UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2021

PROPUESTAS DE MEJORA A LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE SISTEMA CRITICO DE CAMIONES DE EXTRACCION 930E DE MINERA LOS PELAMBR

CARVAJAL AMARO, RODRIGO ISMAEL

https://hdl.handle.net/11673/53139

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

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

PROPUESTAS DE MEJORA A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMA CRITICO DE CAMIONES DE EXTRACCIÓN 930E DE MINERA LOS PELAMBRES

Trabajo de Titulación para optar al
Título profesional de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:
Sr. Rodrigo Ismael Carvajal Amaro

Profesor Guía:
Mg. Ing Carlos Baldi González

2021

RESUMEN

KEYWORDS: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO, HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD, ANÁLISIS DE COSTOS.

En el presente trabajo de título se plantea como objetivo principal proponer mejoras a la gestión de mantenimiento correspondiente al sistema critico de camiones de extracción de la marca japonesa KOMATSU 930 E, los cuales se desempeñan en minera los pelambres, entendiendo que la gestión de mantenimiento es la capacidad para preservar la función de los equipos, definiendo y aplicando estrategias efectiva de mantenimiento como sustitución, reparación, restauración y renovación con el fin de minimizar los riegos que generan los distintos eventos de fallos dentro del contexto operacional.

Respecto a los objetivos específicos se buscará evidenciar el sistema más crítico en términos de indisponibilidad y cantidad de fallos imprevistos, para posteriormente evaluar alternativas de mejora y con ello asegurar la continuidad operacional de la flota. En una última etapa se evaluará el impacto económico y a eficacia de los planes propuestos.

En el capítulo número uno se revisan los distintos indicadores de rendimiento, confiabilidad y mantenibilidad, con el fin de evidenciar el problema e identificar el sistema critico de la flota de transporte.

En el capítulo dos se proponen distintos planes como son cambio de frecuencia de aceites, priorización de condiciones y planes de alto impacto como es el task force, que básicamente buscan eliminar la cantidad de condiciones del sistema critico de la flota de transporte

finalmente, en el capítulo tres se evaluará el impacto en indisponibilidad y como repercuten económicamente los planes propuestos en el capítulo dos.

ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN 6

OBJETIVO GENERAL 7

OBJETIVOS ESPECIFICOS 7

CAPITULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DEL CONTRATO KCH-MLP 8

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA. 8

1.1.1 Misión 8

1.1.2 Visión 9

1.2 ANTECEDENTES DEL CONTRATO 9

1.2.1 Contrato KCH-MLP 9

1.2.2 Tipos de camiones del contrato 10

1.3 INDICADORES DE CONTRATO 12

1.3.1 Disponibilidad física y contractual 12

1.3.2 Tiempo promedio de buen funcionamiento MTBF 13

1.3.3 Tiempo promedio de reparación MTTR. 14

1.3.4 Tiempo de mantenimiento programado vs imprevisto. 15

1.4 ANÁLISIS DE SISTEMAS 16

1.4.1 Análisis de sistemas flota de transporte 16

1.4.2 Antecedentes de motores 17

1.4.3 Disponibilidad física de Motores 17

1.4.4 Análisis de sistema motor 18

CAPITULO 2: PROPUESTA DE PLANES DE ACCIÓN A MOTORES DIÉSEL 20

2.1 CONDICIÓN GENERAL DE MOTORES DIÉSEL 20

2.2 ANALISIS CAUSA RAIZ SUBSITEMAS CRITICOS DE MOTOR 20

2.2.1 Fugas de culata. 21

2.2.2 Análisis causa raíz fugas de culata. 22

2.2.3 Alto blow by (presión de cárter) 23

2.2.4 Análisis causa raíz alto blow by 23

2.2.5 Baja presión de admisión. 24

2.2.6 Análisis causa raíz baja presión de admisión 24

2.2.7 Resumen de planes de acción 24

2.3 PROPUESTA DE PLANES DE ACCION PARA DESGASTE INTERNO 25

2.3.1 Análisis de aceite motores diésel. 25

2.3.2 Comportamiento del aceite Shell Rimula R3 26

2.3.3 Plan “task forcé”. 28

2.3.4 Matriz de priorización AHP para síntomas de motores diésel 29
2.3.5 Modelamiento de optimización de mantenimiento 31
CAPITULO 3: EVALAUCIÓN DE PROPUESTAS 33
3.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ 33
3.1.1 Evaluación de costos planes de acción RCA 33
3.2 EVALUACION DE CAMBIO DE FRECUENCIA Y TIPO DE ACEITE 34
3.2.1 Evaluación de Costos aceite R3 vs R5 34
3.2 EVALUACION DE PLAN TASK FORCE 37
3.2.1 Evaluación de Costos plan "task force" 37
3.2.2 Evaluación de disminución de backlogs plan "task force" 39
3.2.3 Evaluación de indisponibilidad plan "task force" 40
3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO .. 41
3.3.1 Evaluación de disminución de frecuencia de mantenimiento. 41
3.3.2 Evaluación general de costos. 42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 43
BIBLIOGRAFIA 44
ANEXOS 45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 - 1 Camión 930E en desarme 11
Figura N° 1 - 2 Distribución de motores por horas de uso 17

Figura N° 2 - 1 Esquema de trabajo Análisis causa raíz 21
Figura N° 2 - 2 FTA de fugas de culata 22
Figura N° 2 - 3 FTA de alto blow by 23
Figura N° 2 - 4 FTA sistema de admisión 24
Figura N° 2 - 5 Informe tribológico Sistema SCAA 26
Figura N° 2 - 6 tasa de desgaste 27
Figura N° 2 - 7 Salud de aceite R3 vs R5 27
Figura N° 2 - 8 Lista de backlogs críticos 28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1- 1 Disponibilidad contractual 12
Tabla N° 1- 2 MTBF por tramo 13
Tabla N° 1- 3 MTTR por tramo 14

Tabla N° 2 - 1 Resumen de contramedidas 25

Tabla N° 2 - 2 Matriz de comparación de pares 30
Tabla N° 2 - 3 Prueba de consistencia 30
Tabla N° 2 - 4 Ranking de priorización 31

Tabla N° 3- 8 Costos totales planes de acción RCA 33
Tabla N° 3- 1 Datos generales de capacidad equipo 930 E 34
Tabla N° 3- 2 Costos generales para aceite R3 1000 hrs 35
Tabla N° 3- 3 Costos generales para aceite R3 500 hrs 35
Tabla N° 3- 4 Costos generales para aceite R5 a 500 hrs 36
Tabla N° 3- 5 Tabla resumen de costos vs tipo de aceite 36
Tabla N° 3- 6 Tabla de costos plan task force 38
Tabla N° 3- 7 Retorno proyectado plan task Force 38
Tabla N° 3- 9 Costos de indisponibilidad 41
Tabla N° 3- 10 Evaluación de planes de accion 42

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico N° 1 - 1 Tendencia de disponibilidad Física 12
Gráfico N° 1 - 2 Tendencia de MTBF 13
Gráfico N° 1 - 3 Tendencia de MTTR 14
Gráfico N° 1 - 4 Porcentaje de Horas programadas vs imprevistas 15
Gráfico N° 1 - 5 Grafico de dispersión de sistemas 16
Gráfico N° 1 - 6 Indisponibilidad de motor 18
Gráfico N° 1 - 7 Grafico de dispersión de Sub sistemas de motor 18

Gráfico N° 2 - 1 Estatus global de flota 20
Gráfico N° 2 - 2 Estatus de fugas de culata 22
Gráfico N° 2 - 3 Proyección de indisponibilidad plan TASK FORCE 29
Gráfico N° 2 - 4 Gráficos confiabilidad, mantenibilidad 32

Gráfico N°3 - 1 Indisponibilidad proyectada motor diésel 37
Gráfico N°3 - 2 estatus de cantidad de back logs 39
Gráfico N°3 - 3 Indisponibilidad móvil de motor 40

ANEXOS

Anexos 2 Detalle de costos de planes de accion RCA ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Anexos 3 Modelos de optimización 47

INTRODUCCIÓN

La industria minera en Chile se desarrolla principalmente en minas a rajo abierto, para lo cual se necesitan diversidad de equipos, entre ellos y uno de los más importantes en la cadena de producción son los camiones de extracción de Alto tonelaje.

EL grupo Komatsu Cummins Holding líder en equipos de minería a rajo abierto y subterránea cuenta con una participación significativa en Sudamérica, y sobre todo en Chile con un porcentaje de total de equipos de más del 50% para camiones de extracción superiores a 200T ("Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre 2020 https://www.cochilco.cl/")

Estos camiones de alto tonelaje, específicamente el modelo 930 E cuentan con sistemas de propulsión eléctrico que lo que lo diferencia de su gran competidor en participación de mercado como es Caterpillar que es un camión más bien mecánico, el camión 930E de la marca japonesa tiene un costo que bordea los USD 5.000.000.

Las altas expectativas de utilización de estos camiones, en particular los camiones que trabajan en minera los Pelambres invitan a evaluar constantemente las distintas estrategias que aseguren la disponibilidad física y por sobre todo el desafío es mayor cuando la edad promedio de estos equipos de extracción superan las horas de garantía de fábrica [60.000 hrs]. En la actualidad el mayor problema es la indisponibilidad aportada por los motores Diesel el cual se arrastra hace más de 2 años, sobre todo la indisponibilidad por imprevistos, la cual genera incertidumbre en el cumplimiento de los planes semanales, mensuales y anuales por consecuencia se hipoteca las metas internas de cambio de componentes de KCH y el movimiento de material que MLP tiene proyectado.

En el siguiente documento se plantearán propuestas para revertir la indisponibilidad imprevista utilizando herramientas de ingeniería de confiabilidad que estén acordes a los distintos problemas que hoy día presenta la flota de transporte y por sobre todo en los motores diésel.

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejoras a la gestión de mantenimiento al sistema critico de la flota de transporte, compuesta por camiones 930E3 (8) y 930E4 (48), analizando data, evaluando comportamientos y utilizando herramientas de ingeniería de confiabilidad, permitiendo minimizar los riesgos que generen fallos e imprevistos y asegurando la continuidad operacional de la flota de transporte.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar un diagnóstico de la situación actual del contrato KCH-MLP respecto a la flota de transporte evaluando indicadores de mantenimiento, analizando los distintos sistemas a través de gráficos de dispersión, evidenciando la indisponibilidad provocada por el sistema más crítico de la flota de transporte.

Proponer soluciones a los subsistemas y/o componentes críticos de los motores Diesel de acuerdo con la condición actual de cada uno de ellos, mediante la utilización herramientas de ingeniería como son el análisis tribológico, ejecución de árbol de fallas, herramientas de jerarquización y modelamiento de optimización con el fin de eliminar o minimizar las distintas causas basales de la indisponibilidad de los motores Diesel.

Evaluar la factibilidad económica de los distintos planes de acción que se propongan una vez realizado los análisis de los sistemas críticos de los motores diésel, justificando la implementación y midiendo la efectividad y eficiencia de estos planes.

CAPITULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DEL CONTRATO KCH-MLP

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

Komatsu surgió a partir de Takeuchi Mining Industry, una empresa japonesa fundada en 1894 por Meitaro Takeuchi, quien percibió que, si el negocio fundamental de su empresa era la minería, lo lógico era concentrarse en esa actividad, desligándose de la fabricación de máquinas para el movimiento de tierra que la misma TMI llevaba a cabo para apoyar sus operaciones. Tras esta decisión, en enero de 1917, Takeuchi le entrega a un tercero la responsabilidad de la fabricación de tales máquinas y dio una lección sobre la relevancia de la especialización y el outsourcing, al establecer Komatsu Iron Works.

En Chile su presencia se remonta a más de 100 años, inicialmente a través de empresas distribuidoras, hasta que, en 1999, tomó la decisión estratégica de establecerse en el país creando el holding Komatsu Cummins Chile Limitada. Sólo una década después la oficina regional de Latinoamérica para minería se trasladó desde Miami Estados Unidos hasta Santiago de Chile, lo que representó un voto de confianza para el país y de reconocimiento al trabajo realizado en el país haciendo esta información "visible", una herramienta de gran ayuda para mejorar continuamente la empresa.

Una de las unidades de negocio más importantes para Komatsu Chile y su dirección de operaciones es faena los pelambres, principalmente dado por la cantidad de equipos presentes en el contrato y los volúmenes de venta asociados al servicio de mantenimiento y venta de repuestos.

1.1.1 Misión

Empoderar a KOMATSU y a su gente para vivir el negocio como propio, comprometiéndose siempre con exceder las expectativas de los clientes, ofreciendo soluciones ágiles, flexibles y de calidad, con los mejores productos y servicios en todos los ámbitos de nuestra operación. Mejorar continuamente la eficiencia de los procesos, cuidar el medio ambiente y promover la seguridad a sus empleados y el desarrollo de su personal, para potenciar el crecimiento sostenido y sustentable del negocio, generando valor a todos los grupos de interés.

1.1.2 Visión

Ser protagonistas del éxito de nuestros clientes, comprometidos con la calidad y la confiabilidad KOMATSU va más allá de la calidad de sus equipos y la establece como su principal prioridad sobre todo el resto de sus actividades diarias. La Empresa no efectúa concesiones en temas de calidad mientras avanza hacia el futuro de acuerdo a las siguientes aristas.

- Orientación al cliente

KOMATSU agradece, valora la opinión de sus clientes y trabaja continuamente para proporcionar productos que aseguren la satisfacción de sus clientes.

- Definición de la causa raíz

KOMATSU se enfoca en la identificación de la génesis de los problemas para corregirlos desde su causa raíz. De esta manera, se puede determinar con confianza su origen y evitar que vuelvan a ocurrir.

- Filosofía Gemba – "Lugar de trabajo".

Los lugares de trabajo "Gemba" ofrecen información que debe constituir los fundamentos de las políticas, estrategias, planes de mejoramiento y otras iniciativas vitales de la empresa. Por ello, entender que está ocurriendo en el lugar de trabajo.

1.2 ANTECEDENTES DEL CONTRATO

1.2.1 Contrato KCH-MLP

Komatsu Chile provee a la minera Los Pelambres un servicio de mantención y reparación a Equipos de Alto Tonelaje, donde le permiten al cliente externalizar sus necesidades de mantención a sus flotas de perforación, carguío y transporte asegurando una óptima planificación y ejecución de los distintos tipos de mantenimiento que el contrato propone. Esta es una solución rentable que ayuda a las empresas mineras a maximizar la vida útil de sus máquinas Komatsu y a garantizar su rentabilidad a largo plazo.

El tipo de contrato es una Modalidad LPP de repuestos y componentes menores más Prorrata de componentes mayores. Para el caso contractual el servicio de mantenimiento contempla lo siguientes aportes:

- 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.
- Consumo efectivo de repuestos.
- Reparación o reemplazo de componentes menores.
- Prorrata para la reparación de componentes Mayores: Modelo matemático + ACL y precios de componentes.
- Servicios adicionales y reembolsables.
- Tarifa de tolva.
- Cuota acceso pool de componentes.
- Reajustes: Monto fijo + Prorrata + tarifa de tolva.
- Indicadores de desempeño del servicio: A(t) contractual.

No obstante, lo señalado anteriormente el equipo de planificación e ingeniería de KCH propone al cliente las estrategias de mantenimiento y reparaciones programadas en donde se vela por el cumplimiento del ACL de los componentes y aseguramiento de la disponibilidad física y contractual. Con esto MLP consigue tener un control sobre la disponibilidad ofrecida y además de los costos de mantenimiento asociados a repuestos y cambio de componentes.

1.2.2 Tipos de camiones del contrato

Los camiones eléctricos 930E3 (8) y 930E4 (48) de la marca Japones Komatsu, están diseñados para transportar 290 toneladas o 320 toneladas cortas entregando una capacidad de transporte acorde a las necesidades de los clientes.

