



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de una empresa minera de La Libertad.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico

AUTORES:

Narváez Edwards Julio Damián (ORCID: 0000-0002-0417-4804)

Palza Bernuy Augusto Carlos (ORCID: 0000-0001-8821-545X)

ASESOR:

Mg. Sifuentes Inostroza Martin (ORCID: 0000-0001-8621-236X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

TRUJILLO - PERÚ

2020

Dedicatoria

*A nuestros padres, esposas e hijos por su
apoyo incondicional en cada etapa de
nuestras vidas.*

Agradecimiento

*A nuestro centro de estudios y maestros
por los conocimientos impartidos a lo
largo de nuestra experiencia en la
Universidad.*

Página del Jurado

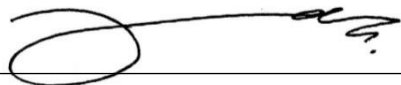
Declaratoria de Autenticidad

Nosotros Julio Damián Narváz Edwards con DNI N°43333684 y Augusto Carlos Palza Bernuy con DNI N°43153597, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, declaramos bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

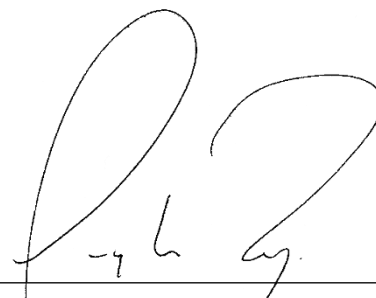
Así mismo, declaramos también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, octubre del 2020



Julio D. Narvaez Edwards



Augusto C. Palza Bernuy

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de Autenticidad.....	vi
Índice	vii
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	7
1.3. Justificación.....	7
1.4. Objetivos	8
1.5. Hipótesis	9
II. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Trabajos previos.....	9
2.2. Gestión de mantenimiento	13
2.3. Mantenimiento en minería.....	13
2.4. Estrategias de mantenimiento.....	14
2.5. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM):.....	15
2.6. Herramientas de análisis operacional:	16
2.7. Análisis Jackknife	17
2.8. Diagrama de Pareto	18
2.9. Indicadores de mantenimiento	19
III. MÉTODO.....	21
3.1. Tipo y diseño de la Investigación	21
3.2. Variables y operacionalización.....	22
3.3. Población, muestra y muestreo, unidad de análisis	24
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.5. Procedimientos	26
3.6. Métodos de Análisis de Datos.....	27
3.7. Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS	28
4.1. Evaluación de indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR)	28
4.2. Identificación del sistema con mayor indisponibilidad	36
4.3. Aplicación de metodología RCM	40
4.4. Tareas de mantenimiento resultantes del RCM	59
4.5. Aplicación de plan de Mantenimiento basado en confiabilidad.....	62
4.6. Análisis Económico	69
V. DISCUSIÓN.....	73

VI. CONCLUSIONES	76
VII. RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS.....	79
ANEXOS	82

Índice de Tablas

Tabla 1: Horas laborales de la empresa Ene2017-Mar2018 camiones 730E	28
Tabla 2: Disponibilidad Ene2017-Mar2018 camiones 730E	29
Tabla 3: Tiempo de parada por mantenimiento Ene2017-Mar2018 camiones 730E	31
Tabla 4: Tiempo de parada por falla Ene2017-Mar2018 camiones 730E	32
Tabla 5: Número de fallas Ene2017-Mar2018 camiones 730E	33
Tabla 6: Tiempo medio entre fallas Ene2017-Mar2018 camiones 730E.....	34
Tabla 7: Tiempo medio para reparar Ene2017-Mar2018 camiones 730E	35
Tabla 8: Duración de fallas por sistemas Ene2017-Mar2018 camiones 730E	37
Tabla 9: Fallas funcionales motor Diesel K2000	41
Tabla 10: Modos de Fallas motor Diesel K2000.....	44
Tabla 11: Efecto de Fallas motor Diesel K2000	48
Tabla 12: Consecuencias y tareas de mantenimiento resultantes de RCM para motor Diesel K2000	54
Tabla 13: Programación de intervenciones Motor Diesel 730	64
Tabla 14: Disponibilidad May2018-Sep2018 camiones 730E.....	66
Tabla 15: MTBF May2018-Sep2018 camiones 730E	67
Tabla 16: MTTR May2018-Sep2018 camiones 730E.....	67
Tabla 17: Duración de fallas por sistemas May -Sep 2018 camiones 730E	68
Tabla 18: Costo de Actividades de Mantenimiento motores Diesel K2000.....	69
Tabla 19: Costo de plan de Mantenimiento motores Diesel K2000 (Mayo – Diciembre) ..	69
Tabla 20: Beneficio monetario por incremento de disponibilidad (Junio – Diciembre)	70
Tabla 21: Flujo de caja de proyecto, Retorno de inversión, TIR y VAN aplicación RCM ..	71
Tabla 22: Disponibilidad Ene 2017 camiones 730E	82
Tabla 23: Disponibilidad Feb 2017 camiones 730E	82
Tabla 24: Disponibilidad Mar 2017 camiones 730E	83
Tabla 25: Disponibilidad Abr 2017 camiones 730E	83
Tabla 26: Disponibilidad May 2017 camiones 730E.....	84
Tabla 27: Disponibilidad Jun 2017 camiones 730E.....	84
Tabla 28: Disponibilidad Jul 2017 camiones 730E	85
Tabla 29: Disponibilidad Ago 2017 camiones 730E	85
Tabla 30: Disponibilidad Set 2017 camiones 730E	86
Tabla 31: Disponibilidad Oct 2017 camiones 730E	86
Tabla 32: Disponibilidad Nov 2017 camiones 730E	87
Tabla 33: Disponibilidad Dic 2017 camiones 730E	87
Tabla 34: Disponibilidad Ene 2018 camiones 730E	88
Tabla 35: Disponibilidad Feb 2018 camiones 730E	88
Tabla 36: Disponibilidad Mar 2018 camiones 730E	89

Índice de Figuras

Figura 1: Indicador Disponibilidad de flota de camiones Komatsu 730E	4
Figura 2: Indicador Disponibilidad de flota de camiones Komatsu 730E	4
Figura 3: Indicadores Tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR) de flota de camiones Komatsu 730E	5
Figura 4: Indicadores Tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR) de flota de camiones Komatsu 730E	5
Figura 5: Diagrama Jackknife (por sistemas) de un equipo pesado	17
Figura 6: Diagrama Pareto de cantidad de paradas de un equipo pesado	18
Figura 7: Diagrama de Flujo de la investigación.....	21
Figura 8: Disponibilidad Ene2017 – Mar2018 Flota de camiones Komatsu 730E.....	30
Figura 9: Confiabilidad Ene2017 – Mar2018 camiones 730E.....	36
Figura 10: Diagrama Pareto Ene2017–Mar2018 camiones 730E	38
Figura 11: Diagrama Jackknife Ene2017–Mar2018 camiones 730E	39
Figura 12: Diagrama de decisión RCM II	52
Figura 13: Ciclo de Mantenimiento de Motor Diesel Komatsu 730E.....	62
Figura 14: Indicador Disponibilidad de camiones 730E May – Sep 2018	66
Figura 15: Indicador MTBF y MTTR de camiones 730E.....	68
Figura 16: Diagrama de flujo de producción de oro Operación Lagunas Norte	91
Figura 17: Entradas y salidas del proceso de acarreo de Mineral,	92
Figura 18: Camión Komatsu 730E	92
Figura 19: Medidas de camión Komatsu 730E.....	93
Figura 20: Medidas de camión Komatsu 730E.....	93
Figura 21: Componentes Camión Komatsu 730E	95
Figura 22: Motor Cummins K2000	96
Figura 23: Esquema de los sistemas de lubricación motor Cummins K2000	96
Figura 24: Flujo de enfriadores de aceite Motor Cummins K2000	97
Figura 25: Válvula derivación del filtro Motor Cummins K2000	98
Figura 26: Galería principal de aceite Motor Cummins K2000	99
Figura 27: Carcasa frontal de engranes Motor Cummins K2000.....	100
Figura 28: Sistema de lubricación de turbos Motor Cummins K2000	101
Figura 29: Componentes sistema de enfriamiento aceite Motor Cummins K2000.....	101
Figura 30: Sistema de post enfriado Motor Cummins K2000	103
Figura 31: Esquema doble etapa de compresión Motor Cummins K2000	105
Figura 32: Sistema STC de combustible Motor Cummins K2000.....	106

Resumen

El presente estudio trata sobre la aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, dentro de un contexto operacional minero, cuyo objetivo principal es aumentar los indicadores de mantenimiento de una flota de camiones Komatsu 730E, con el fin de resaltar la importancia de realizar innovaciones de mantenimiento en los equipos pesados del sector minero en el Perú.

El problema se identificó porque en la operación de Lagunas Norte de la empresa minera Barrick Misquichilca no se venía alcanzando la meta en los indicadores de mantenimiento tanto en disponibilidad y confiabilidad en el año 2017 y los primeros meses del 2018. A pesar de que para el año 2018 se realizó un reajuste de los valores meta, el pronóstico era no alcanzar la meta establecida, lo cual conllevaría a una pérdida en los beneficios de aproximadamente 2.9 Millones de dólares.

Inicialmente se definió el sistema con mayor influencia negativa en los indicadores de mantenimiento para la flota de camiones analizada, utilizando las herramientas de análisis operacional (diagrama de Jackknife y Pareto), como resultado ambos arrojaron que el sistema con mayor influencia negativa es el motor Diesel.

La presente investigación continuó con la aplicación de los 7 pasos que propone la metodología del Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al sistema motor mecánico Diesel, identificando las funciones principales del mismo, fallas funcionales, modos de falla, los efectos de falla a través de AMFE (análisis modal de fallos y efectos), las consecuencias de fallas, para culminar con la determinación de las tareas (para ello se utilizó el diagrama de decisión de RCM), que se deben aplicar o modificar con el fin de aumentar los indicadores de mantenimiento.

Como resultado de la aplicación del nuevo plan de mantenimiento basado en confiabilidad, se obtuvieron mejoras sustanciales en los principales indicadores de la flota, la disponibilidad, el tiempo medio de fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR) se situaron sobre la meta establecida por la empresa y proyectando una adición de valor (VAN) de 1 Millón de dólares en comparación con el escenario proyectado que tenía la operación.

Palabras Claves: RCM, Komatsu, Jackknife, Pareto, AMFE

Abstract

This study deals with the application of maintenance focused on reliability, within a mining operational context, whose main objective is to increase the maintenance indicators of a fleet of Komatsu 730E trucks, in order to highlight the importance of carrying out maintenance innovations in the heavy equipment of Peruvian mining.

The problem was identified because in the Lagunas Norte operation of the Barrick Misquichilca mining company, the goal in the maintenance indicators for both availability and reliability in 2017 and the first months of 2018 had not been reached. Despite the fact that for the year 2018 a readjustment of the target values was made, the prognosis was not to reach the established goal, which would lead to a loss in the benefits of approximately 2.9 Million US dollars.

Initially, the system with the greatest negative influence on the maintenance indicators for the analyzed truck fleet was defined, using the operational analysis tools such as the Jackknife and Pareto diagram, as a result both showed that the system with the greatest negative influence is the diesel mechanical engine.

The present investigation continued with the application of the 7 steps proposed by the methodology of maintenance focused on reliability (RCM) to the Diesel mechanical engine system, identifying the main functions of the same, functional failures, failure modes, the effects of failure through of AMFE (modal analysis of failures and effects), the consequences of failures, to culminate with the determination of the tasks (for this the RCM decision diagram was used), which must be applied or modified in order to increase the indicators of maintenance.

As a result of the application of the new maintenance plan based on reliability, substantial improvements were obtained in the main indicators such as availability, average time of failure (MTTF) and average time of repair (MTTR) in the period in which the RCM was applied placing them on the goal established by the company and projecting a adding value of 1 Million dollars in comparison with the projected scenario that the operation had.

Keywords: RCM, Komatsu, Jackknife, Pareto Diagram, AMFE

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Hoy en día, el mundo no puede funcionar sin la minería; los productos minerales son componentes esenciales para la elaboración de teléfonos celulares, automóviles, torres de energía, paneles solares, aerogeneradores, fertilizantes, maquinaria y todo tipo de construcción, por tal motivo es una de las industrias de mayor evolución de los últimos tiempos, debido a que las principales empresas mineras han realizado y continúan haciendo inversiones masivas en tecnologías de avanzada, como sistemas autónomos y tecnologías de detección, cadena de suministro adaptativas, mantenimiento, simulación, etc.

En tal sentido, y gracias por las vastas reservas con las que cuenta, en la última década, Perú se ha convertido en uno de los protagonistas económicos más exitosos del mundo en desarrollo, registrando tasas de crecimiento promedio de más del 6 por ciento al año, dicho crecimiento se debe en gran magnitud al resurgimiento de la minería en un momento de altos precios del metal, por tanto, ha sido uno de los motores clave detrás del récord de crecimiento del país.

En el Perú operan diversas empresas de minería a lo largo del territorio, siendo una ellas Barrick Gold corporation, quien es la principal productora de oro a nivel mundial, dicha corporación inició sus operaciones en suelos peruanos bajo el nombre de Minera Barrick Misquichilca S.A. en el año 1998 con la apertura de su unidad minera Pierina, ubicada en el departamento de Áncash, convirtiéndose en la primera mina que Barrick construyó y operó en Sudamérica.

Lagunas Norte, es la segunda operación de Barrick en Perú, la mina se encuentra situada en la zona norte-central del Perú a 141 kilómetros de la ciudad de Trujillo en el departamento de La Libertad. La propiedad está

depositada sobre de Los Andes Peruanos sobre los 4000 msnm. La operación Lagunas Norte implicó una inversión inicial aproximada de 350 millones de dólares americanos e inició sus operaciones en la segunda mitad del año 2005, adelantándose así a lo inicialmente programado en la fase de proyecto (Barrick, Barrick Latam, 2018).

El proceso para obtener el mineral inicia con la perforación de taladros (de aproximadamente 11 metros de profundidad) en el macizo rocoso según los diseños de ingeniería, en donde alojará la carga de explosivos para dividir la roca mediante los sistemas de voladura cuidadosamente seleccionados; posteriormente los cargadores frontales y/o palas hidráulicas realizan la carga del mineral fragmentado en los camiones de acarreo de 150 y 190 toneladas de capacidad, lo cuales transportan dicho material hasta la planta de chancado primario, pilas de stock , botaderos, etc.

De acuerdo con Barrick (2018) el éxito de la operación de Lagunas Norte desde el inicio de operación hasta la fecha, intervalo en que se ha producido aproximadamente 10 millones de onzas, se ha basado en la gestión estratégica llevada a cabo en la organización, la misma que ha sido transmitida de manera directa a todas sus áreas operativas y administrativas. Como soporte fundamental de la gestión realizada en la operación, la importancia del área de mantenimiento es sustancial para la consecución de los objetivos planteados, su aporte en la gestión de los activos de la compañía ha llevado a desarrollar diversas estrategias las cuales han sido aplicadas a los distintos equipos que hoy en día se manejan en el mundo minero.

Entre las principales estrategias empleadas y plasmadas en los planes de mantenimiento, se puede destacar el mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, optimización del mantenimiento planeado entre otros, todas ellas han permitido lograr una mixtura de tareas que han sido volcadas en los planes elaborados enfocados en alcanzar los niveles de disponibilidad y confiabilidad esperados.

Hoy en día, el desarrollo de la operación minera Lagunas Norte se encuentra en periodo de madurez (12 años de operación), el mayor número de equipos que se utilizan en la operación, cuentan con horas acumuladas de utilización elevadas, motivo por el cual se requiere la revisión constante del contexto operacional de cada una de las flotas de equipos pesados que intervienen en el proceso.

La Flota de camiones marca Komatsu modelo 730E cuenta con cerca de 80,000 (ochenta mil) horas acumuladas de operación en promedio, por esta razón es necesaria la evaluación del plan de mantenimiento desarrollado actualmente y de las estrategias inmersas en él con la finalidad de reforzarlo para soportar de manera segura y confiable la producción esperada.

Para medir el rendimiento y la eficacia del departamento de Mantenimiento, se controlan diversos indicadores, entre ellos se destaca la disponibilidad así como el tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés de Mean Time Between Failures) y tiempo medio de reparación (MTTR, por sus siglas en inglés de Mean Time To Repair), que son los indicadores claves para la gestión del mantenimiento, la medida de estos indicadores ayuda a realizar una comparación con un valor o nivel de referencia (meta establecida) con la intención de generar planes de acción correctivos, modificativos o predictivos según sea el caso.

Tomando como base los tres indicadores mencionados, se identificó una potencial mejora con respecto a la situación actual de la flota de camiones eléctricos Komatsu modelo 730E, para ello se evaluaron los valores reportados desde enero 2017 hasta marzo del 2018. Así como los valores históricos reportados en años anteriores al periodo mencionado.

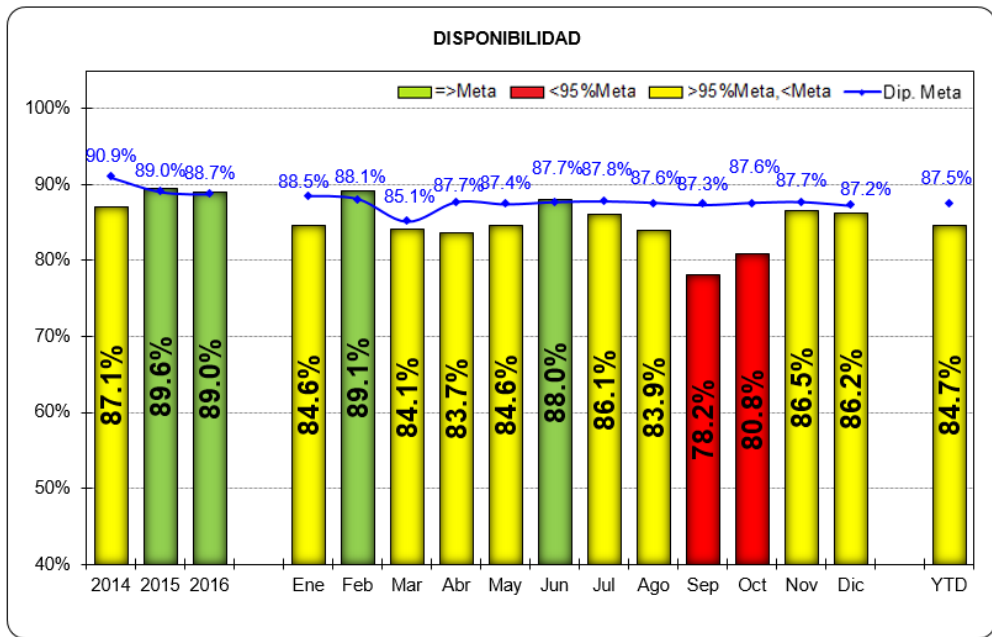


Figura 1: Indicador Disponibilidad de flota de camiones Komatsu 730E (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Diciembre, 2017).

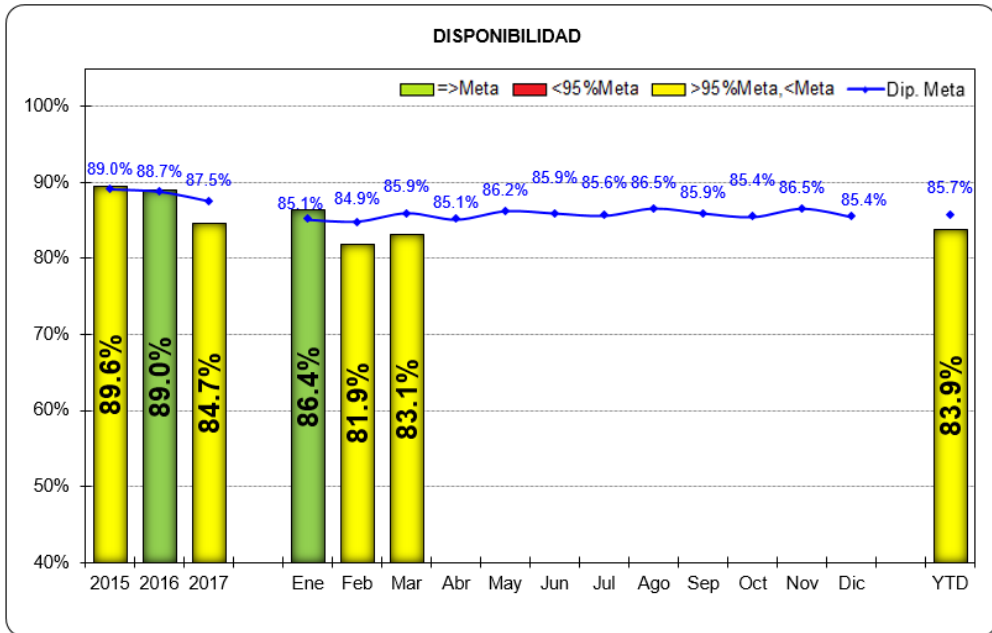


Figura 2: Indicador Disponibilidad de flota de camiones Komatsu 730E (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Marzo, 2018).

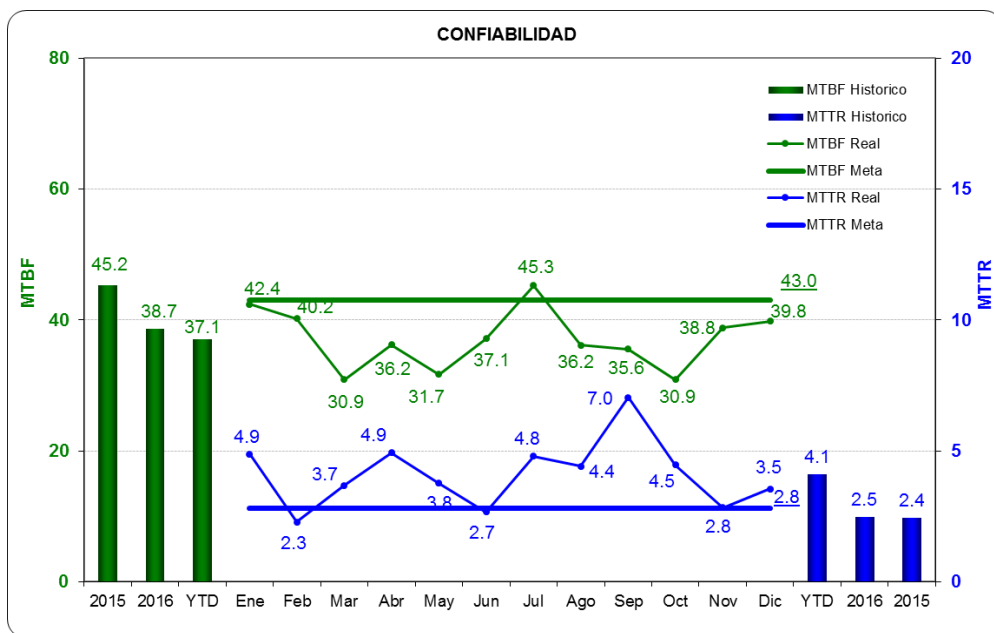


Figura 3: Indicadores Tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR) de flota de camiones Komatsu 730E (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Diciembre, 2017).

