento y con esto aumentar el desempeño del equipo y de intervenir menos veces al año, con esto que el cliente pueda disponer más tiempo sin realizar una detención programada del equipo aumentado su utilización.

Los intervalos de mantenimientos están expresados en horas de operación. Se recomienda estos intervalos en lugar de un programa de análisis del aceite que puede generar intervalos distintos. Sin embargo, el camión opera bajo condiciones extremas, es posible que sea necesario acortar uno o todos los intervalos y que se deba realizar mantenimiento con mayor frecuencia.

El camión Komatsu 930E está equipado con un Sistema de engrase de Lubricación Automática Lincoln. La programación inicial para este sistema proporciona las cantidades nominales de lubricante a ser distribuido a cada punto que requiera servicio. Los inyectores de lubricación se pueden ajustar para modificar la cantidad de lubricante a distribuir. Además, el temporizador para intervalos de lubricación por lo general se puede ajustar.

CUADRO DE LUBRICACION											
ESPECIFICACIONES DE LUBRICACION											
CLAVE LUBRIC.	TIPO DE LUBRICANTE										
A	ACEITE DE MOTOR - VER MANUAL DEL MOTOR										
B	ACEITE HIDRAULICO - SAE 10W C-4 SE REQUIEREN CALENTADORES AUXILIARES POR DEBAJO DE -10°F (-23°C)										
C	ACEITE SINTETICO PARA ENGRANAJES DE TRABAJO PESADO - VER MANUAL SISTEMA DE MANDO										
D	GRASA MULTIPROPOSITO PRESION EXTREMA - NLGI NO. 2 (BISULFURO DE MOLIBDENO AL 5% MIN.)										
E	GRASA MULTIPROPOSITO PARA ENGRANAJES SAE 80W - 90										
SYM	DESCRIPCION	PTS	CLAVE LUBR.	10 HR	50 HR	100 HR	250 HR	500 HR	1000 HR	2000 HR	2500 HR
1	NIVEL ACEITE DEL CARTER	1	A	REVISAR							
2	FILTROS ACEITE LUB. MOTOR			VER MANUAL DEL MOTOR							
3	FILTRO DE COMBUSTIBLE			VER MANUAL DEL MOTOR							
4	SEPARADOR COMBUST. (DAVCO)			VER MANUAL DEL MOTOR							
5	ESTANQUE DE COMBUSTIBLE	1						DRINAR 100 Y SEDIMENTO			
6	RESPIRADERO FILTRO GE	1	D					ENGRASAR			
7	RESPIRADERO TANQUE COMB.	1							LIMPIAR		
8	NIVEL ACEITE HIDRAULICO	1	B	REVISAR					*CAMBIAR		
9	COLADOR HIDRAULICO	2							LIMPIAR		
10	RESPIRADERO TANQUE HIDRAU.	2							CAMBIAR		
11	FILTROS HIDRAULICOS	3			**	**	**		CAMBIAR		
12	NIVEL ACEITE RUEDA MOTORIZ.	2	C	VER MANUAL DEL SISTEMA DE MANDO							
13	EJE MANDO BOMBA HIDRAULICA	2	D					ENGRASAR			
14	NIVEL LUBRICACION DEL CHASIS	1	D					ENGRASAR			
15	DESLIZAM. ASIEN TO Y EJE DIRECCION	4	D						ENGRASAR		
16	SOPLADOR MOTOR DE RUEDA	2	D					ENGRASAR			
17	RODAMIENTOS DE RUEDA DELANTERA***	2	E					REVISAR			CAMBIAR
18	MUÑON DELANTERO	1	D						ENGRASAR		
19	TAPON MAGNETICO CUBIERTA RUEDA DELANTERA****	2						REVISAR			



630E, 730E, 830E, & 930E

* EL INTERVALO DE 1000 HRS. SE PUEDE EXTENDER A 2000 HRS. SIEMPRE QUE EL MUESTREO Y ANALISIS DEL ACEITE SE REALICE CADA 250 HORAS.
 ** CAMBIO DE UNA VEZ A 50, 100 Y 250 HRS.
 *** NO SE APLICA PARA EL 930E.
 **** SOLO SE APLICA PARA EL 930E.

WB2790

Ilustración 13 "Cuadro de Lubricación camión Komatsu 930E"
Fuente: Shop Manual 930E

Como se visualiza en la imagen anterior existen frecuencias de mantenimiento de 10, 50, 100, 250, 1000, 2000 y 2500 horas. En lo que respecta a el ciclo realizado hasta el año 2022 en minera los Pelambres, la inspección de 10 horas se le asignó al operador cada vez que iniciaba jornada laboral inspeccionar estos puntos que eran visuales, que eran niveles de aceite motor y nivel de aceite hidráulico. En lo que respecta a los ciclos de 50. 100 y 250 que hace referencia a cambiar filtros de aceite hidráulico, se realizó un monitoreo por análisis de aceite hidráulico donde se verificaba que las propiedades se mantienen y que estas podrían llegar sin ningún tipo de problema al ciclo de 500 horas. Es por esto último que solo se definió realizar ciclos de 500 horas lo que no impacto a la confiabilidad del equipo. Estos quedaron establecidos de la siguiente forma.

Actividad	# horas detención
500HRS Periodic Inspection	14.0
1.000HRS Periodic Inspection	16.0
2.500HRS Periodic Inspection	20.0
5.000HRS PERIODIC INSPECTION	20.0

*Tabla 14 "Ciclo PM 500 horas 930E"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP*

1.19 Propuesta de mejora en el cambio de frecuencia de mantenimiento

El cambio de frecuencias de mantenimiento nace de la necesidad de Minera los Pelambres, de aumentar la disponibilidad física ofrecía a Operaciones mina, este aumento esperado es de alrededor de un 0.52% de disponibilidad física mensual más. Recordado que el promedio ofrecido mensual es de 86.1%. Con esto operaciones mina tendría más tiempo operativo el camión de extracción y con esto podría aumentar los movimientos de tonelajes diarios. De forma secundaria también Minera los Pelambres busca optimizar sus costos asociados al mantenimiento, esto se lograría realizando menos mantenciones por camión al año al variar la frecuencia de mantenimiento.

Todo este proyecto o estudio trae varias aristas de mejoras, como lo son aplicar una metodología Lean en el desarrollo de las actividades de mantenimiento para bajar los tiempos de detención por ciclos de mantenimiento.

En resumen, el cambio de frecuencia obedece a varios puntos a mejorar dentro de la gestión del mantenimiento, los cuales se nombran a continuación:

- Disminución de indisponibilidad del equipo.
- Mejora en la confiabilidad.

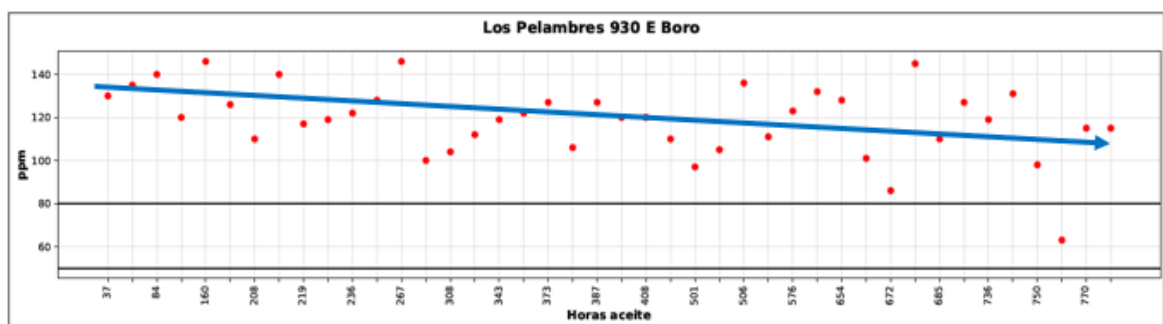
- Disminución de costos asociados a los ciclos de mantenimiento.
- Mejora en tiempos de ejecución de la pauta de mantenimiento, asociados a varias metodologías. (Lean, 5S y Pits F1)
- Mejora del FTE. (Full Time Equivalent)

1.20 Estrategia de cambio de frecuencia de mantenimiento

La estrategia de cambio partió primero por analizar el componente que más requiere de mantenibilidad en el camión de extracción Komatsu 930E, este es el motor diésel.

Buscar la forma de extender los intervalos de cambio de aceite de motor fue lo principal y lo que lleva a cambiar la frecuencia de mantenimiento. Los motores diésel Cummins modelo QSK60, con ciclos de 1000 horas y válvula Centinel conectada, ocupaban un aceite multigrado del tipo 15W40. En el caso de Minera los Pelambres este tipo de aceite es un multigrado de la clasificación R3, que corresponde a un aceite del tipo mineral, que en base a análisis de aceite y tendencias no era capaz de llegar a ciclos de 1000 horas de funcionamiento, presentando altas tasas de degradación de este cuando tenía 800 horas de uso. Es por esto último que se buscó nuevas categorías de aceite de motor, el que se estudio fue un aceite 15W40 de clasificación R5, es un aceite semisintético el cual posee nuevas tecnologías y un paquete de aditivos que se mantuvo mejor con el tiempo, pero según análisis tampoco es capaz de llegar a ciclos de 1000 horas, solo llega a ciclos de 800 horas y después de esto comienza a perder sus propiedades. Es por esto último que se propone los intervalos de mantenimiento a 750 horas.

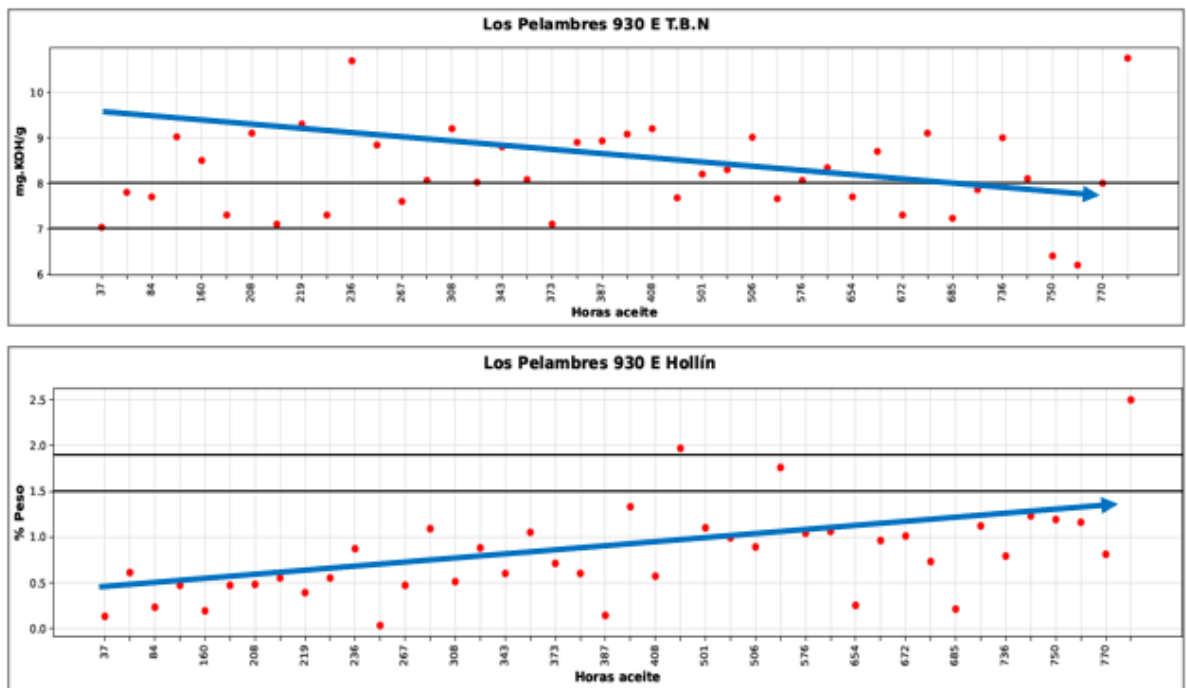
En la siguiente imagen, se ve el comportamiento del Boro, el análisis de aceite evidencia una leve tendencia a la baja en el Boro (aditivo anti-desgaste), acentuándose a partir de las 600 h de operación del lubricante.



*Ilustración 14 "Boro aceite R5"
Fuente: Depto. Confiabilidad DCC*

Se aprecia una tendencia a la baja para TBN llegando a límites críticos al incrementar las horas del lubricante, a partir de las 600 h de operación, Existe un aumento en Hollín como

contaminante interno, al sobrepasar las 500 h de operación del lubricante evidenciando agotamiento de agentes dispersantes/detergentes.



*Ilustración 15 "TBN y hollín, aceite R5"
Fuente: Depto. Confiabilidad DCC*

El otro lubricante que no llegaba a intervalos de 750 horas es el de Grasa de camión. El camión posee un depósito de grasa de 41 kilos de grasa de la marca Shell tipo Gadus 460, que esta dimensionado solo para ciclos de 500 horas. Esta acción se mejoró incorporando al programa semanal de rellenos de aceite de motor el también agregar grasa mientras dure la tarea de relleno de aceite de motor. Esta tarea tiene un tiempo de ejecución de 10 a 15 minutos por camión, en los cuales se alcanza a rellenar aproximadamente 20 kilogramos de grasa, lo que permite que el camión pueda llegar al intervalo de 750 horas.