Para eso cuentan con una tolva fabricada con aceros anti-desgaste y de bajo peso lo que permite incrementar la cantidad de materia transportando sin exceder el peso máximo bruto permitido por fabrica 498960 kg.

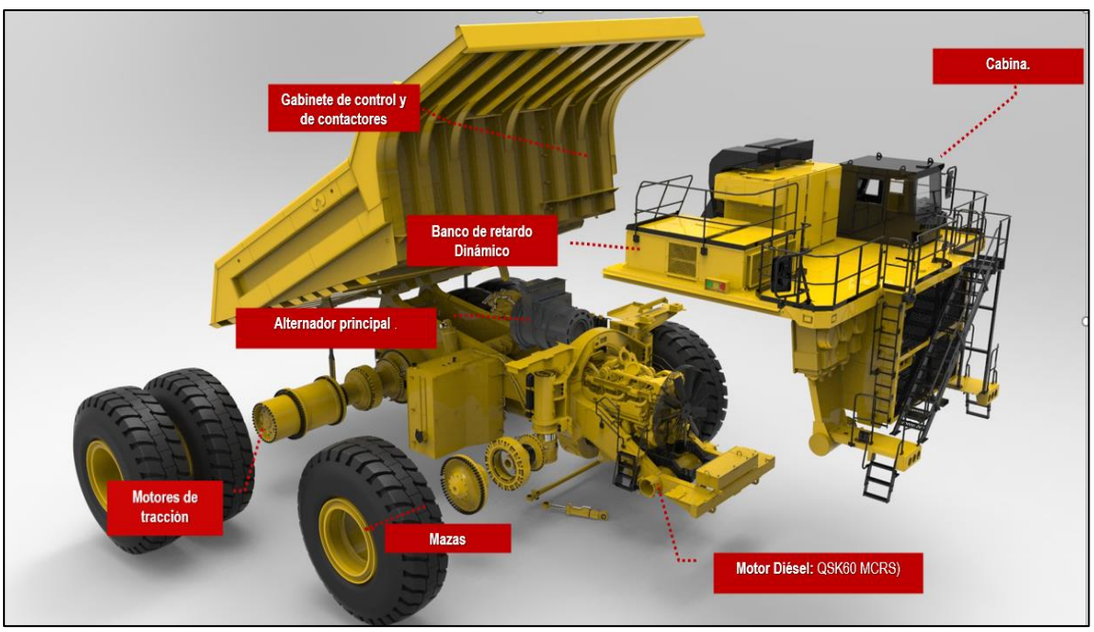
Estos equipos diseñados para circular fuera de carretera cuentan con motor Diesel de 16 cilindros que proveen una potencia neta al volante de 2550 Hp, los cuales además cumplen con normas de emisión Tier 2.

Respecto a la propulsión de estos equipos se puede mencionar que es principalmente a través de energía eléctrica proporcionada por un módulo de potencia, el cual está compuesto por un Motor Diesel, radiador, alternador principal y un soplador del sistema de propulsión, El voltaje generado por el alternador principal es enviado a los inversores principales, existe una diferencia de tecnología los inversores para los modelos de camiones E3 y E4, estos últimos cuentan con sistemas de inversores configurados en

su totalidad con IGBT redundantes (transistores bipolares de compuerta aislada) los cuales proporcionan energía eléctrica alterna controlada en frecuencia y voltaje a los motores de tracción de acuerdo a las solicitudes del operador lo que finalmente se traduce el movimiento del camión o propulsión del equipo. Dado la configuración del módulo de potencia en el cual se encuentran en serie el Alternador principal y el Motor Diesel este último cobra una importancia fundamental ya que es quien proporciona el movimiento necesario al alternador principal para generar el voltaje necesario para las aplicaciones del sistema eléctrico de alto voltaje.

Para el control de velocidad o desaceleración estos camiones cuentan con un sistema de retardo dinámico que básicamente aprovechan que el motor eléctrico de propulsión se transforma en generador eléctrico y así poder disminuir la velocidad del camión de forma controlada.

El sistema hidráulico disponible para las aplicaciones de dirección, frenos y levante cuenta con un tanque de capacidad de 974 litros de aceite 10W y bombas que permiten asegurar el fujo necesario para cada aplicación.



Fuente: Curso de producto CAEX -930

Figura N° 1 - 1 Camión 930E en desarme

1.3 INDICADORES DE CONTRATO

1.3.1 Disponibilidad física y contractual

El contrato MLP-KCH contempla cumplir una disponibilidad contractual, el cual mide el porcentaje de horas nominales en que están disponibles los equipos para operar considerando solo las horas de detención con responsabilidad de Komatsu incluyendo los subcontratos como son Desarrollos Tecnológicos (DTSA) encargados de la mantención y reparación de las tolvas y Distribuidora Cummins Chile (DCC) encargados de la mantención y reparación de los motores Diesel.

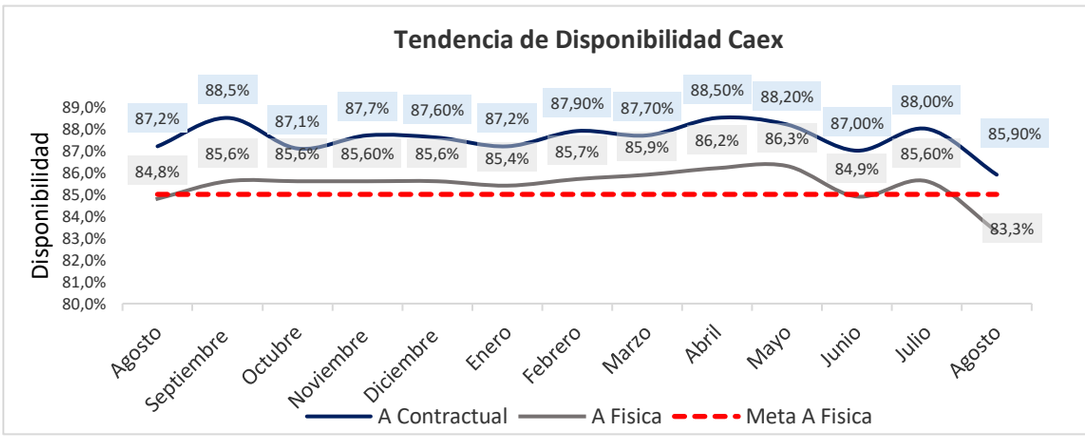
La meta para los distintos tramos horarios de la flota es de un 86%, tal como se muestra en la tabla

DESCRIPCION	MODELO	DISPONIBILIDAD CONTRACTUAL														
		0	6001	12001	18001	24001	30001	36001	42001	48001	54001	60001	66001	72001	78001	84001
		6000	12000	18000	24000	30000	36000	42000	48000	54000	60000	66000	72000	78000	84000	90000
DUMP TRUCK	930 E3-E4	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%	86%

Fuente: Contrato KCH -MLP

Tabla N° 1- 1 Disponibilidad contractual

De igual forma el contrato debe realizar seguimiento y control es la disponibilidad física, ya que es la meta de nuestro cliente MLP, la cual contempla las horas de detenciones totales del equipo independiente de la responsabilidad de detención. La meta de este indicador se evalúa anualmente por parte de la gerencia de general y contempla varios parámetros para establecerla, dentro de los cuales se pueden mencionar las horas necesarias disponibles para cumplir el plan minero de movimiento de mineral y estéril. Para el presente año 2021 la meta de disponibilidad física de minera Los Pelambres tienen un valor de 85,0 %, En el siguiente grafico podemos ver el comportamiento de ambas disponibilidades con rango de un año.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1 - 1 Tendencia de disponibilidad Física

En relación al gráfico de disponibilidad, se observa que el presente año se da cumplimiento a la disponibilidad contractual con un promedio acumulado de un 87,5%, 1,5 % por sobre lo comprometido en el contrato. Sin embargo, la disponibilidad física tiene un promedio anual de un 85,4%, 0,4% sobre la meta del 2021 si bien se está cumpliendo con la meta hay una holgura demasiado pequeña que sumado a la tendencia a la baja de los últimos meses genera una incertidumbre visualizando la meta del presente año.

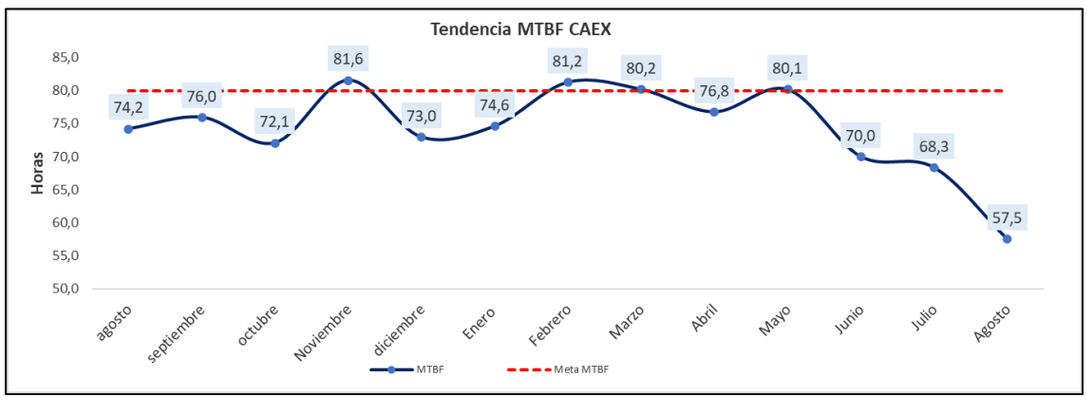
1.3.2 Tiempo promedio de buen funcionamiento MTBF.

El contrato MLP-KCH contempla cumplir un tiempo medio de buen funcionamiento para la flota de camiones 930E3-4, el cual mide las horas operadas de la flota mensualmente sobre el número de imprevistos totales asociados a responsabilidad de KCH. La meta contractual de este indicador es de 50 horas para todos los tramos horarios, tal como se muestra en la tabla.

DESCRIPCION	MODELO	TIEMPO MEDIO DE BUEN FUNCIONAMIENTO														
		0	6001	12001	18001	24001	30001	36001	42001	48001	54001	60001	66001	72001	78001	84001
		6000	12000	18000	24000	30000	36000	42000	48000	54000	60000	66000	72000	78000	84000	90000
DUMP TRUCK	930 E3-E4	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Fuente: Contrato KCH - MLP

Tabla N° 1- 2 MTBF por tramo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1 - 2 Tendencia de MTBF

De acuerdo con el grafico podemos observar el comportamiento del indicador con rango de un año móvil. Se desprende del mismo que la flota con más horas de operación acumulada (flota E3) tiene una taza de falla más estable en el tiempo, sin embargo la flota E4 tienen un alza en su número de reparaciones imprevistas sostenida desde mayo a la fecha, esto indica que hay una inestabilidad de imprevistos de flota es la E4, dicho esto se debe realizar una apertura de sistemas para identificar el menos confiable y así comenzar a preparar los planes de acción necesarios para mejorar disminuir el

número de detenciones imprevistas y por consiguiente aumentar el MTBF de la flota. Otro factor que influye para la baja sostenidas de este indicador es la disminución de horas operadas de la flota de transporte desde junio a la fecha se visualiza una disminución del uso de los equipos debido a frentes de mal tiempo, problemas de polución en la mina por falta de agua.

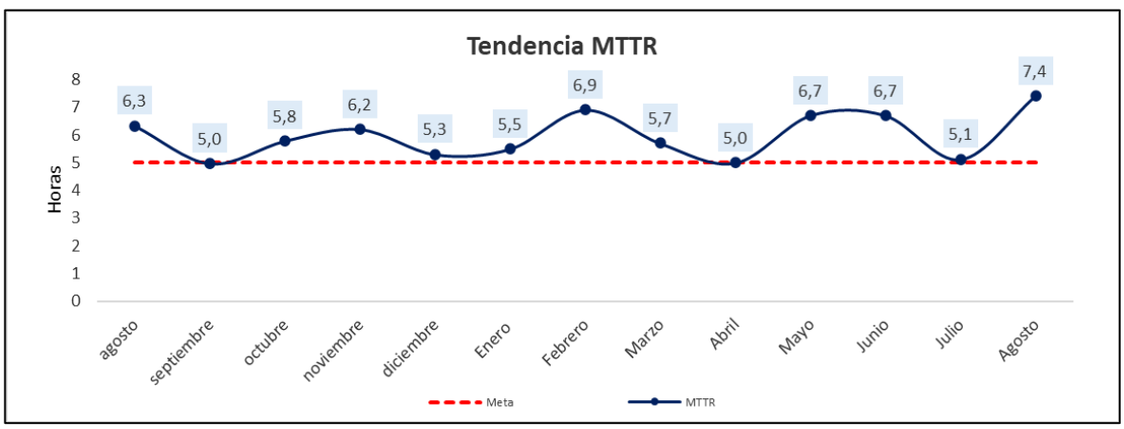
1.3.3 Tiempo promedio de reparación MTTR.

El contrato MLP-KCH contempla cumplir un tiempo medio reparación para la flota de camiones 930E3-4, el cual mide el tiempo total de reparación de fallos imprevistos con responsabilidad de KCH sobre el número total de imprevistos KCH. Esta responsabilidad de KCH hacia el cliente MLP considera de igual forma las fallas asociadas a motores Diesel y tolvas. La meta contractual de este indicador es de 5 horas promedio para todos los tramos de la flota de transporte tal como se muestra en la siguiente tabla.

DESCRIPCION	MODELO	TIEMPO MEDIO DE REPARACION														
		0	6001	12001	18001	24001	30001	36001	42001	48001	54001	60001	66001	72001	78001	84001
		6000	12000	18000	24000	30000	36000	42000	48000	54000	60000	66000	72000	78000	84000	90000
DUMP TRUCK	930 E3-E4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Contrato KCH - MLP

Tabla N° 1- 3 MTTR por tramo



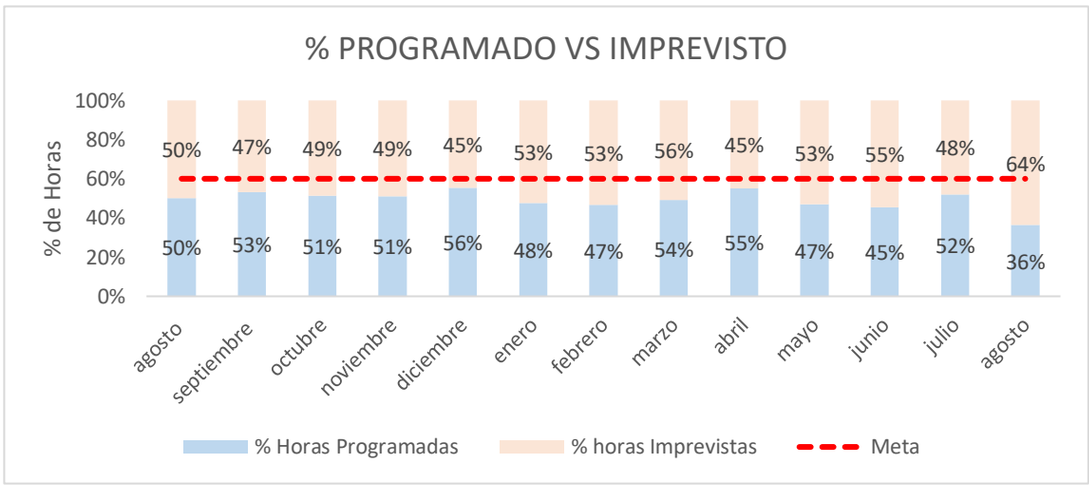
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1 - 3 Tendencia de MTTR

El comportamiento del indicador de mantenibilidad evaluado en un año móvil desprende los elevados tiempos medios de reparación para la flota de transporte con un promedio anual 2021 de 6,1 [horas] 1,1 [horas] por sobre la meta contractualmente pactada. Al igual que el indicador de confiabilidad MTBF, debemos analizar cuáles son los sistemas que están impactando este indicador de mantenibilidad, para así desarrollar planes de acción que disminuyan los tiempos de reparación de la flota de transporte.