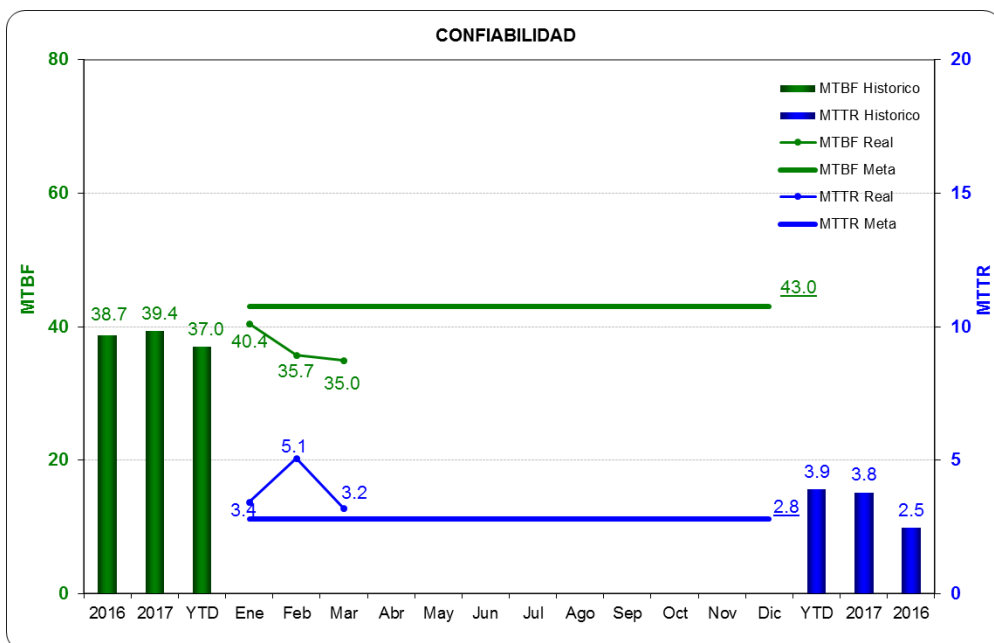


Figura 4: Indicadores Tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR) de flota de camiones Komatsu 730E (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Marzo, 2018).

Las figuras N°01 y N°02, muestran que, para el año 2017 así como para el periodo enero a marzo del 2018, la disponibilidad anual reportada de la flota de camiones Komatsu 730E fue de 84.7% y 83.9%, respectivamente, encontrándose este valor por debajo de la meta de disponibilidad establecida para el año 2017 de 87.5% y 85.% para el año 2018, asimismo, se puede apreciar que en el año 2017, sólo en dos oportunidades se logró superar la meta establecida, repitiéndose la tendencia para el año 2018 que sólo se alcanzó la meta para el mes de enero, evidenciando de esta forma la tendencia de baja disponibilidad, valores nunca antes reportados según el histórico de la flota.

De las Figuras N°03 y N°04, se puede mencionar que el valor reportado de tiempo medio entre fallas (MTBF) para la flota de camiones Komatsu 730E en el año 2017 fue en promedio 37.1 horas, encontrándose por debajo del valor meta establecido de 43 horas, y para el año 2018 el promedio a la fecha es de 37.0 versus la meta de 43 horas, asimismo, el valor más bajo reportado para el periodo en evaluación (2017 – 2018) se dio en los meses de marzo y octubre del 2017 (30.9 horas), lo cual evidencia la deficiencia en los procesos de identificación de fallas e inspección. Por otro lado, el indicador de tiempo medio para reparación (MTTR), reportó el valor promedio de 4.1 y 3.9 horas para los años 2017 y 2018 respectivamente, demostrando una baja capacidad de reacción oportuna en la reparación o corrección de fallas de la flota evaluada ya que la meta esperada es de 2.8 horas para ambos casos.

Según la información recolectada de los indicadores evaluados de la flota de camiones Komatsu 730E, se evidencia una fuerte oportunidad de mejorar el plan de mantenimiento actual, a través de la implementación de tareas que aporten a incrementar los indicadores de la flota, considerando que el escenario de operación ha variado durante la vida de la mina, y que dichas variaciones han impactado en el funcionamiento general del equipo, así como en los sistemas y subsistema de este.

Ante lo expuesto anteriormente, es necesario analizar a detalle las causas que están impactando negativamente en los indicadores de la flota de camiones Komatsu 730E, para posteriormente proponer y aplicar tareas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés de Reliability Centered Maintenance), de tal manera que permita mejorarlos hasta alcanzar los valores meta esperados.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) mejorará los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte?

1.3. Justificación

1.3.1. Relevancia Tecnológica:

La utilización de nuevas tecnologías y estrategias de mantenimiento en equipos mineros es de suma importancia en la actualidad, por ende, este estudio intenta aplicar de manera correcta, nuevas estrategias que van de la mano con el desarrollo del mantenimiento a nivel mundial.

1.3.2. Relevancia Institucional:

El Resultado positivo de este estudio, nos lleva, a mejorar la imagen institucional de nuestro centro de estudios, hacia las empresas industriales, así como también la aplicación de nuevas estrategias de mantenimiento en equipos mineros, elevará de forma significativa la prestancia de las empresas que requieran implementarlo.

1.3.3. Relevancia Económica:

Debido al impacto económico que actualmente representan en el costo total destinado al mantenimiento. Para conocer el costo real y en especial el de las fallas se debe encontrar el periodo y la frecuencia a usar en las actividades considerando disminuir el riesgo y el sobre costo.

1.3.4. Relevancia Ambiental:

La disminución de intervenciones por actividades de mantenimiento en los equipos mineros causará un impacto positivo ambiental, dada la reducción de generación de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte mediante la aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

1.4.2. Específicos

- Evaluar los indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR) de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte.
- Identificar el sistema que genere mayor impacto negativo en los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E, utilizando las técnicas de diagrama Pareto y Jackknife.
- Identificar las tareas basadas en confiabilidad que generen mayor impacto en los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte.
- Definir las tareas basadas en confiabilidad que se deben aplicar para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E, teniendo en cuenta las metas de disponibilidad, MTBF y MTTR propuestas por la organización.
- Aplicar el nuevo plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte durante el periodo mayo a septiembre del 2018 y comparar los indicadores resultantes con los obtenidos durante el periodo enero 2017 – marzo 2018.

- Realizar el análisis de impacto económico del aumento de la disponibilidad camiones eléctricos Komatsu 730E para el año 2018.

1.5. Hipótesis

La aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad mejorará los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte

II. MARCO TEORICO

2.1. Trabajos previos

A continuación, se presentan resúmenes de estudios referentes a los temas que se utilizarán como fuente para presente estudio:

➤ De alcance internacional:

García (2017), en la investigación titulada, “Mejoramiento del desempeño de equipo minero mediante estrategias de mantenimiento y reingeniería de componentes del sistema de propulsión y rodado”, presentada para optar por el título de Ingeniero Civil Mecánico en la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, concluye que a través de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) se pudo incorporar acciones de monitoreo para los modos de fallas con alta tasa de riesgo, con el propósito de hallar alguna señal de daño calamitoso en el tren de oruga de perforadora Atlas Copco Pit Viper 351, de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, asimismo, determina que el monitoreo preventivo posibilita sostener bajo control las intervenciones no programadas referente a eslabones de oruga y zapatas, las cuales representan un 63% del tiempo de detención no programado, evidenciando que el empleo de la estrategia de mantenimiento centradas en confiabilidad aportan a obtener un incremento de la disponibilidad del sistema intervenido, que inicialmente era de 91% a 97% estimado.

Como aporte al presente estudio, la investigación de García es un ejemplo de implementación de la metodología RCM, destacando específicamente, la identificación de las tareas de monitoreo sugeridas para la mitigar los modos de fallas y sus efectos.

Jara (2014), en la investigación titulada, “Estudio de mantenimiento basado en la confiabilidad acorde al sistema Asset Management aplicado a la flota de bulldozer CAT D10T, minera anglo American Operación Mantoverde”, presentada para optar por el título de Ingeniero Civil Mecánico en la Universidad del Bio – Bio, Concepción Chile, basó el estudio de confiabilidad de los equipos analizados mediante diagramas de Pareto y Jackknife, con el cual obtuvo resultados muy parecidos entre ellos, hallando que el motor Diesel era el sistema más endémico de la flota analizada, posteriormente con la finalidad de identificar las fallas que generaban mayor impacto en la confiabilidad del motor Diesel se procedió a realizar un análisis más profundo por subsistemas a través del análisis Jackknife, donde halló que el subsistema crónico – agudo era el filtro de aire del motor Diesel. Seguido del análisis de sistemas y subsistemas que impactan en la confiabilidad de la flota, se realizó un análisis de modos y efectos de falla donde se propuso las estrategias para resolver el problema que principalmente ocurrían por condiciones ambientales donde opera el equipo y que no puede mejorarse de una forma razonable por lo que se optó en implementar una mantención preventiva con la frecuencia de cambio de filtro de aire de motor cada 125 horas determinada a través del análisis de Weibull. Aunque se duplicó el número de cambios programadas al año, como resultado se obtuvo una mejora notable en la confiabilidad del filtro del 74% en 250 horas a 99.97% en 125 horas.

El aporte de la investigación realizada por Jara es el método utilizado para la identificación de los sistemas que impactan negativamente en la disponibilidad de la flota analizada, gracias al método aplicado, logró identificar el subsistema crónico agudo mediante el análisis Jackknife, para posteriormente aplicar el RCM correspondiente.

Pariente (2012), en la investigación titulada, “Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) a un cargador frontal Caterpillar 950H”, presentada para obtener el título de Magister en Gestión de Mantenimiento en la Universidad de Tarapacá, Arica, Chile, concluye que después de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al Cargador Frontal 950H el MTTF (indicador indirecto de la confiabilidad) y la disponibilidad Operacional se vieron afectados positivamente confirmándose la hipótesis planteada, pasando de una disponibilidad de 78% en promedio a una disponibilidad del 83% en un intervalo de 6 meses.

Por otro lado, se concluye también que el RCM busca dar la respuesta correcta a los requerimientos de mantención que requiere que cada equipo o activo evaluado.

El estudio realizado por Pariente reafirma los pasos para desarrollar la metodología del RCM, destacando el modelo utilizado en las hojas de decisión del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad aplicado en su investigación.

➤ **De alcance nacional:**

Li & Mescua (2016), en la investigación titulada, “Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto”, presentada para optar el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima Perú, concluye que el RCM es la estrategia más adecuada para un problema respecto al TPM, esto porque el RCM toma en consideración el contexto operacional del equipo para establecer un plan de mantenimiento. Su estudio logro identificar al camión 730E, como el equipo más crítico de toda la flota de equipos Komatsu Mitsui en Vale Bayovar, para luego implementar el RCM, logrando una disponibilidad de 92%, una confiabilidad de 56% y tiempo medio entre fallas (MTBF) de 50hrs, con ello lograron aumentar los beneficios económicos en 2MM de soles por año.

El aporte de Li & Mescua es la aplicación del método AMFE (Análisis Modal de fallos y efectos), como parte del proceso de RCM, donde definen

claramente los sistemas, subsistemas, componentes y sus modos de fallos, consecuencias y planes de acción.

Astonitas (2015), en la investigación titulada, “Diseño de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad basado en la metodología análisis de modo y efecto de falla para aumentar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos en camiones de acarreo CAT 793F, Compañía Minera Antamina S.A – Región Ancash”, presentada para obtener por el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la Universidad César Vallejo, Trujillo Perú, concluye que se obtuvo un beneficio de 324,3600 US\$/año, con una inversión presupuestada por el departamento de confiabilidad de 135,5520 US\$ debido a que se realizó el análisis RCM basado en el AMEF a cada falla crítica,. Obteniendo un retorno operacional de la inversión inicial en 5 meses, asimismo, se proyectaron los indicadores de mantenimiento en estado de mejora, obteniendo 99.54% disponibilidad, 95.1% confiabilidad y 48.61% Mantenibilidad.

El aporte de Astonitas es la metodología que aplicó para obtener los modos de fallas y sus efectos; esto resultó importante para cumplir con los pasos que requiere el RCM.

Chambi (2012), en la investigación titulada, “Mantenimiento centrado en la Confiabilidad (MCC) para motores de la flota Komatsu 930E en una unidad minera”, presentada para optar el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, concluye que bajo el uso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, se logró incrementar la confiabilidad de los motores marca Cummins modelo QSK60, pasando de 84.2% a 93%, para el caso del indicador disponibilidad, se evidenció un incremento 82.26% a 92%, asimismo se logró reducir el porcentaje demoras fallas del sistema Motor Diesel de 19% a un 4% del total de fallas del equipo, encontrándose dentro del rango sugerido por el fabricante.

Por último, se destaca la conclusión sobre el dinamismo que requiere el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), transformándose en un

proceso de mejora continua el cual tiene ser evaluado constantemente para corregir las desviaciones que sufre a través del tiempo.

El aporte de Chambi es la propuesta de alternativas de solución, que finalmente resultaron en la selección del RCM como el método más eficaz para mejorar la disponibilidad de la flota de camiones Komatsu 930E.

2.2. Gestión de mantenimiento

Como parte de la gestión de activos, la cual involucra desde la etapa de diseño hasta la disposición final del activo, la gestión del Mantenimiento tiene como tarea principal maximizar la disponibilidad de los activos (sistemas productivos), asegurando su integridad y el rendimiento para cumplir con los requisitos de la operación. La gestión de mantenimiento está basada en 6 procesos claves, como son: la identificación de trabajos, planificación, programación, ejecución, finalización y la revisión final de los trabajos realizados, siendo este un proceso cíclico el cual requiere una buena retroalimentación con la finalidad de optimizar las labores propias de mantenimiento mediante la utilización efectiva y eficaz de los recursos (tanto humanos como materiales) con los que cuenta la organización.

2.3. Mantenimiento en minería

Actualmente en nuestro país, existe un crecimiento inesperado en el sector minero, y es por tal motivo que la industria no se ha encontrado preparada en sus actividades de apoyo para soportar tal crecimiento, tales como la cadena de abastecimiento, logística y las actividades de mantenimiento y esta última es donde debe ponerse mucha atención, pues en la mayoría de empresas del rubro, es el primer presupuesto y exige ser manejada de una manera muy cautelosa y con estrategias claras soportado por un plan estructurado para evitar paradas inesperadas, accidentes, problemas ambientales, desviaciones en el presupuesto, etc. (Klimasauskas, 2018).

2.4. Estrategias de mantenimiento

La elaboración de estrategias de mantenimiento deberá soportarse en la definición de criticidad de los sistemas o equipos, y estas se deberán revisar frecuente y formalmente para evaluar la influencia que tiene sobre el rendimiento del activo, asimismo es importante la documentación de los planes de mantenimiento donde se incluyan los datos referentes a estos, porque estos soportan las estrategias de mantenimiento para cada activo y/o equipo en operación. (Becerra, 2018).

- A. Mantenimiento correctivo o por fallas:** Es el mantenimiento que está destinado a componentes de bajo costo, y donde el equipo no está directamente relacionado con la producción; corresponde así a la reparación imprevista de fallas y en el cual no se realiza ningún tipo de programación ni planificación. Los costos serían muy elevados si este tipo de Mantenimiento se ejecutara en activos ligados directamente con la producción. En términos generales se puede considerar mantenimiento correctivo cuando el activo o equipo convoca al área de mantenimiento para realizar alguna intervención.

- B. Mantenimiento Preventivo:** Es un mantenimiento totalmente planeado donde se busca dirimir las consecuencias que se originan por ciertas condiciones físicas que han sido identificadas, que están ocurriendo o podrían ocurrir y nos lleven a fallos funcionales de los activos y/o equipos. Esto implica el reemplazo o reparación de componentes en intervalos fijos, los cuales se realizan para evitar fallas potenciales (Becerra, 2018).

- C. Mantenimiento detectivo o detección de Fallas:** Este Mantenimiento está basado en la búsqueda de fallas no revelables o fallas ocultas, para el cual se realiza actividades para detectar o verificar si el activo y/o equipo se está desempeñando de manera adecuada a través de “labores para encontrar fallas o de los chequeos funcionales”; es importante conocer que las fallas ocultas sólo afectan a los sistemas de protección,

con el mantenimiento detectivo se busca la presencia de oportunidades o problemas a través de un análisis de los modos de fallas.

El Mantenimiento de Oportunidad es producto de la detección de fallas ocultas, que frecuentemente, se presenta durante los mantenimientos programados, aprovechando la coyuntura para realizar la mejora de un estado defectuoso (Becerra, 2018).

2.5. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM):

El RCM (por sus siglas en inglés de Reliability Centered Maintenance), es un proceso utilizado para definir las tareas necesarias que deben ejecutarse para asegurar que los activos físicos funcionen y continúen funcionando como la operación requiere que lo haga dentro del contexto operacional determinado por la organización. En la actualidad el RCM está siendo utilizado por las organizaciones que buscan desarrollar planes y programas únicos de mantenimiento por cada activo crítico involucrado en un proceso productivo (Resources, 2018).

Las ventajas más importantes de esta metodología son:

- Genera programas de mantenimientos más eficientes.
- Reduce los costos al eliminar el mantenimiento innecesario.
- Optimiza la frecuencia de inspecciones.
- Reduce la probabilidad de fallas repentinas del equipo.
- Enfoca las actividades de mantenimiento en los componentes críticos del sistema.
- Aumenta la confiabilidad de los componentes.
- Incorpora análisis de causa raíz.

Para elaborar un programa de mantenimiento basado en confiabilidad se debe considerar cuatro principios básicos declarados de diversas maneras por las organizaciones de todo el mundo:

- Contar con un alcance y una estructura para preservar la función del sistema.
- Identificar los modos de falla, que son las formas en que algo puede fallar. Las fallas son cualquier error o defecto, especialmente los que afectan al cliente.
- Abordar los modos de fallas identificados según su importancia.
- Definir opciones de tareas de mantenimiento aplicables a cada modo de falla y seleccionar las más efectiva.

Estos 4 principios se desarrollan respondiendo satisfactoriamente a siete preguntas en el siguiente orden:

- ¿Cuáles son las funciones y los criterios de funcionamiento?
- ¿De qué forma puede fallar (no cumplir las funciones)?
- ¿Qué causa que falle (modos de falla)?
- ¿Qué sucede cuando falla (como se manifiesta, síntomas)?
- ¿Qué ocurre si falla (consecuencias)?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas (tareas)?
- ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla (contingencia)?

2.6. Herramientas de análisis operacional:

Existen herramientas que nos permite evaluar la conducta de un equipo o conjunto de ellos de una forma sistemática y así determinar la magnitud del riesgo, el nivel de operatividad, las acciones de mitigación y de mantenimiento; las cuales sirven como soporte para tener un análisis metodológico de la confiabilidad, y que nos permita asegurar a la organización la continuidad operacional y su integridad. Los instrumentos mencionados están fundamentados sobre un cálculo de probabilidades estadísticas y ponderaciones relativas de los principios operacionales, financieros, de seguridad e históricos (González, 2006).

2.7. Análisis Jackknife

El análisis Jackknife sirve para estudiar diferentes variables que están involucrada en los modos de falla como por ejemplo la tasa de falla promedio, número de fallas, el tiempo fuera de servicio, costos, etc. La manera de analizar es a través de un diagrama de dos o más dimensiones, para la cual cada dimensión representase una variable de estudio.

Cuando se trabaja con el tiempo fuera de servicio y el número de fallas, generamos cuatro cuadrantes a través de una línea que nos indica el número de fallas y otra que nos indica el tiempo promedio de reparación de los modos de falla. En el primer cuadrante se ubicarán los modos de fallas que son considerados crónicos que supera al número promedio de fallas y los considerados agudos porque también supera el promedio de tiempo fuera de servicio; estos serían los modos de falla más críticos dentro de la escala (Viveros, Stegmaier, & Kristjanpolle, 2018).

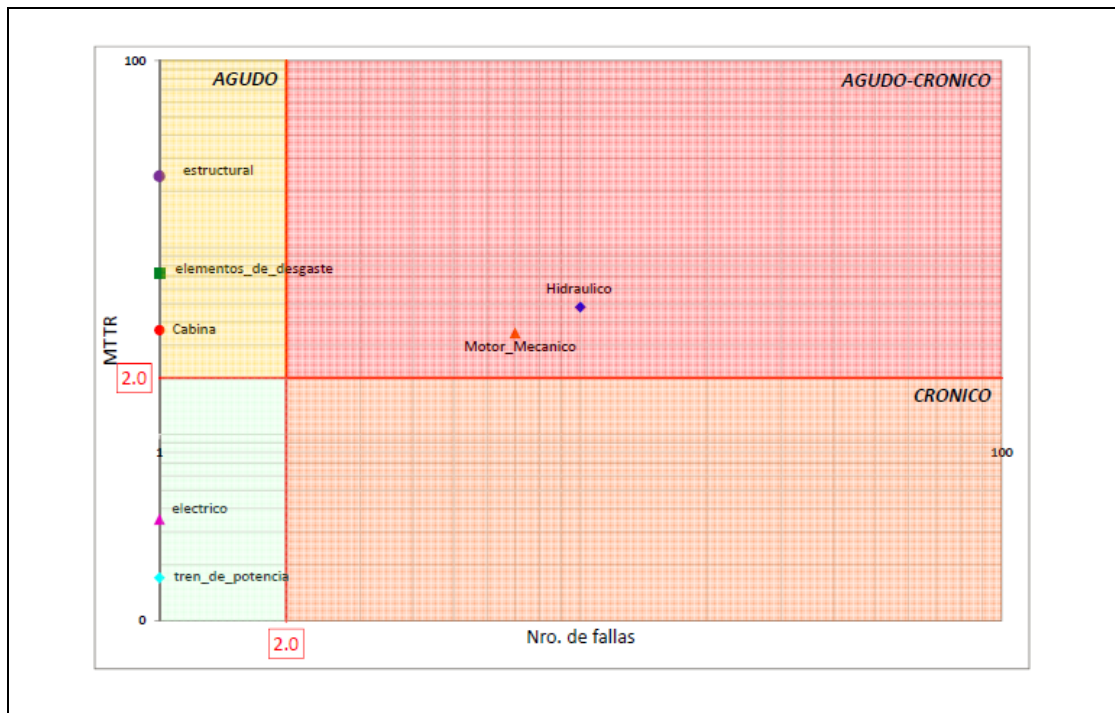


Figura 5: Diagrama Jackknife (por sistemas) de un equipo pesado (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Diciembre, 2017).