Lo último por la parte de componentes eléctricos, el único componente que no llega a ciclos de 750 horas es el de los Tips fijos, de los contactores, componentes del sistema eléctrico del camión. Es por esto por lo que se decidió incorporarlo como cambio cada 750 horas y no a la interpretación del eléctrico que esté realizando la pauta de mantenimiento, ya que el tiempo de reparación en caso de que falle antes de la mantención es muy elevado al igual que los costos de reparación.



*Ilustración 16 "Contactor Komatsu 930"
Fuente: Shop Manual 930E*

Todos los demás componentes del camión Komatsu pueden llegar a extender su intervalo y no presentar fallas.

CAPÍTULO 2: PROPUESTA CAMBIO FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO

2.1 Propuesta extensión ciclo de mantenimiento MLP

La propuesta es sencilla es emigrar de los ciclos de 500 horas a 750 horas, para ello en primera instancia se creará una mantención intermedia preparativa, también llamada inspección corta. Este será el primer paso para pasar la mantención de 500 a 750 horas. Para ello las actividades pertenecientes a PM500, se reducen a un ciclo de 375 horas, para pasar posteriormente a ciclo de 750 horas.

Sistema	Actividad	Recurso	Minutos															
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130			
Controles Críticos	Documentación, charlas, traslado equipo, bloqueos, ART etc.	Todos	■	■	■													
Motor Diesel	Inspección Spiratec (peso)	Cummins										■	■	■	■			
	Inspección de sistema de admisión ★	Tecnico KCH 1					■	■	■	■	■							
	Lubricación Trunion	Cummins				■	■	■	■	■								
	Filtro Combustible	Cummins								■	■							
Sistema Alto Voltaje	Inspección Visual de desgaste tips en contactores.	Tecnico KCH 1											■					
	Soplado Panel ICP	Tecnico KCH 1												■	■			
	Inspección de Portacarbón	Tecnico KCH 1													■	■	■	■
Sistema de Engrase	Rellenar depósito de grasa del sistema centralizado de engrase	Técnico KCH 2				■	■	■										
Eléctrico General	Inspección Funcionamiento luces, trochas	Tecnico KCH 2			■													

★ Se reemplazará filtro solo si existe una alerta del sistema FIT o baja presión de admisión

Ilustración 17 "MP 375 detalle"
Fuente: Depto. Confiabilidad KCH-MLP

En esta inspección corta o PM375, se detendrá el equipo por 2 horas en donde una cuadrilla de técnicos, revisaran niveles de fluidos del camión y revisara componentes críticos como, carbones de blower y alternador principal y tips de contactores, para que el equipo pueda llegar a su nuevo ciclo de 750 horas. Este tipo de PM corta se realizará solo una vez por equipo para poder cuadrarlo a su nuevo ciclo de mantenimiento.

Las PM1000, serán extendidas a PM1500 horas manteniendo la base de la pauta de 1000 horas y solo cambiando la frecuencia.

La PM2500, se extiende a PM3000 horas, se mantiene la base de la pauta de 2500 horas. Solo se aplicará pauta o seguimiento estructural de chasis si el equipo se encuentra bajo seguimiento.

Por último, la PM5000, se extiende a PM6000 horas, se mantiene pauta base y se agregar inspección estructural de chasis.

En la siguiente imagen se detalla la nueva estrategia de mantenimiento.

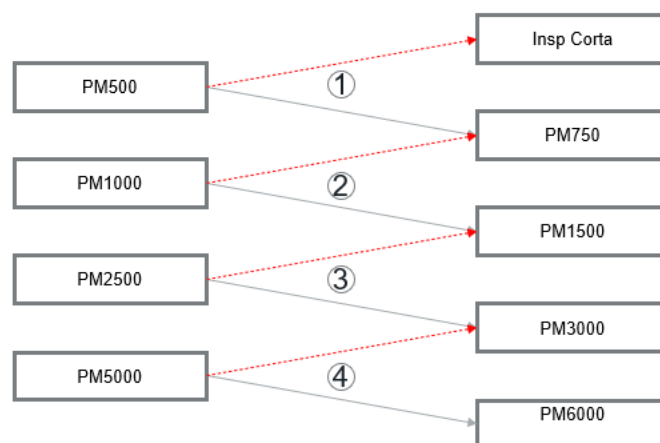


Ilustración 18 "Extensión ciclo PM"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

2.2 Repuestos asociados a Mantenimiento de 500 y 750 horas (Bins)

El kit asociado a componentes para poder realizar la mantención de 500 y 750 horas son los mismos, no existe ninguna variación, cabe destacar que los lubricantes por contrato son aportados por Minera los Pelambres, así que no se incluirán.

Existe solo una variación en la cantidad y tipos de repuestos, dependiendo del tipo de motor Diesel instalado, que puede ser Tier 1 o Tier 2.

A continuación, se detalla el Bins preparado para una MP de ciclo 750 para los dos tipos de motores.

KOMATSU 930 COM MOTOR QSK60 TIER 1					
Nro. Parte	Cantidad	Tipo	Material	Total M/P Un.	Total
HF35015	2	MP KCH	[01] FILTRO HIDRAULICO	\$136,935	\$273,870
HF30921	1	MP KCH	[06] FILTRO HIDRAULICO	\$181,620	\$181,620
AF04179	1	MP KCH	FILTRO DE AIRE CABINA	\$63,360	\$63,360
GE1053	2	MP KCH	CONTACTOR	\$123,485	\$246,970
HF06510	2	MP KCH	FILTRO HIDR RESPIRADERO	\$8,720	\$17,440
BF2196-P	2	MP KCH	ANILLO TEFLON	\$22,060	\$44,120
3046999R1	2	MP KCH	ANILLO SELLO	\$10,265	\$20,530
WA0100	1	MP KCH	ANILLO DE GOMA	\$2,100	\$2,100
FS01006	3	MP DCC	FILTRO SEPARADOR	\$62,460	\$187,380
WF02077	2	MP DCC	[12] FILTRO AGUA REFRIGERANTE	\$10,990	\$21,980
CS41018	1	MP DCC	CENTRIFUGOS DE ACEITE	\$218,350	\$218,350
AA02990NF	4	MP DCC	KIT FILTRO DE AIRE NANOFORCE	\$436,585	\$1.746,340
				TOTAL	\$3.024,060

Tabla 15 "Bins de repuestos MP con motor Tier 1"
Fuente: Confidencial

KOMATSU 930 COM MOTOR QSK60 TIER 2					
Nro. Parte	Cantidad	Tipo	Material	Total M/P Un.	Total
HF35015	2	MP KCH	[01] FILTRO HIDRAULICO	\$136,935	\$273,870
HF30921	1	MP KCH	[06] FILTRO HIDRAULICO	\$181,620	\$181,620
AF04179	1	MP KCH	FILTRO DE AIRE CABINA	\$63,360	\$63,360
GE1053	2	MP KCH	CONTACTOR	\$123,485	\$246,970
HF06510	2	MP KCH	FILTRO HIDR RESPIRADERO	\$8,720	\$17,440
BF2196-P	2	MP KCH	ANILLO TEFLON	\$22,060	\$44,120
3046999R1	2	MP KCH	ANILLO SELLO	\$10,265	\$20,530
WA0100	1	MP KCH	ANILLO DE GOMA	\$2,100	\$2,100
FS53014	2	MP DCC	FILTRO SEPARADOR	\$228,250	\$456,500
FF63042NN	3	MP DCC	FUEL FILTER/FWS	\$210,600	\$631,800
CS41018	1	MP DCC	CONESTAC CENTRIFUGOS DE ACEITE	\$218,350	\$218,350
WF02077	2	MP DCC	[12] FILTRO AGUA (\$10,990	\$21,980
LF17560	1	MP DCC	FILTRO DE ACEITE	\$96,790	\$96,790
AA02907M	4	MP DCC	F/AIRE (AF0899M y AF00880)	\$335,740	\$1.342,960
				TOTAL	\$3.618,390

Tabla 16 "Bins de repuestos MP con motor Tier 2"
Fuente: Confidencial

2.3 Tiempo ejecución de pautas de 750 horas

Como la pauta base de 500 horas se mantiene, solo cambia la frecuencia, es por esto por lo que los tiempos asociados al desarrollo de estas de igual manera se mantienen, incluida la dotación para su ejecución, que son dos técnicos mecánicos y dos técnicos eléctricos, en resumen, son 4 técnicos para su ejecución y las siguientes horas asignadas según la imagen siguiente.

Actividad	# horas detención	Actividad	# horas detención
500HRS Periodic Inspection	14.0	375HRS Periodic Inspection	2
1.000HRS Periodic Inspection	16.0	750HRS Periodic Inspection	14.0
2.500HRS Periodic Inspection	20.0	1500HRS Periodic Inspection	16.0
5.000HRS PERIODIC INSPECTION	20.0	3.000HRS Periodic Inspection	20.0
		6.000HRS Periodic Inspection	20.0

Tabla 17 "Tiempo ejecución, extensión ciclo PM"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

Para el tiempo de ejecución de pauta, se realizaron dos estudios para llegar a estos tiempos, que son incorporar metodología Lean al proceso de mantenimiento, apoyado de metodología 5S y un estudio de toma de tiempos "llave en mano", los cuales se detallaran más adelante.

2.4 Cálculo de Programación semanal de mantenimiento con ciclos de 750 horas

Como base para poder realizar un programa de mantenimiento semanal, mensual y anual, se estima que el avance de horómetro teórico mensual por equipo es de 500 horas, aunque en la realidad el promedio de avance de horómetro mensual de los camiones Komatsu es de 600 horas

aproximadamente. Esta corrección de avance se realiza por medio de un indicador que se llama DMP, que significa desviación de mantenimiento.

Con esta primera teoría podríamos llegar a visualizar que en el caso que se realizaran ciclos de mantenimiento como lo indica el fabricante, tendríamos 2 mantenimientos mensuales por camión, lo que daría un total de 24 intervenciones al año. Cuando se realizan ciclos de 500 horas no da como resultado una intervención al mes y 12 intervenciones al año.

Con la nueva propuesta de ciclos cada 750 horas, esta cantidad de intervenciones al año baja considerablemente a 8 intervenciones al año, lo que también se traduce en más tiempo disponible para la minera, para que pueda hacer utilización del equipo en otras palabras menos indisponibilidad por concepto de mantenimiento. Si se mantiene el mismo Bins de repuestos que ocupaba una PM500 horas, el costo hacia el cliente también disminuye, este último calculo se detallara más en el capítulo 3 de este trabajo de título.

Ciclos	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500	5750	6000	Detenciones año	
PM250																									24	
PM500																										12
PM750			750			1500			750			3000			750			1500			3000			6000	8	

Tabla 18 "Nueva frecuencia, extensión ciclo PM"
Fuente: Elaboración propia

Según esta imagen y visualizando la cantidad de equipos que son 56 camiones de extracción, cuando se tienen ciclos de 500 horas, esto genera que el total de camiones de la flota tienen que entrar a mantenimiento por mes, esto da que para que se pueda ejecutar o realizar un programa de mantenimiento que no genere desviación o retraso, al menos 14 equipos deben ingresar por programa semanal de mantenimiento.

**PROGRAMA DE MANTENCIÓN SEMANAL
30 ENERO AL 05 FEBRERO DE 2023**

RESUMEN ACTIVIDADES

12 MANTENCIONES: CA64, CA76, CA57, CA52, CA102, CA65, CA105, CA55, CA54, CA77, CA56, CA69
 CA95: INSPECCION INTERMEDIA 375 HRS
 CA64, CA105: CAMBIO ACEITE HIDRAULICO
 CA59, CA83: CAMBIO ACEITE DE MT POR SEGUIMIENTO
 CA50: REVISION JGO EXCESIVO EN AMBOS PIVOTE TOLVA

CAMBIO COMPONENTES:
 CA79: APOYOS PROYECTO EVU
 CA51: CAMBIO MODULO DIESEL POR CONDICION
 CA55: CAMBIO CILINDRO DE DIRECCION DERECHO POR HORAS
 CA89: CAMBIO CILINDRO DIRECCION IZQUIERDO POR HORAS
 TALLER: MONTAJE ALTERNADOR PRINCIPAL EN MODULO

Ilustración 19 "Programación semanal, ciclo 500 horas"
Fuente: Depto. Planificación MLP-KCH

En vista de las horas hombres asignadas a un programa de mantenimiento de 500 horas, se debería tener un aproximado que va entre las 784 y 1120 horas hombre para solo ejecutar el programa de mantenimiento esto es sin incluir backlog y cambio de componentes.