1.3.4 Tiempo de mantenimiento programado vs imprevisto.

Este indicador muestra la relación de total de horas de mantenimiento programado sobre el total de horas de mantenimiento imprevisto, tiene una meta corporativa de KCH a nivel nacional de 60%-40%.



Fuente: Elaboración propia 1

Gráfico N° 1 - 4 Porcentaje de Horas programadas vs imprevistas

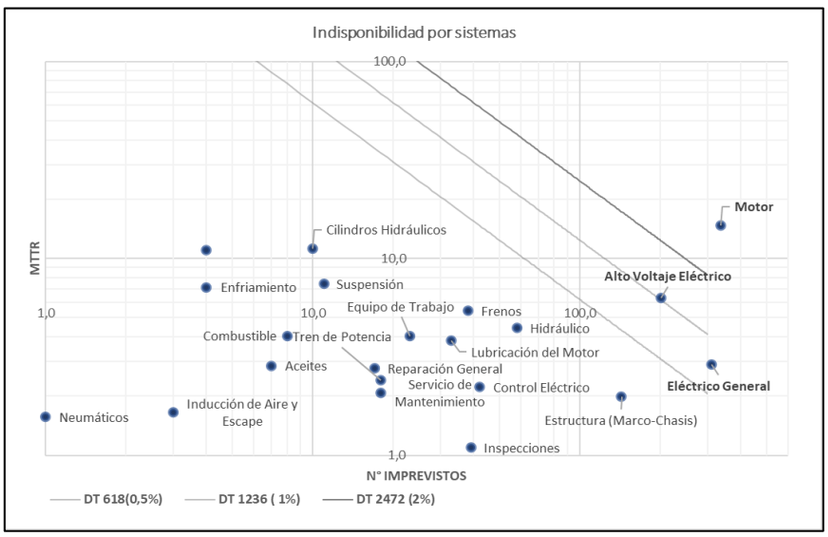
En el gráfico se muestra que el porcentaje de horas programadas está por debajo de la meta del 60% de distribución, estos valores confirman que el mantenimiento correctivo imprevisto es el predominante desde enero 2020 hasta agosto 2021 fecha de término del análisis. Este indicador deja de manifiesto que no se tiene el control sobre la flota de transporte y que el imprevisto está siendo el tipo de intervención predominante, ya que como se señalaba anteriormente se debe tener una distribución a lo menos de un 60% de horas intervenciones en detenciones programadas, ya sea por mantenciones o reparaciones programadas. Sin embargo, con toda la información analizada aun no podemos identificar cual es la flota que tienen mayores problemas o sistemas que generan mayor indisponibilidad.

A continuación, se realizará una apertura a la data de detenciones imprevistas con un rango de fecha de tres meses para identificar los sistemas y subsistemas más críticos.

1.4 ANÁLISIS DE SISTEMAS

1.4.1 Análisis de sistemas flota de transporte

Una de las metodologías que se pueden utilizar para jerarquizar los sistemas críticos de la flota de transporte son lo gráficos de dispersión los cuales representan la relación entre dos variables de las cuales se pueden identificar visualmente de manera sencilla cuál o cuáles son los sistemas que aportan mayor indisponibilidad observando el tiempo medio de reparación imprevistas y menor confiabilidad observando la cantidad total de detenciones imprevistas de la flota. A continuación, se realiza la primera apertura de los datos de imprevistos.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1 - 5 Grafico de dispersión de sistemas

Se desprende del grafico que el sistema denominado “Motor”, es el sistema critico de la flota de trasporte ya que es quien aporta con más imprevistos y genera mayor indisponibilidad en términos de detenciones no programadas, las cuales se encuentran por sobre la ISO de 2% con más de 2400 horas de detención en los últimos tres meses. Es importante señalar que la flota de transporte usa el mismo tipo de motor para los modelos E3 y modelo E4 lo cual solo se diferencia por el tipo de inyección. Bajo la ISO de indisponibilidad de 1% y 0,5% se encuentran los sistemas de “Alto voltaje” y “Eléctrico general” respectivamente.

Si bien ya se tiene la mirada de los 3 sistemas críticos de la flota, se debe seguir ahondando en estos sistemas para visualizar los subsistemas o componentes que aportan con la mayor cantidad de detenciones y tiempos prolongados de reparación con el fin de poder ahondar en los análisis y realizar los análisis de causas raíces correspondientes.

1.4.2 Antecedentes de motores

De acuerdo con el contrato celebrado entre Komatsu y MLP. Establecen horas de reemplazo de componentes mayores entre los cuales se encuentran los motores Diesel. El desmontaje del módulo de potencia será planificado entre ambas partes y tendrá como foco la continuidad operacional de los equipos.

Las horas establecidas para el 100% del ACL (vida promedio del componente) para los motores Diesel independientemente si estos sean nuevos o reparados son 17000[hrs], no obstante, se podrán llevar hasta el 120% de uso o incluso superior dependiendo de los acuerdos entre ambas partes y así asegurar la continuidad operacional.

El escenario actual de la flota de motores en términos de horas se muestra en la siguiente ilustración. N° 1-2.

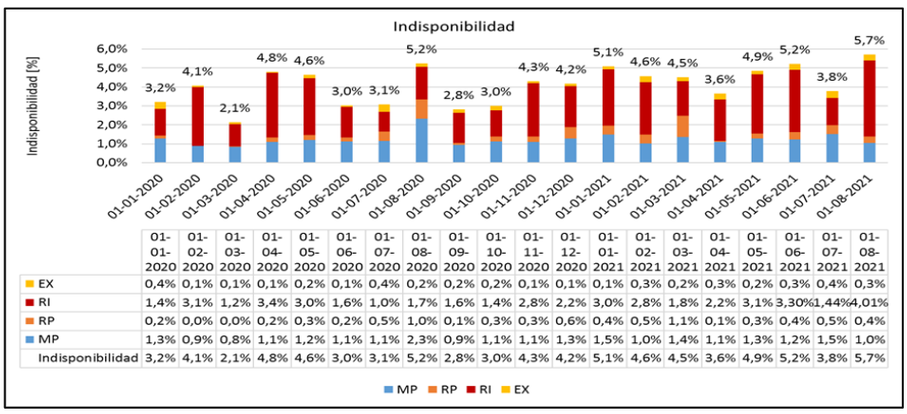
Fuente: Departamento confiabilidad DCC

Figura N° 1 - 2 Distribución de motores por horas de uso

Se observa que el 58% de la flota se encuentra bajo las 10000 horas, mientras que los motores entre 10000 y 17000 horas representan el 38% de la flota y solo 3,6% superan el ciclo de vida promedio (ACL) de 17000 [hrs]. Esto nos indica que los problemas de motores no pasan por la antigüedad de la flota ya que solo se tienen 2 motores por sobre las 17000 [hrs].

1.4.3 Disponibilidad física de Motores

La disponibilidad física de motores mide el tiempo total que el motor se encuentra fuera de servicio o indisponible sobre el total de horas nominales, en los años 2019 y 2020 fue 93,3% para ambos periodos. A continuación, se muestra el comportamiento representado gráficamente.



	01-01-2020	01-02-2020	01-03-2020	01-04-2020	01-05-2020	01-06-2020	01-07-2020	01-08-2020	01-09-2020	01-10-2020	01-11-2020	01-12-2020	01-01-2021	01-02-2021	01-03-2021	01-04-2021	01-05-2021	01-06-2021	01-07-2021	01-08-2021
EX	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,4%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,2%	0,3%	0,2%	0,3%	0,4%	0,3%
RI	1,4%	3,1%	1,2%	3,4%	3,0%	1,6%	1,0%	1,7%	1,6%	1,4%	2,8%	2,2%	3,0%	2,8%	1,8%	2,2%	3,1%	3,30%	1,44%	4,01%
RP	0,2%	0,0%	0,0%	0,2%	0,3%	0,2%	0,5%	1,0%	0,1%	0,3%	0,3%	0,6%	0,4%	0,5%	1,1%	0,1%	0,3%	0,4%	0,5%	0,4%
MP	1,3%	0,9%	0,8%	1,1%	1,2%	1,1%	1,1%	2,3%	0,9%	1,1%	1,1%	1,3%	1,5%	1,0%	1,4%	1,1%	1,3%	1,2%	1,5%	1,0%
Indisponibilidad	3,2%	4,1%	2,1%	4,8%	4,6%	3,0%	3,1%	5,2%	2,8%	3,0%	4,3%	4,2%	5,1%	4,6%	4,5%	3,6%	4,9%	5,2%	3,8%	5,7%

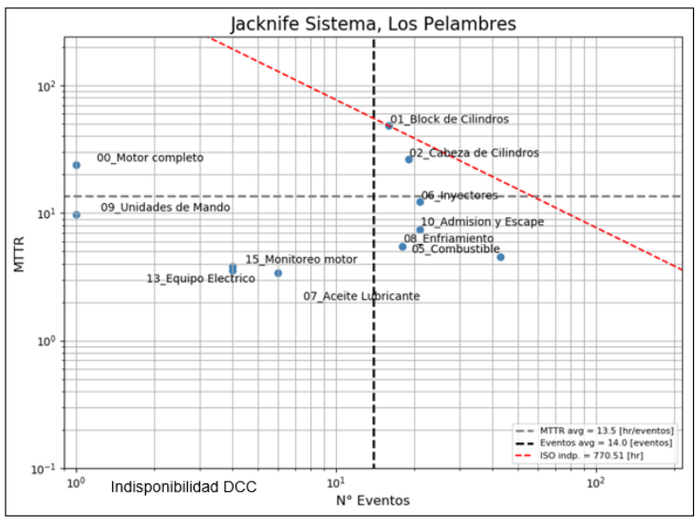
Fuente: departamento de confiabilidad DCC

Gráfico N° 1 - 6 Indisponibilidad de motor

Se puede observar en el grafico N°1-6, que la distribución de las barras a lo largo del tiempo analizado está marcada por el porcentaje de horas imprevistos por lo cual se debe analizar el comportamiento de los subsistemas de motor en detenciones imprevistas con metodología de jerarquización por gráficos de dispersión.

1.4.4 Análisis de sistema motor

Utilizando la misma metodología de gráficos de dispersión y tomando en cuenta la data de detenciones imprevistas de los últimos meses podemos visualizar los componentes críticos del sistema motor en el siguiente gráfico.



Fuente: Departamento de confiabilidad DCC

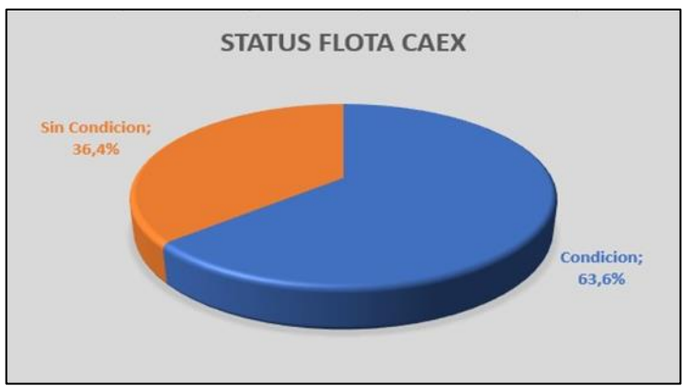
Gráfico N° 1 - 7 Grafico de dispersión de Sub sistemas de motor

Se puede visualizar que el subsistema denominado block de cilindros el cual hace referencia básicamente a las unidades de fuerza correspondientes al motore diésel (16), cabeza de cilindro y Admisión y escape son los subsistemas críticos dada la indisponibilidad y la consecuencia que pueden llegar a tener estos subsistemas. Los síntomas que reflejan este comportamiento de motores esta dado básicamente por alto blow by, fugas internas y externas de culatas y el desgaste interno de los motores, para lo cual se realizaran análisis causa raíz con el fin de identificar la causa báseles y poder proponer la solución a estos.

CAPITULO 2: PROPUESTA DE PLANES DE ACCIÓN A MOTORES DIÉSEL

2.1 CONDICIÓN GENERAL DE MOTORES DIÉSEL

En relación con la condición general de los motores diésel de la flota de transporte, se pueden visualizar que los subsistemas con mayor indisponibilidad y tasa de fallas son block de cilindro y cabeza de cilindro. Sin embargo y para efectos del árbol de fallas que se realizara en este trabajo de tesis se incluirá el subsistema admisión y escape básicamente por el potencial de consecuencias que presentan lo motores en caso de ocurrir falla en dicho sistema. En términos generales y para efecto de evidenciar la problemática con los motores diésel en el contrato se muestra en el grafico que el 63.6% de los motores presenta alguna condición importante esto equivale a 35 motores de un total de 55, los cuales se dividen en tres grandes grupos como son: desgaste de sus componentes internos, fugas de culata y alto Blow by.



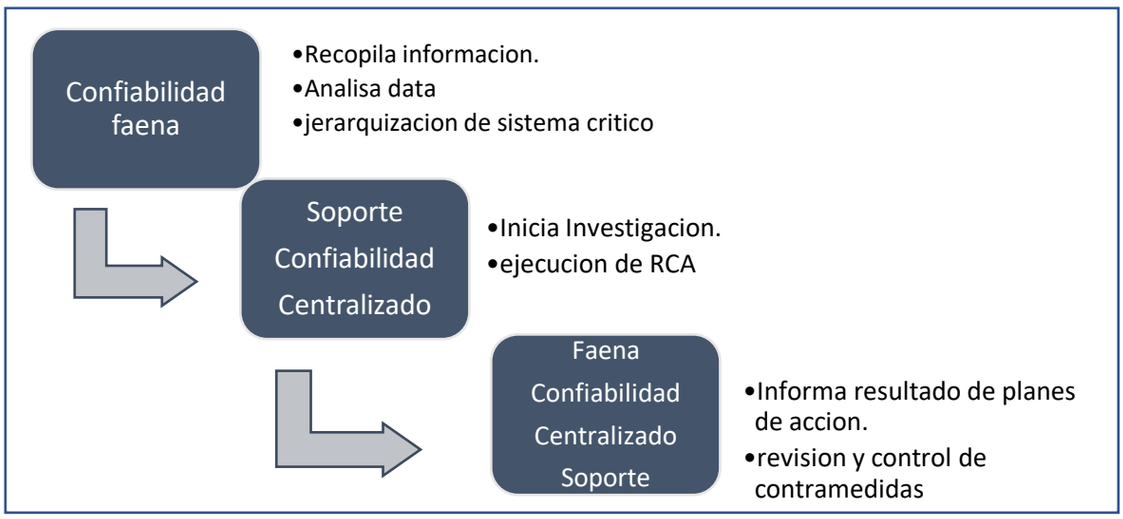
Fuente: Elaboración propia 2

Gráfico N° 2 - 1 Estatus global de flota

2.2 ANALISIS CAUSA RAIZ SUBSITEMAS CRITICOS DE MOTOR

El análisis de causa raíz es una técnica estructurada paso a paso que buscar encontrar la causa real de los problemas, proponiendo soluciones a través del análisis de sus síntomas, básicamente buscar el saber que paso, porque paso y que se debe hacer para prevenir la nueva ocurrencia del evento.

La técnica del árbol de fallas es una herramienta grafica en la cual se establece una línea lógica de análisis, relacionando el evento principal con los modos de falla, hipótesis, causas secundarias hasta llegar a la causa primaria. Además, el árbol de falla permite atacar fallas complejas y de causas múltiples identificando visualmente tres tipos de causas como son las físicas, las humanas y las organizacionales.