2.8. Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto considera la frecuencia con la que ocurre los diferentes factores en un determinado problema para luego representarla de forma gradual según su importancia en una gráfica (Maldonado, 2018).

Beneficios

- Es utilizado al inicio de cualquier mejora.
- Logra que los esfuerzos se enfoquen en los “pocos vitales”.
- Nos sirve para calificar según su importancia y prioridad las áreas de oportunidad.
- Se utiliza en aquellas situaciones donde se considera existe una posibilidad de mejorarse.
- Nos ayuda a comparar un antes y un después, cuantificando el impacto de las acciones que hemos optado para implementar la mejora.
- Ayuda a que todos los colaboradores trabajen en equipo, pues es necesario la colaboración de todos para analizar los problemas, obtener datos y aplicar acciones en busca de una solución.

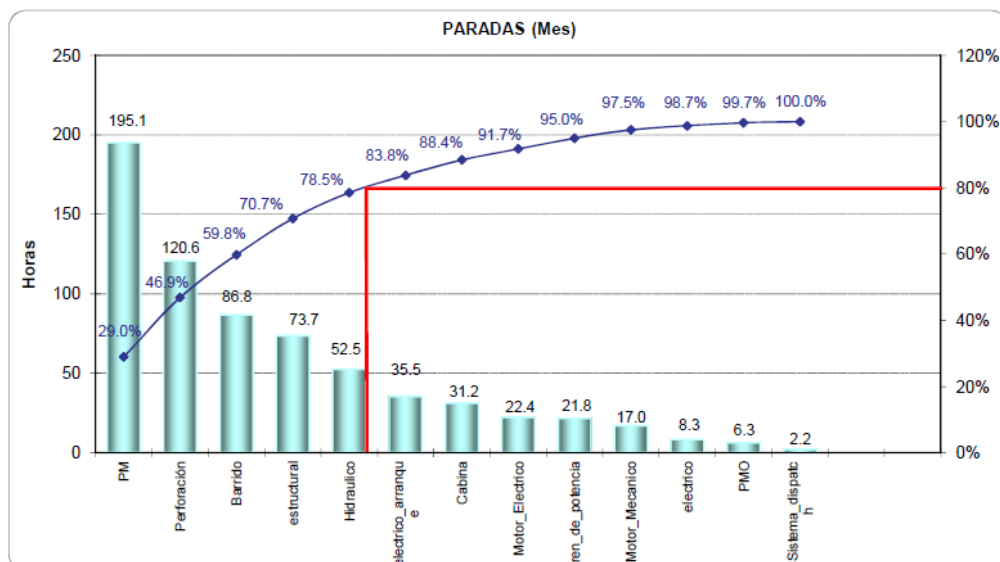


Figura 6: Diagrama Pareto de cantidad de paradas de un equipo pesado (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Diciembre, 2017).

Para elaborar el diagrama Pareto se deben realizar los siguientes pasos:

- Desarrollar una lista de problemas, elementos o causas que se compararán.
- Desarrollar una medida estándar para comparar los elementos.
- Seleccionar un marco de tiempo para recopilar los datos.
- Calcular con qué frecuencia ocurrió (o el costo o el tiempo total que tomó) para cada elemento.
- Enumere los elementos que se compararán en orden decreciente de la medida de comparación.
- Enumerar los elementos en el eje horizontal de un gráfico de mayor a menor.
- Dibujar un gráfico de línea de los porcentajes acumulados.
- Analizar el diagrama identificando los elementos que parecen representar la mayor parte de la dificultad.

2.9. Indicadores de mantenimiento

A. Disponibilidad operacional:

Es una medida de la frecuencia con que el activo y/o equipo está operando en buen estado. A menudo se expresa como (tiempo de actividad) / (tiempo de actividad + tiempo de inactividad).

El tiempo de actividad y el tiempo de inactividad se refieren a las condiciones contrarias, el tiempo de actividad se refiere a una capacidad para realizar la tarea y el tiempo de inactividad se refiere a no poder realizar la misma, es decir, el tiempo de actividad es el tiempo que el equipo no se encuentra en la condición de no actividad (Barringer, 1997).

La disponibilidad operacional se puede hallar a través de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{HL - PP - PR}{HL} \quad (1)$$

Dónde:

HL = Horas laborales de la empresa

PP = Paradas programadas para mantenimiento

PR = Paradas por mantenimiento Correctivo

B. Tiempo promedio entre fallas (MTBF):

Es el tiempo medio de averías que existe en un sistema. El MTBF es un indicador importante del rendimiento esperado que es usado principalmente para activos reparables de misión crítica o complejos. También se ha convertido en un componente fundamental en el diseño de sistemas y equipos seguros. El MTBF no tiene en cuenta ningún mantenimiento programado, como recalibración, lubricación o reemplazo de preventivo de piezas. Si bien el MTTR afecta exclusivamente la disponibilidad, el MTBF afecta la disponibilidad y la confiabilidad. El MTBF se puede hallar a través de la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}} \quad (2)$$

C. Tiempo promedio para la reparar (MTTR):

Es el tiempo promedio requerido para solucionar problemas y reparar equipos defectuosos y devolverlo a las condiciones normales de operación. Es una medida básica dentro de la mantenibilidad de los equipos y piezas reparables. El tiempo de mantenimiento se define como el tiempo entre el inicio del incidente y el momento en que el sistema vuelve a la producción. Esto incluye el tiempo de notificación, el tiempo de diagnóstico, el tiempo de reparación, el tiempo de espera, el reensamble, la alineación, calibración, tiempo de prueba, etc. El tiempo medio para reparar en última instancia refleja cuan bien una organización puede responder a un problema y repáralo.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}} \quad (3)$$

III.MÉTODO

3.1.Tipo y diseño de la Investigación

Tipo de investigación: Aplicada, debido al empleo de conceptos y estrategias de ingeniería de mantenimiento y mecánica para la solución del problema identificado; Según alcance, la investigación es descriptiva ya que se explicará los aspectos propios de la variable de estudio y por último la investigación es cuantitativa, ya que el resultado es medible a través de los indicadores clave de gestión de mantenimiento.

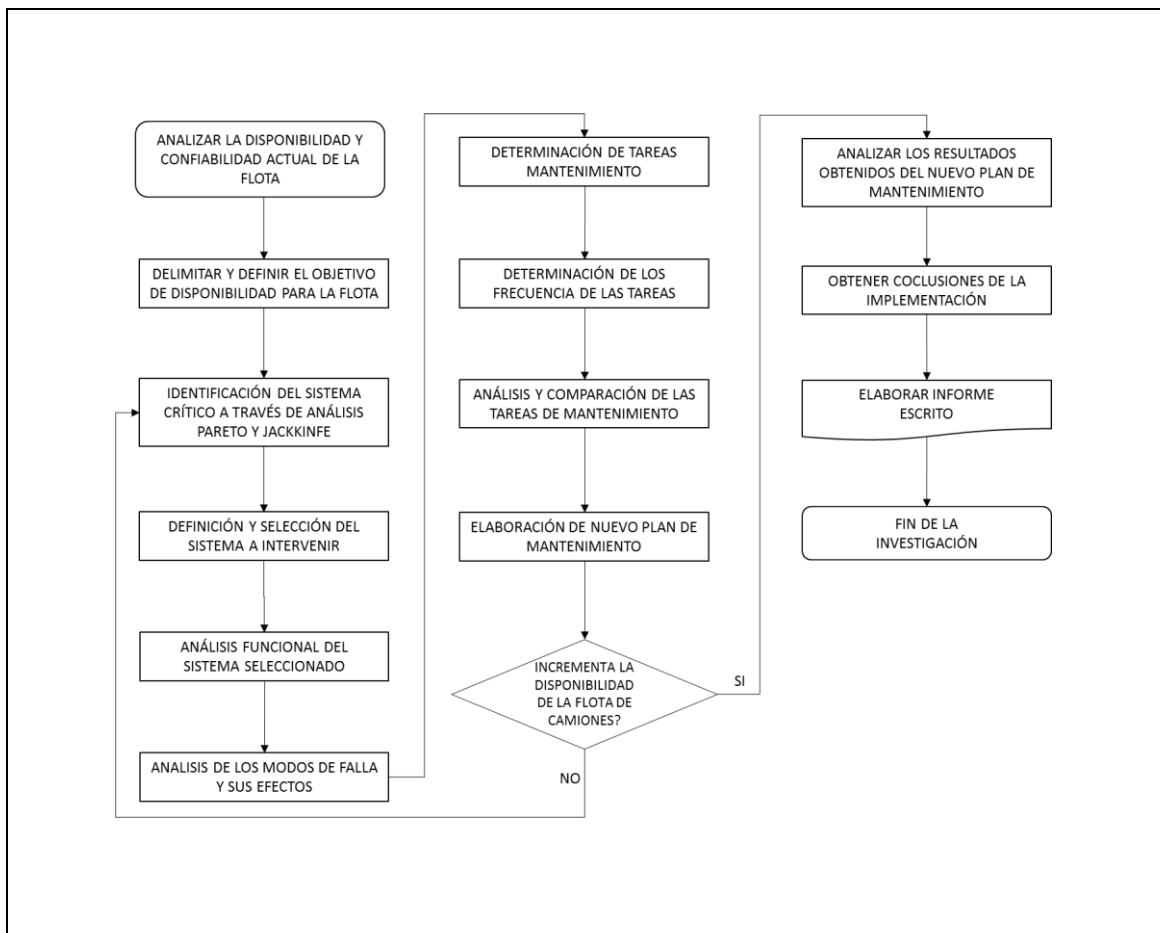


Figura 7: Diagrama de Flujo de la investigación, Elaboración propia

Diseño de Investigación: Experimental, porque se analiza el comportamiento de la flota de camiones Komatsu 730E antes y después de la aplicación de las estrategias de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

3.2. Variables y operacionalización

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Escala
Plan de Mantenimiento de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E.	Es un conjunto de tareas que se realizan con el objetivo de aumentar al máximo la vida útil de un sistema, equipo o componente.	<ul style="list-style-type: none"> Tareas obtenidas de los registros del área de Ingeniería de Mantenimiento. Intervalo obtenido de los registros del área de Ingeniería de Mantenimiento. Recursos obtenidos de los registros del área de Ingeniería de Mantenimiento. 	-	Nominal
Disponibilidad	Es la confianza que se tiene de que un sistema, equipo o componente que tuvo mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente en un tiempo determinado.	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de equipo disponible obtenido por el sistema Dispatch. Tiempo de equipos en mantenimiento obtenido por el sistema Dispatch. 	Tiempo Tiempo	Razón
Tiempo Medio entre fallas (MTBF)	Es la duración promedio del tiempo operativo entre las fallas de un activo o componente.	<ul style="list-style-type: none"> Número de Fallas obtenido por el sistema Dispatch. Intervalo de Fallas obtenido por el sistema Dispatch. 	N° Fallas Hora	Intervalo
Tiempo Medio para reparación (MTTR)	Este indicador muestra el tiempo promedio que demoran las reparaciones o intervenciones de un activo.	<ul style="list-style-type: none"> Número de Fallas obtenido por el sistema Dispatch. Tiempo de parada por falla obtenido por el sistema Dispatch. 	N° Fallas Hora	Intervalo
Costo de Mantenimiento	Es el precio pagado para reparar o conservar un sistema, equipo o componente para que cumpla la función para la cual fue creado.	<ul style="list-style-type: none"> Dólares por mes obtenido del sistema ERP Oracle. 	USD\$	Intervalo
Sistema que genere mayor impacto negativo en los indicadores	Son aquellos sistemas de los equipos cuyas fallas tengan un efecto directo sobre su disponibilidad, MTBF y MTTR.	<ul style="list-style-type: none"> Sistemas con más horas indisponibles obtenidos del reporte de Pareto y reporte Jackknife 	-	Ordinal

3.2.1. Variable Independiente:

- Plan de Mantenimiento de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E.

3.2.2. Variable Dependiente:

- Disponibilidad de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E.
- Tiempo Medio entre fallas (MTBF) de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E.
- Tiempo Medio para reparación (MTTR) de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E.
- Costos de mantenimiento de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E.

3.2.3. Variable Intervinientes:

- Contexto Operacional de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E.
- Función de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte.
- Política de inventarios de repuestos de la unidad minera Lagunas Norte.

3.3. Población, muestra y muestreo, unidad de análisis

Población: Flota de Camiones Komatsu 730E (19 unidades) de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte.

Criterios de inclusión: Se consideraron todas las unidades de los camiones Komatsu 730E de la unidad Minera Lagunas Norte, minera Barrick Misquichilca S.A., para buscar la similitud de las ocurrencias de fallas en la flota.

Criterios de exclusión: No se excluye ningún camión Komatsu 730E de la flota.

Muestra: Poblacional - Flota completa de Camiones Komatsu 730E (19 unidades) de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Etapas	Técnica / Método	Instrumentos	Fuentes	Resultados
Analizar los indicadores actuales de la flota	Análisis documental	Ficha de registro	Reportes Software de Gestión de Mantenimiento	Para conocer los valores de disponibilidad, MTBF y MTTR de los equipos en estudio.
Analizar plan actual de mantenimiento	Análisis documental	-----	Software de Gestión de Mantenimiento	identificar las tareas inmersas en el plan actual de mantenimiento.

Etapas	Técnica / Método	Instrumentos	Fuentes	Resultados
Identificar el sistema que genere mayor impacto en los indicadores	Análisis documental	Cuadro Pareto Diagrama Jackknife	Software de Gestión de Mantenimiento	Listado de sistemas que afectan a la flota.
Definir y seleccionar el sistema al cual se aplicará el RCM.	Análisis documental	Cuadro Pareto Diagrama Jackknife	Software de Gestión de Mantenimiento	Listado de sistemas crítico a los cuales se aplicará RCM.
Realizar análisis funcional del sistema seleccionados	Análisis documental	Ficha de registro	Contexto Operacional Manual de Operación	Identificación del entorno de operación de los sistemas críticos
Analizar los modos de falla y sus efectos del sistema seleccionado	Análisis documental	RCM	Histórico de fallas Manual de Operación	Listar todos los modos de fallas posible, así como sus efectos.
Definir las tareas, a ser incluidas en plan de mantenimiento de la flota	Observación	RCM	Bibliografía	Encontrar las tareas que reduzcan la posibilidad de falla.

Etapas	Técnica / Método	Instrumentos	Fuentes	Resultados
Definir el intervalo de las tareas a ser incluidas en plan de mantenimiento de la flota.	Observación	-----	Bibliografía	Encontrar la frecuencia optima de las tareas que reduzcan la posibilidad de falla.
Modificar y aplicar el plan de mantenimiento de la flota.	Planificación técnica	-----	Antecedentes	Determinar los nuevos valores de los indicadores de los equipos en estudio
Comparar los resultados obtenidos	Cuadro de comparación	-----	Reportes Software de Gestión de Mantenimiento	Análisis comparativo de los indicadores de los equipos en estudio

3.5. Procedimientos

El modo de recolección de información se realizará a través del software de Mantenimiento utilizado en la unidad minera, dicha información es la fuente más importante para la investigación, dado que, en dicho sistema se registra todas las intervenciones de mantenimiento de los equipos en estudio.

Los Datos se pueden comparar y validar a través de la comparación de información con empresas similares.

3.6. Métodos de Análisis de Datos

El método de análisis que se utilizará será el análisis explicativo ya que se explicará el comportamiento de las variables en su medio.

3.7. Aspectos éticos

La recolección de datos, su procesamiento, interpretación y elaboración completa de la investigación, será ejecutada por los autores del presente estudio.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación de indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR)

4.1.1. Evaluación de Disponibilidad

Para el cálculo del indicador disponibilidad se determinó inicialmente las horas labores de la empresa, considerando que según el plan de minado de la unidad minera Lagunas Norte es necesaria la operación de la flota de acarreo durante las 24 horas al día, en consecuencia, los datos mostrados en la tabla N°1 representan las horas mensuales programadas para trabajar de la flota de camiones Komatsu, durante el periodo de estudio.

Tabla 1: Horas laborales de la empresa Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Horas laborales de la empresa mensual flota de Camiones Komatsu 730E															
Equipo	2017												2018		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
730E N°01	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°02	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°03	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°04	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°05	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°06	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°07	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°08	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°09	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°10	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°11	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°12	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°13	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°14	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°15	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°16	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°17	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°18	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
730E N°19	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	744	672	744
Total Flota	14136	12768	14136	13680	14136	13680	14136	14136	13680	14136	13680	14136	14136	12768	14136

En la tabla N°2 se muestra la disponibilidad obtenida mes a mes para la el total de la flota de camiones Komatsu 730E (19 unidades) durante el periodo de enero 2017 a marzo 2018 (15 meses de análisis), se utilizaron

los datos reportados en el sistema DISPATCH (el detalle de los valores se pueden encontrar en el ANEXO N°01), en el cual se registran todos los turnos día a día, todos los eventos y tiempos asignados al área de operaciones (Demora, Stand By y Utilitario), y al área de mantenimiento, cabe mencionar que el tiempo o eventos asignados a mantenimiento considera tanto las paradas preventivas como correctivas.

Tabla 2: Disponibilidad Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Disponibilidad mensual flota de Camiones Komatsu 730E															
Equipo	2017												2018		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
730E N°01	87%	91%	89%	89%	88%	88%	55%	86%	88%	91%	88%	81%	93%	86%	91%
730E N°02	94%	92%	93%	89%	75%	93%	93%	46%	63%	89%	93%	88%	86%	90%	82%
730E N°03	87%	87%	83%	95%	87%	94%	87%	88%	93%	87%	78%	91%	88%	77%	78%
730E N°04	70%	81%	82%	79%	86%	88%	86%	80%	78%	43%	89%	90%	79%	52%	81%
730E N°05	88%	80%	86%	86%	85%	86%	93%	92%	80%	78%	83%	81%	91%	76%	84%
730E N°06	74%	93%	82%	93%	78%	91%	94%	93%	92%	79%	89%	88%	88%	88%	87%
730E N°07	68%	94%	87%	88%	86%	88%	87%	88%	88%	69%	85%	90%	85%	85%	86%
730E N°08	88%	86%	85%	68%	68%	90%	78%	61%	45%	81%	89%	87%	86%	92%	86%
730E N°09	84%	87%	81%	85%	85%	82%	91%	87%	91%	81%	90%	84%	85%	81%	82%
730E N°10	95%	88%	93%	86%	83%	85%	66%	92%	85%	88%	87%	85%	90%	70%	80%
730E N°11	73%	90%	61%	89%	84%	91%	91%	92%	82%	90%	86%	90%	77%	84%	90%
730E N°12	87%	91%	92%	78%	94%	78%	87%	87%	72%	81%	87%	90%	80%	90%	82%
730E N°13	88%	89%	85%	70%	93%	86%	88%	84%	55%	78%	84%	84%	83%	81%	75%
730E N°14	83%	91%	89%	88%	94%	89%	93%	92%	86%	80%	91%	92%	92%	77%	68%
730E N°15	85%	87%	72%	85%	80%	88%	88%	86%	64%	78%	86%	89%	90%	83%	90%
730E N°16	91%	93%	81%	71%	82%	96%	93%	89%	87%	87%	86%	94%	88%	87%	76%
730E N°17	88%	92%	89%	87%	84%	86%	88%	81%	91%	85%	89%	69%	89%	90%	86%
730E N°18	88%	87%	80%	79%	86%	85%	92%	85%	59%	85%	75%	80%	86%	91%	92%
730E N°19	90%	94%	87%	85%	88%	88%	86%	86%	87%	86%	88%	86%	86%	77%	84%
Total Flota	85%	89%	84%	84%	85%	88%	86%	84%	78%	81%	87%	86%	86%	82%	83%

Al analizar la disponibilidad de flota en total, es importante disgregar los datos por cada uno de los equipos pertenecientes a la flota y así poder identificar el valor alcanzado para cada uno de ellos, este cálculo permite conocer cuál o cuáles de los camiones generan mayor impacto de tal manera que se puedan tomar las acciones correctivas pertinentes con fin de alcanzar la disponibilidad comprometida para el periodo.

Considerando lo descrito anteriormente se encontró que 12 de los 19 camiones reportaron disponibilidades por debajo del objetivo propuesto, asimismo se evidencia que los camiones N°04 y N°08 alcanzaron las

disponibilidades más bajas en para el periodo en análisis, cayendo incluso por debajo del 80%, asimismo se evidencia que sólo 7 unidades alcanzaron o sobrepasaron la meta establecida del 85.7%.

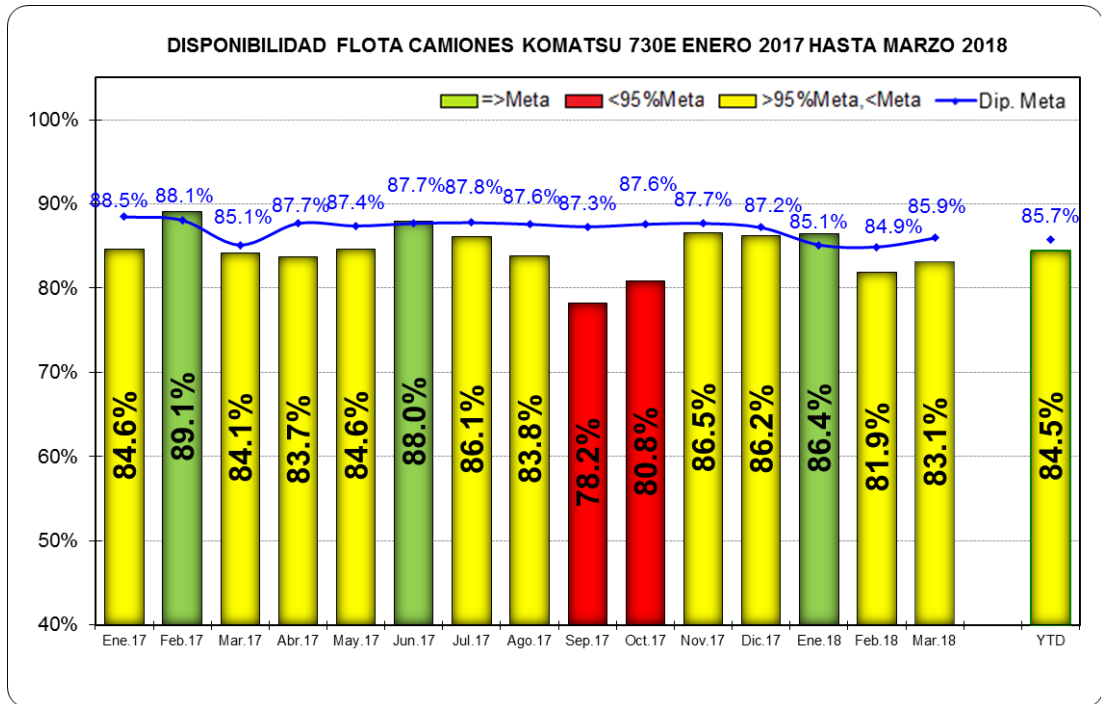


Figura 8: Disponibilidad Ene2017 – Mar2018 Flota de camiones Komatsu 730E, Elaboración Propia

La Figura N°8 muestra de manera gráfica los valores de disponibilidad reales alcanzados versus los valores proyectados por el área de mantenimiento en el periodo en estudio (mes a mes), en dicha gráfica se puede apreciar de manera determinante el incumplimiento de la meta de disponibilidad de la flota de camiones Komatsu 730E, de los 15 meses analizados sólo se logró el objetivo en 3 de ellos (barras de color verde), adicionalmente en 10 meses se alcanzó disponibilidades por encima del 95% de la meta establecida (barras de color amarillo), y finalmente en 2 oportunidades los valores alcanzados estuvieron por debajo del 95% (barras de color rojo).