Actividad	# horas detención	N° Técnicos	HH semanal
500HRS Periodic Inspection	14.0	4	784
1.000HRS Periodic Inspection	16.0	4	896
2.500HRS Periodic Inspection	20.0	4	1120
5.000HRS PERIODIC INSPECTION	20.0	4	1120

*Tabla 19 "Programación semanal, ciclo 500 horas V/S cantidad de HH"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP*

Para el caso de frecuencias de mantenimiento cada 750 horas, la cantidad de equipos para programar por semana baja a 9 camiones, esto también con lleva a que se necesite una menor cantidad de horas hombre por programa de mantenimiento, solo se necesitan de 720 horas hombre, esto es alrededor de un 36% menos de HH necesaria para la ejecución del programa.

Actividad	# horas detención	N° Técnicos	HH semanal
375HRS Periodic Inspection	2	4	72
750HRS Periodic Inspection	14.0	4	504
1500HRS Periodic Inspection	16.0	4	576
3.000HRS Periodic Inspection	20.0	4	720
6.000HRS Periodic Inspection	20.0	4	720

*Tabla 20 "Programación semanal, ciclo 500 horas V/S cantidad de HH"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP*

2.5 Cálculo de Horas hombre para programación semanal de mantenimiento con ciclos de 750 horas

Para hacer esta estimación se toma la dotación base de 14 técnicos por turno día y 14 técnicos para el turno noche, solo se incluye las horas hombres que participaran en el proceso de mantenimiento, excluyendo de estos cálculos al personal de asistencia en terreno y personal del equipo de carguío. Para este cálculo se toman solo 8 horas diarias de trabajo efectivo, descontando horario de colación, capacitación y otros no atribuibles al trabajo exclusivo de la realización del mantenimiento. Esto da un total esperado de 1568 horas hombre por semana de ejecución del plan de mantenimiento. De este total de horas solo el 80% se ocupa para la realización del programa y el resto se contempla para realizar el imprevisto, ósea aproximadamente solo 1250 horas se ocupan para realizar efectivamente el programa de mantenimiento.

KOMATSU  			SEMANA XX											
			LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
			XX		XX		XX		XX		XX		XX	
KOMATSU CHILE			NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE	DÍA
PLAN	TÉCNICOS MANTENCIÓN CAEX		14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	HH MANTENCIÓN		112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
	TOTAL HORAS HOMBRE CAEX		112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
	TOTAL HH DISPONIBLES		224		224		224		224		224		224	
TOTAL HH PROGRAMA SEMANA			1568											

Tabla 21 "Calculo de HH, ciclo 750 horas"
Fuente: Depto. Planificación MLP-KCH

A la siguiente tabla se puede apreciar el delta que existe dependiendo del ciclo de mantenimiento que corresponda, este delta se puede ocupar para el imprevisto, cambio de componentes mayores y para la realización de backlogs asociados a cada camión programado.

En la primera tabla se aprecia el delta para ciclos de 500 y en el segundo el delta para ciclos de 750 horas.

Actividad	# horas detención	N° Técnicos	HH semanal	HH Declarada	Delta de HH
500HRS Periodic Inspection	14.0	4	784	1250	466
1.000HRS Periodic Inspection	16.0	4	896	1250	354
2.500HRS Periodic Inspection	20.0	4	1120	1250	130
5.000HRS PERIODIC INSPECTION	20.0	4	1120	1250	130

Tabla 22 "Calculo de HH, ciclo 500 horas"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

Actividad	# horas detención	N° Técnicos	HH semanal	HH Declarada	Delta de HH
375HRS Periodic Inspection	2	4	72	1250	1178
750HRS Periodic Inspection	14.0	4	504	1250	746
1500HRS Periodic Inspection	16.0	4	576	1250	674
3.000HRS Periodic Inspection	20.0	4	720	1250	530
6.000HRS Periodic Inspection	20.0	4	720	1250	530

Tabla 23 "Calculo de HH, ciclo 750 horas"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

2.6 Metodología Kaizen aplicado para la mejora de tiempos en mantenimiento

Para poder optimizar las mantenencias programadas de los camiones de extracción en lo que respecta a seguridad, calidad, efectividad y tiempo, el área de mantenimiento está implementando la metodología Lean Kaizen en los procesos.

El foco principal de este proyecto es identificar y eliminar factores que afecten el desarrollo de las mantenencias programadas, por ejemplo, el que un técnico vaya varias veces a bodega a buscar un repuesto o herramienta, esto se traduce en una mayor exposición del trabajador y pérdida de tiempo.

El Kaizen es un método japonés originario de Toyota que se basa en una minuciosa observación de todas las fases de un proceso de producción con el objetivo de identificar y eliminar ineficiencias significativas en un sistema productivo, con foco en siete categorías; defectos, exceso de producción. Transporte, esperas, inventarios, movimiento y procesos innecesarios.

Este proceso partió en el 2016, donde se realizó la primera observación por parte del equipo asignado por Komatsu Chile, durante la mantención de 1000 horas de un camión, la cual se revisó su ciclo completo de mantenimiento y se ha ido comparando año tras año.

Este proceso de medición es algo mayor, no es igual a la toma de tiempo llamada “time on tool”, sino una metodología más completa que también abarca la metodología “5S”, que considera housekeeping, seguridad y conversaciones con los técnicos para que ellos levantes brechas. Además, se incorpora una metodología utilizada por Minera los Pelambres llamada “Pits formula1”, que también busca ordenar y mejorar los procesos, estos se detallaran a continuación.



*Ilustración 20 "Time on tool, 2019"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP*

2.7 Estudio de tiempo proyecto 5S

Este estudio contemplo 3 etapas o fases en Minera los Pelambres, la primera fase contemplo bajar la información a toda la organización del significado “5S”, se capacito al personal, se realizó un organigrama y Layout de las naves en conjunto con los técnicos y se implementó una nave piloto con tableros, check list y herramientas asociadas a la realización de la mantención.

En la segunda fase llamada “Productividad”, se realizó el análisis y diagnóstico de percepción y se realizó un informe de toma de tiempos productivos.

En la tercera y última fase “Iniciativa de mejoras”, se realizaron talleres de mejora de tiempos, propuestas PEP (Plan de Ejecución Plurianual), es el documento que recoge la lógica de ejecución del proyecto. Además, se tomaron las iniciativas y mejoras.

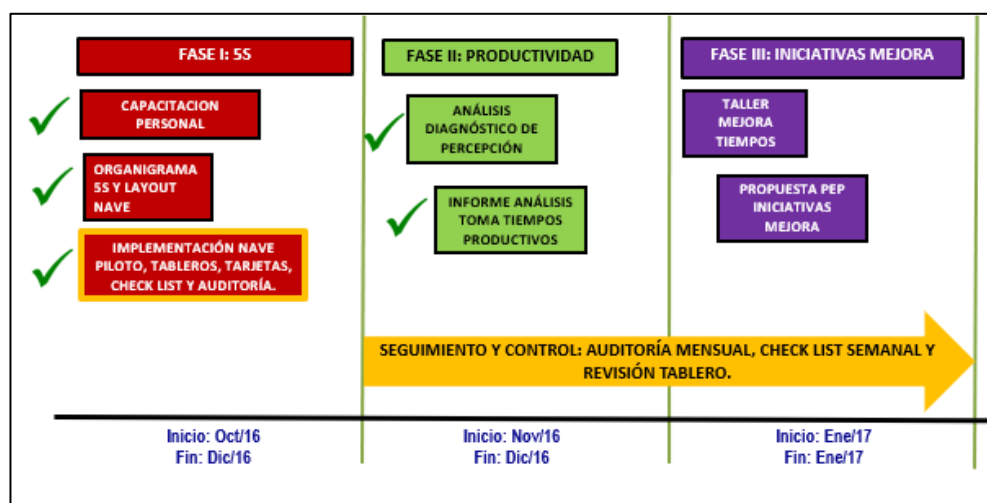


Ilustración 21 "Etapas Proyecto 5S, 2016"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP

Como antecedente de la medición es que fueron medidos los cuatro turnos de trabajadores Komatsu en Minera Los Pelambres, la toma de tiempo fue realizada en las naves asignadas a mantenimiento del taller Truck Shop y la metodología a utilizar fue un análisis visual de la nave de mantenimiento cada 10 minutos, el alcance de la medición fue la toma de tiempo que abarca desde el inicio de reunión diaria de inicio de turno hasta el cierre de turno.

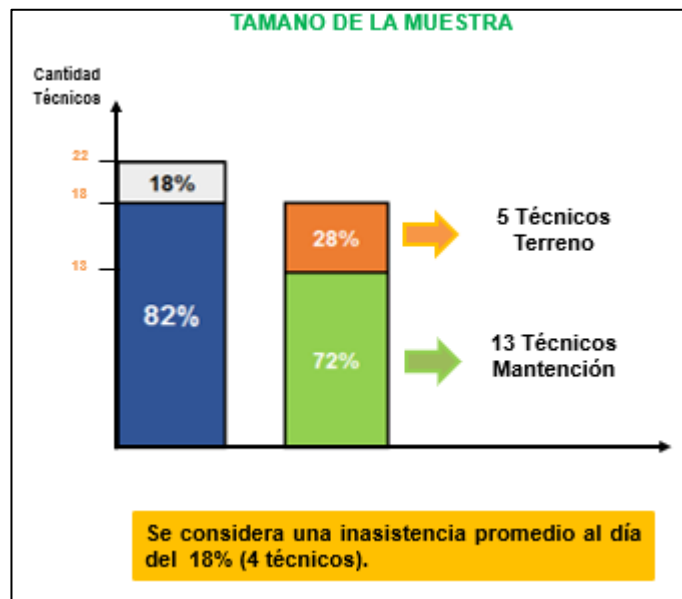


Ilustración 22 "Tamaño de muestra 5S, 2016"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP

La clasificación de las actividades de trabajo se realizó según el tipo de tarea, separándolas en 4 tipos de tarea:

TIPO DE TAREA	DESCRIPCIÓN Y CONSIDERACIONES
Trabajo Productivo	Trabajo productivo que agrega valor (actividad con llave en mano), ejemplo: Ejecución del mantenimiento, apriete de tuercas, mediciones, inspecciones, etc.
Trabajo Necesario	Trabajo necesario que es complementario a la ejecución del mantenimiento, ejemplo: Reuniones de trabajo, documentación, búsqueda de herramientas, limpieza, etc.
Actividades Básicas	Actividades básicas que no agregan valor al mantenimiento, pero son requisitos para el funcionamiento de la faena ejemplo: Almuerzo, colación, reuniones que no aplican al mantenimiento, cambios de ropa, etc.
Ineficiencias	Actividades que no se relacionan con el funcionamiento de la faena (desperdicios), ejemplo: tiempos sin asignación de trabajo, falta de equipos, falta de herramientas y/o repuestos, conversaciones por celular, colación no planificada dentro de la ejecución del mantenimiento, etc.

Ilustración 23 "Tipos de tareas 5S, 2016"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP

En el estudio se realiza una percepción teórica, donde se dividen las tareas diarias, como lo son, reunión de inicio de turno, cambio de ropa, preparación de documentación salidas a bodega a buscar alguna herramienta o repuesto entre otras tareas, esto dio un resultado de 65% de HH disponible para planificar la tarea de mantenimiento, ósea de un total de 8 horas asignadas a la ejecución de mantenimiento esto dio como resultado solo 5.2 horas de trabajo.

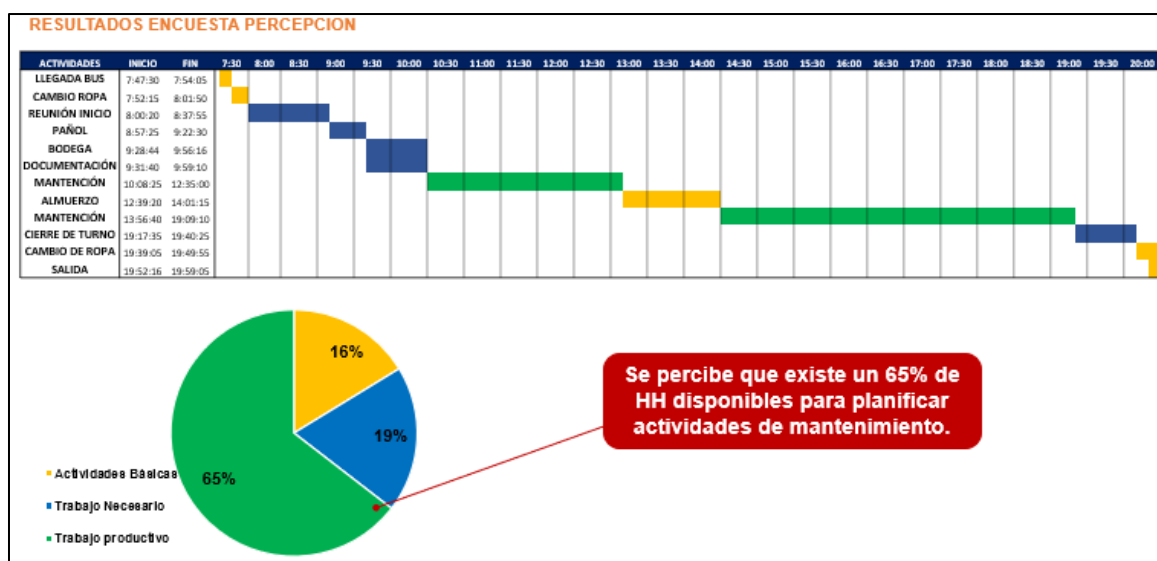


Ilustración 24 "Encuesta de percepción, 2016"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP

Una vez obtenido los resultados reales de medición en promedio de los 4 turnos estos dieron como resultado un 31% de HH disponible para la ejecución del mantenimiento, esto es expresado en horas a 2,48 horas de trabajo productivo, que es muy bajo comparado con otras mediciones realizadas a empresas del mismo rubro que anda alrededor de 4 horas de trabajo productivo.