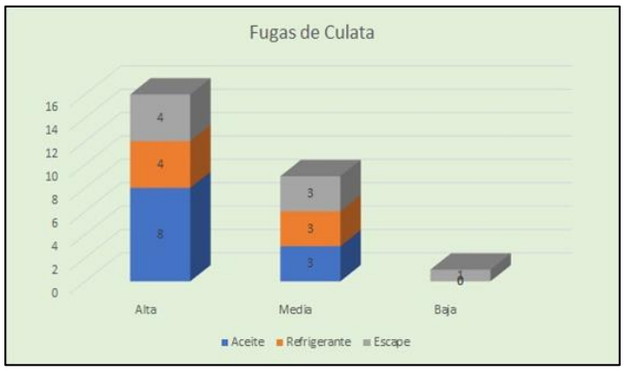
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2 - 1 Esquema de trabajo Análisis causa raíz

Para efecto de este estudio se analizarán 3 subsistemas que se definen como lo más críticos y de alto impacto para el sistema motor, con el fin de dar solución a la problemática de la indisponibilidad de motores diésel.

2.2.1 Fugas de culata.

Una fuga de culata es el síntoma de un escurrimiento anormal de algún fluido del motor diésel (refrigerante, aceite, gases) estas fugas pueden evidenciarse de manera visual para las fugas externas y a través de los análisis tribológicos para fugas o traspasos internos. La tasa de falla de esta condición es la predominante hoy día en la flota. Estas se encuentran categorizadas en “altas”, “media” y “baja” para efectos de su correcta administración del riesgo y oportuna programación. Una de las propuestas es poder generar una matriz de riesgo cuantitativa que permita programar de manera correcta y además de proponer frecuencia de mantenimiento a través de modelos de optimización que aseguren el correcto seguimiento de las condiciones críticas de los motores. La condición actual de la flota de motores diésel respecto a las fugas se muestra a través del siguiente gráfico.

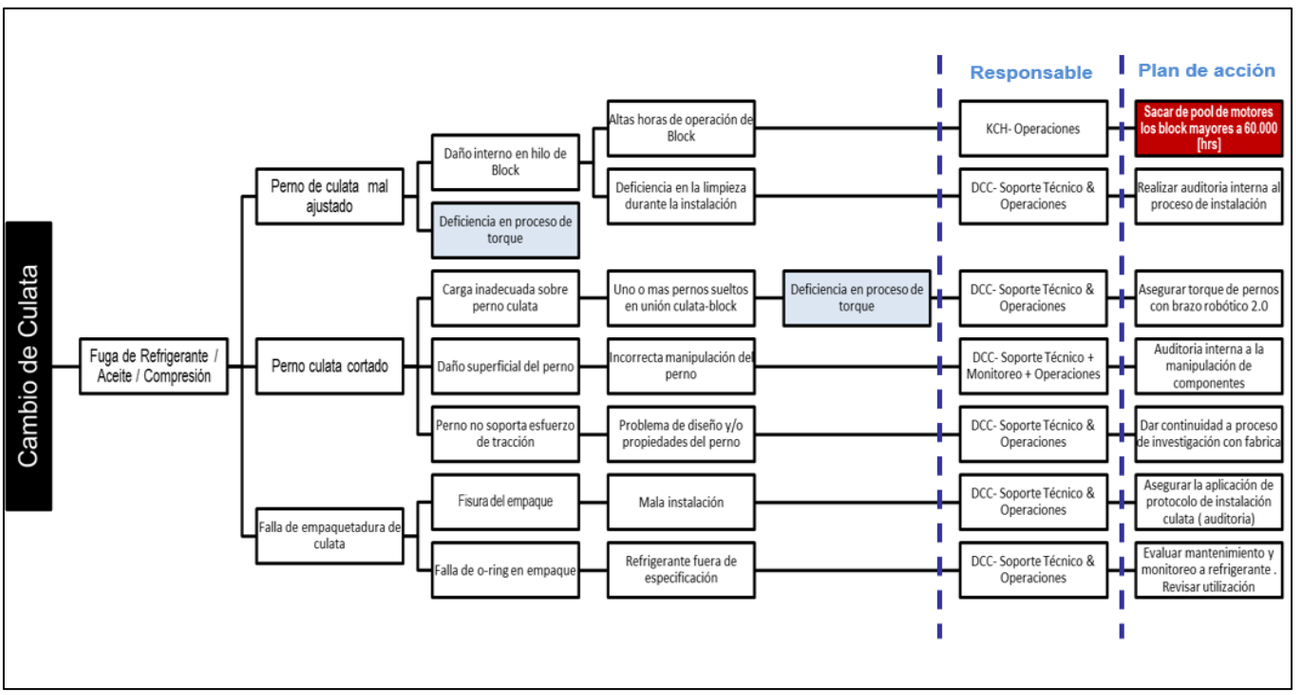


Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2 - 2 Estatus de fugas de culata

Esta condición de la flota respecto a las fugas es bastante dinámica debido al aumento que pueden producirse de manera súbita y por otra parte la dificultad de programar todo el volumen de condiciones ya que se hipoteca la disponibilidad física de los distintos programas de mantenimiento semanales.

2.2.2 Análisis causa raíz fugas de culata.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2 - 2 FTA de fugas de culata

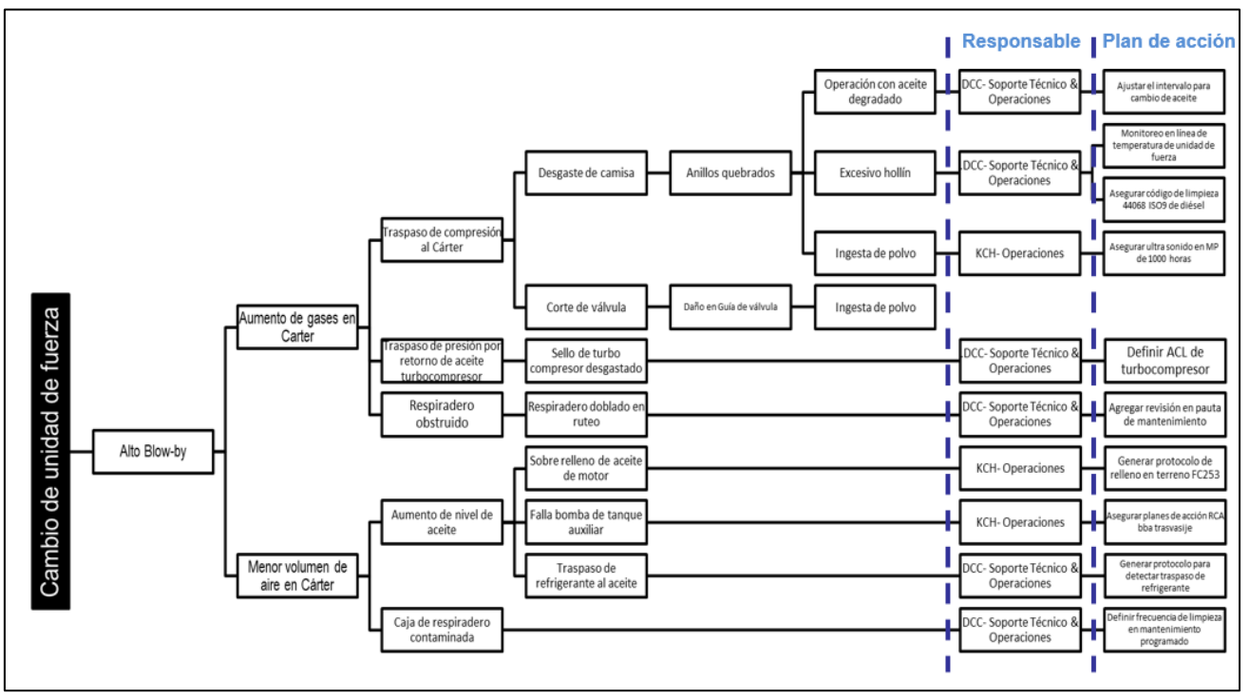
Este análisis nos muestra 3 modos de falla los cuales son las principales hipótesis para el síntoma fuga de culata. Este FTA se encuentra depurado en términos de frecuencia de falla, para poder reducir la cantidad de planes de acción y además se realizó una matriz

Esfuerzo- Impacto con el mismo objetivo de no perder el foco en planes de acción que no aporten a disminuir la ocurrencia de estas fallas. Esta técnica para reducir la cantidad de planes de acción nos permite administrar solo 8 planes de acción, lo cual favorece en la administración y control de los planes señalados.

2.2.3 Alto blow by (presión de cárter)

Un alto blow by o excesivo paso de gases al cárter del motor diésel, es una condición anormal de funcionamiento del motor que generalmente tiene un límite superior condenatorio, para los motores de la flota de transporte alcanza una presión de 13" H2O. Una tendencia sostenida al alza y que además supere el límite condenatorio es motivo de una detención inmediata del motor. Esta detención contempla una serie de pasos para ratificar si el alza de presión en el cárter es real o no y así detener el equipo a una reparación mayor o incluso un cambio de módulo de potencia. Este síntoma se presenta por un traspaso de presión desde la cámara de combustión hacia el cárter del motor, las distintas causales de este traspaso serán abordados en el análisis causa raíz, para minimizar o sacar totalmente las causas raíces de este problema.

2.2.4 Análisis causa raíz alto blow by



Fuente: Elaboración propia

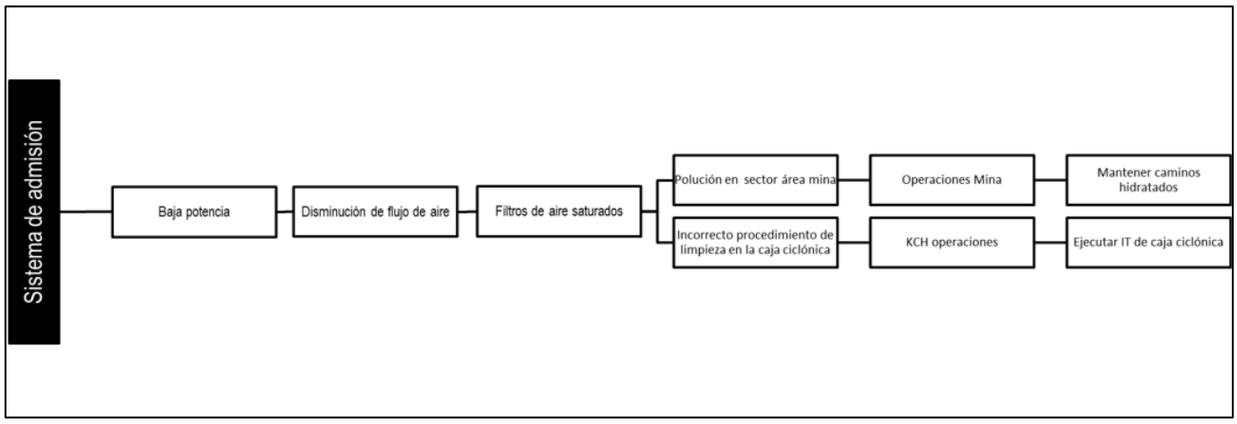
Figura N° 2 - 3 FTA de alto blow by

Este análisis nos muestra 2 modos de falla los cuales son las principales hipótesis para las el síntoma alta presión de blow by. Este FTA se depuro en términos de frecuencia de falla, para poder reducir la cantidad de planes de acción y además se realizó una matriz Esfuerzo- Impacto con el mismo objetivo de no perder el foco en planes de acción que no aporten a disminuir la ocurrencia de estas fallas. Esta técnica para reducir la cantidad de planes de acción nos permite administrar solo 8 planes de acción, lo cual favorece en la administración y control de los planes señalados.

2.2.5 Baja presión de admisión

Una baja presión de admisión es un síntoma en el cual el motor no tiene el aire necesario para la correcta combustión de la cámara. Esta falta de aire puede ser provocado por varios factores entre los cuales el más común en la flota que trabajan en minera los pelambres es la saturación de los filtros de aire. Esta Saturación prolongada puede tener consecuencias nefastas para el motor, es por tal motivo que se abordara de igual forma con la metodología de análisis causa raíz la cual se muestra a continuación.

2.2.6 Análisis causa raíz baja presión de admisión



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2 - 4 FTA sistema de admisión

2.2.7 Resumen de planes de acción

Una vez finalizado las sesiones en donde se busca llegar a la causa raíz de las distintas hipótesis para los 3 subsistemas críticos de los motores diésel, es necesario depurar los planes de acción para poder administrar una cantidad razonable de los mismos. El primer filtro es la tasa de incidencia del modo de falla en faena, dado esta depuración quedan un total de 39 planes de acción, posterior a ello se prioriza

nuevamente para tener las contramedidas principales las cuales buscan eliminar o minimizar las causas raíces. Estas últimas se priorización según matriz de esfuerzo e impacto. Las distintas contramedidas se muestran en la siguiente tabla.

ID	Contramedida (impacto directo a causa de falla)	Área responsable	Área de impacto	Fecha de cierre	Estado	Avance
CM1	Asegurar la aplicación del protocolo de instalación de culata en la faena	Soporte DCC	Faena	06-12-2021	En proceso	15%
CM2	Realizar auditoria interna en proceso de instalación de culata. (Procedimiento y brazo robótico) MRC	Soporte DCC	Faena	06-12-2021	En proceso	20%
CM3	Realizar auditoria interna a manipulación de componentes (pernos)	Soporte DCC	Faena	06-12-2021	En proceso	5%
CM4	Asegurar calidad de MTTO de las Cajas Ciclónica	Operaciones KCH	Faena	06-12-2021	En proceso	25%
CM5	Eliminar del Pool de componentes Blocks con mas de 60.000 horas de operación	Planificación Nac. DCC	Faena	30-11-2021	En proceso	10%
CM6	Asegurar aplicación de ultrasonido durante la pauta de 1.000 horas para el sistema de admisión.	Operaciones DCC	Faena	06-12-2021	En proceso	15%
CM7	Inspección técnica cada 250 horas enfocada en condición de motor Diesel.	Operaciones DCC	Faena	06-12-2021	En proceso	5%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 2 - 1 Resumen de contramedidas

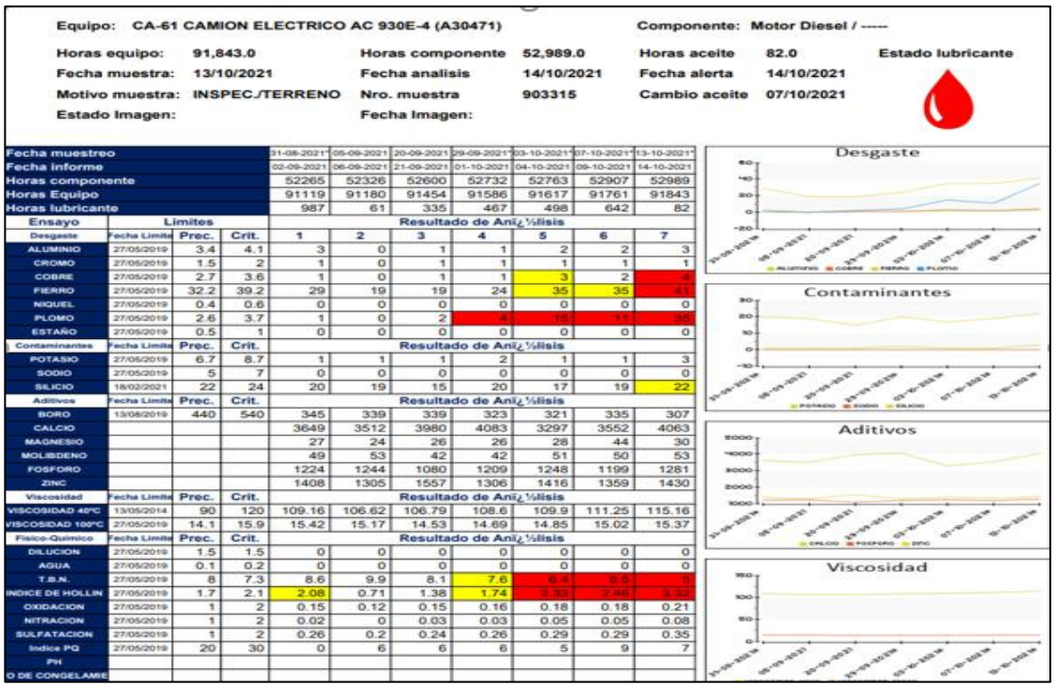
2.3 PROPUESTA DE PLANES DE ACCION PARA DESGASTE INTERNO

2.3.1 Análisis de aceite motores diésel.

Los análisis tribológicos de la flota de motores diésel buscan evidenciar oportunamente condiciones de desgaste anormales y o contaminación externa en los motores diésel, para el caso particular del contrato KCH -MLP se cuenta con una estrategia de toma de muestras de aceite motor cada 250 hrs para los motores que no tienen condición y con una frecuencia de 125 hrs para los motores que tienen alguna condición.