El promedio total de la disponibilidad de la flota en el periodo analizado es de 84.5% el cual se encuentra por debajo de la meta establecida (85.7%),

evidenciando la deficiencia en la gestión de mantenimiento llevada a cabo actualmente para dichos equipos.

4.1.2. Evaluación de Confiabilidad (MTBF y MTTR)

Los indicadores más utilizados en el sector para poder determinar la confiabilidad de los equipos o flota son el de Tiempo promedio entre fallas (MTBF) y el Tiempo promedio para la reparación (MTTR), por tal motivo se procedió a determinar las diversas variables intervinientes para el caculo de estos dos indicadores.

Tabla 3: Tiempo de parada por mantenimiento Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Tiempo de parada (horas) por mantenimiento de flota de Camiones Komatsu 730E															
Equipo	2017												2018		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
730E N°01	99	62	84	81	90	88	333	104	84	64	85	141	53	94	67
730E N°02	46	57	49	77	183	49	51	402	263	81	54	86	103	65	134
730E N°03	95	89	128	33	95	41	95	93	52	94	156	65	87	153	163
730E N°04	223	127	131	152	103	85	108	150	158	426	78	78	156	325	140
730E N°05	92	132	106	104	113	104	51	61	141	160	121	139	68	161	120
730E N°06	195	45	131	54	161	66	47	49	59	158	78	91	90	80	99
730E N°07	236	43	99	83	105	87	95	87	88	229	109	78	110	99	107
730E N°08	88	92	113	233	235	73	164	293	394	143	81	94	105	55	104
730E N°09	121	90	143	109	108	128	65	88	66	144	69	119	114	127	137
730E N°10	40	80	54	99	124	106	256	58	105	91	91	113	77	204	147
730E N°11	199	66	291	79	119	65	69	63	129	74	98	74	171	108	77
730E N°12	94	63	59	156	45	155	95	100	199	145	95	78	152	67	136
730E N°13	92	72	113	213	54	102	89	117	327	165	117	118	123	128	182
730E N°14	125	59	79	88	42	83	52	62	104	145	68	59	62	158	241
730E N°15	109	85	205	111	151	90	88	107	261	167	103	85	76	113	73
730E N°16	65	46	139	209	133	28	52	82	97	100	98	47	87	86	182
730E N°17	87	51	79	91	117	104	91	140	64	109	81	232	80	66	101
730E N°18	92	90	146	153	106	108	56	113	293	112	178	148	105	64	63
730E N°19	73	40	96	109	88	84	105	105	94	107	84	106	102	156	118
Total Flota	2171	1388	2243	2233	2172	1645	1961	2274	2977	2713	1844	1950	1922	2306	2391

Como se indicó en el análisis de disponibilidad, las horas asignadas para trabajos de mantenimiento se extrajeron del sistema DISPATCH, en dicho sistema se encontraron los valores tanto para mantenimiento correctivo (eventos cuando el equipo solicita al área de mantenimiento) así como el mantenimiento preventivo (eventos cuando el área de mantenimiento solicita al equipo) para la flota de camiones Komatsu 730E. Los valores extraídos se muestran en la tabla N°03, de la cual

también se pudo determinar que, para el periodo en estudio, el área de mantenimiento intervino cerca de 2150 horas al mes para toda flota, y cerca de 113 horas en promedio por cada uno de los camiones analizados.

Tabla 4: Tiempo de parada por falla Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Tiempo de parada (horas) por fallas de flota de Camiones Komatsu 730E															
Equipo	2017												2018		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
730E N°01	57	39	40	39	26	51	311	56	51	19	51	89	30	19	34
730E N°02	20	19	15	22	158	26	16	332	168	40	6	32	48	33	61
730E N°03	56	56	61	28	48	16	34	48	12	22	122	28	37	115	134
730E N°04	189	20	98	134	67	34	82	117	112	384	5	33	124	310	93
730E N°05	37	80	68	69	91	77	13	36	74	113	69	111	35	119	79
730E N°06	110	20	113	24	146	29	16	19	13	109	10	63	51	25	30
730E N°07	217	14	86	30	54	44	54	50	46	185	49	28	39	21	27
730E N°08	59	29	47	192	184	31	127	262	375	54	28	44	54	23	42
730E N°09	78	57	114	56	73	95	33	60	33	46	20	76	71	80	40
730E N°10	6	46	24	62	97	68	228	28	58	45	58	40	47	148	121
730E N°11	179	28	156	37	56	20	35	33	59	22	57	38	121	89	49
730E N°12	57	31	29	135	22	45	42	42	179	49	44	38	99	36	25
730E N°13	36	40	96	173	21	49	61	13	310	108	32	71	64	101	54
730E N°14	36	19	52	54	5	46	9	20	38	110	13	9	21	45	63
730E N°15	89	43	114	91	116	58	58	53	213	145	48	50	33	86	45
730E N°16	31	33	95	194	96	4	24	53	73	51	19	19	21	42	83
730E N°17	38	24	58	67	68	58	61	119	14	54	37	184	22	43	52
730E N°18	57	41	111	111	41	61	25	43	275	83	150	87	53	34	20
730E N°19	23	6	39	39	55	51	60	68	18	14	45	47	62	116	29
Total Flota	1374	644	1415	1556	1421	863	1291	1449	2119	1652	862	1085	1032	1485	1078

Una vez determinado el tiempo de intervención por mantenimiento (mostrados en la tabla N°03), se desglosó los valores de tiempo de parada por falla o mantenimiento correctivo (Tabla N°04), dichos valores representan la sumatoria de todas las horas o tiempos de parada de los equipos intervenidos por alguna falla que haya generado la indisponibilidad de éste. El valor promedio de paradas por falla de la flota de camiones está cercano a las 1000 horas durante el periodo en estudio, no obstante, al tener el cálculo detallado por equipo, se logró corroborar que los camiones N°04 y N°08 (equipos con más baja disponibilidad) tienen también el mayor número de tiempo de paradas correctivas, 1802 y 1550 respectivamente.

Este análisis también permitió determinar el porcentaje de mantenimiento preventivo versus mantenimiento correctivo durante el periodo en estudio, alcanzado valores de 40% y 60% para el mantenimiento preventivo y correctivo respectivamente, reforzando así la problemática sobre la gestión de mantenimiento aplicadas a la flota de camiones Komatsu 730E que en comparación con los valores de clase mundial para el porcentaje de mantenimiento preventivo (80%) el valor real de la flota de camiones está muy por debajo, reflejando así la necesidad de modificar la estrategia actual para así restablecer los valores a niveles de calidad.

Tabla 5: Número de fallas Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Número de fallas de flota de Camiones Komatsu 730E															
Equipo	2017												2018		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
730E N°01	17	10	20	17	10	13	7	10	13	12	19	20	14	15	13
730E N°02	12	13	11	9	20	15	16	27	22	21	8	11	17	13	21
730E N°03	16	20	21	14	25	9	20	23	8	14	17	15	16	14	13
730E N°04	25	15	22	22	15	14	6	18	21	23	6	15	10	22	37
730E N°05	16	21	29	7	41	24	12	19	23	25	16	13	21	19	20
730E N°06	21	12	15	12	9	14	7	9	13	18	9	14	14	10	11
730E N°07	16	8	30	16	27	19	23	22	17	24	24	17	16	11	14
730E N°08	7	18	18	22	21	17	22	16	13	24	11	21	14	11	14
730E N°09	17	25	15	15	21	26	11	12	12	12	13	13	18	19	14
730E N°10	7	18	13	17	26	28	21	10	26	18	26	14	18	13	23
730E N°11	14	7	25	18	16	16	9	19	20	10	25	19	20	13	28
730E N°12	20	18	16	30	12	23	21	22	12	24	25	22	20	18	15
730E N°13	8	12	25	16	15	12	19	15	27	23	17	24	24	19	20
730E N°14	15	9	18	15	3	21	5	14	15	32	10	6	9	15	14
730E N°15	18	18	17	21	38	16	13	27	9	21	16	18	22	14	15
730E N°16	17	12	23	25	21	3	11	20	14	13	11	10	10	13	23
730E N°17	16	16	28	15	23	18	18	19	11	17	17	20	14	15	11
730E N°18	13	23	18	12	23	22	12	15	11	23	22	18	13	14	18
730E N°19	7	8	21	13	12	14	16	11	14	16	13	16	12	25	12
Total Flota	282	283	385	316	378	324	269	328	301	370	305	306	302	293	336

En la tabla N°05 se muestran la cantidad de eventos de falla o número de fallas ocurridas en la flota de camiones Komatsu 730E mes a mes durante el periodo de estudio, en este análisis, paradójicamente se encontró que no necesariamente los equipos que más horas de parada

por falla tenían, son los que tienen más eventos o números de fallas, éste es el caso de los camiones N°05 y N°12, ambos registraron 306 y 298 eventos cada uno, sin embargo, estos equipos no fueron los que reportaron la mayor cantidad de horas de parada (Tabla N°04), esto quiere decir que la rapidez de atención de mantenimiento fue más eficaz para unos equipos en comparación con el resto de la flota analizada.

Tabla 6: Tiempo medio entre fallas Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de flota de Camiones Komatsu 730E															
Equipo	2017												2018		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
730E N°01	38	61	33	38	65	49	59	64	49	57	33	30	49	39	52
730E N°02	58	47	63	71	28	45	43	13	21	32	83	60	38	47	29
730E N°03	41	29	29	49	26	75	32	28	83	46	33	45	41	37	45
730E N°04	21	36	28	26	43	45	106	33	27	14	107	44	59	16	16
730E N°05	41	26	22	88	15	26	58	36	25	23	37	47	32	27	31
730E N°06	26	52	41	56	65	47	100	77	51	33	71	47	47	59	59
730E N°07	32	79	21	40	24	33	28	30	37	21	25	39	40	52	45
730E N°08	94	32	35	22	24	38	26	28	25	25	58	31	46	56	46
730E N°09	37	23	40	41	30	23	62	55	55	50	50	48	35	29	43
730E N°10	101	33	53	37	24	22	23	69	24	36	24	45	37	36	26
730E N°11	39	87	18	36	39	41	75	36	30	67	25	35	29	43	24
730E N°12	32	34	43	19	58	25	31	29	43	25	25	30	30	34	41
730E N°13	82	50	25	32	46	52	34	42	15	25	35	26	26	29	28
730E N°14	41	68	37	42	234	30	138	49	41	19	65	114	76	34	36
730E N°15	35	33	32	29	16	39	50	24	51	27	39	37	30	40	45
730E N°16	40	52	26	20	29	231	63	33	45	50	57	70	66	45	24
730E N°17	41	39	24	42	27	34	36	32	60	37	38	26	47	40	58
730E N°18	50	25	33	47	28	28	57	42	39	27	25	33	49	43	38
730E N°19	96	79	31	47	55	45	40	58	45	40	49	40	54	21	52
Total Flota	42	40	31	36	32	37	45	36	36	31	39	40	40	36	35

Luego de hallar las variables o factores para el cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF), se procedió a calcular el número de horas de operación, restando las horas por parada de mantenimiento (Tabla N°03) a las horas labores de la empresa (Tabla N°01), posteriormente se realizó la división entre el número de eventos de fallas correctivas (Tabla N°05)

Los valores resultantes se pueden apreciar en la tabla N°06, encontrando que sólo en un mes de los quince analizados, se logró cumplir el objetivo de sobrepasar las 43 horas de tiempo medio entre falla para la flota de camiones, asimismo, tomando como referencia el valor de tiempo medio entre fallas (MTBF) de la flota, el cual arrojó 37.08 para el periodo en estudio, se pudo hallar la confiabilidad de la flota de camiones 730E, dicha confiabilidad mide la probabilidad de que se pueda cumplir el valor meta esperado de 43 horas de funcionamiento continuo sin falla por cada uno de los equipos pertenecientes la flota.

Tabla 7: Tiempo medio para reparar Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Tiempo Medio Para Reparar (MTTR) de flota de Camiones Komatsu 730E															
Equipo	2017												2018		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
730E N°01	3	62	84	80	90	87	333	101	87	64	85	141	53	94	94
730E N°02	2	1	1	2	8	2	1	12	8	2	1	3	3	3	3
730E N°03	3	3	3	2	2	2	2	2	1	2	7	2	2	8	10
730E N°04	8	1	4	6	4	2	14	7	5	17	1	2	12	14	3
730E N°05	2	4	2	10	2	3	1	2	3	5	4	9	2	6	4
730E N°06	5	2	8	2	16	2	2	2	1	6	1	4	4	2	3
730E N°07	14	2	3	2	2	2	2	2	3	8	2	2	2	2	2
730E N°08	8	2	3	9	9	2	6	16	29	2	3	2	4	2	3
730E N°09	5	2	8	4	3	4	3	5	3	4	2	6	4	4	3
730E N°10	1	3	2	4	4	2	11	3	2	3	2	3	3	11	5
730E N°11	13	4	6	2	4	1	4	2	3	2	2	2	6	7	2
730E N°12	3	2	2	5	2	2	2	2	15	2	2	2	5	2	2
730E N°13	4	3	4	11	1	4	3	1	11	5	2	3	3	5	3
730E N°14	2	2	3	4	2	2	2	1	3	3	1	2	2	3	4
730E N°15	5	2	7	4	3	4	4	2	24	7	3	3	1	6	3
730E N°16	2	3	4	8	5	1	2	3	5	4	2	2	2	3	4
730E N°17	2	2	2	4	3	3	3	6	1	3	2	9	2	3	5
730E N°18	4	2	6	9	2	3	2	3	25	4	7	5	4	2	1
730E N°19	3	1	2	3	5	4	4	6	1	1	3	3	5	5	2
Total Flota	5	2	4	5	4	3	5	4	7	4	3	4	3	5	3

El tiempo medio para reparar mide que tan eficaz es el área de mantenimiento para intervenir o corregir las fallas, como se logró hallar las horas por parada de fallas (Tabla N°4) así como el número de eventos de fallas correctivas (tabla N°05), se realizó la división para poder calcular este indicador tan importante de la gestión de mantenimiento.

En la tabla N°07 se aprecia los valores de tiempo medio para reparar en el periodo en estudio, arrojando como valor promedio 4.06 horas para reparar cada falla presentada, dicho valor se encuentra por encima de lo esperado (valor meta) que es 2.8 horas.

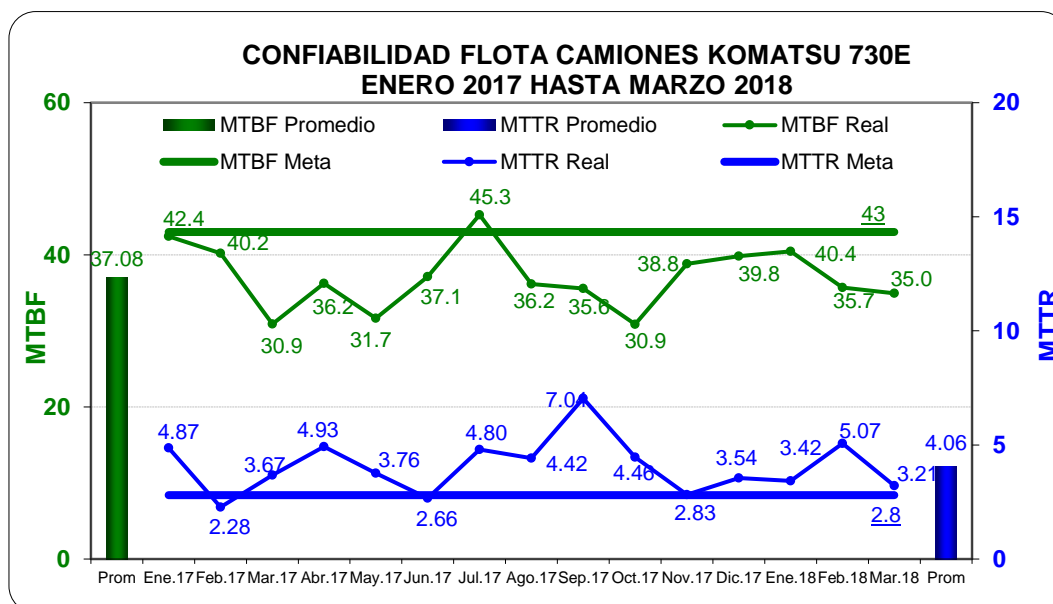


Figura 9: Confiabilidad Ene2017 – Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

En la figura N° 09 se muestra de manera gráfica los valores de Tiempo promedio entrega fallas (MTBF) y tiempo promedio para reparar MTTR para la flota de camiones Komatsu 730E, en dicha gráfica se puede apreciar los valores promedios, reales y meta para cada uno de los indicadores, y refleja de manera contundente que en ambos casos los valores reales están por debajo de los esperados por la organización, para el caso del MTBF (línea verde) sólo se ha superado en uno de los 15 meses analizados, y para el caso de MTTR, sólo en 2 ocasiones se reportó valores por debajo de las 2.8 horas.

4.2. Identificación del sistema con mayor indisponibilidad

Las tablas y gráficas anteriormente mostradas de disponibilidad y confiabilidad sólo es el paso inicial para la identificación de la problemática

de la flota de camiones Komatsu 730E, para tener un panorama más amplio es necesario desglosar de manera detallada las fallas ocurridas en el periodo en estudio para poder así aplicar estrategias que aporten a superar los valores antes vistos, el detalle de lo mencionado se analizará a través del diagrama Pareto y Jackknife.

4.2.1. Diagrama de Pareto

Para la elaboración del diagrama Pareto, se distribuyó las horas de parada por falla por cada sistema al cual fue afectado, para posteriormente ordenarlos de manera descendente como se muestra en la tabla N°08.

Tabla 8: Duración de fallas por sistemas Ene2017-Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Sistema	Duración de fallas	Cantidad de fallas	MTTR
Motor Mecánico	7,356.3	1,052	7.0
Sistema potencia	3,317.2	835	4.0
Estructural	2,342.8	319	7.3
Suspensiones	1,627.3	224	7.3
Eléctrico	1,537.7	916	1.7
Cabina	1,246.2	574	2.2
Motor Eléctrico	1,007.6	404	2.5
Sistema dirección	966.0	166	5.8
Hidráulico	847.4	194	4.4
Frenos	598.8	166	3.6
Eléctrico arranque	494.1	295	1.7
Sistema dispatch	340.3	210	1.6
Logística	304.3	2	152.1
Aire acondicionado	223.0	86	2.6
Tren de potencia	112.4	39	2.9
lubricación	106.8	76	1.4
Parada Operativa	76.7	22	3.5
sistema contra incendios	54.5	32	1.7
Cont. PM	12.0	1	12.0
Sistema neumático	2.6	1	2.6
Total	22574.0	5614.0	-

Una vez graficado el diagrama de Pareto mostrado en la figura N°10, se puede afirmar que los sistemas responsables de la indisponibilidad del equipo son el motor mecánico (Diesel), sistema de potencia, estructural y neumáticos, los cuales son responsables del 80% de tiempo de indisponibilidad del equipo.

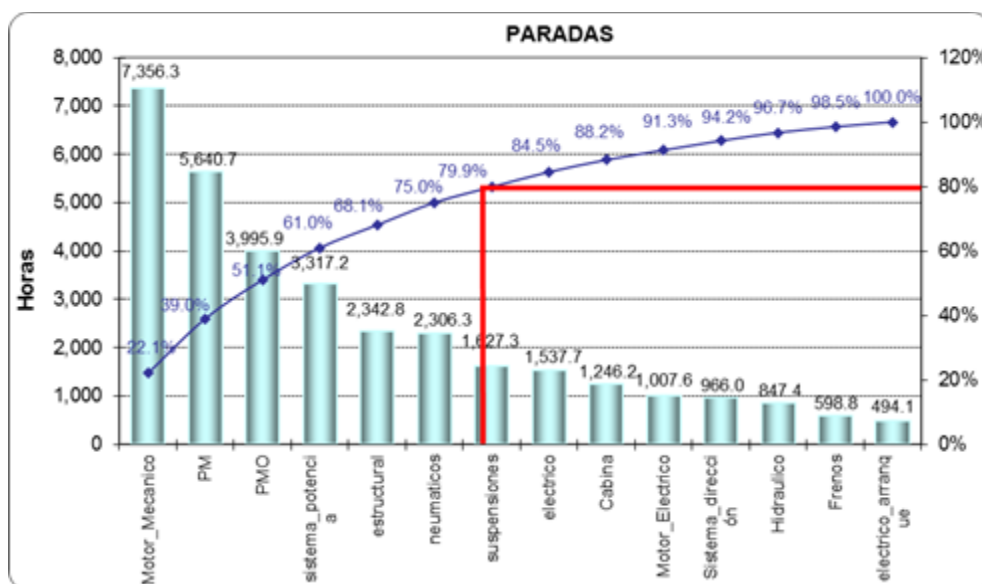


Figura 10: Diagrama Pareto Ene2017–Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

4.2.2. Diagrama Jackknife

Se realizó en análisis bajo el método de Jackknife, para el cual utilizó el Tiempo Medio para reparar (MTTR) así como el número de fallas correctivas de la base de datos de la flota de camiones Komatsu 730E, para este análisis se incluyó todos los sistemas que componen el camión en mención, con el fin de obtener los sistemas más críticos o crónicos que en adelante se debería priorizar o tomar para la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Para definir los líneas límites que permiten identificar los 4 cuadrante de este diagrama, se graficó 2 líneas, tanto en el eje X (N° de fallas) como en el eje Y (MTTR), para ello se realizó el cálculo mostrado a continuación.