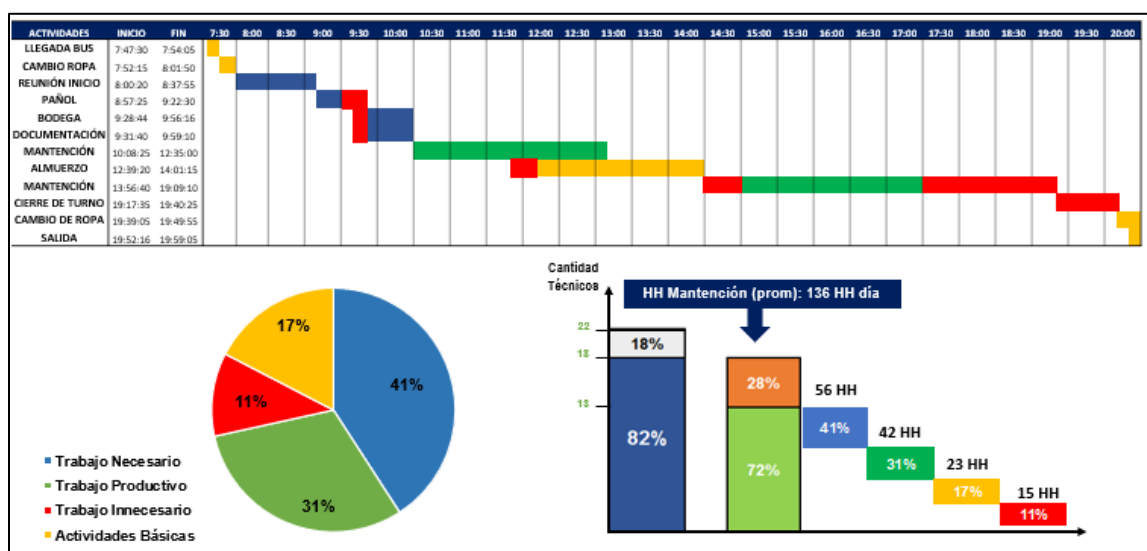


Ilustración 25 "Percepción real, 2016"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP

Dentro del análisis de la baja cantidad de horas productivas (que son el Trabajo productivo y el trabajo necesario) estas se deben a las siguientes conclusiones:

- La reunión de inicio de turno posee estructura y es participativa. Posterior a ésta, se generan espacios vacíos que potencian la demora en el inicio de las labores (café, cigarrillos fuera de las oficinas, etc.)
- El llenado de documentación demora entre 40 a 90 min. Se identifica la práctica de llenado de documentación en las instalaciones de la cafetería, propiciando la demora y la no concentración para el correcto llenado y análisis de riesgos.
- En términos del cambio de rótulos de herramientas (colores), se observa una ineficacia en el proceso al participar una cantidad limitada de técnicos por nave en esa labor.
- En general en esta muestra se evidencia una baja en las ineficiencias, pero también en el trabajo productivo, por ende, los esfuerzos se deben enfocar en disminuir los trabajos necesarios (preparación del trabajo, búsqueda de elementos y cierre de turno).
- Las actividades de preparación del mantenimiento, mostradas como trabajo necesario, corresponden a un 24%, principalmente por la preparación y la búsqueda de elementos. Para minimizar los desplazamientos por búsqueda de elementos fuera de las naves, o esperas por herramientas especiales, se sugiere abordar este punto en planificación de área chica.

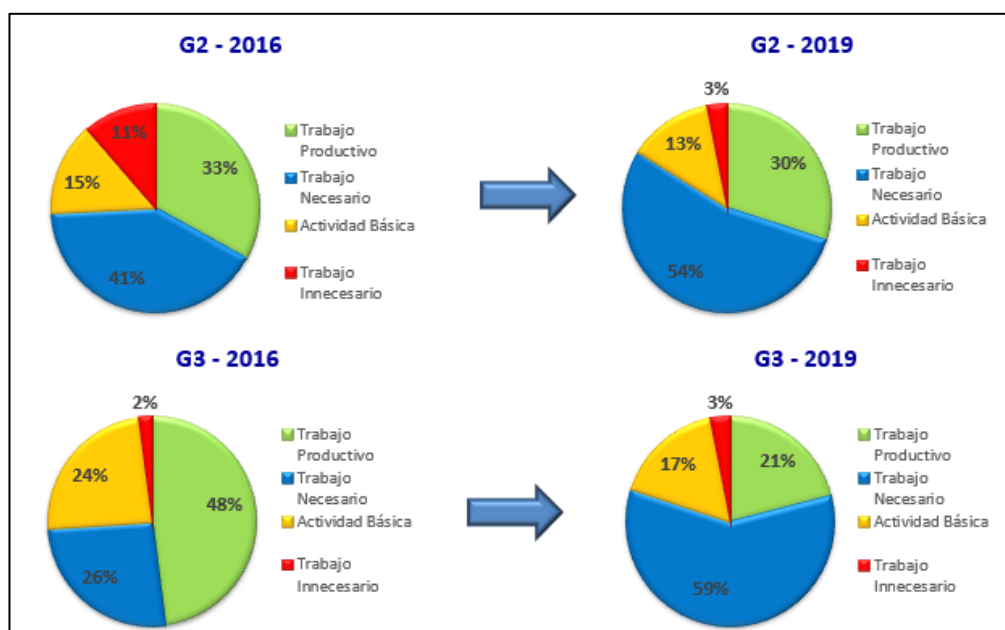


Ilustración 26 "Comparativa 2016 v/s 2019"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP

En resumen, esta metodología de toma de tiempos nos da para trabajar para mejorar los tiempos en 3 focos de trabajo, primero en la búsqueda de elementos, la cual se mejorará con incluir estos elementos en el área chica planificada para esta tarea. Segundo foco en la preparación de elementos, esto es ocupando y mejorando el Rol del Expeditor y tercer foco el cierre de turno, mejorando y optimizando el traspaso de información al turno entrante, ocupando tecnología para disminuir los tiempos.

2.8 Layout de trabajo y las 5S

Un Layout de trabajo hace referencia a la manera en que están distribuidos todos los elementos dentro de un lugar de trabajo. En otras palabras, es la representación en un plano, de la realidad de un espacio o lugar determinado. Podemos encontrar Layout de terreno, de oficinas, de naves, exterior de naves, de talleres, de bodegas, entre otros.

La importancia de generar un correcto Layout de trabajo al implementar 5S, entrega los siguientes beneficios:

- Aumenta la seguridad de todas y todos los trabajadores.
- Otorga un ambiente de trabajo grato y colaborativo.
- Reduce tiempos de traslado en búsqueda de materiales
- Permite aprovechar de forma más eficiente los espacios en el Gemba.
- Facilita el acceso a herramientas y/o materiales.
- Aumenta la productividad y mejora el estándar del trabajo realizado.

Algunos consejos para aplicar un correcto Layout de trabajo son:

- Primero, involucrar a todo el personal, todos los trabajadores deben participar en la confección del Layout de trabajo. Se debe generar un sentido de pertenencia de las mejoras realizadas y del estándar definido.
- Segundo, la disciplina del equipo es muy importante mantener el Layout de trabajo en todo momento, para ello se requiere de disciplina de todo el equipo para lograr mantener en el tiempo las mejoras alcanzadas.
- Tercero, el compromiso y participación. Un equipo comprometido con mantener el orden, los estándares establecidos y proponer nuevas mejoras para optimizar el Layout de trabajo.

El Layout realizado por todos los involucrados fue el que aparece en la siguiente imagen.

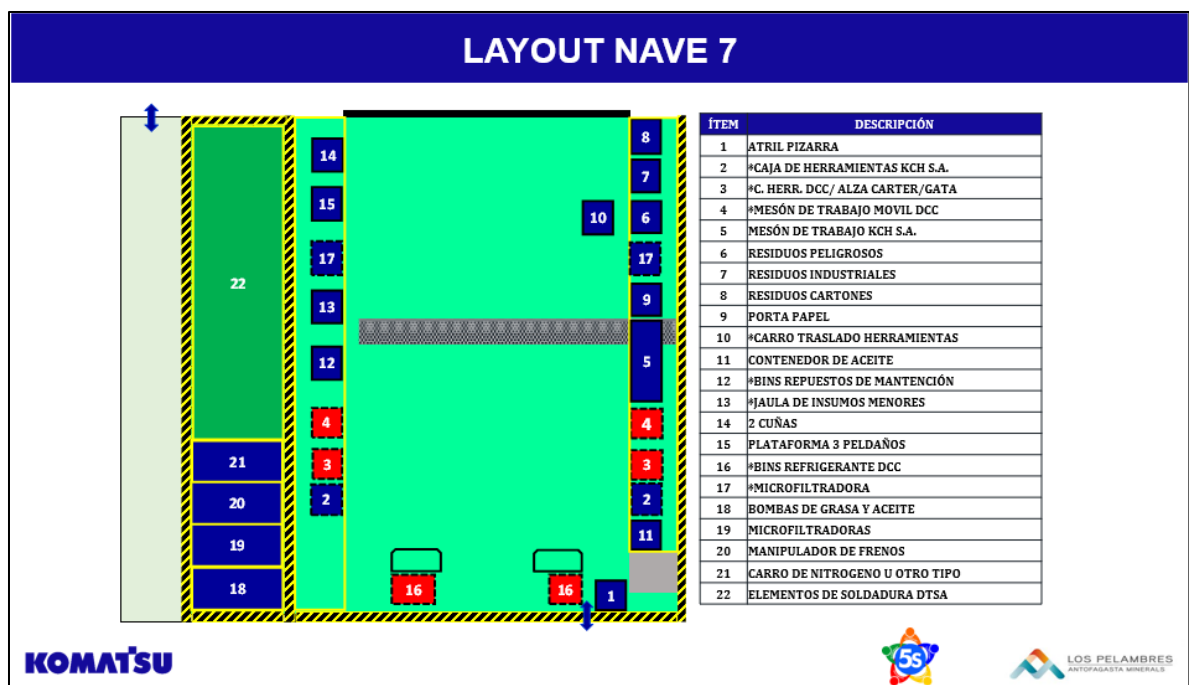


Ilustración 27 "Layout Naves de mantenimiento"
Fuente: Depto. ingeniería KCH-MLP

2.9 Modelo de mantenimiento tipo Pit F1 para disminuir los tiempos de mantenimiento preventivo

Este tipo de modelo es muy parecido al de las 5S y es un Modelo corporativo que está implementando Minera los Pelambres que tiene como objetivo el de Implementar un modelo de mantenimiento tipo Pit F1, mediante la aplicación de una Nave exclusiva y cuadrillas especializadas, con el objetivo de reducir el tiempo de mantenimiento de los equipos CAEX aumentando la disponibilidad de la flota.

Tiene un impacto estimado en un aumento de la disponibilidad de la flota de camiones en un 0.29%, proyectado en 0.15MUSD en el año 2023 y al mezclar el plan de MP de 750 horas más

el de Pits de F1, se estima que la disponibilidad física aumente en 0.52%. Este plan tiene una inversión evaluada en 92.000 USD y contempla la compra de herramientas y atriles, micro filtradoras de uso exclusivo de esta nave tipo Pits.