Estas distintas estrategias en la frecuencia de muestreo buscan controlar y administrar el riesgo constantemente de las distintas curvas de desgaste y con esto poder programar de manera anticipada evaluaciones y/o reparaciones oportunas que eviten fallas catastróficas de los motores. Con esto se consigue bajar la indisponibilidad por imprevistos y aumentar el porcentaje de horas programadas que como se visualizó en el capítulo anterior debe ser 60% programado y 40% imprevisto.

Para tal efecto se cuenta con laboratorio dentro de faena el cual proporciona oportunamente los análisis de los distintos activos que se encuentran trabajando en minera los pelambres.



Equipo: CA-61 CAMION ELECTRICO AC 930E-4 (A30471) — Componente: Motor Diesel / -----

Horas equipo: 91,843.0 — Horas componente 52,989.0 — Horas aceite 82.0 — Estado lubricante

Fecha muestra: 13/10/2021 — Fecha analisis 14/10/2021 — Fecha alerta 14/10/2021

Motivo muestra: INSPEC./TERRENO — Nro. muestra 903315 — Cambio aceite 07/10/2021

Estado Imagen: — Fecha Imagen:

Fecha muestreo				21-08-2021*	05-09-2021	20-09-2021	29-09-2021*	03-10-2021*	07-10-2021*	13-10-2021*
Fecha informe				02-09-2021	06-09-2021	21-09-2021	01-10-2021	04-10-2021	09-10-2021	14-10-2021
Horas componente				52265	52326	52600	52732	52763	52907	52989
Horas Equipo				91119	91180	91454	91586	91617	91761	91843
Horas lubricante				987	61	335	467	498	642	82
Ensayo	Limites			Resultado de Anï¿½lisis						
Desgaste	Fecha Limite	Prec.	Crit.	1	2	3	4	5	6	7
ALUMINIO	27/05/2019	3.4	4.1	3	0	1	1	2	2	3
CROMO	27/05/2019	1.5	2	1	0	1	1	1	1	1
COBRE	27/05/2019	2.7	3.6	1	0	1	1	3	2	4
FIERRO	27/05/2019	32.2	39.2	29	19	19	24	35	35	41
NIQUEL	27/05/2019	0.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0
PLOMO	27/05/2019	2.6	3.7	1	0	2	6	10	11	16
ESTAÑO	27/05/2019	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
Contaminantes	Fecha Limite	Prec.	Crit.	Resultado de Anï¿½lisis						
POTASIO	27/05/2019	6.7	8.7	1	1	1	2	1	1	3
SODIO	27/05/2019	5	7	0	0	0	0	0	0	0
SILICIO	18/02/2021	22	24	20	19	15	20	17	19	22
Aditivos	Fecha Limite	Prec.	Crit.	Resultado de Anï¿½lisis						
BORO	13/08/2019	440	540	345	339	339	323	321	335	307
CALCIO				3649	3512	3980	4083	3297	3552	4063
MAGNESIO				27	24	26	26	28	44	30
MOLIBDENO				49	53	42	42	51	50	53
FOSFORO				1224	1244	1080	1209	1248	1199	1281
ZINC				1408	1305	1557	1306	1416	1359	1430
Viscosidad	Fecha Limite	Prec.	Crit.	Resultado de Anï¿½lisis						
VISCOSIDAD 40°C	13/05/2014	90	120	109.16	106.62	106.79	108.6	109.9	111.25	115.16
VISCOSIDAD 100°C	27/05/2019	14.1	15.9	15.42	15.17	14.53	14.69	14.85	15.02	15.37
Fisico-Quimico	Fecha Limite	Prec.	Crit.	Resultado de Anï¿½lisis						
DILUCION	27/05/2019	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0
AGUA	27/05/2019	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0
T.B.N.	27/05/2019	8	7.3	8.6	9.9	8.1	7.6	6.4	6.5	8
INDICE DE HOLLIN	27/05/2019	1.7	2.1	2.08	0.71	1.38	1.74	2.33	2.46	3.32
OXIDACION	27/05/2019	1	2	0.15	0.12	0.15	0.16	0.18	0.18	0.21
NITRACION	27/05/2019	1	2	0.02	0	0.03	0.03	0.05	0.05	0.08
SULFATACION	27/05/2019	1	2	0.26	0.2	0.24	0.26	0.29	0.29	0.35
Indice PQ	27/05/2019	20	30	0	6	6	6	5	9	7
PH										
O DE CONGELAME										

Fuente: Elaboración propia

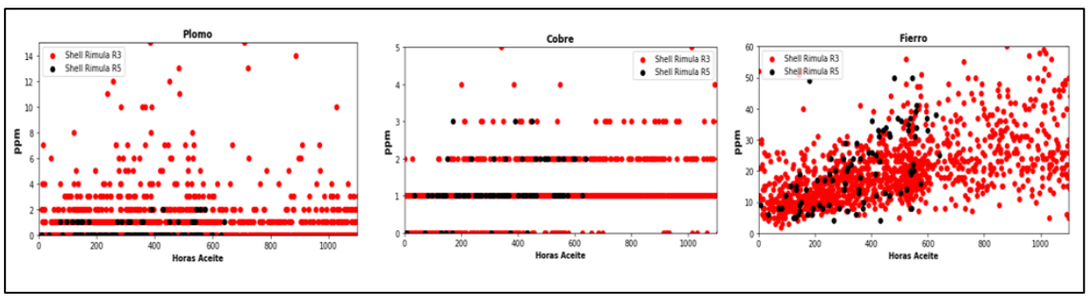
Figura N° 2 - 5 Informe tribológico Sistema SCAA

2.3.2 Comportamiento del aceite Shell Rimula R3.

El aceite multigrado del proveedor Shell, es recomendado para la mayoría de motores que se encuentran en equipos de construcción y minería, de acuerdo a lo señalado por la ficha técnica del fabricante.

Contractualmente se cuenta con un estándar de lubricantes solicitados por el fabricante de motores dieses DCC, con el fin de asegurar el performance adecuado del motor, Estos estándares se encuentran detallados en el contrato KCH-MLP el cual menciona explícitamente que los aceites utilizados en los motores de alta potencia deben ser multigrado y de alta calidad y además cumplir las distintas normas como “CES 20077” CH-4/SJ ACEA Etc.

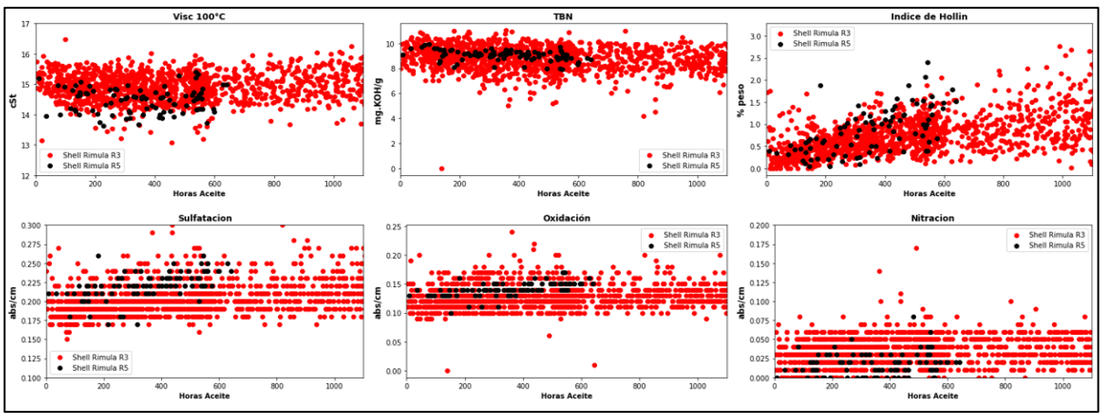
La frecuencia de cambio de aceite de los motores diésel actualmente es a intervalos de 1000 [hrs] con válvula centinel conectada (sistema que ayuda a renovar aceite constantemente en el Carter del motor), Debido al aumento de alertas con elementos de desgaste, se realiza un estudio de degradación del aceite y de velocidad de desgaste de los elementos internos del motor como son el fierro, plomo y cobre, del estudio señalado, se obtuvieron los siguientes resultados.



Fuente: Departamento de confiabilidad DCC

Figura N° 2 - 6 tasa de desgaste

En base al cálculo de velocidad y tasa de desgaste se evidencia un aumento significativo en las concentraciones de fierro llegando a generar alertas criticas antes de las 500 [hrs] de operación para el lubricante Shell Rimula 15W40.



Fuente: Departamento de confiabilidad DCC

Figura N° 2 - 7 Salud de aceite R3 vs R5

En relación a los parámetros físicos y químicos estos presentan un comportamiento inestable conforme a las horas de operación, concentrando sus alertas a las 800 [hrs] de operación, esto debido a una degradación normal de carga alcalina y del paquete de aditivos que generan una aceleración en el proceso normal de desgaste. La acides del lubricante y la acción de los ácidos generados por la combustión no permiten llevar el aceite a intervalos de cambio de 1000 [hrs], ya que se produce contacto abrasivo entre sus partes móviles.

En consecuencia, a lo anteriormente señalado se requiere cambiar de lubricante a uno de categoría superior en donde el paquete de aditivos se mantenga y asegure sus cualidades a lo menos a las 500 [hrs], el aceite de categoría superior al R3 es el aceite semisintético R5, para decidir por el cambio se deben realizar pruebas de campo que permitan evaluar en el tiempo el comportamiento del lubricante con el objetivo de disminuir la tasa de desgaste que hoy día tiene la flota, o bajar la frecuencia de cambio del

aceite que actualmente se utiliza a un intervalo de 500 [hrs] controlando el proceso de muestreo cada 125 [hrs]. Este impacto económico será analizado posteriormente en capitulo número 3.

2.3.3 Plan "task forcé".

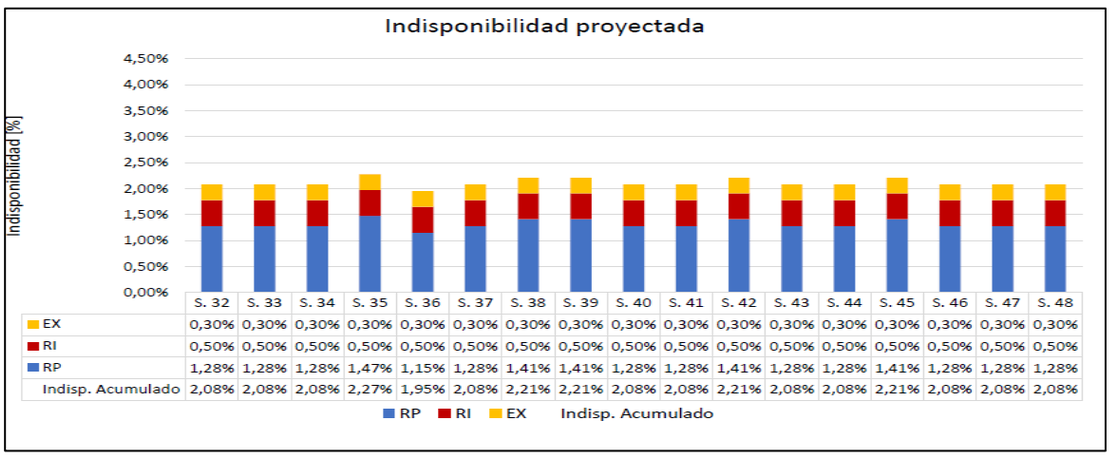
Dada la indisponibilidad imprevista causada por lo motores diésel y entendiendo que los planes de acción de los análisis de causa raíz realizado a los tres sistemas más críticos no serán inmediatos, se debe ejecutar un plan de choque para revertir la indisponibilidad por imprevistos (5% último mes), corrigiendo la condiciones que serán levantadas y programadas en los distintos planes de mantenimiento semanales. Para tal efecto se realiza un levantamiento y actualización de condiciones los cuales se muestran en la siguiente tabla.

N°	Equipo	Horómetro	Fecha	Condición	Plan de acción	Programa
1	91	15.908	12-07-2021	Fuga de refrigerante externa	Reparar de fuga de refrigerante entre culatas 3 y 4 R	W32
			19-04-2021	Fuga de refrigerante externa	Cambio empaquetadura de cualta 8R (Evaluar criticidad, OP)	W32
			22-06-2021	Tendencia Blowby	Evaluación preliminar por alto blowby, sensor y caja respieradero más amngueras (OP)	W32
2	87	21.866	01-07-2021	SCAA_(Pb)	Evaluación metal de biela N° 5R/5L	W32
3	60	5.662	09-07-2021	Fuga de refrigerante externa	Reparar fuga de refrigerante culata 7R	W32
4	52	12.137	22-06-2021	Tendencia Blowby	Evaluación preliminar por alto blowby	W33
			11-07-2021	Fuga de Aceite	Cambio empaquetadura de eliminator	
5	83	8.088	08-07-2021	Fuga gases de escape	Reparar fuga de escape 1R, pernos cortados.	W33
					Reparar fuga de escape 5R, sin pernos superiores	
					Reparar fuga de escape 2L, pernos sueltos.	
					Reparar fuga de escape 3L, pernos sueltos	
					Reparar fuga de escape 7L, 1 perno cortado	
			09-06-2021	Baja presión admisión	Evaluación por baja presión de admisión y diferencial banco derecho	
6	94	14.299	22-06-2021	SCAA_(Pb)	Revisión y cambio de metales de bancada	
				Tendencia Blowby	Evaluación por alto blowby	
			11-07-2021	Fuga de refrigerante externa	Reparar fuga de refrigerante entre culata 6R-7R	
7	82	12.308	14-01-2021	Alto Blow-by	Cambio de UF 7R	
			30-04-2021	Tendencia por muestra de aceite	Revisión y cambio de metales de bancada	
			07-06-2021	Corta fuego dañado	Cambio camisa 5L	
9	92	9.867	05-05-2021	Tendencia Blowby	Evaluación por alto blowby	
			06-06-2021	Fuga de refrigerante externa	Reparación de perno con inserto, culata 1R	
10	81	16.150	06-08-2021	Fuga de refrigerante externa	Reparar fuga de aceite y refrigerante 1R	
10	61	10.949	12-07-2021	Perno escape faltante	Realizar cambio de empaquetadura de escape por culata 3L	
					Realizar cambio de empaquetadura de escape por culata 5R	
11	58	11.677	28-06-2021	Fuga de refrigerante externa	Reparar fuga de refrigerante por culata 5R	
12	89	9.258	19-04-2021	Tendencia Blowby	Evaluación por alto blowby	
13	86	13.536	22-06-2021	Tendencia Blowby	Evaluación por alto blowby	
14	68	14.319	11-07-2021	Fuga de refrigerante externa	Fuga de refrigerante leve entre culata 2L-3L	

Fuente: Departamento de confiabilidad DCC

Figura N° 2 - 8 Lista de backlogs críticos

La siguiente tabla muestra un control de la distintas síntomas y condiciones separadas por equipo para la constante revisión, priorización y programación semanal.