Límite de MTTR

$$\text{Límite MTTR} = \frac{\text{Suma Total de Duración de Fallas}}{\text{Suma de Cantidad de Fallas}}$$

$$\text{Límite MTTR} = \frac{22574.0}{5614.0}$$

Límite de N° de fallas

$$\text{Límite N° Fallas} = \frac{\text{Suma Total de la Cantidad de Fallas}}{\text{Total de Sistemas}}$$

$$\text{Límite N° Fallas} = \frac{5614.0}{20} = 280.7$$

Una vez definidos los límites para la identificación de los 4 cuadrantes se procedió la distribución de los sistemas según los valores indicados en la tabla N°08 dentro de cada uno de los cuadrantes, leve – poco frecuente, crónico, grave y agudo – crónico respectivamente según se muestra en la figura N°11.

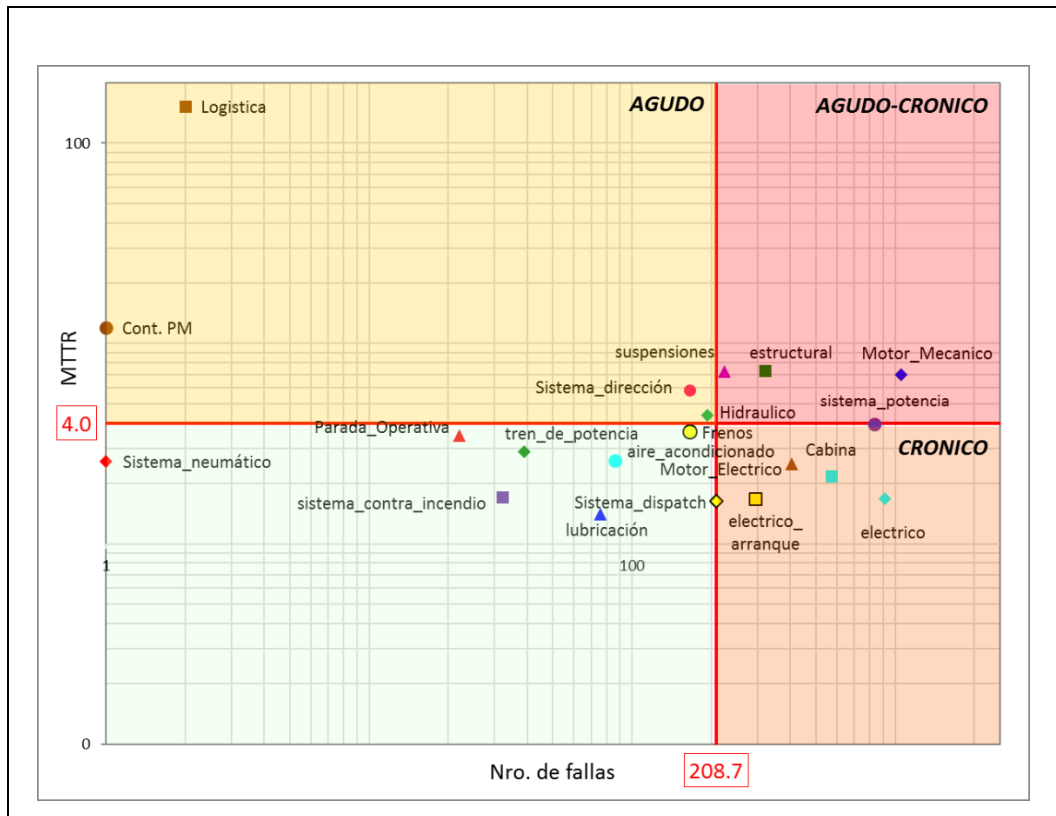


Figura 11: Diagrama Jackknife Ene2017–Mar2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Como resultado del método, los sistemas de interés (cuadrante agudo – crónico) son el motor mecánico (Diesel) con un 33% de participación en la duración de las fallas y responsable de 19% del número de fallas, el sistema de potencia con un 15% de participación en la duración de las fallas y con un 15% de responsabilidad en el número de fallas y el sistema estructural con una participación del 10% en la duración de fallas y con un 60% sobre la cantidad de fallas. Si bien estos tres sistemas se encuentran ubicados en el cuadrante agudo - crónico y son los responsables directos sobre los indicadores; se puede apreciar que el Motor Mecánico (Diesel) es el sistema que mayor impacto negativo genera dado que es responsable tanto en el tiempo de duración de las fallas como también ha sido el sistema que más veces ha fallado. Cabe mencionar, que el sistema motor Diesel coincide con el método aplicado anteriormente (Pareto), siendo éste el que tiene la mayor participación en la indisponibilidad motivo por el cual se considera que es el indicado para aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) apuntando a disminuir su incidencia directa en los indicadores de la flota.

4.3. Aplicación de metodología RCM

4.3.1. Contexto Operacional Camión Komatsu 730E

El contexto operacional se elaboró tomando en cuenta el ámbito de operación de la corporación Barrick Gold, así como el efecto de la gestión que ésta tiene sobre la unidad minera Lagunas Norte. Posteriormente se describe la operación que desarrolla la flota de camiones Komatsu 730E, detallando las políticas de Mantenimiento e inventarios, así como los sistemas que forman parte de estos equipos. Por último, se explica las funciones que realiza el motor Diesel Cummins K2000 y cada uno de sus subsistemas con la finalidad de identificar las

fallas funcionales de este componente. Los detalles del contexto operacional se pueden encontrar en el Anexo N°02.

4.3.2. Identificación de fallas funcionales

Para poder identificar las fallas funcionales, se tomó la información de la base datos de fallas de los 19 camiones Komatsu 730E durante los 15 meses en estudio, se considera que por cada ocurrencia de falla, los equipos tuvieron la incapacidad de cumplir su función dentro del proceso productivo, del mismo modo se procedió a agrupar los eventos de fallas del sistema Motor Mecánico (Diesel) por sub- sistemas, así como por los componentes de cada uno de ellos, esto permitió reconocer la función y listar las fallas funcionales para cada uno de ellos como se muestra a continuación.

Se consideró también los estados de fallo asociados con cada función del componente analizado, para este caso en particular, a manera de simplificar se colocó una falla funcional por cada función realizada por cada componente del Motor Diesel.

Tabla 9: Fallas funcionales motor Diesel K2000, Elaboración Propia

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	
ESTRUCTURA DE MOTOR	1	Cárter	1	Recipiente de aceite, sedimentador de partículas	A	No coleccionar o retener aceite
	2	Retén de cigüeñal	1	Retener el aceite entre 2 cámaras	A	Dejar pasar aceite entre 2 cámaras
	3	Retén de cigüeñal	1	Sujetar el motor en la base	A	No sujetar el motor en la base
	4	Engranajes de distribución	1	Distribuir potencia del motor a los componentes auxiliares	A	No transmitir potencia
SISTEMA DE ADMISIÓN	5	After cooler	1	Enfriamiento de ingreso de aire y mantener la presión de trabajo	A	No mantener la presión adecuada en la cámara
	6	Mangueras de admisión	1	Conducir el flujo de aire	A	No conducir adecuadamente el flujo de aire
	7	Filtros de aire	1	Limpiar el aire para una buena combustión	A	No limpiar partículas del aire
	8	Turbocargadores	1	Aumentar la presión de aire al ingreso de la combustión	A	No aumentar la presión de aire de ingreso

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	
SISTEMA DE ESCAPE	9	Tubo de escape	1	Entregar energía de compresión de aire	A	No entregar energía de compresión de aire
SISTEMA COMBUSTIBLE	10	Manguera de combustible	1	Conducir el combustible	A	Fuga de combustible
	11	Válvula STC	1	Dosificar combustible a bajas RPM y carga	A	No dosificar el combustible a bajas RPM y carga
	12	Válvula EFC	1	Dosificar combustible a bajas RPM y carga	A	No dosificar el combustible a bajas RPM y carga
	13	Filtro de combustible	1	Limpiar de impurezas el combustible	A	No limpiar el combustible
	14	Válvula shut-Off	1	Apertura y cierre del pase de combustible	A	No realizar el cierre ni apertura de combustible
	15	Rieles de combustible	1	Distribuir el combustible	A	No distribuir adecuadamente
	16	Inyectores de combustible	1	Dosificar e inyectar el combustible en la cámara de combustión	A	No dosificar adecuadamente el combustible
	17	Tanque de combustible	1	Almacenar el combustible	A	No almacenar adecuadamente el combustible
	18	Bomba de combustible	1	Bombear el combustible al sistema	A	No bombear el combustible a la presión requerida
SISTEMA LUBRICACIÓN	19	Aceite de motor	1	Lubricar el motor	A	No lubricar el motor
	20	Filtro de aceite	1	Filtrar las partículas en el aceite	A	No filtrar las impurezas del aceite
	21	Bomba de aceite	1	Bombear el aceite al sistema a una presión adecuada	A	No bombear el aceite a la presión requerida.
	22	Enfriador de aceite	1	Mantener frío el aceite para evitar sobrecalentamiento	A	No enfriar el aceite.
SISTEMA REFRIGERACIÓN	23	Radiador	1	Enfriar el refrigerante	A	No enfriar el refrigerante
	24	Manguera de refrigerante	1	Conducir el refrigerante adecuadamente	A	No conducir y presentar fugas
	25	Refrigerante	1	Enfriar al contacto	A	No enfriar o falta de refrigerante
SISTEMA DE ARRANQUE	26	Faja de alternador	1	Transmitir la potencia	A	No transmitir potencia
	27	Batería	1	Almacenar energía	A	No almacenar la energía suficiente
	28	Alternador	1	Generar corriente	A	No generar corriente
	29	Arnés eléctrico	1	Conexión de corriente	A	No conectar corriente
CONTROL	30	ECM-Cense	1	Controlar los parámetros y funcionamiento del motor	A	No controlar los parámetros y funcionamiento del motor
	31	Sensor	1	Detectar	A	No detecta

Como se muestra en la tabla N°09, se logró clasificar las fallas en 8 subsistemas, hallando un total de 31 fallas funcionales con las cuales se trabajarán de ahora en adelante, todos los valores mencionados están registrados en el AMFE (análisis modal de fallos y efectos)

4.3.3. Identificación de modos de falla

Como punto de partida para la identificación de modos de fallas, se evaluaron los modos de falla que se han producido en el periodo en estudio (enero 2017 – marzo 2018) y que fueron la causa probable de cada falla funcional identificada en el paso anterior, también se tomó en cuenta algunos modos de falla que son o forman parte del objeto de mantenimiento y por último y en menor cantidad algunos modos de fallas que no se han producido hasta la fecha, todos estos modos de falla fueron extraídos del historial del equipo, manual de fabricante del equipo así como de los técnicos especialistas en motores que trabajan en el área de mantenimiento.

A continuación, en la tabla N°10 se muestra los modos de falla identificados para las fallas funcionales anteriormente reportadas.

Tabla 10: Modos de Fallas motor Diesel K2000, Elaboración Propia

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	
ESTRUCTURA DE MOTOR	1	Cárter	1	Recipiente de aceite, sedimentador de partículas	A	No coleccionar o retener aceite	1	Fisura, rajadura del cárter
							2	Alto nivel de aceite
	2	Retén de cigüeñal	1	Retener el aceite entre 2 cámaras	A	Dejar pasar aceite entre 2 cámaras	1	Rotura del retén
							2	Desgaste del retén
	3	Soporte de motor	1	Sujetar el motor en la base	A	No sujetar el motor en la base	1	Rotura del perno de sujeción
	4	Engranajes de distribución	1	Distribuir potencia del motor a los componentes auxiliares	A	No transmitir potencia	1	Fractura de engranaje de distribución.
SISTEMA DE ADMISIÓN	5	After cooler	1	Enfriamiento de ingreso de aire y mantener la presión de trabajo	A	No mantener la presión adecuada en la cámara	1	Soplado de empaquetadura de crossover
							2	Fuga de aire, por manguera de crossover
							3	Fuga de aceite por empaques de crossover
	6	Mangueras de admisión	1	Conducir el flujo de aire	A	No conducir adecuadamente el flujo de aire	1	Rotura de mangueras y abrazaderas
7	Filtros de aire	1	Limpia el aire para una buena combustión	A	No limpiar partículas del aire	1	Saturación del filtro	
8	Turbocargadores	1	Aumentar la presión de aire al ingreso de la combustión	A	No aumentar la presión de aire de ingreso	1	Obstrucción del rotor	
						2	Fuga de aceite	
						3	Fisura del Housing (carcasa)	
SISTEMA DE ESCAPE	9	Tubo de escape	1	Entregar energía de compresión de aire	A	No entregar energía de compresión de aire	1	Tubo de escape descolgado (fuera de posición)
							2	Abrazaderas sueltas, fuga de gases
							3	Rotura de abrazadera de sujeción
SISTEMA COMBUSTIBLE	10	Manguera de combustible	1	Conducir el combustible	A	Fuga de combustible	1	Rotura de manguera
	11	Válvula STC	1	Dosificar combustible a bajas RPM y carga	A	No dosificar el combustible a bajas RPM y carga	1	Soltura u obstrucción

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	
SISTEMA COMBUSTIBLE	12	Válvula EFC	1	Dosificar combustible a bajas RPM y carga	A	No dosificar el combustible a bajas RPM y carga	1	Rotura de resorte de válvula.
	13	Filtro de combustible	1	Limpiar de impurezas el combustible	A	No limpiar el combustible	1	Saturación del filtro
	14	Válvula shut-off	1	Apertura y cierre del pase de combustible	A	No realizar el cierre ni apertura de combustible	1	Niple flojo de válvula shut-off
	15	Rieles de combustible	1	Distribuir el combustible	A	No distribuir adecuadamente	1	Fisura o rajadura en el riel.
	16	Inyectores de combustible	1	Dosificar e inyectar el combustible en la cámara de combustión	A	No dosificar adecuadamente el combustible	1	Obstrucción y mala dosificación (descalibrada)
	17	Tanque de combustible	1	Almacenar el combustible	A	No almacenar adecuadamente el combustible	1	Obstrucción del filtro de succión.
						2	Fisura y rajadura del tanque	
18	Bomba de combustible	1	Bombear el combustible al sistema	A	No bombear el combustible a la presión requerida	1	Desgaste de engranajes	
SISTEMA LUBRICACIÓN	19	Aceite de motor	1	Lubricar el motor	A	No lubricar el motor	1	Fuga de aceite
							2	Aceite contaminado
	20	Filtro de aceite	1	Filtrar las partículas en el aceite	A	No filtrar las impurezas del aceite	1	Saturación u obstrucción del filtro
	21	Bomba de aceite	1	Bombear el aceite al sistema a una presión adecuada	A	No bombear el aceite a la presión requerida.	1	Contaminación de bomba de aceite por objetos extraños.
2							Desgaste de engranajes	
22	Enfriador de aceite	1	Mantener frío el aceite para evitar sobrecalentamiento	A	No enfriar el aceite.	1	Picadura del enfriador de aceite	
SISTEMA REFRIGERACIÓN	23	Radiador	1	Enfriar el refrigerante	A	No enfriar el refrigerante	1	Persianas del radiador no abren
							2	Rotura de manguera de unión al radiador
	24	Manguera de refrigerante	1	Conducir el refrigerante adecuadamente	A	No conducir y presentar fugas	1	Rotura de manguera
	25	Refrigerante	1	Enfriar al contacto	A	No enfriar o falta de refrigerante	1	Fuga del refrigerante
							2	Daño de bomba de agua
3							Rotura de faja de ventilador	
						4	Rotura de pernos de mando de ventilador	

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	
SISTEMA DE ARRANQUE	26	Faja de alternador	1	Transmitir la potencia	A	No transmitir potencia	1	Desgaste de Faja
							2	Rotura de faja
	27	Batería	1	Almacenar energía	A	No almacenar la energía suficiente	1	Batería descargada
							2	Mal contacto por suciedad
	28	Alternador	1	Generar corriente	A	No generar corriente	1	Alternador quemado
	29	Arnés eléctrico	1	Conexión de corriente	A	No conectar corriente	1	Mala conexión de arnés eléctrico
							2	Cables rotos
	CONTROL	30	ECM-Cense	1	Controlar los parámetros y funcionamiento del motor	A	No controlar los parámetros y funcionamiento del motor	1
2								No hay conexión del ECM
3								Modulo Cense descalibrado
31		Sensor	1	Detectar	A	No detecta	1	Conectores sucios
							2	Sensores dañados, no detectan

Como se muestra en la tabla N°10, se identificaron 52 modos de falla para las fallas funcionales, debido a que se puede tener más de una causa (el por qué) por cada una de ellas.

4.3.4. Identificación de efectos de falla

Esta parte del proceso permite definir lo que sucede cuando ocurre cada modo de falla identificado en el proceso anterior, con este paso se genera la posibilidad de determinar el nivel de mantenimiento a aplicar.

Para la identificación de los efectos de falla se han considerado los siguientes aspectos:

- Evidencias de que se ha producido la falla (alarmas, alertas, ruidos, olores, humos, fugas, temperaturas, etc.)
- Maneras en que afecta la seguridad (caídas, golpes, incendio, intoxicación, explosión, electrocución, etc.)
- Maneras en que afecta la producción o el funcionamiento (tiempo de parada, calidad, penalizaciones, etc.)
- Daños físicos causados (Primarios y secundarios)

Como se aprecia en la tabla N° 11, los efectos de falla identificados para cada uno del modo de falla anteriormente reconocidos fueron plasmados en el análisis modal de falla y efectos (AMFE).

Tabla 11: Efecto de Fallas motor Diesel K2000, Elaboración Propia

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)			
ESTRUCTURA DE MOTOR	1	Cárter	1	Recipiente de aceite, sedimentador de partículas	A	No coleccionar o retener aceite	1	Fisura, rajadura del cárter	Pérdida de presión de aire de ingreso a la cámara de combustión
							2	Alto nivel de aceite	Alta presión de Blow-by
	2	Retén de cigüeñal	1	Retener el aceite entre 2 cámaras	A	Dejar pasar aceite entre 2 cámaras	1	Rotura del retén	Fuga de aceite
							2	Desgaste del retén	Fuga de aceite
3	Soporte de motor	1	Sujetar el motor en la base	A	No sujetar el motor en la base	1	Rotura del perno de sujeción	Vibración excesiva del motor al no estar sujeta adecuadamente a la base	
4	Engranajes de distribución	1	Distribuir potencia del motor a los componentes auxiliares	A	No transmitir potencia	1	Fractura de engranaje de distribución.	Trabamiento y desincronización de la bomba de agua	
SISTEMA DE ADMISIÓN	5	After cooler	1	Enfriamiento de ingreso de aire y mantener la presión de trabajo	A	No mantener la presión adecuada en la cámara	1	Soplado de empaquetadura de crossover	Alta temperatura de escape
							2	Fuga de aire, por manguera de crossover	Ruido excesivo en el motor
							3	Fuga de aceite por empaques de crossover	Fuga de refrigerante, alta temperatura de escape
	6	Mangueras de admisión	1	Conducir el flujo de aire	A	No conducir adecuadamente el flujo de aire	1	Rotura de mangueras y abrazaderas	Sonido extraño de motor, pérdida de potencia
	7	Filtros de aire	1	Limpiar el aire para una buena combustión	A	No limpiar partículas del aire	1	Saturación del filtro	Pérdida de potencia del motor
8	Turbocargadores	1	Aumentar la presión de aire al ingreso de la combustión	A	No aumentar la presión de aire de ingreso	1	Obstrucción del rotor	Sonido excesivo en el motor y pérdida de potencia	
						2	Fuga de aceite	Incendio del motor y pérdida de potencia	
						3	Fisura del Housing (carcasa)	Sonido excesivo en el motor y pérdida de potencia	
SISTEMA DE ESCAPE	9	Tubo de escape	1	Entregar energía de compresión de aire	A	No entregar energía de compresión de aire	1	Tubo de escape descolgado (fuera de posición)	Ingreso de gases de escape a la cabina
							2	Abrazaderas sueltas, fuga de gases	Ingreso de gases al motor, daña los filtros y genera ruido extraño en motor
							3	Rotura de abrazadera de sujeción	Ingreso de gases al motor, daña los filtros y genera ruido extraño en motor

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)		EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)
SISTEMA COMBUSTIBLE	10	Manguera de combustible	1	Conducir el combustible	A	Fuga de combustible	1	Rotura de manguera	Fuga de combustible y riesgo de incendio y contaminación
	11	Válvula STC	1	Dosificar combustible a bajas RPM y carga	A	No dosificar el combustible a bajas RPM y carga	1	Soltura u obstrucción	Excesivo humo blanco
	12	Válvula EFC	1	Dosificar combustible a bajas RPM y carga	A	No dosificar el combustible a bajas RPM y carga	1	Rotura de resorte de válvula.	Oscilación de motor, pérdida de control de acelerador.
	13	Filtro de combustible	1	Limpiar de impurezas el combustible	A	No limpiar el combustible	1	Saturación del filtro	Pérdida de potencia del motor
	14	Válvula shut-off	1	Apertura y cierre del pase de combustible	A	No realizar el cierre ni apertura de combustible	1	Niple flojo de válvula shut-off	Detención de motor, oscilación de motor y pérdida de potencia
	15	Rieles de combustible	1	Distribuir el combustible	A	No distribuir adecuadamente	1	Fisura o rajadura en el riel.	Humo excesivo, pérdida de potencia.
	16	Inyectores de combustible	1	Dosificar e inyectar el combustible en la cámara de combustión	A	No dosificar adecuadamente el combustible	1	Obstrucción y mala dosificación (descalibrada)	Alta o baja temperatura en los cilindros de combustión, pérdida de potencia del motor
	17	Tanque de combustible	1	Almacenar el combustible	A	No almacenar adecuadamente el combustible	1	Obstrucción del filtro de succión.	Baja presión de salida en la bomba de combustible.
							2	Fisura y rajadura del tanque	Fuga de combustible y contaminación del medio ambiente.
18	Bomba de combustible	1	Bombear el combustible al sistema	A	No bombear el combustible a la presión requerida	1	Desgaste de engranajes	Detención en caliente de motor Diesel, pérdida de potencia.	
SISTEMA LUBRICACIÓN	19	Aceite de motor	1	Lubricar el motor	A	No lubricar el motor	1	Fuga de aceite	Caída de presión de aceite
							2	Aceite contaminado	Daño acelerado de motor, desgaste interno.
	20	Filtro de aceite	1	Filtrar las partículas en el aceite	A	No filtrar las impurezas del aceite	1	Saturación u obstrucción del filtro	Contaminación de motor, código de falla por saturación de filtro
	21	Bomba de aceite	1	Bombear el aceite al sistema a una presión adecuada	A	No bombear el aceite a la presión requerida.	1	Contaminación de bomba de aceite por objetos extraños.	Fractura de bomba y pérdida de presión
2							Desgaste de engranajes	Pérdida de presión de aceite	
22	Enfriador de aceite	1	Mantener frío el aceite para evitar sobrecalentamiento	A	No enfriar el aceite.	1	Picadura del enfriador de aceite	Contaminación de refrigerante con el aceite	

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)	
SISTEMA REFRIGERACIÓN	23	Radiador	1	Enfriar el refrigerante	A	No enfriar el refrigerante	1	Persianas del radiador no abren	Alta temperatura de refrigerante, pérdida de potencia del motor y neutralización del equipo.
							2	Rotura de manguera de unión al radiador	Alta temperatura de refrigerante, pérdida de potencia del motor y neutralización del equipo.
	24	Manguera de refrigerante	1	Conducir el refrigerante adecuadamente	A	No conducir y presentar fugas	1	Rotura de manguera	Alta temperatura de refrigerante, pérdida de potencia del motor y neutralización del equipo.
	25	Refrigerante	1	Enfriar al contacto	A	No enfriar o falta de refrigerante	1	Fuga del refrigerante	Alta temperatura de refrigerante, pérdida de potencia del motor y neutralización del equipo.
							2	Daño de bomba de agua	Alta temperatura de refrigerante, pérdida de potencia del motor y neutralización del equipo.
							3	Rotura de faja de ventilador	Alta temperatura de refrigerante, pérdida de potencia del motor y neutralización del equipo.
							4	Rotura de pernos de mando de ventilador	Alta temperatura de refrigerante, pérdida de potencia del motor y neutralización del equipo.
	SISTEMA DE ARRANQUE	26	Faja de alternador	1	Transmitir la potencia	A	No transmitir potencia	1	Desgaste de Faja
2								Rotura de faja	No se realiza el arranque del equipo.
27		Batería	1	Almacenar energía	A	No almacenar la energía suficiente	1	Batería descargada	No se realiza el arranque del equipo.
							2	Mal contacto por suciedad	No se realiza el arranque del equipo.
28		Alternador	1	Generar corriente	A	No generar corriente	1	Alternador quemado	No genera corriente y se descarga la batería
29		Arnés eléctrico	1	Conexión de corriente	A	No conectar corriente	1	Mala conexión de arnés eléctrico	Códigos de falla activos, neutralización de equipo
	2						Cables rotos	Códigos de falla activos, neutralización de equipo	

SUBSISTEMA	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)	
CONTROL	30	ECM-Cense	1	Controlar los parámetros y funcionamiento del motor	A	No controlar los parámetros y funcionamiento del motor	1	Lectura errónea, al momento de arranque	Neutralización de equipo.
							2	No hay conexión del ECM	Códigos activos, no registra datos.
							3	Modulo Cense descalibrado	No registra parámetros, y códigos activos.
	31	Sensor	1	Detectar	A	No detecta	1	Conectores sucios	Medición incorrecta y podría generar parada de emergencia de motor
							2	Sensores dañados, no detectan	Medición incorrecta, genera detención de equipo o parada de emergencia de motor

Posterior a la identificación de los efectos de falla, se procedió con la asignación de la consecuencia de éstas, en dicho análisis se utilizó el diagrama de decisión de RCM, el cual brinda cuatro variedades de consecuencias, como son las fallas ocultas, seguridad o medio ambiente, operacionales y por ultimo las no operacionales.