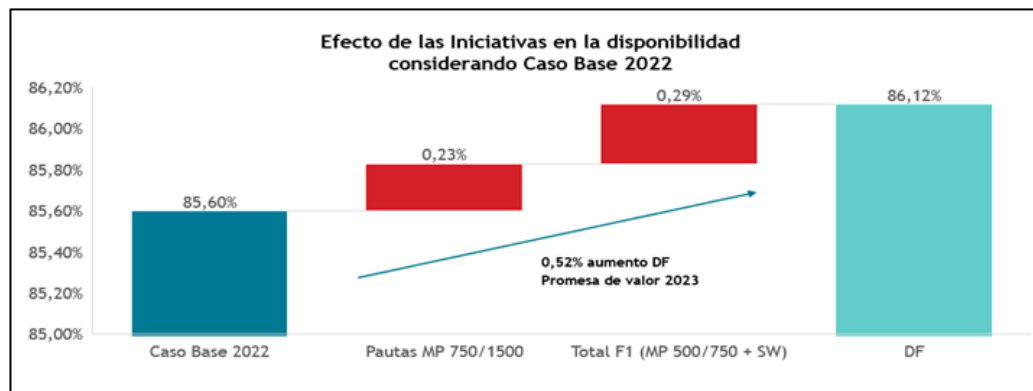


Ilustración 28 "Caso de negocio MLP"
Fuente: Depto. ingeniería MLP

La duración del mantenimiento preventivo según la ideología del F1, es:

- Detener el equipo 72 horas antes del mantenimiento, para verificar condiciones que puedan hacer extender el tiempo planificado.
- Reforzar rutinas de programación, consiste en verificar el cumplimiento al 100% del área chica y velar por que operaciones mina cumpla con la entrega del equipo a mantenimiento según las horas pactadas, (09AM y 21PM), para evitar tiempos sin atención por cambio de turno.
- Implementación de Layout de nave, incluyendo herramientas exclusivas de esta nave, para evitar que el técnico salga del área.
- Preparación de Bins de recursos, estos incluyen herramientas y repuestos.
- Cuadrilla de trabajadores exclusiva (4 técnico Komatsu y 2 motoristas).

Con toda esta idea de trabajo es que se logró reducir los tiempos de ejecución de la pauta de mantenimiento de 18 horas a 9 horas efectivas, cabe destacar que este tiempo no contempla realización de backlog o campañas, es ejecución pura de la pauta de mantenimiento. En el caso de que aparezca algún imprevisto de camión, motor o tolva, estas tareas tienen que realizarse posterior a la ejecución del mantenimiento y asignar otro estatus a la detención llamado "Desviación de mantenimiento"

El plan de implementación fue ejecutado según la siguiente imagen y liderado por el departamento de confiabilidad y operaciones de minera los Pelambres.

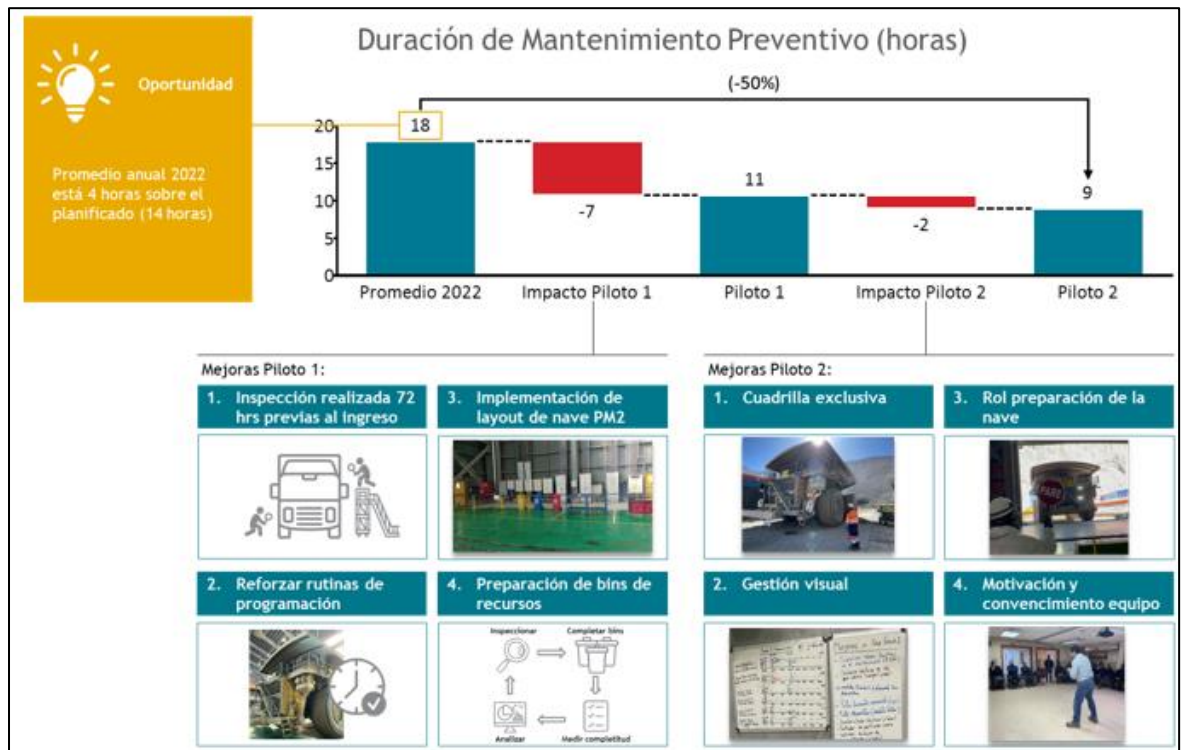


Ilustración 29 "Duración de PM, según F1"
Fuente: Depto. ingeniería MLP

2.10 Comportamiento de indisponibilidad con ciclos de 500 y 750 horas

Para este cálculo se realizaron dos medidas, una con calculo teórico y otra con cálculo de Real de indisponibilidad que según los cálculos realizados en Minera los Pelambres no ocupa 24 horas diarias, sino 21.6 horas, donde descuenta, horarios de colación, cambio de turno, petróleo y otros.

El solo hecho de cambiar la frecuencia de mantenimiento, logra bajar de 56 mantenencias mensuales para ciclos o intervalos de 500 horas, a 36 mantenencias mensuales para ciclo de 750 horas, genera una disminución de indisponibilidad promedio de 1.4%, lo cual es ventajoso para el cliente Minera los Pelambres en varios aspectos, uno de estos es la disminución de costos asociados al mantenimiento, ofrecer mayor disponibilidad mensual.

En la siguiente tabla se muestra la indisponibilidad según las horas de detención del equipo diaria que generarían de indisponibilidad según su ciclo de MP, recordar que los tiempos en el desarrollo de pautas se mantienen entre ciclos, es por esto que generan la misma indisponibilidad al día.

CICLOS 500 HORAS			CICLOS 750 HORAS		
Indisponibilidad por Equipo Diaria			Indisponibilidad por Equipo Diaria		
Tipo MP	Hrs detención	Indisponibilidad	Tipo MP	Hrs detención	Indisponibilidad
MP500	16	1,19%	MP750	16	1,19%
MP1000	20	1,49%	MP1500	20	1,49%
MP2500	22	1,64%	MP3000	22	1,64%
MP5000	24	1,79%	MP6000	24	1,79%

Tabla 24 "Indisponibilidad v/s ciclo de PM"
Fuente: Elaboración Propia

Y la siguiente imagen muestran el comportamiento de indisponibilidad contractual por ciclo de mantenimiento, en el caso de ciclos de PM500 horas contempla 14 mantenciones por semana, por ende, genera una indisponibilidad aproximada de hasta 2.6 % de indisponibilidad según el ciclo de mantenimiento. En el caso de PM750 horas contempla 9 mantenciones por semana lo cual genera aproximadamente 1.7% de indisponibilidad por concepto de mantenimiento.

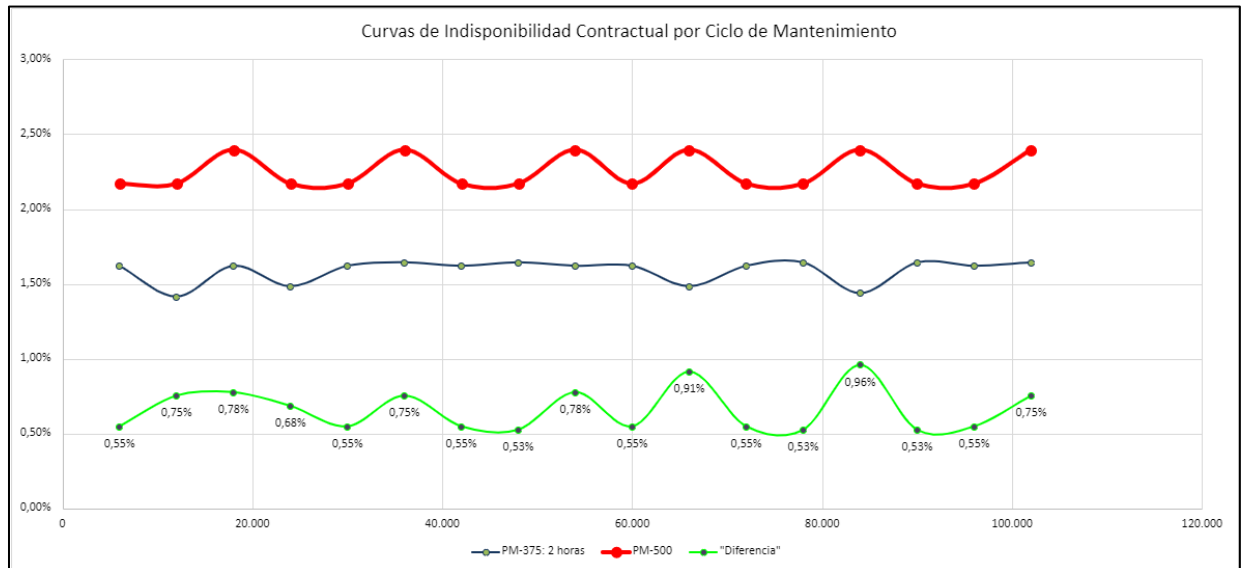


Ilustración 30 "Curvas de indisponibilidad"
Fuente: Depto. Planificación KCH-MLP

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO A PROPUESTAS

Como ya se explicó en los capítulos anteriores, proponer una disminución en la frecuencia de mantenimiento, mediante el análisis técnico de indicadores, todo esto para disminuir los costos de mantenimiento hoy en día es una opción bastante viable en el tiempo. Todo esto debido a que la ley media del yacimiento minero ha ido disminuyendo con el paso de los años, lo que se traduce en menores ingresos por tonelada transportada, todo esto ha llevado que la minería evalúe constantemente alternativas y modalidades que le permitan ir optimizando sus procesos y con ellos bajando sus costos asociados a la producción de mineral.

Para entender el impacto que genera el cambiar los ciclos de mantenimiento es necesario primero entender los costos y gastos directos asociados a la producción, donde el costo de mantenimiento es fundamental para poder estimar o evaluar cualquier proyecto minero. Conocer cómo se estima o proyecta este valor es fundamental para poder evaluar las distintas propuestas técnico-económicas y entender los costos directos asociados al transporte de mineral y su respectivo mantenimiento.

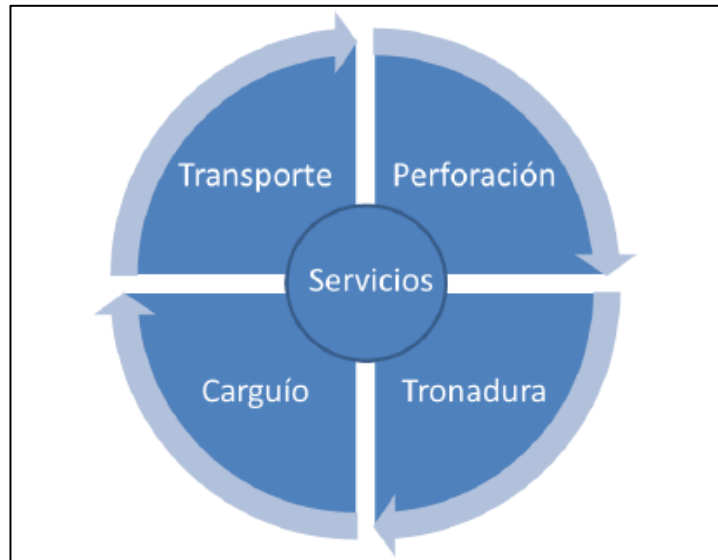
Este “valor”, que más adelante llamaremos “Costo por hora de equipo”, permite obtener otros costos asociados al transporte de mineral que, que más adelante mencionaremos con el nombre de “Costo por tonelada”, todos estos costos o valores mencionados, nos permitirán analizar de mejor manera la propuesta Técnica-económica de variar la frecuencia de mantenimiento que detallaremos más adelante.

A continuación, se explicará algunos conceptos claves de operaciones mina.

3.1 Operaciones mina

Las actividades mineras comprenden una variedad de procesos y áreas de especialización que deben integrarse de manera armoniosa en un único proceso de toma de decisiones con el fin de maximizar la eficacia y el rendimiento económico.

Las operaciones mineras, se dividen en 5 áreas, estas son; Perforación, tronadura, carguío, transporte y la última es servicio, esta considera equipos para el desarrollo del proyecto, como, por ejemplo, aljibes, bulldozer, motoniveladoras entre otros equipos.



*Ilustración 31 "Procesos operaciones mina"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Este proceso tiene un valor promedio de operación llamado “Costo mina”, el cual en los últimos meses tiene un promedio de **2.7 US\$/ton**, este valor es con mantenimiento incluido, en otras palabras, es el costo por mover una tonelada promedio.