	S. 32	S. 33	S. 34	S. 35	S. 36	S. 37	S. 38	S. 39	S. 40	S. 41	S. 42	S. 43	S. 44	S. 45	S. 46	S. 47	S. 48
EX	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%
RI	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%
RP	1,28%	1,28%	1,28%	1,47%	1,15%	1,28%	1,41%	1,41%	1,28%	1,28%	1,41%	1,28%	1,28%	1,41%	1,28%	1,28%	1,28%
Indisp. Acumulado	2,08%	2,08%	2,08%	2,27%	1,95%	2,08%	2,21%	2,21%	2,08%	2,08%	2,21%	2,08%	2,08%	2,21%	2,08%	2,08%	2,08%

Fuente: Departamento de confiabilidad DCC

Gráfico N° 2 - 3 Proyección de indisponibilidad plan TASK FORCE

Como se señaló anteriormente se proyecta aumentar la dotación para tener las HH necesarias y así cubrir las reparaciones programadas, mantenciones programadas e imprevistos que puedan surgir en terreno. Este plan tendrá un control semanal de ejecución respecto a los backlogs ejecutados y/o reprogramados. Entendiendo que la prioridad de ejecución son las reparaciones programadas.

2.3.4 Matriz de priorización AHP para síntomas de motores diésel

Dentro del proceso de la gestión del mantenimiento, podemos señalar la importancia en las estrategias de programación y reparación de los fallos potenciales que hoy día tienen lo motores de la flota de transporte. Es por ello que se realizara un proceso de análisis jerárquico enfocado a los síntomas presentes en la flota, con el fin de aumentar el asertividad en la programación de las reparaciones.

Este método basado en la evaluación de diferentes criterios se trabajará en conjunto con un equipo multidisciplinario de expertos en motores diésel en donde se llevarán las evaluaciones cualitativas a un escenario cuantitativo con la comprobación de la consistencia de la matriz de comparación.

Como primera etapa se proponen los distintos criterios que serán parte de la matriz de comparación, los cuales serán comparados entre si con un patrón de evaluación como es la “tabla de valorización de juicios “para el caso de este trabajo se utilizaron 4 criterios que son:

- Tasa de falla
- Impacto en el motor
- Tiempo de reparación
- Costos de reparación.

	TASA DE FALLA	IMPACTO EN MOTOR	TIEMPO DE REPARACION	COSTO DE REPARACIÓN	suma pond	W (peso)
TASA DE FALLA	1,00	0,20	0,17	0,33	0,32	0,06
IMPACTO EN MOTOR	5,00	1,00	0,25	4,00	1,50	0,26
TIEMPO DE REPARACION	6,00	4,00	1,00	4,50	3,22	0,57
COSTO DE REPARACIÓN	3,00	0,25	0,22	1,00	0,64	0,11

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 2 - 2 Matriz de comparación de pares

Con estos criterios se consigue tener una mirada global de las decisiones de programación que se realizarán en los motores diésel. Estos criterios serán considerados aceptables si la ratio de consistencia es menor a un 10% en donde se evalúan las siguientes variables. Donde λ máx. viene dado del algebra de matrices, en donde se pueden comparar los criterios a través de vectores que están insertos en la matriz.

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{4.28-4}{4-1} = 0.0933$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Prueba de consistencia	
Lamda (λ)max	4,28
CI	0,093333333
RI	0,9
CR	10%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 2 - 3 Prueba de consistencia

La prueba de consistencia a partir de la comprobación de la matriz de pares en conjunto con la matriz de identidad nos da un valor de 4.28. con este resultado podemos hablar de una jerarquización de los síntomas de motores diésel consistente y comprobada matemáticamente, la cual se muestra en la siguiente tabla.

SINTOMA	W1	W2	W3	W4	SELECCIÓN
ALERTA DE ALTA PRESION DE BLOW BY	0,002955155	0,016143678	0,009994412	0,050425593	7,952%
TENDENCIA AL ALZA DE BLOW BY	0,003940206	0,011300575	0,009994412	0,050425593	7,566%
VIRUTA EN TAPON MAGNETICO	0,000985052	0,016143678	0,007495809	0,037819194	6,244%
FUGA DE ACEITE DE ELIMINATOR	0,001970103	0,011300575	0,007495809	0,037819194	5,859%
FUGA REFRIGERANTE CULATA ALTO	0,003940206	0,016143678	0,004997206	0,025212796	5,029%
TENDENCIA DE SILICIO EN AAU	0,001970103	0,016143678	0,004997206	0,025212796	4,832%
FUGA ACEITE CULATA ALTO	0,001970103	0,016143678	0,004997206	0,025212796	4,832%
FUGA REFRIGERANTE CULATA MEDIO	0,003940206	0,011300575	0,004997206	0,025212796	4,545%
FUGA ACEITE CULATA MEDIO	0,001970103	0,011300575	0,004997206	0,025212796	4,348%
FUGA REFRIGERANTE CULATA BANCO LBR (5-8)	0,001970103	0,011300575	0,004997206	0,025212796	4,348%
TENDENCIA DE PLOMO EN AAU	0,001970103	0,011300575	0,004997206	0,025212796	4,348%
FUGA ACEITE CULATA BANCO LBR (5-8)	0,000985052	0,011300575	0,004997206	0,025212796	4,250%
FUGA REFRIGERANTE CULATA LEVE	0,003940206	0,006457471	0,004997206	0,025212796	4,061%
BAJO O ALTO PODER DE UF	0,002955155	0,006457471	0,004997206	0,025212796	3,962%
FUGA ACEITE CULATA LEVE	0,001970103	0,006457471	0,004997206	0,025212796	3,864%
FUGA DE ESCAPES	0,000985052	0,006457471	0,004997206	0,025212796	3,765%
BAJA PRESION DE ADMISION (VERANO)	0,003940206	0,016143678	0,002498603	0,012606398	3,519%
BAJA PRESION DE ADMISION (INVIERNO)	0,000985052	0,016143678	0,002498603	0,012606398	3,223%
FUGA DE ACEITE FLEXIBLE TURBO COMPRESOR	0,000985052	0,016143678	0,002498603	0,012606398	3,223%
BAJA PRESION DE COMBUSTIBLE	0,003940206	0,011300575	0,002498603	0,012606398	3,035%
ALTO DIFERENCIAL DE ACEITE	0,001970103	0,011300575	0,002498603	0,012606398	2,838%
FALLA SENSOR DE BLOWBY	0,003940206	0,003228736	0,002498603	0,012606398	2,227%
FUGA REFRIGERANTE FLEXIBLE TURBO COMPRESOR	0,002955155	0,003228736	0,002498603	0,012606398	2,129%

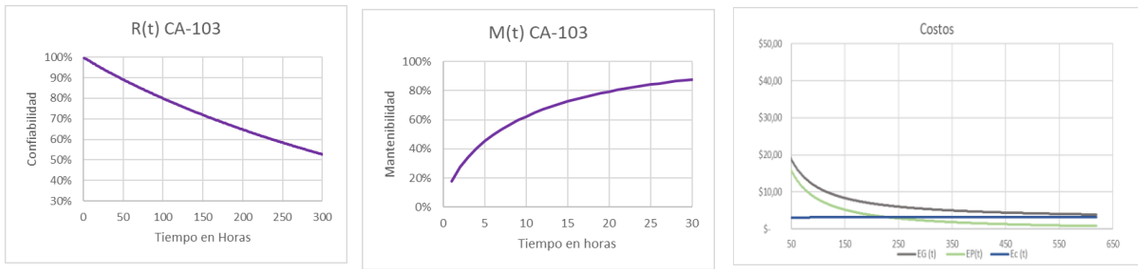
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 2 - 4 Ranking de priorización

2.3.5 Modelamiento de optimización de mantenimiento

Otro punto importante en la gestión de mantenimiento es poder garantizar la continuidad operacional de los motores y esto se consigue disminuyendo la probabilidad de fallos imprevistos. Una arista no menor es actualizar constantemente las distintas condiciones que presentan un porcentaje de motores de la flota, es por ello que se necesita evaluar una frecuencia de inspección para el monitoreo del comportamiento de las condiciones que no captura el monitoreo en línea o la tendencia de resultados tribológicos. Para ello se realizó un análisis de la data de detenciones programadas e imprevistas a una muestra de 6 motores para evidenciar de forma gráfica la posición en su ciclo de vida a través de las distribuciones de Weibull. Con este análisis se pretende justificar una disminución en la frecuencia de mantenimiento a estos motores.

MOTOR 103						
Tiempo	R(t)	Ai	Costo Anual		Tiempo	M(t)
125 [horas]	75,80%	90,83%	$	70.526	5[hrs]	45%
250 [horas]	58,44%	93,61%	$	44.660	8[hrs]	57%
500 [horas]	35,29%	95,05%	$	31.385	10[hrs]	62%



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2 - 4 Gráficos confiabilidad, mantenibilidad

En el caso particular del motor del camión N°103 y además en la gran mayoría de los equipos analizados, se visualiza una confiabilidad de menos de 50% a las 500 [hrs] lo que es bastante bajo entendiendo que la frecuencia de mantenimiento para todas sus pautas es cada 500[hrs]. Por otra parte, la mantenibilidad de los motores es bastante elevado básicamente por la extensa duración en el desarme y corrección de los distintos desperfectos de estos componentes (culatas, unidades de fuerza).

En términos de costos se da el caso que se puede llegar a intervalos de mantenimiento con mayor frecuencia, sin embargo, para la decisión final de la propuesta se deben evaluar tanto como la disponibilidad ofrecida, la confiabilidad, mantenibilidad y costos. La propuesta para la frecuencia de mantenimiento de estos motores que ese encuentran en una condición crítica, es ejecutar una pauta de mantenimiento diferenciada y el monitoreo de las variables de performance de motor con intervalos de 500[hrs], en donde se asegure una evaluación de seguimiento, enfocada en actualizar condiciones. Esta inspección debe ser ejecutada por un ente experto como es el cargo de asesor técnico de motores diésel que se encuentra en faena. Con esta nueva frecuencia de mantenimiento se proyecta elevar la disponibilidad física del motor y además aumentar la exactitud de los motores que entraran a reparaciones programadas, con el fin de disminuir la indisponibilidad imprevista que hoy día es el mayor problema del contrato.

CAPITULO 3: EVALAUCIÓN DE PROPUESTAS

3.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

3.1.1 Evaluación de costos planes de acción RCA

Para la evaluación de impacto económico de los planes de acción correspondientes al análisis causa raíz detallado en el capítulo dos, es importante señalar que se debe contar con al menos cuatro meses posteriores a la finalización de los planes de acción para medir entre otras variables, si los modos de falla han disminuido o se aprecia una tendencia a la baja y así poder medir el potencial retorno económico dado por la recuperación de disponibilidad del sistema motor.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, se evaluarán los planes de acción que tienen directa relación con faena, ya que existe un plan de acción que tienen alcances con toma de decisiones de índole gerencial y transversal a la compañía (Eliminar del pool de componentes los blocks con más de 60.000 [hrs], es por ello que se consideraran los costos de mano asociados a mano de obra y la potencial perdida por indisponibilidad.

Estos costos por mano de obra serán evaluados por cada una de las contramedidas propuestas en el capítulo número dos, tomando en cuenta básicamente el valor de las HH de los cargos que ejecutarán las distintas contramedidas.

CONTRAMEDIDA	DESCRIPCION	COSTO
CM1	Asegurar la aplicación del protocolo de instalación de culata en la faena	USD 900
CM2	Realizar auditoria interna en proceso de instalación de culata taller MRC	USD 1.200
CM3	Realizar auditoria interna a manipulación de pernos	USD 270
CM4	Asegurar calidad de mantenimiento a cajas ciclónicas	USD 11.500
CM5	Eliminar del Poll de componentes los blocks con mas de 60000 [hrs]	USD 0
CM6	Inspección técnica cada 250 [hrs] enfocadas a condición de motores.	USD 3.200
		USD 17.070

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 1 Costos totales planes de acción RCA

Se observa en la tabla N° 3-8 que hace referencia a los costos de cada uno de los planes de acción, que el costo total de implementación de todos los planes asciende a USD 17.070, siendo la contramedida referente a asegurar la calidad del mantenimiento a las cajas ciclónicas la de mayor costo básicamente por la adquisición de activos como son aspiradoras, ductos flexibles de largo alcance y cepillos para limpiar los ductos capilares.

EVALUACION DE CAMBIO DE FRECUENCIA Y TIPO DE ACEITE

3.2.1 Evaluación de Costos aceite R3 vs R5

En relación a lo planteado en el capítulo 2, respecto a bajar los intervalos de cambio de aceite R3 o cambiar el aceite suministrado a la flota a uno de categoría mayor como es el R5 con el fin de evitar la degradación del aceite y, en consecuencia, disminuir el desgaste interno del motor, se evaluarán los impactos en términos de costos e indisponibilidad.

Bajar el intervalo de cambio de aceite a 500 [hrs] no aumenta las horas fuera de servicio programadas principalmente por la estrategia de mantenimiento actual de la flota de transporte, el cual contempla intervalos de mantenimiento cada 500 horas para todos sus ciclos (500 hrs, 1000 hrs, 2500 hrs y 5000 hrs), por lo tanto, esta disminución en la frecuencia no será perjudicial en lo que respecta a indisponibilidad por detenciones programadas. Sin embargo, se analizará el impacto en términos de rellenos programados que se ejecutan en terreno.

A continuación, se presentan los datos generales que se para los cálculos de costos e indisponibilidad.

Descripcion	Cantidad	Unidad
Cantidad de Camiones	56	[unidad]
Capacidad del carter de Motor	290	[lts]
Capacidad del tanque auxiliar	140	[lts]
Capacidad Total de Equipo	430	[lts]
Horas fuera de Servicio por relleno	0,33	[hrs/ equipo]
Horas nominales mensual	40320	[hrs]
Costo Hora fuera de servicio	703	[USD/mes]

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 2 Datos generales de capacidad equipo 930 E

EL escenario actual respecto al abastecimiento de aceite para la flota de transporte es el aceite R3, el cual tiene una frecuencia de cambio cada 1000 [hrs].

Es preciso señalar que el costo de indisponibilidad no depende de una sola variable ya que, para esta potencial perdida afectan directamente si operaciones mina deja de trasportar mineral en las horas fuera de servicio, si la configuración y disposición de la flota de transporte para el movimiento de mineral queda estática al momento de tener equipos fuera de servicio, la flexibilidad de los planes de movimiento de mineral entre otros. Sin embargo, se cuenta con un costo que es informado a la gerencia de

mantenimiento, para poder evaluar si en términos globales los planes tendrán un posible retorno económico.

Aceite Rimula R3 cada 1000 hrs v/v centinel conectada		
Descripcion	Cantidad	Unidad
Frecuencia de cambio aceite	1000	[hrs]
Consumo Aceite R3	1,3	[lts/ hr]
Consumo Aceite Mensual	865	[lts/mes]
Numero de rellenos mensual	7,0	[rellenos/mes]
Costo Aceite R3	1,81	[USD / lt]
1-A Flota por relleno	0,32%	[%/mes]
Costo mensual por consumo de aceite	$ 87.676	[USD/mes]
Perdida por indisponibilidad	$ 91.821	[USD/mes]

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 3 Costos generales para aceite R3 1000 hrs

En la tabla N° 3-2 se observan que los costos nominales por consumos de aceite para el aceite R3 ascienden a un total de 87.676 USD para los 56 motores de la flota de transporte y en términos de potenciales pérdidas por indisponibilidad ascienden a 91.821 USD, considerando una pérdida anual de 3.400.000 USD por cada punto porcentual de indisponibilidad.

La primera alternativa planteada en capitulo N° 2 fue bajar la frecuencia de aceite a intervalos de 500[hrs], para lo cual se obtienen los siguientes resultados.