4.3.6. Identificación de tareas

De manera similar a la identificación de consecuencia de fallas, el diagrama de decisión de RCM otorga la guía para determinar el tipo de tarea a realizar por cada modo de falla, clasificándolos en tareas proactivas, tareas a condición, restauración programada, sustitución programada, y por otro lado plantea también las acciones por omisión como son la búsqueda de fallos, rediseño y por último la no ejecución de ningún tipo de mantenimiento. La identificación de la consecuencia de falla, así como la identificación de tareas se pueden apreciar en la tabla N°12.

Tabla 12: Consecuencias y tareas de mantenimiento resultantes de RCM para motor Diesel K2000, Elaboración Propia

REFERENCIA	CONSECUENCIA EVALUACIÓN				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4 S4	H5	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TAREA DE OPERACIONES	FRECUENCIA
	H	S	E	O									
1.1.A.1	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspección de fisuras en cárter	300 horas		
1.1.A.2	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisión de niveles de aceite	150 horas	Revisión de niveles de aceite (pre-uso)	Diario
2.1.A.1	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspección de fugas de fluidos	150 horas	Inspección de fugas de fluidos	Diario
2.1.A.2	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspección de fugas de fluidos	150 horas	Inspección de fugas de fluidos	Diario
3.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Inspección soportes del motor	300 horas		
3.1.A.2	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de pernos soporte de ventilador	4800 horas		
3.1.A.3	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de soportes de motor	20000 horas		
4.1.A.1	Si	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Engrase de escuadra de soporte frontal del motor (Trunion)	300 horas		
5.1.A.1	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de empaque de crossover	10000 horas		
5.1.A.2	Si	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de mangueras de admisión	20000 horas		
5.1.A.3	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisión de niveles de refrigeración	150 horas		
6.2.A.1	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Reajuste de abrazaderas del motor Sistema (de admisión)	4800 horas		
6.2.A.2	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de mangueras de admisión	20000 horas		
7.3.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Medición de restricción de filtros aire (sólo para nanoforce)	1200 horas		

REFERENCIA	CONSECUENCIA EVALUACIÓN				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4 S4	H5	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TAREA DE OPERACIONES	FRECUENCIA
	H	S	E	O									
8.4.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Medición de juego axial y radial de turbos	1200 horas		
8.4.A.2	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspección de fugas de fluidos	150 horas	Inspección de fugas de fluidos	Diario
8.4.A.3	No	No	Si	Si	No	Si	No	No	No	Reajuste de abrazadera	1200 horas		
8.4.A.4	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Inspección general de motor	300 horas		
9.1.A.1	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No	No	Ajustes de abrazaderas y soportes de tubos de escape	4800 horas		
9.1.A.2	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Reajuste de abrazadera – Todo el motor	10000 horas		
9.1.A.3	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Reajuste de abrazadera – Todo el motor	10000 horas		
10.1.A.1	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspección de fugas de fluidos	150 horas	Inspección de fugas de fluidos	Diario
11.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM	300 horas		
12.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM	300 horas		
13.1.A.1	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Drenaje de filtros de combustible	150 horas		
13.1.A.2	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambiar filtro de combustible (tipo atornillable)	300 horas		
14.1.A.1	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Ajuste de niple de válvula shut off	4800 horas		
15.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM	300 horas		

REFERENCIA	CONSECUENCIA EVALUACIÓN				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4 S4	H5	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TAREA DE OPERACIONES	FRECUENCIA
	H	S	E	O									
16.1.A.1	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Ajuste del tren de válvulas e inyectores (cilindros observados)	1200 horas		
16.1.A.2	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de 16 Inyectores	10000 horas		
17.1.A.1	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Limpieza de tanque de combustible	10000 horas		
17.1.A.2	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspección de fisuras en tanque de combustible	4800 horas		
18.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM	300 horas		
19.1.A.1	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspección de fugas de fluidos	150 horas	Inspección de fugas de fluidos	Diario
19.1.A.2	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Toma muestra - análisis del aceite lubricante	300 horas		
20.1.A.1	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambiar aceite lubricante y filtros	300 horas		
21.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Inspección bomba del aceite	4800 horas		
21.1.A.2	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM	300 horas		
22.1.A.1	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Limpieza a vapor del motor	1200 horas		
23.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Inspeccionar enfriador aire – Revisar fisuras	300 horas		

REFERENCIA	Consecuencia evaluación				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4 S4	H5	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TAREA DE OPERACIONES	FRECUENCIA
	H	S	E	O									
23.1.A.2	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Revisar mangueras del radiador	1200 horas		
23.1.A.3	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Revisar pernos de ensamble de brazo loco del mando del ventilador	1200 horas		
24.1.A.1	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Revisar mangueras del radiador	1200 horas		
25.1.A.1	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Inspeccionar filtro del refrigerante	300 horas		
25.1.A.2	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Inspección bomba del agua	300 horas		
25.1.A.3	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Medir tensión de la banda del ventilador de enfriamiento	1200 horas		
25.1.A.4	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisar faja y ventilador de enfriamiento, revisar topes de radiador	300 horas		
25.1.A.5	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de pernos de mando del ventilador / ajuste faja	10000 horas		
26.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisar faja de alternador	300 horas		
26.1.A.2	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisar faja de alternador	300 horas		
27.1.A.1	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Test de carga de baterías	1200 horas		
27.1.A.2	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisar cables y conexiones de la batería	1200 horas		

REFERENCIA	Consecuencia evaluación				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4 S4	H5	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TAREA DE OPERACIONES	FRECUENCIA
	H	S	E	O									
28.1.A.1	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de componentes eléctricos	10000 horas		
29.1.A.1	Si	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Desmontaje de arnés eléctrico y aislamiento de conectores	10000 horas		
29.1.A.2	Si	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Desmontaje de arnés eléctrico y aislamiento de conectores	10000 horas		
30.1.A.1	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM	150 horas		
30.1.A.2	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisar cables y conexiones sistema CENSE	4800 horas		
30.1.A.3	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisar cables y conexiones sistema CENSE	4800 horas		
31.1.A.1	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Test de luces de advertencia	150 horas		
31.1.A.2	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	Test de luces de advertencia	150 horas		

4.4. Tareas de mantenimiento resultantes del RCM

Las actividades o tareas de mantenimiento identificados con la finalidad de prevenir los modos de falla analizados con la metodología RCM, fueron agrupadas e incluidas en cada uno de los tipos de mantenimiento descritos a continuación:

(1) Inspección – Cada 150 hora – (INSP)

- Revisión de niveles de aceite
- Inspección de fugas de fluidos
- Revisión de niveles de refrigeración
- Test de luces de advertencia
- Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM
- Drenaje de filtros de combustible

(2) Mantenimiento Rutinario - Cada 300 Horas (PM1)

- Cambiar filtro de combustible (tipo atornillable)
- Cambiar aceite lubricante y filtros
- Toma muestra (análisis del aceite lubricante)
- Inspeccionar filtro del refrigerante
- Revisar faja y ventilador de enfriamiento (revisar topes de radiador)
- Revisar faja de alternador
- Inspeccionar enfriador aire (revisar fisuras)
- Descargar y analizar datos CENSE™ - AEM
- Engrase de escuadra de soporte frontal del motor (trunion)
- Inspección de fisuras en cárter
- Inspección soportes del motor
- Inspección bomba del agua
- Inspección general de motor

(3) Mantenimiento Preventivo - Cada 1200 Horas (PM2)

- Aplicar procedimientos de mantenimiento (según PM1)
- Limpieza a vapor del motor
- Ajuste del tren de válvulas e inyectores (cilindros observados)

- Revisar pernos de ensamble de brazo loco del mando del ventilador
- Revisar mangueras del radiador
- Medir tensión de la banda del ventilador de enfriamiento
- Test de carga de baterías
- Revisar cables y conexiones de la batería
- Medición de juego axial y radial de turbos
- Reajuste de abrazaderas
- Medición de restricción de filtros aire (solo para nanoforce)

(4) Mantenimiento de afinamiento (1)- Cada 4800 Horas (AF1)

- Aplicar procedimientos de mantenimiento (según PM1)
- Limpieza a vapor del motor
- Ajuste del tren de válvulas e inyectores (verificar - todos los cilindros)
- Revisar mangueras del radiador
- Cambio de pernos soporte de ventilador
- Medir tensión de la banda del ventilador de enfriamiento
- Test de carga de baterías
- Revisar cables y conexiones sistema cense
- Medición de juego axial y radial de turbos
- Reajuste de abrazaderas del sistema de admisión
- Ajustes de abrazaderas y soportes de tubos de escape
- Ajuste de niple de válvula shut-off
- Medición de restricción de filtros aire (solo para nanoforce) cambio
- Inspección de fisuras en tanque de combustible
- Inspección bomba del aceite

(5) Mantenimiento de Media Vida - Servicio único a 10,000 Horas (MLIFE)

- Aplicar procedimientos de mantenimiento (según PM1)
- Cambio de componentes eléctricos
- Test de compresión de cilindros
- Cambio de 16 inyectores

- Ajuste del tren de válvulas e inyectores (cilindros observados)
- Cambio de pernos de mando del ventilador / ajuste faja
- Revisar mangueras del radiador
- Cambio de empaque de crossover
- Revisar cables y conexiones de la batería (test de batería)
- Desmontaje de arnés eléctrico y aislamiento de conectores
- Medición de juego axial y radial de turbos (cambio según condición)
- Reajuste de abrazaderas de todo el motor
- Limpieza de tanque de combustible

(6) Mantenimiento de afinamiento (2) - Servicio único a 15,000 Horas (AF2)

- Aplicar procedimientos de mantenimiento (según PM1)
- Limpieza a vapor del motor
- Ajuste del tren de válvulas e inyectores (verificar todos los cilindros)
- Revisar mangueras del radiador
- Cambio de pernos soporte de ventilador
- Medir tensión de la banda del ventilador de enfriamiento
- Test de carga de baterías
- Revisar cables y conexiones sistema cense
- Medición de juego axial y radial de turbos
- Reajuste de abrazaderas del sistema de admisión
- Medición de restricción de filtros aire (solo para nanoforce)

(7) Cambio de Motor - Servicio único a las 20,000 Horas (REPL)

- Aplicar procedimientos de mantenimiento (según PM1)
- Desmontaje y montaje de módulo de potencia
- Reparación / cambio de la caja de filtro ciclónico
- Cambio de manguera de admisión
- Cambio de soportes de motor
- Verificación de rajaduras en chasis
- Limpieza de tanque de combustible

4.5. Aplicación de plan de Mantenimiento basado en confiabilidad

El nuevo plan de mantenimiento comprende tareas cíclicas que van desde inspecciones simples hasta el cambio propio del motor Diesel. La implementación de éste nuevo plan ha sido realizada gracias a la estructuración y definición de actividades que se deben practicar periódicamente con disciplina según la propuesta realizada.

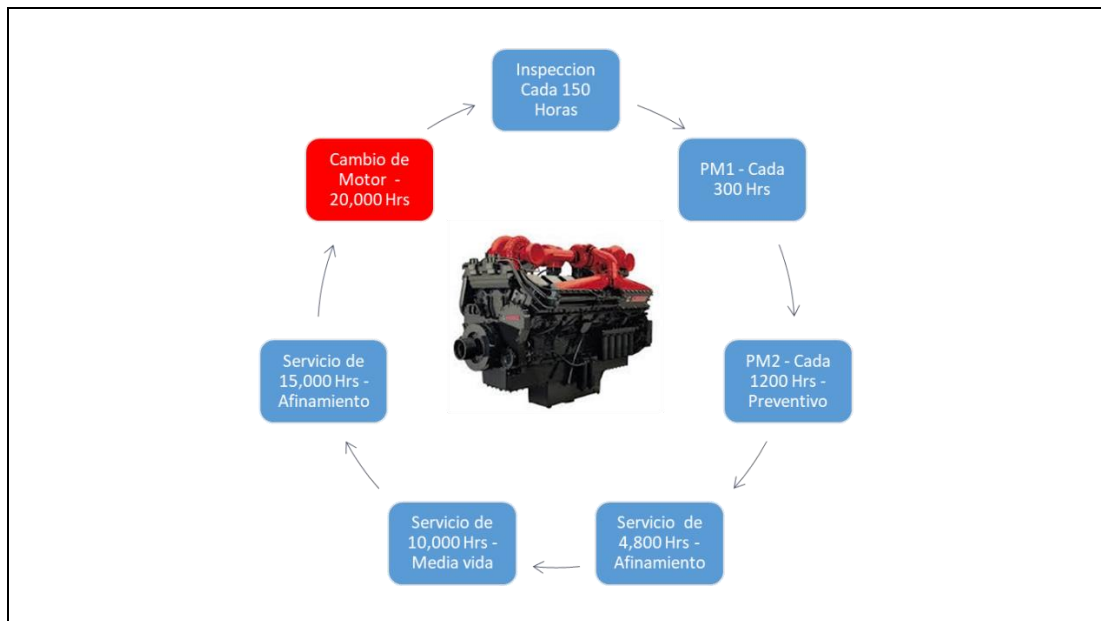


Figura 13: Ciclo de Mantenimiento de Motor Diesel Komatsu 730E, Elaboración Propia

El punto inicial, de la aplicación del nuevo plan de mantenimiento, fue involucrar al personal inmerso en los procesos de mantenimiento como son los planificadores, inspectores, programadores, ejecutores, operadores y supervisores a cargo, haciéndoles conocer el escenario actual en el que se encontraba la flota mediante los indicadores de disponibilidad, tiempo promedio entre fallas (MTBF) y el tiempo promedio entre reparación (MTTR), asimismo, se compartió con ellos, todos los pasos del análisis RCM ejecutado, repasando cada una de las tareas resultantes de dicho proceso.

Durante la identificación de tareas basadas en confiabilidad, se encontró la necesidad de realizar diversos tipos de mantenimientos, iniciando con uno

básico de inspección y ajustes a realizarse cada 150 horas, dicha intervención considera actividades simples como el drenaje de los filtros de combustibles.

Posterior a las labores de inspección se determinó realizar el primer tipo de mantenimiento preventivo a las 300 horas, el cual involucra los cambios de partes y fluidos. El mantenimiento de 300 horas se repite periódicamente hasta cumplir las 900 horas de operación, luego de ello se realiza el segundo tipo de mantenimiento preventivo a las 1200 horas, adicionando ciertas actividades que no se encontraban contempladas en los mantenimientos anteriores. Este ciclo se repite durante toda la vida del motor.

Adicionalmente se han considerado también tareas de afinamiento del motor Diesel a las 4,800 y 15,000 horas, cabe mencionar que las tareas inmersas en este tipo de servicio son idénticas para ambos casos; finalmente se determinó la necesidad de realizar un mantenimiento llamado “media vida” de motor en el cual se ejecuta el cambio de componentes de tamaño considerable como son: turbos, inyectores, empaques, etc.

Cada uno de los tipos de mantenimientos que se han definido (indicados en la figura N°13), fueron resultantes de las situaciones que podrían terminar en un fallo y hubieran influenciado negativamente en la disponibilidad.

Para cada uno de los camiones de la flota se realizó, se realizó la proyección de intervenciones para los meses de mayo a diciembre del 2018, según los tipos de mantenimiento establecidos, dichas intervenciones se pueden apreciar en la tabla N°13, en la cual se detalla los horómetros al finalizar el mes de abril, el horómetro de los motores instalados, y la proyección de intervenciones mes a mes.

Tabla 13: Programación de intervenciones Motor Diesel 730E, Elaboración Propia

Equipo	Horómetro Equipo	Horómetro Motor	Ratio uso/día	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
730E 01	92414	5037	18.5	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 INSP	PM1 INSP PM1 -	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP -
730E 02	89771.3	3868.5	18.5	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP AF1 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 -	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP PM1
730E 03	87446.4	2869.8	18.5	PM1 INSP PM1 - -	INSP PM2 INSP PM1 -	INSP PM1 INSP PM1 -	INSP AF1 INSP PM1 -	INSP PM1 INSP PM1 -	INSP PM2 INSP - -	PM1 INSP PM1 INSP PM1
730E 04	83674.1	16196.3	18.5	PM1 INSP PM1 INSP	PM2 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM2 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 -	INSP REPL INSP PM1	INSP PM1 INSP PM1
730E 05	90459.7	17622.8	18.5	PM1 INSP PM2 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP REPL -	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP -
730E 06	88811.7	6412	18.5	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM2 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM2 INSP -	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP MLIFE INSP	PM1 INSP PM1 INSP
730E 07	90248.6	3556.5	18.5	PM2 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	AF1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 -	INSP PM2 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM2 INSP PM1
730E 08	90755.7	3891.2	18.5	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP AF1 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 -	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP PM1
730E 09	89062.2	14547.4	18.5	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP -	PM1 INSP PM1 INSP	PM2 INSP PM1 INSP
730E 10	84324	1274.5	18.5	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP -	PM1 INSP PM1 INSP	PM2 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	AF1 INSP PM1 -
730E 11	78902.7	7374.1	18.5	PM1 INSP PM1 -	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP MLIFE	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP -	PM2 INSP PM1 INSP

Equipo	Horómetro Equipo	Horómetro Motor	Ratio uso/día	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
730E 12	75147.3	9018.7	18.5	INSP PM1 INSP -	MLIFE INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM2 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 -	INSP PM2 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM1
730E 13	41769.1	865.1	18.5	PM1 INSP PM2 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 INSP	PM1 INSP PM1 -	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP AF1
730E 14	88917.4	8563.9	18.5	PM1 INSP PM1 -	INSP PM1 INSP MLIFE	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP -	PM1 INSP PM1 INSP	PM2 INSP PM1 INSP
730E 15	85699.2	5721.9	18.5	INSP PM2 INSP Mes	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 INSP	PM1 INSP PM1 Jul	INSP PM1 INSP MLIFE
730E 16	75974	6990.6	18.5	INSP PM2 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM2 INSP -	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP MLIFE INSP	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 -
730E 17	73173.8	2265.1	18.5	PM2 INSP PM1 Mes	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM2 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM1	INSP AF1 INSP -	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 INSP
730E 18	74279.7	2620.7	18.5	PM1 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM2 -	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP AF1	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM2	INSP PM1 INSP -
730E 19	75619.1	1099.1	18.5	PM2 INSP PM1 INSP	PM1 INSP PM1 -	INSP PM2 INSP PM1	INSP PM1 INSP PM1	INSP PM2 INSP PM1	INSP PM1 INSP -	PM1 INSP AF1 INSP

En base a la proyección de uso de los equipos (18.5 horas por día), cada camión tiene programada distintas actividades de mantenimiento por cada mes, pasando desde la inspección hasta el cambio total del componente para el caso de 2 camiones.