3.2 Movimiento mina

Se entiende por el acarreo o transporte de material, el cual puede ser estéril, baja, mediana o alta ley, que parte se destina a botaderos asignados y parte de ellos hacia el chancado, dependiendo de la ley final de material que se quiera obtener. El movimiento mina en minera Los Pelambres es de **440.000 toneladas al día**, es por esto último importante estimar el tiempo que el equipo minero, camión de extracción estará disponible para realizar esta tarea.

Es importante destacar que el camión minero Komatsu 930 tiene un acarreo promedio por ciclo de carga y descarga de 320 toneladas, con este dato, se calcula la utilización diaria de cada camión y los tiempos disponibles que se requieren y con esto último poder gestionar el ciclo de mantenimiento.

3.3 Sistema de gestión mina ASARCO

La Norma ASARCO, también conocida como Norma ASARCO 1000, es un conjunto de estándares de seguridad y salud ocupacional utilizados principalmente en la industria minera. Esta norma fue desarrollada por la American Smelting and Refining Company (ASARCO)

La norma ASARCO proporciona el contexto y los parámetros para definir los conceptos y asignar los tiempos en los que el equipo está involucrado durante la operación, estos se definen de la siguiente manera:

- **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.

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	

Ilustración 32 "Cuadro Norma ASARCO"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP

3.4 Depreciación

Para entender el tema de costos asociados a la mantención de equipos y el cambio de frecuencia y el impacto que este tiene el negocio, primero es importante saber cómo se calculan los costos por no operar. Por esto es importante primero entender cómo se toma la depreciación de los activos en minera Los Pelambres.

Este concepto hace referencia a la disminución periódica del valor, de un bien material o inmaterial, la cual se puede deber a tres razones:

- Desgaste: Es debido al deterioro físico producido por el uso.
- Paso del tiempo: Deterioro físico independiente del uso que este tenga.
- Obsolescencia o vejez.

Existen diferentes formas de calcular la depreciación, la que ocupa el grupo AMSA, para la depreciación de los equipos es el “Método de las unidades de producción”, que se encuentra basado en las unidades producidas durante la vida útil. La vida útil que tiene AMSA para equipos Komatsu 930E es de **46.500 horas**.

$$\text{Valor Depreciado Producto (VDP)} = \frac{\text{Valor Activo}}{\text{Unidades Producidas Durante la Vida Útil}}$$

*Fórmula 5 "Valor depreciación"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

La depreciación juega un importante rol en el modelo de costos, ya que representa la pérdida de valor o el uso del equipo con el paso del tiempo. Este cálculo nos dará el costo de depreciación con el cual se realizan los estudios económicos al momento de realizar algún proyecto o mejora en los indicadores.

$$C_{Dep} = \frac{\text{Valor Equipo [USD]}}{\text{Vida Útil Asignada [hrs]}}$$

*Fórmula 6 "Costo depreciación"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

3.5 Explicación de gastos en minería

Para entender los costos asociados al mantenimiento, primero es ver como se distribuyen estos gastos en una minera, a continuación, se detallarán los gastos mina, en el siguiente cuadro

comparativo donde se aprecia de igual manera un alza de al menos 3 puntos porcentuales en los gastos asociados al mantenimiento de transporte en MLP.



Ilustración 33 "Gastos Mina 2018"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP



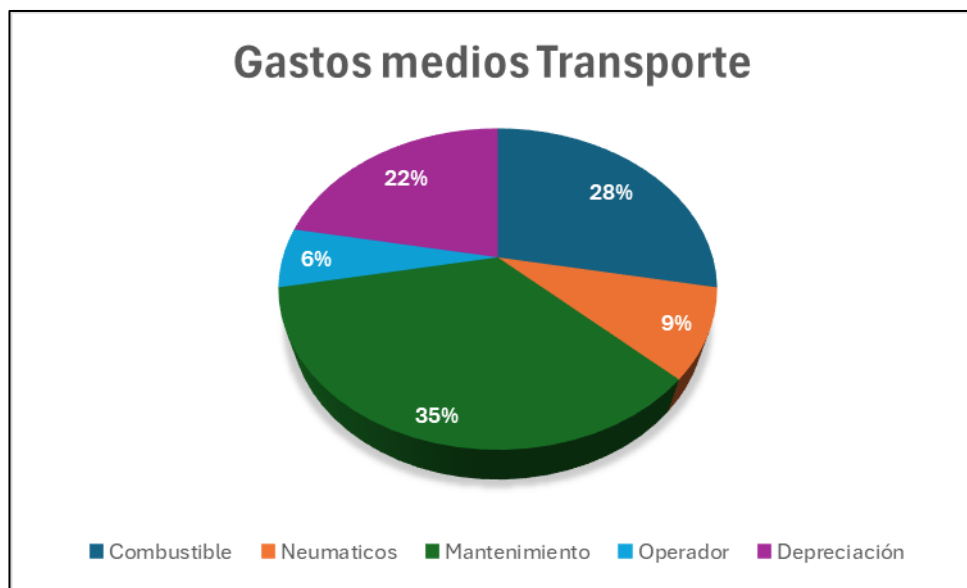
Ilustración 34 "Gastos Mina 2023"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP

En el caso de los gastos mina para el año 2018, estos fueron de un valor de **1.99 US\$/ton**, mientras que para el año 2023, este llegó a un valor de **2,7 US\$/ton**, es decir un alza de un **35.7%** en el valor de mantenimiento mina.

3.6 Distribución de gastos medios en transporte

La operación de quipos de transporte de mineral concentra sus gastos más altos en tres ítems, estos son mantenimiento (35%), seguido por combustible (28%) y finalmente la depreciación (22%). Trabajar con cualquiera de estos tres puntos implica repercutir fuertemente en el costo por tonelada transportada y en la cual más adelante mostraremos las variaciones que conlleva el cambio de frecuencia en el mantenimiento, desde el ítem Mantenimiento, ya que, en los demás hay variaciones que no se tomaran en cuenta como lo son la continua variación del precio del combustible.

En la siguiente grafica se aprecia la distribución promedio de los gastos de transporte.



*Ilustración 35 "Gastos medios transporte 2023"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Los datos para tomar en cuenta para definir el costo por tonelada transportada en transporte a tomar en consideración son el mantenimiento, mano de obra, combustible, depreciación, neumáticos y el rendimiento. Mientras que los parámetros a considerar son el precio del combustible, distancia en pendiente, distancia total recorrida, la pendiente en la mina o en los circuitos y las restricciones de velocidad, todos estos datos nos dan como resultado final el costo por tonelada, un parámetro que está en constante revisión.

3.7 Distribución de gastos medios en Camión de extracción Komatsu 930E

A continuación, detallaremos los gastos asociados al camión de extracción Komatsu 930E, en los cuales se ven los gastos más relevantes que pueden variar por el tipo de motor que se

elija o si estos serán potenciados para poder trabajar sin problemas sobre altura geográfica sobre 4000 msnm (metros sobre el nivel del mar).

KOMATSU	
Modelo	930E
Precio [USD] (Sin neumaticos)	4.900.000
Carga Util Nominal [ton]	290
Capacidad colmada [m3]	171-211
Velocidad Máxima cargado [Km/hr]	64,5
Valor neumatico [USD]	36.070
Vida Util Amsa [hrs]	46.500




Ilustración 36 "Ficha Camión de extracción Komatsu 930E"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP

A continuación, se detallan los costos medios asociados al mantenimiento del camión de extracción Komatsu 930E, estos valores serán dados en porcentaje, ya que es una información confidencial, pero se aprecia que los costos asociados a contrato directo de mantenimiento es el más elevado, debido a que es realizado por la misma empresa fabricante y a su mano de obra especializada.

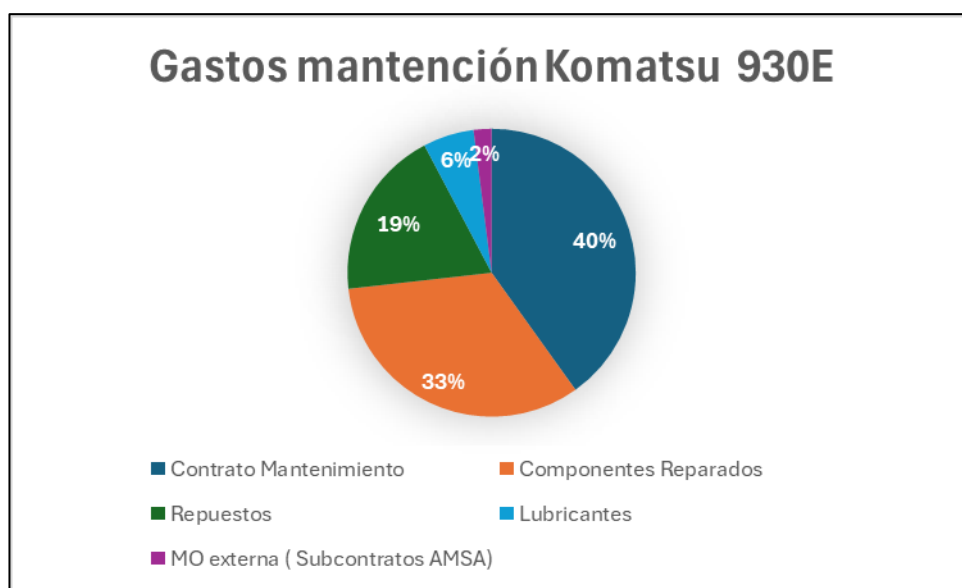








Ilustración 37 "Gastos Mantención camión Komatsu 930E"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP

Por último, se estima que unos de los componentes más caro que posee el camión de extracción son los neumáticos, por eso el cuidado y monitoreo que poseen, este último tiene una vida útil que bordea las 4.500 horas promedio, y posee 6 de estos, es por eso por lo que se estima que mientras opere en la vida útil que da AMSA al camión de extracción este costo alcanza los \$2.000.000 de dólares.

Es por estos valores mencionados y tomando en cuenta todos los que se asocian a la operación del camión u otros equipos mineros, que AMSA calcula un costo de operación por equipo, que se traduce al costo de operar el equipo en una hora o también llamado “Costo operación por hora”, este costo es ocupado para evaluar proyectos nuevos o estimar cuánto cuesta la indisponibilidad hora por equipo.

A continuación, se detallan los distintos costos hora de equipos de carguío y transporte para ver sus diferencias.

	P&H4100DC	PC5500	PC8000	CF 994K	CF 994F	L2350
CARGUIO						
Total [USD/hr]	1.204	781	1.029	644	618	831

*Ilustración 38 "Valor hora equipo de carguío"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

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

*Ilustración 39 "Valor hora de equipo de transporte"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Y por último y para entender más de donde proviene este valor se detallan las fórmulas para el cálculo del OPEX de transporte.

Costo de neumáticos [USD/Hora]:

$$TGn = \frac{\text{Valor neumatico equipo [USD]} * \text{Cantidad neumatico equipo}}{\text{Vida Util neumatico [hrs]}}$$

*Fórmula 7 "Costo neumáticos"
(Fuente Proyecto ASARCO MLP)*

Costo depreciación [USD/Hora]:

$$TDep = \frac{\text{Valor equipo [USD]}}{\text{Vida Util Equipo [hrs]}}$$

*Fórmula 8 "Costo depreciación"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Costo mantenimiento [USD/Hora]:

$$TGm = \frac{\text{Gasto de mantenimiento por flota [USD]}}{\text{Horas operativas involucradas por flota [hrs]}}$$

*Fórmula 9 "Costo Mantenimiento"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Costo Mano de obra [USD/Hora]:

$$TVHH = \frac{\text{Costo operador CAEX [USD] * 4}}{\text{Horas operativas involucradas por CAEX [hrs]}}$$

*Formula 10 "Costo mano de obra operador"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Costo combustible [USD/Hora]:

$$TGc = \frac{\text{Consumo combustible equipo [lt] * Precio del combustible [USD/lt]}}{\text{Tiempo operativo [hrs]}}$$

*Formula 11 "Costo combustible"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Rendimiento [ton/Hora]:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Factor de carga Equipo [ton]}}{\text{Tiempo de ciclo [hrs]}}$$

*Formula 12 "Rendimiento"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

Y por último la fórmula para realizar el cálculo de “Costo de producción”