Aceite Rimula R3 cada 500 hrs v/v centinel conectada		
Descripcion	Cantidad	Unidad
Frecuencia de cambio aceite	500	[hrs]
Consumo Aceite R3	1,3	[lts/ hr]
Consumo Aceite Mensual	1080	[lts/mes]
Numero de rellenos mensual	7,0	[rellenos/mes]
Costo Aceite R3	1,81	[USD / lt]
1-A Flota por relleno	0,32%	[%/mes]
Costo mensual por consumo de aceite	$ 109.469	[USD/mes]
Perdida por indisponibilidad	$ 91.821	[USD/mes]

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 4 Costos generales para aceite R3 500 hrs

En la tabla N° 3-3 relacionada con los costos generales para aceite R3 a 500 [hrs], se puede observar que el costo mensual por conceptos de consumo de aceite aumenta a 109.469 USD equivalente a un 19.9 % respecto a los costos anteriores. En términos de perdidas por indisponibilidad, se obtienen los mismos costos ya que las cantidades de detenciones para rellenar son las mismas que la estrategia de cambio a las 1000 [hrs].

La segunda alternativa planteada en el capítulo N° 2 fue cambiar el tipo de aceite a uno de mejor categoría como lo es el aceite semisintético R5, para lo cual se desarrolló el siguiente análisis de costos.

Aceite Rimula R5 cada 500 hrs v/v centinel desconectada		
Descripcion	Cantidad	Unidad
Frecuencia de cambio aceite	500	[hrs]
Consumo Aceite R5	0,5	[lts/ hr]
Consumo Aceite Mensual	680	[lts/mes]
Numero de rellenos mensual	3,0	[rellenos/mes]
Costo Aceite R5	3,6	[USD / lt]
1-A Flota por relleno	0,14%	[%/mes]
Costo mensual por consumo de aceite	$ 137.088	[USD/mes]
Perdida por indisponibilidad	$ 39.352	[USD/mes]

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 5 Costos generales para aceite R5 a 500 hrs

En la tabla N° 3-4 de costos generales para aceite R5 a 500 hrs, se puede observar que el costo mensual por conceptos de consumo de aceite aumenta a 137.088 USD equivalente a un 36.0 % respecto a los costos asociados con el aceite R3 a 1000 [hrs]. Esto se entiende principalmente porque este tipo de aceite tiene un mayor valor. En términos de perdidas por indisponibilidad, estas disminuyen a un valor de 39.352 USD ya que las detenciones por relleno disminuyen a solo 3 rellenos por mes dado por la desconexión de la válvula centinel en esta alternativa.

En términos generales y para demostrar los beneficios de cambio de estrategia y tipo de aceite motor para la flota de transporte, se muestra la tabla N° 3-5, el cuadro comparativo en donde se expone un consolidado de los resultados obtenidos.

CUADRO COMPARATIVO					
Tipo de Aceite	Frecuencia[hrs]	1-A [mensual]	Costo Aceite	Costo po 1-A	Costo total
R3	1000	0,32%	$ 87.676	$ 91.821	$ 179.497
R3	500	0,32%	$ 109.469	$ 91.821	$ 201.290
R5	500	0,14%	$ 137.088	$ 39.352	$ 176.440

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 6 Tabla resumen de costos vs tipo de aceite

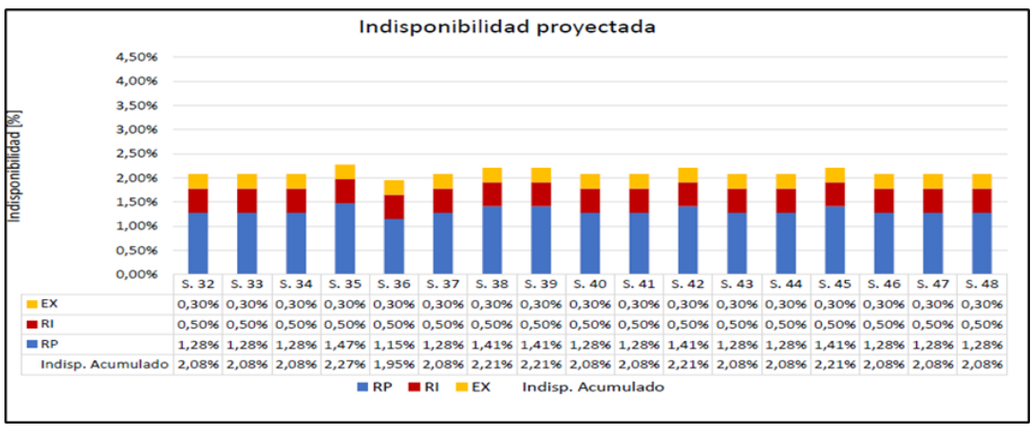
Se desprende de la tabla N° 3-5 que en términos globales el costo de suministro de aceite más conveniente es la alternativa del aceite tipo R5 con intervalos de cambio cada 500 hrs y con la válvula centinel desconectada.

Es preciso señalar que la gerencia de mantenimiento tiene directa relación con los costos de consumo de aceite los cuales están considerados en los OPEX anuales. Por otra parte, la gerencia mina se ve afectada directamente con las potenciales perdidas por indisponibilidad de la flota de trasporte. Por lo tanto, la decisión final de la estrategia de frecuencia de cambio y tipo de aceite que se suministrara a la flota de transporte debe ser consensuada por ambas partes.

3.2 EVALUACION DE PLAN TASK FORCE

3.2.1 Evaluación de Costos plan “task force”

Este plan tiene como objetivo disminuir de manera significativa la alta cantidad de condiciones que está presente en los motores de la flota de transporte, y que hoy día son un potencial de detención imprevista, de esta manera se busca disminuir de manera paulatina la indisponibilidad por fallos imprevistos. Se debe evaluar los recursos que conllevan implementar este plan en términos de costos de repuestos, aumento en la dotación y el retorno que se podría obtener si se disminuye la indisponibilidad correspondiente al sistema motor diésel.



	S. 32	S. 33	S. 34	S. 35	S. 36	S. 37	S. 38	S. 39	S. 40	S. 41	S. 42	S. 43	S. 44	S. 45	S. 46	S. 47	S. 48
EX	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%
RI	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%
RP	1,28%	1,28%	1,28%	1,47%	1,15%	1,28%	1,41%	1,41%	1,28%	1,28%	1,41%	1,28%	1,28%	1,41%	1,28%	1,28%	1,28%
Indisp. Acumulado	2,08%	2,08%	2,08%	2,27%	1,95%	2,08%	2,21%	2,21%	2,08%	2,08%	2,21%	2,08%	2,08%	2,21%	2,08%	2,08%	2,08%

Fuente: Departamento de confiabilidad DCC

Gráfico N°3 - 1 Indisponibilidad proyectada motor diésel

La proyección de indisponibilidad para este plan contempla disminuir en al menos 1.5% puntos porcentuales la indisponibilidad física de motor a causa de fallos imprevistos,

por lo tanto, se evaluará el retorno del plan de “task force” en función de este diferencial de manera mensual.

Duración del plan	4	Meses
Costo HH hora	USD 40	Hora / técnico
N.º personal adicional	8	Técnicos
Costo aumento dotación	USD 106.624	USD / Mes
Costo de Repuestos	USD 57.658	USD / Mes
Costo total plan Task Force	USD 657.128	USD

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 7 Tabla de costos plan task force

Escenario proyectado	
Perdida anual 1% (1-A)	USD 3.400.000
Perdida mensual por 1% 1-A	USD 283.333
HN mensual	40320
1% (1-A) Horas mensual	403,2
Costo Hora FS	USD 703
Costo mensual Plan Task Force	USD 164.282
Meta minima indisponibilidad	1,5%
Horas FS maximas permitidas	605
Retorno Indisponibilidad	USD 425.000
Ganancia	USD 260.718

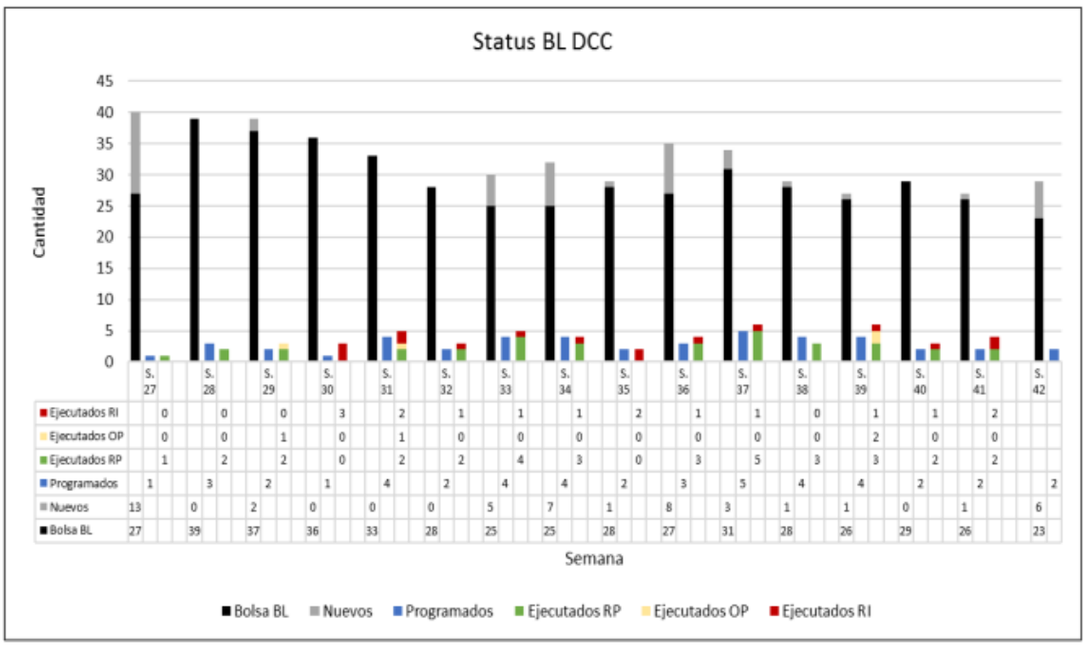
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 8 Retorno proyectado plan task Force

De acuerdo con los cálculos realizados respecto al posible retorno por disminuir la indisponibilidad en 1,5% mensual, se logra visualizar que habría una ganancia que haciende un valor de USD260.178 mensuales, esto equivale a un retorno sobre lo invertido de un 37%. Ahora es importante señalar que para que este plan tenga rentabilidad positiva se debe llegar a disminuir en a lo menos un 0.579% de indisponibilidad imprevista, es este porcentaje que el plan de task forcé se equipara con los costos de implementación en términos de mano de obra y repuestos.

3.2.2 Evaluación de disminución de backlogs plan “task force”

Una manera de poder medir la efectividad del plan de task force, es ver el cumplimiento del plan semanal de reparaciones programadas y además comparar cantidad de backlog iniciales considerados en el plan respecto a la actualidad.



Fuente: Elaboración departamento de confiabilidad DCC

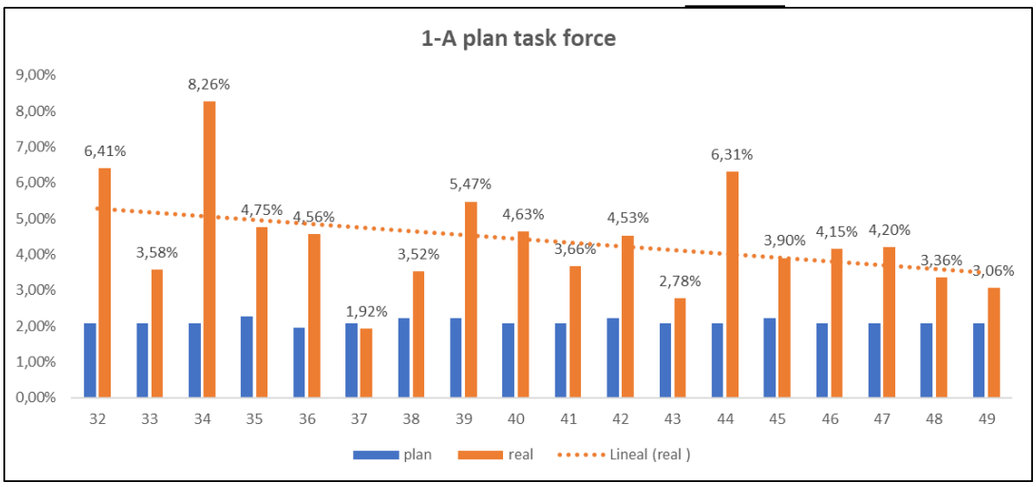
Gráfico N°3 - 2 estatus de cantidad de back logs

En grafico N°3-2 se observa el detalle del cumplimiento de ejecución de backlogs por reparaciones programadas y además se agregan los ejecutados de manera imprevista y por oportunidad, esto para poder contabilizar la disminución total de los backlogs críticos de la flota.

En términos generales se observa una disminución de un 43% respecto a la cantidad de backlog identificados al principio del plan, sin embargo, la aparición de nuevas condiciones detectadas en el transcurso del plan no permite eliminar por completo las condiciones en su totalidad. Dada esta situación se debe evaluar la extensión de equipo de task force.

3.2.3 Evaluación de indisponibilidad plan “task force”

A continuación, se analizará el comportamiento de la indisponibilidad fisca de motor para visualizar el impacto del plan de task force, es importante señalar que para obtener un retorno económico de este plan se debe bajar en a lo menos un 0.579% mensualmente.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3 - 3 Indisponibilidad móvil de motor

Se observa en el grafico N° 3-3 que la indisponibilidad promedio de los últimos tres meses antes del inicio del plan de task forcé tenía un valor de 4,57%, y la indisponibilidad promedio durante los 4 meses de ejecución del plan fue de 4,66%. Hay que evaluar el comportamiento post terminado el plan para visualizar como se comportó el plan respecto a bajar la indisponibilidad.

Realizando las primeras mediciones se observa un aumento de la disponibilidad física de motor de un 0.65%, lo que equivale a un retorno de USD 18.940. esto indica que en términos generales el plan fue efectivo y tuvo un retorno económico.

3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO

3.3.1 Evaluación de disminución de frecuencia de mantenimiento.

Para evaluar este plan, es importante precisar algunos criterios de programación de la flota de transporte, que son fundamentales para evaluar el costo del plan de disminución de la frecuencia de mantenimiento para los motores con alto potencial de fallos.

La cantidad de equipos presentes hoy en la flota de transporte (56) obligan a considerar en los programas semanales de mantenimiento con al menos 13 camiones, con eso se asegura que todos los equipos ingresen al menos una vez al mes a un mantenimiento preventivo.

Si se baja el intervalo de mantenimiento a 250 [hrs] a los equipos que tienen un fallo potencial en el sistema Motor diésel que para el caso estudio son 8 motores, estos deberán ingresar dos veces al mes a un mantenimiento preventivo y así cumplir con la frecuencia de mantención cada 250[hrs].

La pauta especial de mantenimiento de 250 [hrs] creada por el departamento de DCC para las inspecciones técnicas contempla una duración máxima de 6 horas para su completa ejecución, en donde se abordan los seguimientos críticos de los subsistemas de motor, por lo tanto, el impacto en indisponibilidad será reflejada en la siguiente tabla.

EVALUACION DE INDISPONIBILIDAD	
N° equipos	8
Horas MP 250	6
Horas FS mensual	96
Costo Hora FS	USD 703
Costo mensual total	USD 67.488

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 9 Costos de indisponibilidad

Se observa un costo potencial de USD 67.488 mensuales solo por el concepto estar indisponibles para operar y por consecuencia no aportar en el transporte de acuerdo a los planes de movimiento de mineral, a esto se suman los costos de HH que ascienden a USD 2.880 y de los posibles repuestos que serán utilizados en caso de encontrar alguna avería en estos 8 motores.

Para que este plan logre tener un beneficio económico o a lo menos se pueda equiparar con los costos anteriormente señalados, se debe proyectar una recuperación en la indisponibilidad de motor imprevisto de a lo menos 0.25% lo que equivale a 100.14 horas, con estas horas queda equiparado el costo de USD 70.368.

3.3.2 Evaluación general de costos.

De acuerdo a las distintas propuestas para mejorar la gestión de mantenimiento y entendiendo que cada una de ellas tiene un costo que básicamente la debe absorber la gerencia de mantenimiento mensualmente a través de sus presupuestos de OPEX (costos relacionados a la operación) se realizara una evaluación de cuanto se debiese aumentar la disponibilidad para que estos planes puedan sostenerse económicamente.