Una vez estructurado y difundido el nuevo plan de mantenimiento incluyendo las tareas resultantes de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), se procedió con la aplicación del mismo a partir del mes de mayo hasta el mes de septiembre del 2018, durante el periodo de aplicación del nuevo plan de mantenimiento, la disponibilidad obtenida para la flota fue de 87.08% en promedio, según se muestra en la tabla N°14, valor

que supera la disponibilidad promedio de los 15 meses del periodo de estudio (enero 2017 a marzo 2018), en la cual se obtuvo 84.5%, asimismo, logró sobrepasar el 85.7%, siendo éste el valor meta establecido por la organización para el año 2018 para éste indicador

Tabla 14: Disponibilidad May2018-Sep2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Disponibilidad mensual flota de Camiones Komatsu 730E						
Equipo	2018					
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Promedio
730E N°01	90.3%	90.6%	86.7%	89.6%	82.3%	87.9%
730E N°02	92.8%	87.8%	91.2%	89.1%	92.1%	90.6%
730E N°03	86.9%	81.9%	85.3%	91.7%	84.2%	86.0%
730E N°04	90.5%	90.1%	89.7%	75.9%	86.4%	86.5%
730E N°05	84.9%	54.0%	84.7%	93.4%	91.1%	81.6%
730E N°06	87.9%	91.5%	88.4%	92.8%	78.5%	87.8%
730E N°07	82.9%	86.1%	76.8%	89.0%	87.3%	84.4%
730E N°08	81.7%	89.6%	89.6%	91.7%	77.5%	86.0%
730E N°09	87.2%	88.0%	85.2%	86.3%	90.3%	87.4%
730E N°10	88.7%	87.3%	80.9%	82.3%	91.1%	86.1%
730E N°11	82.3%	79.1%	87.5%	88.6%	88.7%	85.2%
730E N°12	88.6%	93.0%	86.3%	80.6%	92.4%	88.2%
730E N°13	89.7%	90.0%	91.9%	90.4%	91.1%	90.6%
730E N°14	90.2%	81.5%	85.5%	92.1%	85.0%	86.9%
730E N°15	89.7%	93.0%	77.6%	89.1%	77.1%	85.3%
730E N°16	85.4%	85.4%	91.0%	89.4%	89.3%	88.1%
730E N°17	91.3%	88.6%	90.5%	87.2%	84.6%	88.4%
730E N°18	90.3%	88.6%	88.2%	89.0%	85.5%	88.3%
730E N°19	88.3%	88.8%	79.9%	95.8%	93.6%	89.3%
Total Flota	87.9%	86.0%	86.2%	88.6%	86.7%	87.1%

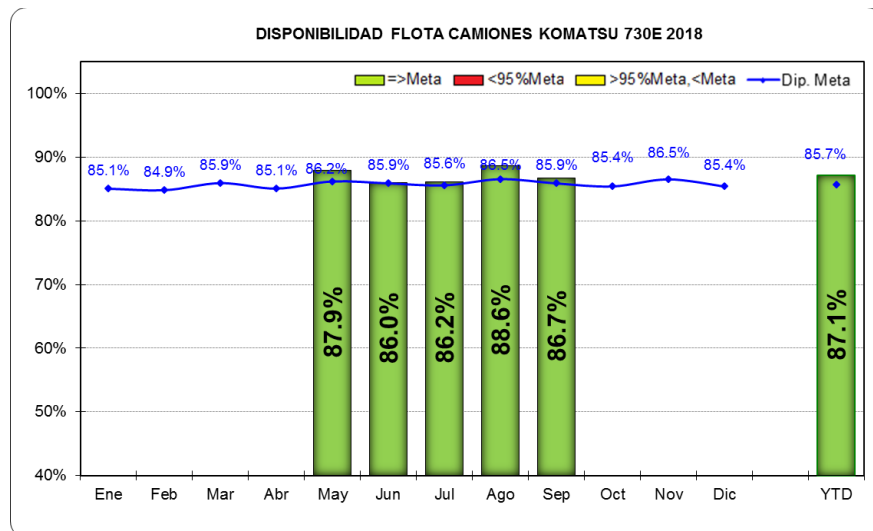


Figura 14: Indicador Disponibilidad de camiones 730E May – Sep 2018. (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Septiembre, 2018)

Asimismo, se puede evidenciar la mejoría de los indicadores de Tiempo promedio entre fallas (MTBF) y tiempo promedio para reparar (MTTR) durante el periodo en el cual se aplicaron las tareas del modelo RCM realizado, para el caso del MTBF el valor alcanzado es de 40.4 (Tabla N°4) horas y para el caso del MTTR el promedio fue de 2.8 (Tabla N°15), superando el promedio de los 15 meses de estudio previos a la implementación, periodo en el cual los valores se encontraban en 37.01 horas y 3.21 horas respectivamente, cabe mencionar que los valores metas para estos dos indicadores para el 2018 son 43 horas para el MTBF y 2.8 horas para el MTTR, si bien es cierto, para el caso del MTBF no se alcanzó el valor meta de 43 horas, la implementación de RCM muestra evidente mejora en la confiabilidad de la flota.

Tabla 15: MTBF May2018-Sep2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Tiempo medio entre fallas (MTBF) de flota de Camiones Komatsu 730E						
Equipo	2018					
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Promedio
N°01	30.5	35.8	49.6	51.3	74.3	48.3
N°02	53.1	28.7	67.7	41.4	47.3	47.7
N°03	49.7	32.7	35.2	48.8	33.8	40.0
N°04	53.9	45.7	31.7	80.6	29.8	48.4
N°05	30.1	22.4	244.3	36.6	19.0	70.5
N°06	109.5	43.9	41.1	115.1	126.1	87.1
N°07	26.8	25.4	35.7	21.4	17.0	25.2
N°08	25.3	33.4	55.5	75.8	50.2	48.0
N°09	58.9	77.9	70.3	64.2	32.8	60.8
N°10	24.5	25.5	35.4	22.7	32.0	28.0
N°11	26.6	41.8	43.3	31.6	51.3	38.9
N°12	25.3	49.8	32.1	67.3	93.8	53.7
N°13	39.3	52.8	45.6	85.7	25.5	49.8
N°14	37.2	51.5	35.3	51.0	24.2	39.8
N°15	74.4	43.8	16.0	66.6	46.0	49.4
N°16	26.5	31.6	45.1	28.3	35.8	33.5
N°17	56.6	45.6	37.4	44.2	41.1	45.0
N°18	44.8	64.0	54.6	89.1	140.7	78.6
N°19	179.3	69.5	29.0	0.0	0.0	92.6
Flota	39.0	39.2	40.3	46.0	37.5	40.4

Tabla 16: MTTR May2018-Sep2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Tiempo medio entre fallas (MTBF) de flota de Camiones Komatsu 730E						
Equipo	2018					
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Promedio
N°01	2.2	2.0	1.6	4.1	1.1	2.2
N°02	2.4	1.7	0.9	2.7	1.7	1.9
N°03	5.2	4.2	2.0	1.8	2.2	3.1
N°04	2.5	1.3	1.9	10.8	2.1	3.7
N°05	3.0	10.8	1.6	2.0	3.6	4.2
N°06	2.1	2.3	2.3	3.5	3.5	2.8
N°07	1.7	1.1	8.0	1.5	3.1	3.1
N°08	3.5	2.1	2.0	2.5	1.9	2.4
N°09	2.7	3.9	5.4	4.7	1.9	3.7
N°10	1.8	1.8	4.3	2.7	3.4	2.8
N°11	2.1	1.7	3.2	6.0	2.5	3.1
N°12	2.0	1.7	1.7	4.6	1.5	2.3
N°13	2.3	1.8	1.7	3.8	3.3	2.6
N°14	1.6	1.5	3.2	4.1	4.8	3.0
N°15	1.6	5.1	2.9	1.3	4.0	3.0
N°16	2.5	2.5	1.4	2.3	3.8	2.5
N°17	1.9	2.1	2.3	2.2	2.4	2.2
N°18	2.1	1.7	3.0	1.2	2.2	2.0
N°19	6.7	2.5	4.2	0.0	0.0	4.5
Flota	2.4	2.8	2.9	3.1	2.9	2.8

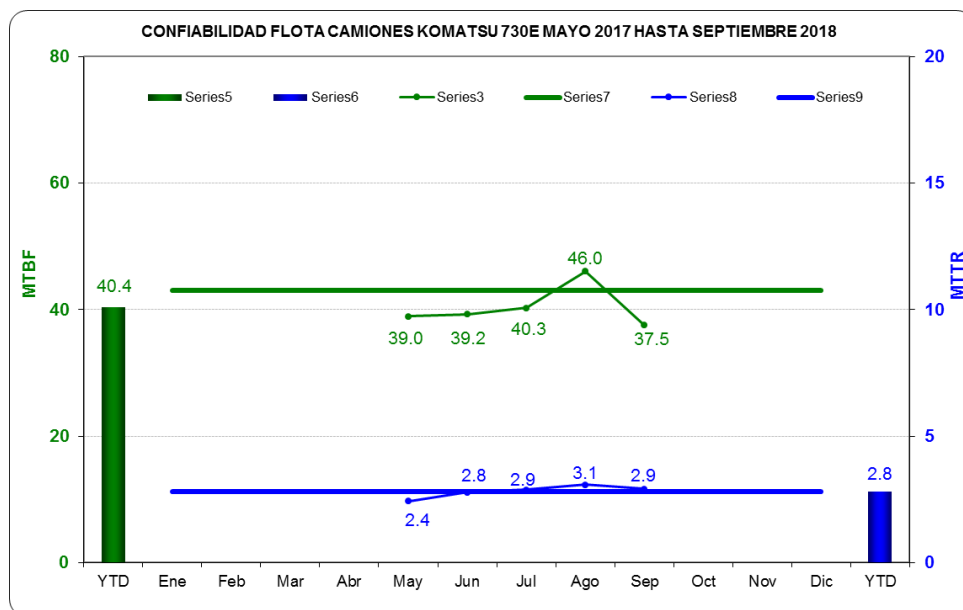


Figura 15: Indicador MTBF y MTTR de camiones 730E. (Barrick Lagunas Norte, Reporte Mensual de Mantenimiento Septiembre, 2018)

Por otro lado, se muestra en la Tabla N°17 los nuevos valores de duración y cantidad de fallas de los 5 meses durante el cual se aplicó el nuevo plan de mantenimiento.

Tabla 17: Duración de fallas por sistemas May -Sep 2018 camiones 730E, Elaboración Propia

Sistema	Cantidad de fallas	Duración de fallas	MTTR
Sistema potencia	169	1070.34	6.3
Estructural	95	988.44	10.4
Motor Mecánico	115	892.11	7.8
Eléctrico	113	715.12	6.3
Hidráulico	66	642.44	9.7
Cabina	65	471.87	7.3
Suspensiones	55	434.68	7.9
Sistema dirección	40	240.51	6.0
Motor Eléctrico	32	238.34	7.4
Eléctrico arranque	48	226.74	4.7
Sistema dispatch	98	162.05	1.7
Frenos	19	123.3	6.5
lubricación	68	106.5	1.6
Tren de Potencia	9	69.5	7.7
Aire acondicionado	2	49.96	25.0
Parada Operativa	3	12.7	4.2
Sistema contraincendios	7	12.57	1.8

4.6. Análisis Económico

Para realizar el cálculo económico se determinó en primer lugar el costo de cada actividad inmersa en el plan de mantenimiento elaborado en el punto anterior, obteniendo los siguientes valores.

Tabla 18: Costo de Actividades de Mantenimiento motores Diesel K2000, Elaboración Propia

	Tiempo de parada (horas)	Costo de Repuestos	Costo de Mano de Obra	Costo de Parada	Costo Total
INSP	1	\$0.00	\$76.00	2082.619	\$2,158.62
PM1	3	\$800.00	\$228.00	6247.858	\$7,275.86
PM2	5	\$1,200.00	\$380.00	10413.1	\$11,993.10
AF1	10	\$2,000.00	\$760.00	20826.19	\$23,586.19
MLIFE	12	\$36,400.00	\$912.00	24991.43	\$62,303.43
AF2	10	\$20,000.00	\$760.00	20826.19	\$41,586.19
REPL	36	\$250,000.00	\$5,472.00	74974.29	\$330,446.29

Posterior a la obtención del costo por actividad se procedió a elaborar la tabla N°19 el cual muestra el costo por cada camión.

Tabla 19: Costo de plan de Mantenimiento motores Diesel K2000 (Mayo – Diciembre), Elaboración Propia

Equipo		Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
730E	01	\$18,868.95	\$23,586.19	\$16,710.33	\$23,586.19	\$18,868.95	\$23,586.19	\$11,593.10	\$136,799.92
730E	02	\$18,868.95	\$35,179.29	\$18,868.95	\$21,427.57	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$155,668.87
730E	03	\$16,710.33	\$23,586.19	\$18,868.95	\$35,179.29	\$18,868.95	\$16,310.33	\$26,144.81	\$155,668.87
730E	04	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$23,586.19	\$16,710.33	\$342,039.39	\$18,868.95	\$462,528.97
730E	05	\$23,586.19	\$18,868.95	\$339,880.77	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$11,593.10	\$455,253.11
730E	06	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$16,310.33	\$18,868.95	\$73,896.53	\$18,868.95	\$189,268.87
730E	07	\$23,586.19	\$18,868.95	\$35,179.29	\$16,710.33	\$23,586.19	\$18,868.95	\$23,586.19	\$160,386.11
730E	08	\$18,868.95	\$35,179.29	\$18,868.95	\$21,427.57	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$155,668.87
730E	09	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$23,586.19	\$11,593.10	\$18,868.95	\$23,586.19	\$138,958.54
730E	10	\$18,868.95	\$23,586.19	\$11,593.10	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$33,020.67	\$148,393.01
730E	11	\$16,710.33	\$23,586.19	\$18,868.95	\$73,896.53	\$18,868.95	\$11,593.10	\$23,586.19	\$187,110.25
730E	12	\$11,593.10	\$73,896.53	\$18,868.95	\$23,586.19	\$16,710.33	\$23,586.19	\$18,868.95	\$187,110.25
730E	13	\$23,586.19	\$18,868.95	\$23,586.19	\$16,710.33	\$23,586.19	\$18,868.95	\$35,179.29	\$160,386.11
730E	14	\$16,710.33	\$73,896.53	\$18,868.95	\$23,586.19	\$11,593.10	\$18,868.95	\$23,586.19	\$187,110.25

Equipo		Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
730E	15	\$16,310.33	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$23,586.19	\$16,710.33	\$73,896.53	\$191,827.49
730E	16	\$23,586.19	\$18,868.95	\$16,310.33	\$18,868.95	\$73,896.53	\$18,868.95	\$21,427.57	\$191,827.49
730E	17	\$21,427.57	\$18,868.95	\$23,586.19	\$18,868.95	\$27,903.43	\$18,868.95	\$23,586.19	\$153,110.25
730E	18	\$18,868.95	\$21,427.57	\$18,868.95	\$35,179.29	\$18,868.95	\$23,586.19	\$11,593.10	\$148,393.01
730E	19	\$23,586.19	\$16,710.33	\$23,586.19	\$18,868.95	\$23,586.19	\$11,593.10	\$35,179.29	\$153,110.25
Total Egresos		\$368,344.60	\$534,606.61	\$702,708.13	\$467,985.94	\$432,006.65	\$741,025.37	\$471,903.18	\$3,718,580.49

El promedio de disponibilidad obtenido en el periodo de enero 2017 a marzo 2018 es de 84.5%, sin embargo, gracias a la aplicación del plan de Mantenimiento Centrado con Confiabilidad, se pudo obtener valores reales de disponibilidad en promedio de 87.1%, con los valores promedio de disponibilidad obtenidos desde mayo a septiembre se realizó el cálculo de beneficio monetario por el incremento de horas de operación de la flota de camiones hasta el mes diciembre, los datos se muestran en la tabla N°20.

Tabla 20: Beneficio monetario por incremento de disponibilidad (Junio – Diciembre), Elaboración Propia

	Unidad	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
84.50%	Horas	11,559.60	11,944.92	11,944.92	11,559.60	11,944.92	11,559.60	11,944.92
87.10%	Horas	11,915.28	12,312.46	12,312.46	11,915.28	12,312.46	11,915.28	12,312.46
Horas Ganadas	Horas	355.68	367.54	367.54	355.68	367.54	355.68	367.54
Beneficio (\$)	\$	\$740,746.01	\$765,437.55	\$765,437.55	\$740,746.01	\$765,437.55	\$740,746.01	\$765,437.55

Luego de obtener los valores de beneficio por el incremento de la disponibilidad, se procedió a calcular el monto de inversión inicial el cual consta de los repuestos necesarios para realizar un mantenimiento llamado de Media vida (MLIFE) y otro mantenimiento de cambio completo de motor (REPL), ambos suman un valor de US\$ 286,400, asimismo se adicionó el monto de US\$ 50,000 por concepto de las horas del personal involucrado en el análisis realizado.

Finalmente, con los egresos, ingresos (beneficio por incremento de disponibilidad), se calculó el flujo de caja, Tiempo de retorno de inversión, TIR y VAN del proyecto de aplicación de RCM a los motores Diesel de la flota de camiones 730E, el cual se muestra en la tabla N°21

Tabla 21: Flujo de caja de proyecto, Retorno de inversión, TIR y VAN de aplicación RCM, Elaboración Propia

Mantenimiento Motores K2000	Inversión Inicial	1 Jun	2 Jul	3 Ago	4 Set	5 Oct	6 Nov	7 Dic	Total
Inversión Inicial	(336,400)								(336,400)
Beneficio por disponibilidad		740,746	765,438	765,438	740,746	765,438	740,746	765,438	5,283,988
Costos de Mantenimiento		(368,345)	(534,607)	(452,708)	(467,986)	(432,007)	(741,025)	(471,903)	(3,468,580)
Valor de Rescate		-	-	70,000	-	-	70,000	-	140,000
		-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Caja Neto	(336,400)	372,401	230,831	382,729	272,760	333,431	69,721	293,534	1,619,008
Flujo de caja acumulado	(336,400)	36,001	266,832	649,562	922,322	1,255,753	1,325,473	1,619,008	
Tiempo Retorno de inversión				3.0					

TIR	95.5%
VAN @ 0%	USD\$ 1,619,008
VAN @ 5%	USD\$ 1,304,543
VAN @ 10%	USD\$ 1,063,785

En la presente investigación se utilizará como instrumentos de medición el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación (PRE).

El valor Actual neto (VAN) es un método que se utilizará para medir el valor presente neto del proyecto a través de la actualización de sus flujos netos y costos. Por regla del VAN se debe aceptar una inversión si el valor presente neto es positivo y rechazarla si es negativo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, que se lee a mayor TIR, mayor rentabilidad. Por esta razón, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

El período de recuperación (PRE) es el tiempo que se requiere para que una inversión genere flujos de efectivo suficientes para recobrar su costo inicial.

Analizando los resultados del VAN, USD\$ 1,063,785, se observa un valor positivo y mayor a cero, para seleccionar el valor final del VAN, se utilizó la tasa de rentabilidad esperada por la compañía del 10%.

Por regla de la TIR, una inversión es aceptable si la TIR excede el rendimiento requerido, de lo contrario debe rechazarse. Para el proyecto los accionistas esperan un rendimiento del 10% con lo cual cuando se analizan los resultados de la tasa interna de retorno es 95.5%%, el valor obtenido está por encima del rendimiento requerido.

Con base en la regla del período de recuperación, una inversión es aceptable si su período de recuperación calculada es menor que algún número preestablecido de meses o años, con lo cual de acuerdo con la regla es aceptable la inversión ya que su período de recuperación calculada es de 3 meses que es menor a los siete meses del horizonte de tiempo proyectado para el cálculo.

V. DISCUSIÓN

1. El estudio de García (2017) se rige en el estándar SAE JA1011 que establece siete preguntas fundamentales para la metodología de mantenimiento centrada en la confiabilidad (RCM), para la presente investigación se tomó el mismo estándar el cual se siguió paso a paso para su elaboración, ahí se establece que una vez identificado el sistema que generó mayor impacto negativo en los indicadores, se procedió a un análisis de modo y efecto de falla, en donde se determinan los modos de fallas individuales y luego una gestión de falla que termina documentado en un plan de mantenimiento estratégico para eliminar, reducir o manejar los modos de fallas detectados.
2. La investigación concuerda con Jara (2014) en el método que utilizó para la identificación del sistema crítico del equipo, al igual que Jara se utilizó el diagrama Jackknife logrando identificar los sistemas que se ubicaron en el cuadrante agudo crónico y así seleccionar el sistema con mayor influencia negativa en los indicadores y donde posteriormente se aplicaría el RCM, adicionalmente el sistema identificado fue ratificado a través del método de Pareto, ambos concuerdan que el motor Diesel es el sistema más crítico. Cabe mencionar que al igual que Jara, se obtuvo una mejora en la disponibilidad, Jara con 5% de mejora con la aplicación del RCM, mientras que el presente estudio alcanzo una mejora del 2.6% promedio en los 5 meses de aplicación del RCM.
3. Pariente (2012) sostiene que tras el desarrollo de su trabajo constató que la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) busca dar respuesta correcta a los requerimientos de mantención que posee un equipo, especialmente si no se conoce el funcionamiento del mismo, esto lo llevó a utilizar el diagrama de decisión de RCM considerando las cuatro variables de consecuencia (fallas ocultas, seguridad y medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencia no operacionales), este diagrama fue utilizado en el presente estudio como parte de la identificación de las consecuencias de falla, adicionalmente sumamos el aporte de la experiencia de los operadores, personal de mantenimiento, supervisores y el fabricante que nos ayudó en identificar los

efectos de falla bajo el contexto operacional que trabaja el equipo estudiado, obteniendo así 52 efectos de falla.

4. Concordamos con Li Gálvez & Mescua en afirmar que el RCM es la mejor opción para obtener resultados más eficientes en equipos pesados de uso minero, debido a que se toma en cuenta el contexto operacional donde se desempeñan los equipos, como ellos la investigación tomo en cuenta los indicadores de disponibilidad y confiabilidad como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR). Al igual que Li Gálvez & Mescue los indicadores del MTBF y MTTR en el periodo donde se aplicó el RCM mejoró significativamente alcanzando 40.4 horas en el MTBF y 2.8 horas en el MTTR con ello se obtuvo una mejora significativa ya que los valores en promedio se encontraban en 37.08 horas en el MTBF y 4.06 horas en el MTTR, con ello que dedo demostrado la mejora en la confiabilidad de la flota.
5. Astonitas (2015) en su investigación utilizó el AMFE (Análisis Modal de fallos y efectos) para el análisis de modos y efectos de fallas como parte de su plan de mejora basado en confiabilidad (RCM), ese paso resultó ser fundamental para luego poder seleccionar correctamente las tareas para cada modo de falla que pueda suceder en el equipo. Al igual que Astonitas la aplicación del RCM colocó en una mejor posición los beneficios que se obtiene por los equipos al cierre del año 2018, en la presente tesis se logró proyectar un incremento de 5.9 millones al mejorar la disponibilidad en aproximadamente 2.5% de más sobre el promedio de disponibilidad con el que contaba la flota en los 15 meses de evaluación que tomo la presente investigación.
6. El estudio realizado por Chambi (2012) así como los resultados obtenidos ayudó a considerar al RCM como la estrategia más eficaz para lograr un incremento en la disponibilidad de la flota de camiones Komatsu 730E, al igual que Chambi coincidimos en que el dinamismo que requiere un Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es fundamental para corregir las desviaciones que pueden ocasionar un fallo en los equipos, la aplicación de estrategias RCM dio como resultado tanto al estudio de Chambi como a este una mejora en los indicadores

de confiabilidad mejorando en 3.32 horas en el tiempo medio de fallas (MTBF) frente al promedio actual y en el caso del tiempo medio de reparación (MTTR) alcanzó un promedio de 2.8 horas mejorando en 1.26 horas al promedio actual y con ello logrando alcanzar la meta propuesta por la compañía.