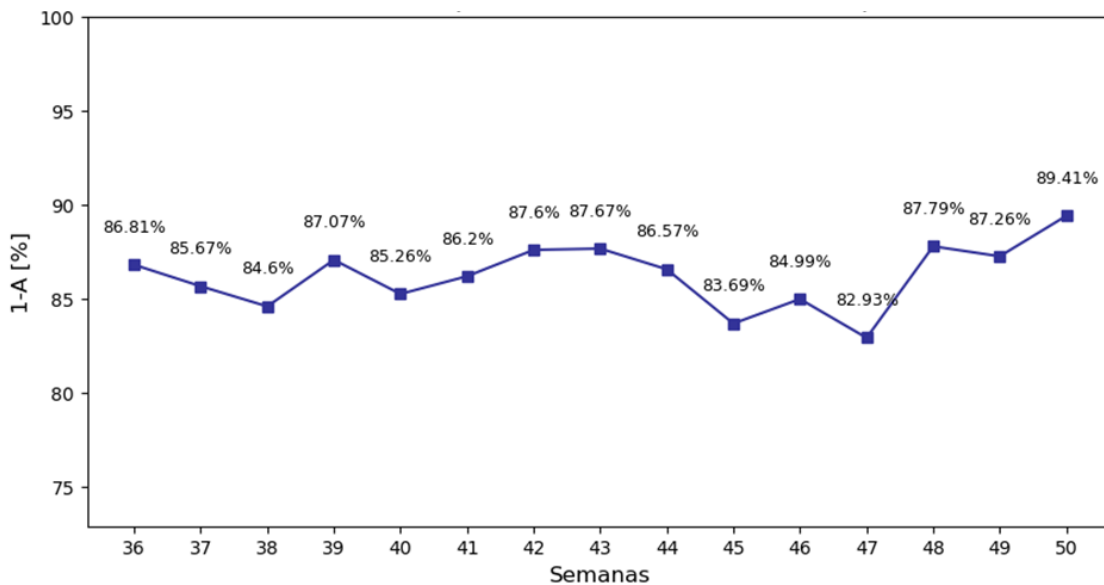
Costo Producción [USD/Hora]:

$$Ct = \frac{(TGm + TGn + TGc + TVHH + TDep) [USD/Hr]}{Rendimiento[ton/hrs]}$$

*Formula 13 "Costo Producción"
Fuente: Proyecto ASARCO MLP*

3.8 Evaluación de los indicadores ante el cambio de estrategia de mantenimiento

En lo que respecta a disponibilidad física ofrecida con esta nueva frecuencia de mantenimiento, en los últimos meses del 2023, se ve una clara tendencia al alza, de un 86.1% de promedio en el 2022 con frecuencia de 500 horas, a un 86.9% a fines del 2023 con frecuencia de 750 horas, un alza de un 0.8% de disponibilidad física, como se aprecia en el siguiente gráfico.



*Ilustración 40 "Disponibilidad física transporte 2023"
Fuente: Depto. Confiabilidad KCH*

Si bien es cierto hay semanas con disponibilidad más bajas que afectan en el promedio anual, esto fue debido a condiciones anexas a la operación y mantención de equipos. (toma de caminos).

En lo que respecta a indicadores como el MTBF de la flota de transporte, esta es de 66.23 horas promedio, mostrando una baja comparada con el periodo 2022 que fue de 72.1 horas. Revisando la tendencia de fallas de este último periodo, la baja es debido al sistema eléctrico de propulsión, donde en reuniones con confiabilidad, se detalla más a profundidad un error en el cambio de pautas de 500 horas a 750 horas en lo que respecta a los carbones de blower y alternador principal no están durando el ciclo que se había estimado (1500 horas), por ende, se modifica y se cambiaran cada ciclo de 750 horas para poder mejorar este indicador.

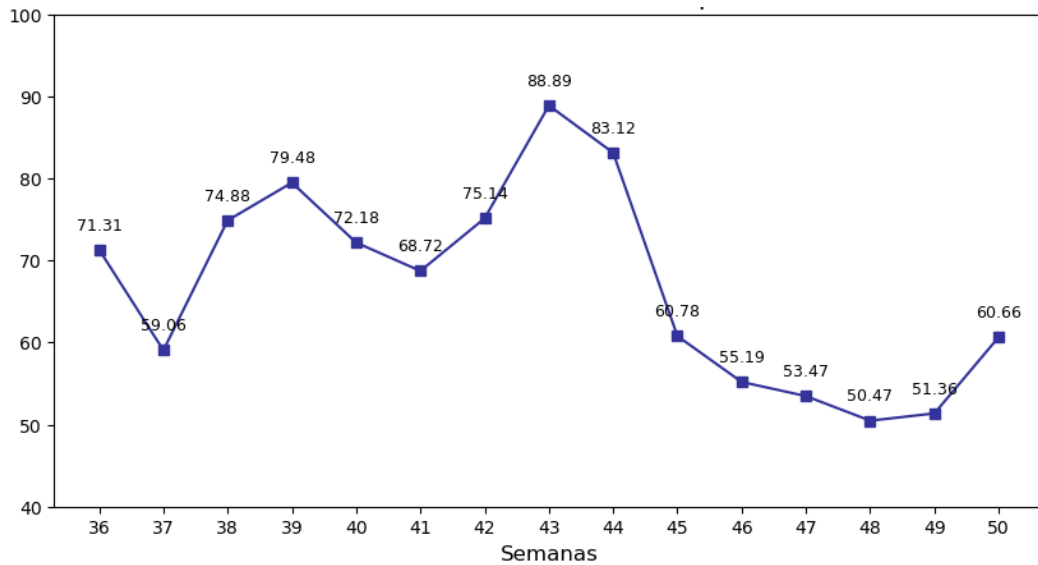


Ilustración 41 "Tendencia MTBF transporte, 2023"
Fuente: Depto. Confiabilidad KCH

En lo que respecta al MTTR este registra un promedio en los últimos meses del 2023 de 4.26 horas, comparado con el 2022 que fue de 5.45 horas promedio, aquí si se refleja una mejoría, esto fue debido a que por programa al disminuir la cantidad de equipos que ingresan por semana, la dotación destinada para este fin fue destinada a aumentar la dotación de personal en terreno y en las mantenciones, con el fin de mejorar los tiempos de intervención ante fallas en los equipos.

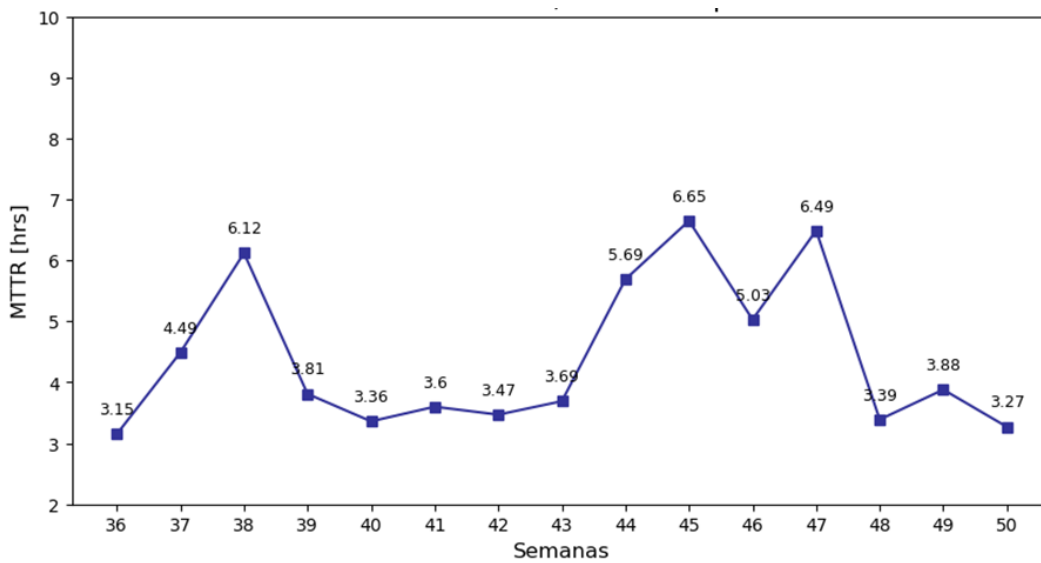


Ilustración 42 "Tendencia MTTR transporte, 2023"
Fuente: Depto. Confiabilidad KCH

Como último indicador la tendencia de eventos no programado este ha ido en aumento, esto es debido a que como se aumentó la frecuencia o mejor dicho los intervalos de mantenimiento, el equipo ha presentado más fallas estructurales, como lo son fisura en chasis y barandas, anteriormente con ciclos de 500 horas igual existían, pero estas se podían programar para las mantenciones periódicas, lo que no alcanza a ocurrir con ciclos de 750 horas y generan detenciones

no programadas, lo mismo y en menor cantidad ocurre con el sistema 24 volts, en lo que respecta a luces de trabajo.

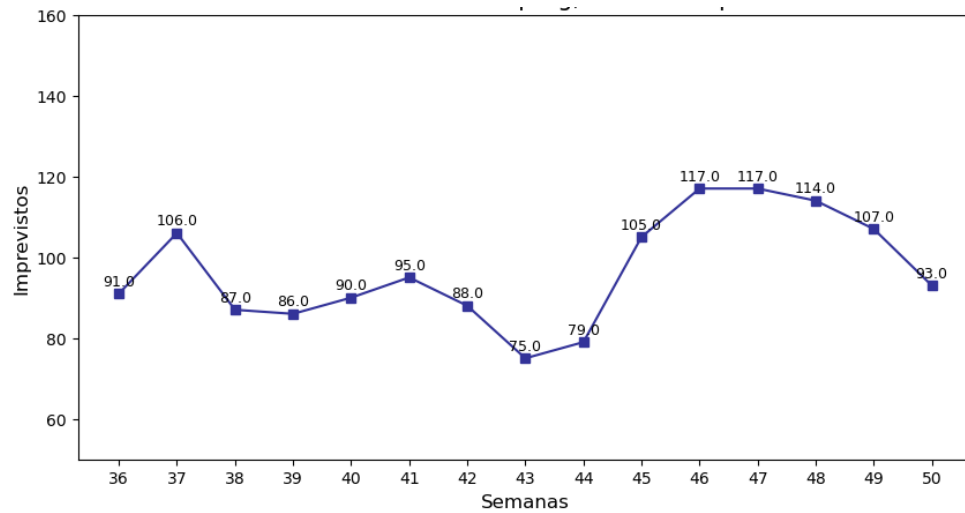


Ilustración 43 "Tendencia eventos no programados transporte, 2023"
Fuente: Depto. Confiabilidad KCH

En esta última imagen se aprecia la tendencia al alza en lo que respecta detenciones por estructura. Se están realizando planes de acción con respecto a este punto, por parte de la minera se comprometieron en mejorar las condiciones de pista (calaminas) y por parte de Komatsu se reforzó el personal de soldadura para mejorar condiciones de barandas y estructura, pero solo este último punto tiene como promedio un 0.26% de indisponibilidad por este solo sistema.

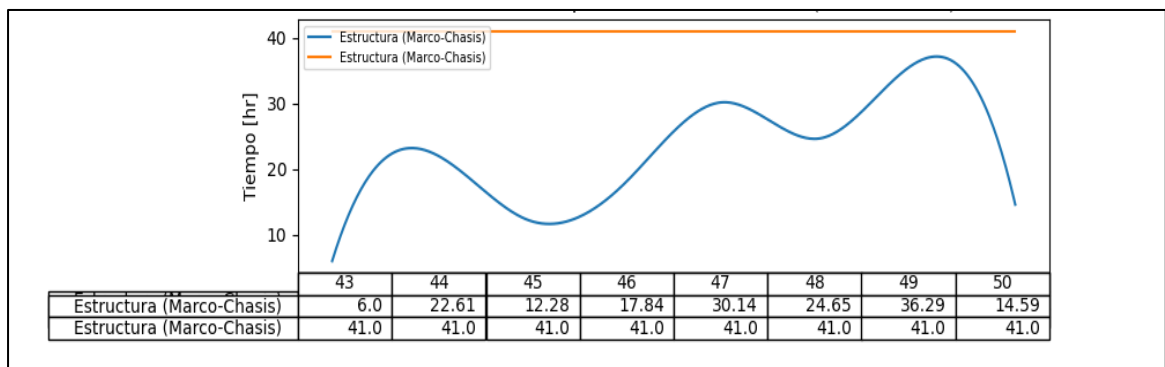


Ilustración 44 "Tendencia eventos no programados estructura, transporte 2023"
Fuente: Depto. Confiabilidad KCH

En esta última imagen que es un diagrama de dispersión logarítmica de los últimos meses del 2023, se aprecia que “estructura” ya es una falla crónica que no estaba en el 2022 con frecuencia de 500 horas, todos los demás sistemas se mantienen muy similar que el periodo anterior.