Plan	Costo
Cambio de frecuencia de aceite	USD 109.469
Plan de task force	USD 164.282
Plan de RCA	USD 17.070
Plan de disminución de frecuencia de mtto	USD 67.488
Total	USD 358.309

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3- 10 Evaluación de planes de acción

Se visualiza que el costo mensual de la implementación de cada uno de los planes asciende a un valor total de USD 358.309, para lo cual se debe aumentar la disponibilidad de motor en 1.26% para que estos planes sean un aporte al negocio y no se transformen en un costo que disminuya la rentabilidad del mandante MLP.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo planteado durante este trabajo, en donde se propuso mejoras a la gestión de mantenimiento a través de la aplicación de distintas de herramientas de ingeniería en confiabilidad, donde el objetivo a mediano largo plazo es asegurar la continuidad operacional de los equipos eliminando los causas raíces de los fallos imprevistos asociados al sistema críticos de los camiones KOMATSU , podemos señalar que cada una de las mejoras propuestas son técnicamente factibles y con un potencial retorno económico superior a los costos de implementación.

Para calcular la efectividad de los planes propuestos se debe medir la disminución de la cantidad de fallos imprevistos y en consecuencia la disminución de las horas fuera de servicio de los Motores diésel, en este caso se visualiza una tendencia a la baja de la indisponibilidad de motor lo que nos indica que el conjunto de medidas está causando efectos en el indicador de disponibilidad.

En términos económicos los costos totales de implementación de los distintos planes presentan un desafío para los ingenieros de gestión por los elevados costos que estos planes tienen mensualmente, sin embargo, estos debiesen verse equiparados con el aumento en la disponibilidad en al menos 1.26% y por consecuencia un aumento en el movimiento de mineral.

Por otra parte, para generar cambios de fondo a los procesos que están relacionados al sistema crítico como son los motores diésel y entendiendo que el mantenimiento lo realiza la empresa distribuidora de los motores DCC, se sugiere ejecutar una auditoria de gestión de mantenimiento a toda la cadena de suministro de motores y a la faena en particular, en donde se aborden cambios estructurales que aseguren el correcto funcionamiento organizacional y así asegurar el cumplimiento de las metas que proyectan en los presupuestos anuales.

BIBLIOGRAFIA

Biblioteca KCH. Reporte sustentabilidad KCC, 2020.

Contrato CS -326 LPP + Prorrata, KCH – MLP.

Curso introducción al Holding de la dirección de operaciones KCH.

Aplicación de técnica de proceso AHP, Carlos Parra.

ANEXOS

Tipos de contratos

Contrato Marc

Un contrato MARC es un contrato de mantenimiento y reparación (maintenance and repair contract), estos servicios nacen en la década de los 90, en respuesta a la necesidad de las compañías mineras, de entregar el mantenimiento de sus equipos a especialistas externos en esta materia, principalmente a los mismos proveedores de éstos. Los servicios R&M, cubren también actividades de: planificación, recambio y reparación de componentes, suministro y administración de repuestos y componentes, análisis de fallas, y control de costos. Komatsu Chile ha desarrollado herramientas propias para almacenar y procesar la información que generan las actividades del mantenimiento. Estas herramientas informáticas, son de gran apoyo al momento de generar los planes de mantenimiento y programas de monitoreo por condición.

Contratos LPP.

Un contrato LPP es un contrato de mano de obra especializada (labor plus parts) este tipo de contrato consideran un servicio tal que brinde mantenimiento integral a los equipos. Un punto importante por señalar de esta modalidad es que la compañía minera es dueña de los equipos y es responsable de la estrategia y gestión de mantenimiento de los equipos.

Detalle de costos análisis causa raíz

Asegurar la aplicación del protocolo de instalación de culata en la faena	Responsable	Tiempo [hrs]	Costo HH	Total
Redifusión de protocolo en faena	Asesor técnico	4	USD 30	USD 120
Revisión de herramientas en faena	Asesor técnico	2	USD 30	USD 60
Solicitar herramientas faltantes	Asesor técnico	2	USD 30	USD 60
Revisión de calibración de herramientas existentes	Asesor técnico	6	USD 30	USD 180
Revisión del procedimiento de cambio de culata en 5 etapas	Líder AT	12	USD 40	USD 480
			Total	**USD 900**

Realizar auditoria interna en proceso de instalación de culata taller MRC	Responsable	Tiempo [hrs]	Costo HH	Total
Redifusión de protocolo en taller MRC	Líder AT	4	USD 40	USD 160
Revisión de herramientas en taller MRC	Líder AT	6	USD 40	USD 240
Solicitar herramientas faltantes	Líder AT	2	USD 40	USD 80
Revisión de calibración de herramientas existentes	Líder AT	6	USD 40	USD 240
Revisión del procedimiento de cambio de culata en 5 etapas	Líder AT	12	USD 40	USD 480
			Total	**USD 1.200**

Realizar auditoria interna a manipulación de pernos	Responsable	Tiempo [hrs]	Costo HH	Total
Verificación de numero de parte en bodega	Asesor técnico	1	USD 30	USD 30
Redifusión de protocolo de reutilización de pernos	Asesor técnico	4	USD 30	USD 120
Revisión de procedimiento de instalación de pernos	Asesor técnico	4	USD 30	USD 120
			Total	**USD 270**

Asegurar calidad de mantenimiento a cajas ciclónicas	Responsable	Tiempo [hrs]	Costo HH	Total
Generar instructivo técnico con detalle de proceso de limpieza y herramientas	Jefe confiabilidad	4	USD 40	USD 160
Difundir instructivo técnico a línea operativa	Asesor técnico	2	USD 30	USD 60
adquisición de herramientas necesarias en faena	jefe planificación			USD 11.100
Revisión del proceso de limpieza	Asesor técnico	6	USD 30	USD 180
			Total	**USD 11.500**

Eliminar del Poll de componentes los blocks con mas de 60000 [hrs]	Responsable	Tiempo [hrs]	Costo HH	Total
Planificación y dar de baja block mayores a 60000 [hrs]	DCC Central			USD 0
			Total	**USD 0**

Inspección técnica cada 250 [hrs] enfocadas a condición de motores.	Responsable	Tiempo [hrs]	Costo	Total
Elaboración de pauta mejorada 250 [hrs]	Líder AT	8	USD 40	USD 320
Inspección técnica de asesor técnico	Asesor técnico	6	USD 30	USD 2.880
indisponibilidad aportada por detención programada	DCC	6		
			Total	**USD 3.200**
			COSTO TOTAL	**USD 17.070**

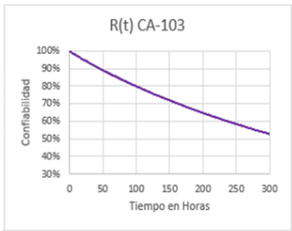
Fuente: Elaboración propia

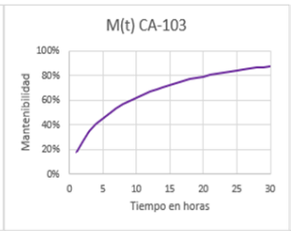
Anexos 1 Detalle de costos de planes de acción

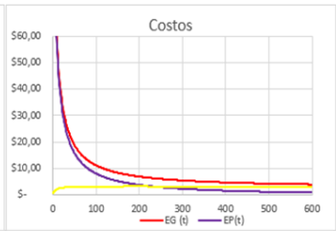
Curvas de modelo de optimización

MODELO DE OPTIMIZACION

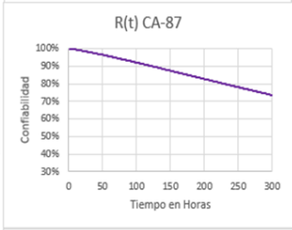
MOTOR 103					
Tiempo	R(t)	Ai	Costo Anual	Tiempo	M(t)
125 [horas]	75,80%	90,83%	$ 70.526	5[hrs]	45%
250 [hroras]	58,44%	93,61%	$ 44.660	8[hrs]	57%
500 [horas]	35,29%	95,05%	$ 31.385	10[hrs]	62%

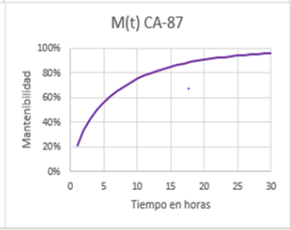


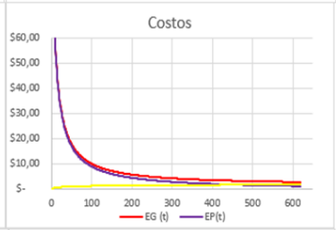




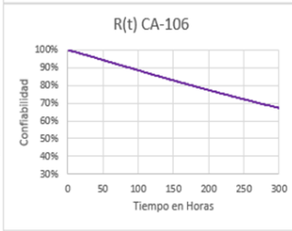
MOTOR 87					
Tiempo	R(t)	Ai	Costo Anual	Tiempo	M(t)
125 [horas]	89,74%	93,67%	$ 61.263	5[hrs]	56%
250 [hroras]	78,05%	96,50%	$ 35.229	8[hrs]	69%
500 [horas]	56,70%	97,94%	$ 22.217	10[hrs]	75%

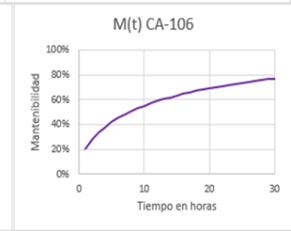


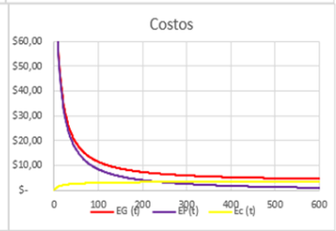




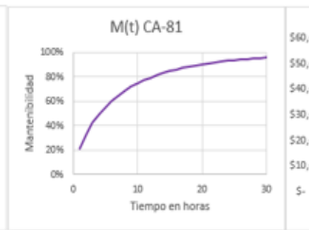
MOTOR 106					
Tiempo	R(t)	Ai	Costo Anual	Tiempo	M(t)
125 [horas]	85,69%	91,56%	$ 73.311	5[hrs]	42,0%
250 [hroras]	72,21%	94,19%	$ 48.467	8[hrs]	51,0%
500 [horas]	50,33%	95,47%	$ 36.165	10[hrs]	55,0%

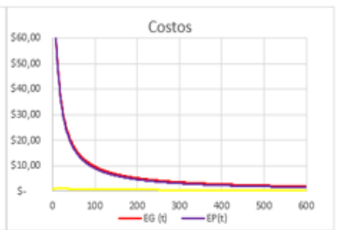




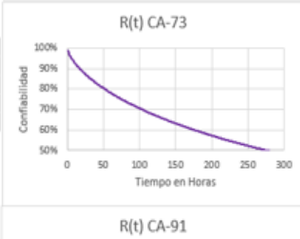


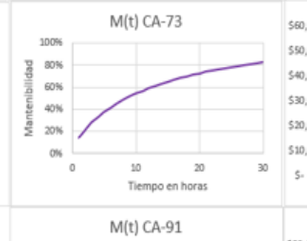
MOTOR 81					
Tiempo	R(t)	Ai	Costo Anual	Tiempo	M(t)
125 [horas]	90,56%	93,63%	$ 58.608	5[hrs]	55,4%
250 [hroras]	86,03%	96,61%	$ 31.026	8[hrs]	68,6%
500 [horas]	79,59%	98,20%	$ 16.399	10[hrs]	74,7%

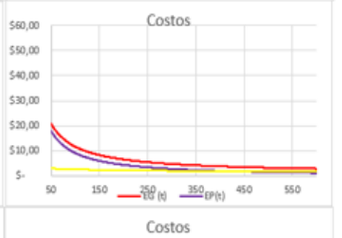




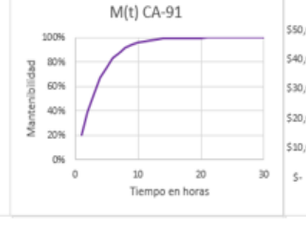
MOTOR 73					
Tiempo	R(t)	Ai	Costo Anual	Tiempo	M(t)
125 [horas]	63,11%	90,13%	$ 61.489	5[hrs]	38,0%
250 [hroras]	52,17%	92,51%	$ 40.353	8[hrs]	49,0%
500 [horas]	35,32%	94,57%	$ 23.723	10[hrs]	54,0%

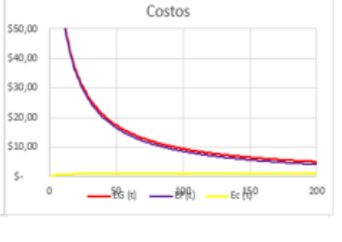






MOTOR 91					
Tiempo	R(t)	Ai	Costo Anual	Tiempo	M(t)
125 [horas]	80,55%	94,00%	$ 57.133	5[hrs]	55,4%
250 [hroras]	67,23%	96,90%	$ 30.120	8[hrs]	68,6%
500 [horas]	48,25%	98,39%	$ 16.142	10[hrs]	74,7%





Fuente: Elaboración propia

Anexos 2 Modelos de optimización

Función del lubricante

Los aceites de motor juegan la función de limpiar y lubricar un motor buscando así protegerlo ante desgaste y corrosión. Con la contaminación que hay en el ambiente y por sobre todo en los rajos abiertos de los complejos mineros, el lubricante actúa como un agente limpiador, removiendo contaminantes que pueden limitar el desempeño del motor si llegan a acumularse en grandes cantidades.

El sistema de lubricación de un motor diésel lo mantiene refrigerado. Es primordial que este tenga una temperatura normal (entre 90ºC y 100ºC) pero ésta podría dispararse o disminuir en cualquier momento por las condiciones del ambiente u otras fallas técnicas, es por esto por lo que el aceite de motor es primordial ya que reduce la fricción y el desgaste, conservando así la temperatura idónea en las partes más sensibles de tu motor.

Los lubricantes de motor también permiten mejorar el consumo de combustibles. Para poder asegurar un funcionamiento óptimo del motor, este debe estar siempre al día en la frecuencia de cambio de aceite y así evitar la degradación del lubricante. Cuando se trata de hacer la elección correcta del aceite de motor, se deben considerar todas las variables del fabricante y condiciones externas de uso del motor.

El aceite Shell Rimula R3 15W40 diseñado para proporcionar protección adecuada para motores de bajas emisiones que se encuentren en aplicaciones dentro y fuera de Carretera.

Propiedades			Método	Shell Rimula R3 L 15W-40
Viscosidad Cinemática	@40°C	cSt	ASTM D445	110
Viscosidad Cinemática	@100°C	cSt	ASTM D445	14.8
Índice de Viscosidad			ASTM D2270	139
Densidad	@15°C	kg/m³	ASTM D4052	870
Punto de Inflamación		°C	ASTM D92	236
Punto de Fluidez		°C	ASTM D97	-30
Número Total de Base		mg KOH/g	ASTM D2896	9.6

El aceite Shell Rimula R5 10W30 cuentan con la tecnología de aditivos “Low SAPS” ofreciendo ahorro de energía. El poder protector es mejorado mediante el uso de tecnología de aceites de base sintético para ofrecer un rendimiento de economía de combustible sin comprometer la durabilidad.

Propiedades			Método	Shell Rimula R5 LE 10W-30
Viscosidad Cinemática	@100°C	mm²/s	ASTM D445	12.1
Viscosidad Dinámica	@-25°C	mPa s	ASTM D5293	6400
Índice de Viscosidad			ASTM D2270	141
Número Total de Base		mg KOH/g	ASTM D2896	10
Cenizas Sulfatadas		%	ASTM D874	1
Densidad	@15°C	kg/l	ASTM D4052	0.863
Punto de Inflamación (COC)		°C	ASTM D92	237
Punto de Fluidez		°C	ASTM D97	-43