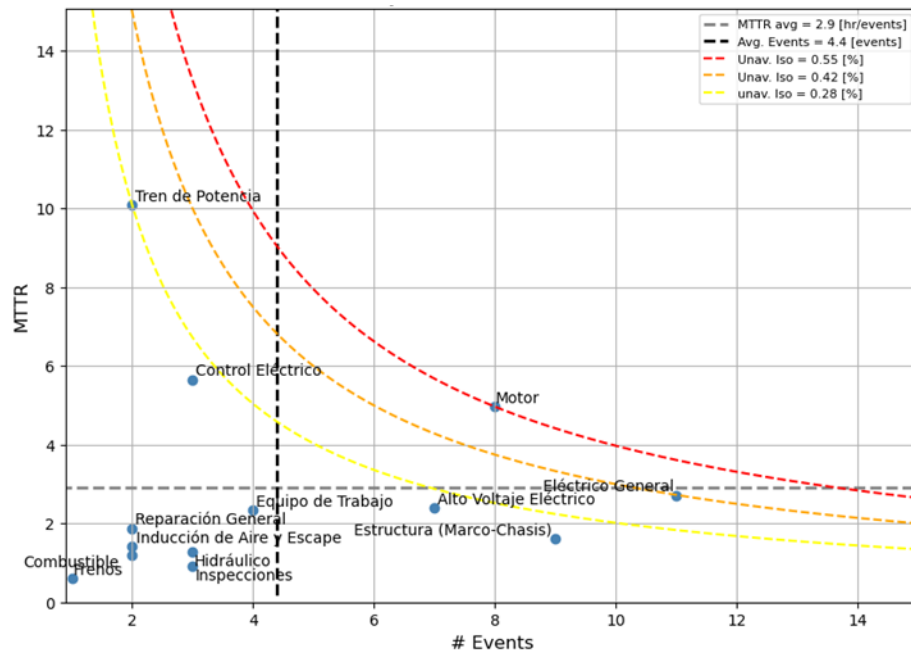


Ilustración 45 "Gráfico dispersión logarítmica transporte 2023"
 Fuente: Depto. Confiabilidad KCH

3.9 Evaluación económica de Estrategia de cambio de frecuencia de mantenimiento

Ya teniendo en cuenta los datos obtenidos en el capítulo anterior y contemplando una flota de 56 camiones con un cambio de frecuencia de 500 a 750 horas, se obtuvo una disminución de camiones por programa que era de 14 para programas con frecuencia de 500 horas y de 9 camiones semanales para programas de 750 horas, y una ganancia de indisponibilidad dependiendo del ciclo de mantenimiento que va desde los 0.9% a 1.7% de indisponibilidad ganada por semana.

Hay que recordar que, al aumentar la frecuencia de mantenimiento, anteriormente con ciclos de 500 horas, esto con lleva a realizar mantenencias a lo menos una vez al mes a los 56 equipos, variando su frecuencia a 750 horas se tiene que 36 equipos deben ingresar al menos una vez al mes, esto implica una reducción considerable los costos asociados al mantenimiento, ya que, las horas asociadas al mantenimiento en una semana bajan, estas van de 80 a 120 horas de ganancia o de indisponibilidad ganada. En los siguientes dos cuadros se valoriza la indisponibilidad generada por semanal, mensual y anual. Esta valorización se toma del costo por hora de operación, que se traduce a lo que generaría un equipo al estar detenido por no operar, tomando en cuenta según explicado anteriormente que este costo por operar es de 455 dólares por hora.

El primer cuadro representa los costos de indisponibilidad por frecuencia de 500 horas. También se observa un promedio de indisponibilidad de 3.05% semanal y un costo de indisponibilidad promedio de \$6.808.702.-

CICLOS 500 HORAS						
Indisponibilidad por Equipo (Teórico)						
Equipos		56				
Hrs semana		9408				
Costo hora fuera de servicio		USD/Hr	455			
Cantidad MP semanal		14				
Tipo MP	Hrs detención	Hrs indisponible semanal	Indisponibilidad semanal	Costo Hora Fuera servicio semanal	Costo Hora Fuera servicio mensual	Costo Hora Fuera servicio Anual
MP500	16	224	2,38%	\$ 101.920	\$ 442.842	\$ 5.314.109
MP1000	20	280	2,98%	\$ 127.400	\$ 553.553	\$ 6.642.636
MP2500	22	308	3,27%	\$ 140.140	\$ 608.908	\$ 7.306.900
MP5000	24	336	3,57%	\$ 152.880	\$ 664.264	\$ 7.971.163
		Promedio indisponibilidad	3,05%		Costo promedio	\$ 6.808.702

Tabla 25 "Costo indisponibilidad ciclos de 500 horas"
Fuente: Elaboración Propia

En cambio, ya en el segundo cuadro observa una disminución de indisponibilidad y costos de alrededor de un 36%, entendiéndose que es muy atractivo económicamente y viable el hecho de cambiar de frecuencia de mantenimiento.

CICLOS 750 HORAS						
Indisponibilidad por Equipo (Teórico)						
Equipos		56				
Hrs semana		9408				
Costo hora fuera de servicio		USD/Hr	455			
Cantidad MP semanal		9				
Tipo MP	Hrs detención	Hrs indisponible semanal	Indisponibilidad semanal	Costo Hora Fuera servicio semanal	Costo Hora Fuera servicio mensual	Costo Hora Fuera servicio Anual
MP750	16	144	1,53%	\$ 65.520	\$ 284.684	\$ 3.416.213
MP1500	20	180	1,91%	\$ 81.900	\$ 355.856	\$ 4.270.266
MP3000	22	198	2,10%	\$ 90.090	\$ 391.441	\$ 4.697.293
MP6000	24	216	2,30%	\$ 98.280	\$ 427.027	\$ 5.124.319
		Promedio indisponibilidad	1,96%		Costo promedio	\$ 4.377.023

Tabla 26 "Costo de indisponibilidad ciclos de 750 horas"
Fuente: Elaboración Propia

3.10 Evaluación de costos asociados a repuestos en la estrategia de cambio de frecuencia de mantenimiento de 500 horas a 750 horas

En lo que respecta a los costos asociados al mantenimiento recordar que la flota posee dos tipos de motores, unos de estos son los denominados Tier 1, que es un motor con sistema de inyección de combustible HPI (Inyector mecánico) y los otros del tipo Tier 2 o también llamados por MCRS (Inyector electrónico), entre ambos existe una diferencia de unos 500 dólares, así que los cálculos finales se sacaran por el equipo que tiene costos de mantenimiento más de alto costo, ya que, la flota de camiones va emigrando al sistema MRCS en toda la flota, este costo por equipo es de alrededor de \$3.618 dólares.

Lo último es recordar, lo explicado anteriormente, es que, cada ciclo de mantenimiento independiente este sea de 500 horas o 750 horas, los repuestos asociados son los mismos.

En el siguiente recuadro se valoriza la diferencia de costos asociados al mantenimiento separado por ciclos, donde se aprecia que se puede generar una diferencia cercana a un millón de dólares solo por variar de frecuencia de mantenimiento.

CICLOS 500 HORAS				
Equipos		56		
Cantidad MP semanal		14		
Tipo MP	Costo MP x CAEX	Costo MP Mensual		Costo MP Anual
MP500	\$ 3.618	\$ 50.657	\$ 220.107	\$ 2.641.280
MP1000				
MP2500				
MP5000				

Tabla 27 "Costo de repuestos ciclos 500 horas"
Fuente: Elaboración Propia

CICLOS 750 HORAS				
Equipos		56		
Cantidad MP semanal		9		
Tipo MP	Costo MP x CAEX	Costo MP Semanal	Costo MP Mensual	Costo MP Anual
MP750	\$ 3.618	\$ 32.566	\$ 141.497	\$ 1.697.966
MP1500				
MP3000				
MP6000				

Tabla 28 "Costo de repuestos ciclos de 750 horas"
Fuente: Elaboración Propia

3.11 Evaluación de costos fijos y dotación del contrato según cambio de frecuencia de mantenimiento

El costo fijo asociado por contrato entre KCH y MLP, no varía, ya que, como su nombre lo dice es un costo fijo, donde incluye dotación, equipos y otros ítem asociado a este contrato.

CONTRATO MLP-KCH	
Equipos	56
Monto fijo Mensual (UF/mes)	28.180
Monto fijo Mensual (USD)	\$ 1.185.275
Monto fijo Anual (USD)	\$ 14.223.296
Valorizado a promedio Diciembre 2023	

Tabla 29 "Costo fijo de mantenimiento contrato KCH-MLP"
Fuente: Confidencial

Importante de destacar que la dotación para este cambio de frecuencia de mantenimiento no sufre variación, ya que, está asociada al contrato base entre KCH y MLP.

3.12 Evaluación general de costos

En base a los resultados obtenidos anteriormente, se explicará en el siguiente cuadro comparativo, entendiendo que la variación de frecuencia de mantenimiento genera una importante variación en los costos asociados, con los cuales la gerencia de mantenimiento dispondrá para generar su presupuesto anual.

	CICLO DE 500 HRS		CICLO DE 750 HRS		Variación de costos por cambio de frecuencia
	MENSUAL	ANUAL	MENSUAL	ANUAL	
Equipos	56		56		
Costo hora fuera de servicio (USD/Hr)	455		455		
Cantidad MP semanal	14		9		
Costo fijo Contrato MLP-KCH (USD)	\$ 1.185.275	\$ 14.223.296	\$ 1.185.275	\$ 14.223.296	\$ -
Costo Promedio hora fuera servicio por MP (USD)	\$ 567.392	\$ 6.808.702	\$ 364.752	\$ 4.377.023	\$ -2.431.679
Costo Repuesto por MP (USD)	\$ 220.107	\$ 2.641.280	\$ 141.497	\$ 1.697.966	\$ -943.314
Valor total de costo de Mantenimiento	\$ 1.972.773	\$ 23.673.277	\$ 1.691.524	\$ 20.298.284	\$ -3.374.994

Tabla 30 "Evaluación de costos de mantenimiento"
Fuente: Elaboración Propia

En lo que respecta a variación en el costo fijo del contrato entre MLP y KCH, no existe variación, debido a que el contrato base no cambia, por ende, se mantiene el costo y dotación según contrato.

Respecto al costo promedio por hora fuera de servicio, aquí si se ve una variación importante debido al cambio de frecuencia y a un promedio de 80 a 120 horas por semana que queda el equipo no generando indisponibilidad, se entiende que estas horas el equipo puede producir y transportar mineral, pero otros costos tienden a subir como lo son el costo de combustible y neumáticos, pero que no se abordaran en este estudio.

Otra disminución considerable es el de costos asociado a repuestos, debido a que mensualmente ya no se consume lo mismo que en un plan o frecuencia de 500 horas, recordar que esta tiene una baja considerable de 56 equipos mensuales a 36. Si bien es cierto es una pérdida de alrededor de USD 900.000 anuales para Komatsu Chile, está perdida la asumen otros ítem asociados al contrato como lo es el bono por avance de horómetro y el aumento en las horas de componentes mensuales al estar el equipo más tiempo trabajando.

De acuerdo con los cálculos obtenidos se aprecia una disminución en los costos globales de mantenimiento de alrededor de un 14%, que se refleja en una variación de costos con un valor de USD 3.374.994 anuales. Este valor no contempla la variación de costos asociados a lubricantes por cambio de frecuencia, ya que, este tema fue abordado en otro estudio.

CONCLUSIONES

En este estudio se ha abordado de manera integral la propuesta de extender los ciclos de mantenimiento para los camiones de extracción minera Komatsu 930E operados por Minera Los Pelambres, centrándose en la viabilidad técnica y económica de esta estrategia.

En el primer capítulo, se ha diagnosticado con éxito la situación actual del contrato de mantenimiento entre KCH y MLP, identificando claras oportunidades de mejora. Este análisis ha permitido desarrollar un entendimiento profundo de las operaciones existentes y ha subrayado la necesidad de adaptaciones en la estrategia de mantenimiento para mejorar la eficiencia operacional y reducir la indisponibilidad de los equipos.

En el segundo capítulo y basado en el análisis de indicadores técnicos, se ha propuesto un nuevo plan de mantenimiento que extiende la frecuencia de los ciclos de mantenimiento de 500 a 750 horas. Esta propuesta no solo se alinea con las metas de optimización de recursos, sino que también apunta hacia una mejora significativa en la disponibilidad operativa de los camiones.

Por último en el tercer capítulo, la valoración económica de las mejoras propuestas ha demostrado ser positiva, determinando que la implementación de los nuevos ciclos de mantenimiento puede reducir los costos anuales de mantenimiento en un 14%, lo que justifica la factibilidad de las estrategias propuestas desde un punto de vista financiero.

La propuesta de disminuir la frecuencia de mantenimiento mediante una evaluación técnico-económica ha sido validada a través del estudio. Los resultados confirman que la extensión de los ciclos de mantenimiento puede realizarse sin comprometer la confiabilidad de los equipos, al tiempo que se obtienen reducciones en los costos operacionales. Esto no solo respalda la hipótesis inicial, sino que también proporciona un camino claro para la implementación práctica de las recomendaciones.

En conclusión, este trabajo ha demostrado que, con ajustes estratégicos en los planes de mantenimiento, es posible alcanzar mejoras en la operación minera, las cuales pueden ser aplicables a otros contextos similares dentro de la industria. Además, sugiere la continuidad de la investigación para explorar más a fondo los impactos a largo plazo y la replicabilidad de estas estrategias en diferentes tipos de maquinaria y condiciones operativas.

1.6 **BIBLIOGRAFÍA**

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

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

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

Biblioteca KCH, “Contrato CS-326 KCH-MLP”

Norma ASARCO MLP (Documento interno MLP, 2020)