VI. CONCLUSIONES

Con el objetivo principal de mejorar los indicadores de Mantenimiento, como son la disponibilidad, tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR), de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., se aplicó Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) al sistema Motor Diesel, con los resultados posteriores a la aplicación del nuevo plan de mantenimiento resultante del estudio, se procede a concluir lo siguiente.

1. El plan de mantenimiento llevado a cabo en la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E hasta el mes de marzo del 2018, fue ineficiente debido a que los principales indicadores se encontraron por debajo de la meta establecida por la organización, para el caso de la disponibilidad operativa, el valor encontrado fue de 84.5% versus el 85.7% de valor meta, demostrando que la flota no brindaba el nivel de operación que requiere la empresa; el MTBF reportó 37.08 horas vs 43 horas de valor meta, evidenciando que los equipos fallaban de manera más frecuente que lo esperado; y por último para el MTTR, el promedio fue de 4.06 horas versus 2.8 horas de la meta, lo cual indica que el nivel de repuesta en el tiempo de reparación para fallas estaba por debajo de lo esperado.
2. El diagrama Pareto y Jackknife, son herramientas de análisis operacional válidas para determinar el sistema al cual se debe aplicar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), para la presente investigación ambas identificaron que el sistema que generó mayor impacto negativo en los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E fue el Motor Diesel.
3. La metodología RCM sirvió para identificar y definir las tareas basadas en confiabilidad que se aplicaron específicamente al sistema Motor Diesel para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E, el cual inició identificando las funciones del equipo o sistema, luego se listaron las fallas funcionales (31) y los modos de fallas (52) más recurrentes en el periodo de estudio, posterior a ello se completó el AMFE con el efectos de cada uno de los modos de falla identificados; luego completar dicho proceso, se utilizó el

diagrama de consecuencias que brinda como herramienta el RCM, logrando clasificarla en ocultas, salud, medio ambiente y operacionales, para finalmente poder definir las tareas que sugiere el RCM para cada una de ellas con sus respectivas frecuencias.

4. La aplicación del nuevo plan de mantenimiento basado en confiabilidad para los motores Diesel de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E durante el periodo mayo – septiembre del 2018, mejoró sustancialmente los principales indicadores evaluados, la disponibilidad incrementó 2.5%, pasando de 84.5% a 87.1%, el MTBF incrementó de 37.08 a 40.4 horas, que aunque no se llegó a cumplir la meta esperada de 43 horas, se demuestra una mejora considerable en dicho indicador, finalmente por el lado del MTTR se logró alcanzar el objetivo propuesto por la organización, bajando de 4.01 a 2.85 horas el tiempo para reparar cualquier evento de falla en promedio.
5. Económicamente, la disponibilidad alcanzada en el periodo de aplicación del nuevo plan de mantenimiento, impactó de manera positiva dado que, proyectando el valor de disponibilidad alcanzado durante los meses de mayo a septiembre hacia el último trimestre del año se puede concluir que el proyecto es rentable pues aparte de recuperar la inversión en 3 meses y obtener rentabilidad demostrada con la tasa interna de retorno (TIR) de 95.5% agrega valor en USD\$ 1,063,785, para ambos casos la tasa de rentabilidad esperada por la compañía fue de 10%.
6. Finalmente, se puede dar como aceptada la hipótesis planteada para el presente estudio, debido a que la aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad mejoró los indicadores (Disponibilidad, MTBF y MTTR) de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de Minera Barrick Misquichilca S.A., unidad minera Lagunas Norte.

VII. RECOMENDACIONES

Dados los buenos resultados obtenidos con la aplicación de RCM en la flota de camiones Komatsu 730E, se recomienda lo siguiente:

1. Continuar con la aplicación del plan de mantenimiento realizado a los motores Diesel, para seguir aprovechando los beneficios encontrados hasta la fecha.
2. Realizar revisiones periódicas del plan de mantenimiento realizado, entendiendo que el mantenimiento es un proceso dinámico y a lo largo del tiempo se pueden presentar modos de fallas no evaluadas en el presente estudio.
3. Mantener actualizada la base de datos de fallas de la flota, esto permitirá realizar evaluaciones periódicas con exactitud de resultados.
4. Evaluar la aplicación de RCM a los demás sistemas de la flota de camiones, dado que el motor Diesel dejó de ser el sistema que mayor impacto negativo tiene sobre la flota, se sugiere evaluar siguiente sistema con más impacto, para ellos se pueden seguir utilizando las herramientas de análisis de operaciones como son el diagrama Pareto y Jackknife.
5. Formar un equipo multidisciplinario encargado de la aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el área de Mantenimiento, con la finalidad de formar profesionales que dominen esta metodología.

REFERENCIAS

- Astonitas, A. (2015). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en la metodología análisis de modo y efecto de falla para aumentar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos en camiones de acarreo CAT 793F, Compañía Minera Antamina S.A – Reg. Trujillo: Repositorio Digital Institucional Universidad Cesar Vallejo.*
- Barrick Lagunas Norte. (2008). *Reporte de Operación de Equipos.* La Libertad: Ingeniería de Mantenimiento.
- Barrick Lagunas Norte. (2017). *Reporte Mensual de Mantenimiento Diciembre.* La Libertad: Ingeniería de Mantenimiento.
- Barrick Lagunas Norte. (2018). *Reporte Mensual de Mantenimiento Marzo.* La Libertad: Ingeniería de Mantenimiento.
- Barrick Lagunas Norte. (2018). *Reporte Mensual de Mantenimiento Septiembre.* La Libertad: Ingeniería de Mantenimiento.
- Barrick, S. (21 de February de 2018). *Barrick Latam.* Obtenido de Barrick web Site: <https://barricklatam.com/barrick/presencia/lagunas-norte/informacion-general/proceso-productivo/2014-07-07/143849.html>
- Barrick, S. (2018). *Barrick Latam.* Obtenido de Barrick web Site: <https://barricklatam.com/barrick/presencia/lagunas-norte/informacion-general/historia/2014-07-07/143615.html>
- Barringer, H. P. (1997). Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. *Triplex Chapter Of The Vibrations Institute.* Humble: Barringer & Associates, Inc.
- Becerra, F. (2018). *mantenimientomundial.* Obtenido de mantenimientomundial: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/GestionBecerra.pdf>
- Canchica, V. (2007). *Diseño de un plan de Mantenimiento basado en la confiabilidad en la metodología del "Mantenimiento centrado en la confiabilidad" para la flota de equipos de carga "Palas Hidráulicas O&K" de la mina Paso Diablo de carbones del Guasare, S.A."*. Maracaibo: Universidad Rafael Urdante.
- Chambi, D. (2012). *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (MCC) para motores de la flota Komatsu 930E en una unidad Minera.* Lima: Repositoria Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cummins. (2004). Manual de Operación de Mantenimiento. *Cummins K2000.*
- Garcia, F. (2017). *Mejoramiento del desempeño de equipo minero mediante estrategias de mantenimiento y reingeniería de componentes del sistema de propulsión y rodado.* Valparaiso: Repositorio Digital Universidad Técnica Federico Santa María.

- Gonzalez, R. (2006). *Diseño Estrategia Operación Centrada en Confiabilidad para Minera Spence S.A.* Santiago de Chile.
- Idrogo, W. (2016). *Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.* Trujillo: Repositorio Digital Institucional Universidad Cesar Vallejo.
- Jara, A. (2014). *Estudio de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad acorde al sistema Asset Management aplicado a la flota de Bulldozer CAT D10T, Minera Anglo American Operación Mantoverde.* Concepción: Sistema de Bibliotecas de la Universidad del Bio-Bio.
- Klimasauskas, R. (2018). *mantenimientomundial.* Obtenido de mantenimientomundial: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/mineria.pdf>
- Komatsu. (2004). Manual de Operación de Mantenimiento. *Komatsu 730E.*
- Li, C., & Mescua, R. (2016). *Propuesta de Plan de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto.* Lima: Repositorio Academico Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Maldonado, A. (2018). *Diagrama de Pareto.* Obtenido de Enciclopedia Virtual: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2011e/1084/diagrama.html>
- Morales, S. (2017). *Generación y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo en base a criticidad, según criterios de estadísticas de falla en empresa Química Clariant.* Valparaíso: Repositorio Digital Universidad Técnica Federico Santa María.
- Moreno, E. (2017). *Diseño De Un Plan De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad (Mcc) Al Compresor Estacionario De Tornillo De Una Etapa De La Empresa Metalmecánica Fameca Sac.* Trujillo: Repositorio Institucional Universidad Nacional de Trujillo.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCMII.* Leicestershire: Aladon Ltd.
- Olazo, R. (2017). *Propuesta de mejora de mantenimiento utilizando RCM en la línea de producción de xantato de la industria química.* Lima: Repositorio Academico Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Pariente, J. (2012). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a un cargador frontal Caterpillar 950H-v08.* Arica: Universidad de Tarapacá.
- Resources, C. (2018). *Reliability Centered Maintenance.* Obtenido de emaint: <https://www.emaint.com/reliability-centered-maintenance/>
- Viveros, P., Stegmaier, R., & Kristjanpolle, F. (2018). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo.* Obtenido de Ingeniare

Revista chilena de ingeniería: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052013000100011&script=sci_arttext&tlng=pt

ANEXOS

Anexo N° 1 – Base De Datos Dispatch Ene 2017 – Mar 2018

Tabla 22: Disponibilidad Ene 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

01 DE ENE 17 TO 31 ENE 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	512.30	15.50	99.00	116.50	0.70	744	86.7%	79.4%
730E N°02	584.40	14.50	45.80	98.90	0.40	744	93.8%	83.7%
730E N°03	513.00	19.40	95.20	116.30	0.10	744	87.2%	79.1%
730E N°04	398.20	13.50	222.80	109.30	0.20	744	70.1%	76.4%
730E N°05	537.60	17.80	92.10	94.40	2.10	744	87.6%	82.5%
730E N°06	427.50	11.10	194.50	110.80	0.10	744	73.9%	77.8%
730E N°07	382.10	16.30	236.00	109.00	0.60	744	68.3%	75.2%
730E N°08	518.50	18.40	88.30	117.30	1.50	744	88.1%	79.1%
730E N°09	492.30	11.90	121.30	118.50	0.00	744	83.7%	79.1%
730E N°10	570.40	18.60	40.20	114.40	0.40	744	94.6%	81.0%
730E N°11	415.00	9.20	199.30	120.40	0.10	744	73.2%	76.2%
730E N°12	525.50	15.70	94.30	108.40	0.10	744	87.3%	80.9%
730E N°13	519.30	18.60	91.80	111.10	3.20	744	87.7%	79.6%
730E N°14	478.90	13.60	125.20	125.30	1.00	744	83.2%	77.4%
730E N°15	498.90	20.60	108.50	112.60	3.40	744	85.4%	78.5%
730E N°16	525.70	19.20	64.90	134.20	0.00	744	91.3%	77.4%
730E N°17	515.90	18.00	86.90	123.20	0.00	744	88.3%	78.5%
730E N°18	491.90	15.10	91.70	144.70	0.60	744	87.7%	75.4%
730E N°19	536.30	16.00	72.80	118.90	0.00	744	90.2%	79.9%
Total Flota	9,443.70	303.00	2,170.60	2,204.20	14.50	14,136	84.6%	78.8%

Tabla 23: Disponibilidad Feb 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

01 DE FEB 17 TO 28 FEB 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	518.40	13.50	62.10	77.50	0.50	672	90.8%	85.0%
730E N°02	521.20	13.10	57.10	80.30	0.30	672	91.5%	84.8%
730E N°03	487.20	16.60	88.90	79.20	0.10	672	86.8%	83.6%
730E N°04	461.80	16.40	127.30	66.50	0.00	672	81.1%	84.8%
730E N°05	450.10	17.90	132.30	70.50	1.20	672	80.3%	83.4%
730E N°06	523.10	21.00	44.70	82.60	0.60	672	93.3%	83.4%
730E N°07	539.70	15.10	43.40	72.50	1.30	672	93.5%	85.9%
730E N°08	504.00	13.90	91.50	60.10	2.50	672	86.4%	86.8%
730E N°09	509.40	12.00	90.10	60.50	0.00	672	86.6%	87.5%
730E N°10	505.60	21.00	79.50	65.60	0.30	672	88.2%	85.3%
730E N°11	516.10	15.10	65.60	74.20	1.00	672	90.2%	85.1%
730E N°12	510.10	15.20	63.00	79.50	4.20	672	90.6%	83.8%
730E N°13	497.70	14.80	72.40	85.10	2.00	672	89.2%	83.0%
730E N°14	523.20	15.60	59.30	73.50	0.40	672	91.2%	85.4%
730E N°15	484.50	14.10	84.60	86.70	2.10	672	87.4%	82.5%
730E N°16	515.90	15.50	45.60	93.70	1.30	672	93.2%	82.4%
730E N°17	539.10	17.90	51.00	63.80	0.20	672	92.4%	86.8%
730E N°18	483.80	13.60	90.20	84.40	0.00	672	86.6%	83.2%
730E N°19	531.70	18.60	39.50	81.80	0.40	672	94.1%	84.1%
Total Flota	9,622.60	300.90	1,388.10	1,438.00	18.40	12,768	89.1%	84.6%

Tabla 24: Disponibilidad Mar 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE MAR 17 TO 30 MAR 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	552.70	21.70	83.50	85.30	0.80	744	88.8%	83.7%
730E N°02	609.50	17.50	48.80	67.60	0.60	744	93.4%	87.7%
730E N°03	544.10	15.50	128.10	56.10	0.20	744	82.8%	88.3%
730E N°04	553.90	17.30	130.90	41.90	0.00	744	82.4%	90.3%
730E N°05	526.30	15.70	106.40	93.80	1.80	744	85.7%	82.5%
730E N°06	525.40	13.80	131.00	73.80	0.00	744	82.4%	85.7%
730E N°07	522.80	16.10	99.20	105.10	0.80	744	86.7%	81.1%
730E N°08	532.50	15.80	112.80	81.30	1.60	744	84.8%	84.4%
730E N°09	535.90	15.60	142.60	49.30	0.60	744	80.8%	89.1%
730E N°10	613.10	17.60	53.50	59.70	0.10	744	92.8%	88.8%
730E N°11	350.20	8.50	291.20	93.70	0.40	744	60.9%	77.3%
730E N°12	551.60	18.50	58.70	115.10	0.10	744	92.1%	80.5%
730E N°13	540.10	15.00	112.90	73.70	2.30	744	84.8%	85.6%
730E N°14	570.70	20.50	78.90	73.30	0.60	744	89.4%	85.8%
730E N°15	450.20	15.10	204.80	72.50	1.40	744	72.5%	83.5%
730E N°16	505.30	19.60	139.00	80.10	0.00	744	81.3%	83.5%
730E N°17	594.30	19.40	78.70	51.60	0.00	744	89.4%	89.3%
730E N°18	530.00	15.90	146.30	50.90	0.90	744	80.3%	88.7%
730E N°19	563.70	19.20	95.50	63.20	2.40	744	87.2%	86.9%
Total Flota	10,172.30	318.30	2,242.80	1,388.00	14.60	14,136	84.1%	85.4%

Tabla 25: Disponibilidad Abr 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE ABR 17 TO 30 ABR 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	559.40	17.10	80.50	61.70	1.30	720	88.8%	87.5%
730E N°02	563.90	16.60	76.80	62.20	0.50	720	89.3%	87.7%
730E N°03	609.70	19.80	33.30	56.70	0.50	720	95.4%	88.8%
730E N°04	503.30	17.80	151.80	47.10	0.00	720	78.9%	88.6%
730E N°05	548.70	19.00	103.60	46.30	2.40	720	85.6%	89.0%
730E N°06	591.80	23.90	53.50	50.50	0.30	720	92.6%	88.8%
730E N°07	567.10	20.30	83.40	48.60	0.60	720	88.4%	89.1%
730E N°08	425.70	13.30	233.30	47.70	0.4	720	67.6%	87.5%
730E N°09	530.90	14.80	108.60	65.40	0.30	720	84.9%	86.8%
730E N°10	550.50	18.60	98.80	51.90	0.20	720	86.3%	88.6%
730E N°11	580.90	17.20	78.90	42.50	0.50	720	89.0%	90.6%
730E N°12	477.40	15.40	156.40	70.40	0.40	720	78.3%	84.7%
730E N°13	446.90	12.20	212.80	46.50	1.60	720	70.4%	88.1%
730E N°14	553.30	19.60	87.80	58.70	0.60	720	87.8%	87.5%
730E N°15	537.60	17.30	110.60	53.60	0.90	720	84.6%	88.2%
730E N°16	453.60	16.50	209.40	40.20	0.30	720	70.9%	88.8%
730E N°17	547.30	14.40	91.30	65.20	1.80	720	87.3%	87.1%
730E N°18	497.40	15.40	153.10	54.00	0.10	720	78.7%	87.7%
730E N°19	539.30	17.50	109.20	54.00	0.00	720	84.8%	88.3%
Total Flota	10,084.70	326.70	2,233.10	1,023.20	12.30	13,680	83.7%	88.1%

Tabla 26: Disponibilidad May 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE MAY 17 TO 30 MAY 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	577.70	12.10	90.20	62.20	1.80	744	87.9%	88.4%
730E N°02	483.70	15.50	182.50	61.70	0.60	744	75.5%	86.1%
730E N°03	585.10	17.60	95.20	45.50	0.60	744	87.2%	90.2%
730E N°04	574.80	17.50	103.20	47.80	0.70	744	86.1%	89.7%
730E N°05	573.60	21.00	113.20	33.70	2.50	744	84.8%	90.9%
730E N°06	510.00	18.00	160.70	54.40	0.90	744	78.4%	87.4%
730E N°07	580.20	18.10	105.20	40.40	0.10	744	85.9%	90.8%
730E N°08	451.00	11.10	234.50	45.10	2.30	744	68.5%	88.5%
730E N°09	591.40	13.90	107.90	29.10	1.70	744	85.5%	93.0%
730E N°10	537.40	20.90	124.40	60.10	1.20	744	83.3%	86.7%
730E N°11	562.50	20.70	119.40	40.40	1.00	744	84.0%	90.1%
730E N°12	606.70	13.20	45.40	78.50	0.20	744	93.9%	86.8%
730E N°13	600.20	15.90	54.10	71.50	2.30	744	92.7%	87.0%
730E N°14	607.70	16.60	41.70	72.40	5.60	744	94.4%	86.5%
730E N°15	536.30	17.10	150.90	36.40	3.30	744	79.7%	90.4%
730E N°16	529.00	16.30	132.70	66.00	0.00	744	82.2%	86.5%
730E N°17	566.60	19.10	116.60	39.80	1.90	744	84.3%	90.3%
730E N°18	572.30	19.60	106.10	46.00	0.00	744	85.7%	89.7%
730E N°19	596.90	19.40	88.20	38.30	1.20	744	88.1%	91.0%
Total Flota	10,643.10	323.60	2,172.10	969.30	27.90	14,136	84.6%	89.0%

Tabla 27: Disponibilidad Jun 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE JUN 17 TO 30 JUN 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	556.70	13.80	87.50	61.50	0.50	720	87.8%	88.0%
730E N°02	584.60	19.30	49.40	66.10	0.60	720	93.1%	87.2%
730E N°03	610.40	16.90	41.30	51.20	0.20	720	94.3%	89.9%
730E N°04	560.20	17.60	84.50	57.60	0.10	720	88.3%	88.2%
730E N°05	521.40	17.30	104.10	75.90	1.30	720	85.5%	84.7%
730E N°06	561.40	17.90	66.30	73.50	0.90	720	90.8%	85.9%
730E N°07	525.50	15.80	87.00	91.10	0.60	720	87.9%	83.0%
730E N°08	581.60	15.20	73.00	49.20	1.00	720	89.9%	89.9%
730E N°09	514.60	12.70	128.30	63.50	0.90	720	82.2%	87.0%
730E N°10	532.30	20.10	106.10	60.40	1.10	720	85.3%	86.7%
730E N°11	588.60	14.50	65.00	51.70	0.20	720	91.0%	89.9%
730E N°12	497.30	19.60	154.90	48.00	0.20	720	78.5%	88.0%
730E N°13	514.90	12.60	101.70	88.60	2.20	720	85.9%	83.3%
730E N°14	538.90	22.50	82.60	73.00	3.00	720	88.5%	84.5%
730E N°15	516.10	14.60	89.70	98.70	0.90	720	87.5%	81.9%
730E N°16	615.90	17.50	27.60	59.00	0.00	720	96.2%	89.0%
730E N°17	539.20	17.10	104.30	58.20	1.20	720	85.5%	87.6%
730E N°18	536.80	17.00	108.10	55.60	2.50	720	85.0%	87.7%
730E N°19	550.80	14.30	84.00	70.40	0.50	720	88.3%	86.6%
Total Flota	10,447.20	316.30	1,645.40	1,253.20	17.90	13,680	88.0%	86.8%

Tabla 28: Disponibilidad Jul 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE JUL 17 TO 30 JUL 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	353.70	8.70	333.30	48.10	0.20	744	55.2%	86.1%
730E N°02	594.20	17.60	50.90	81.10	0.20	744	93.2%	85.7%
730E N°03	532.10	16.00	94.70	101.20	0.00	744	87.3%	81.9%
730E N°04	536.30	14.50	107.60	85.40	0.20	744	85.5%	84.3%
730E N°05	578.20	15.70	50.50	99.60	0.00	744	93.2%	83.4%
730E N°06	575.70	15.00	47.20	106.10	0.00	744	93.7%	82.6%
730E N°07	525.50	17.10	94.60	106.60	0.20	744	87.3%	80.9%
730E N°08	463.30	12.10	164.40	103.60	0.60	744	77.9%	79.9%
730E N°09	567.70	15.30	65.30	95.50	0.20	744	91.2%	83.6%
730E N°10	395.10	11.00	256.20	81.70	0.00	744	65.6%	81.0%
730E N°11	573.50	10.30	69.10	91.10	0.00	744	90.7%	85.0%
730E N°12	529.80	15.20	94.60	104.20	0.20	744	87.3%	81.6%
730E N°13	540.10	9.90	89.40	104.40	0.20	744	88.0%	82.5%
730E N°14	574.10	15.40	51.90	102.20	0.40	744	93.0%	83.0%
730E N°15	522.50	15.30	87.70	117.80	0.70	744	88.2%	79.6%
730E N°16	577.90	18.00	51.90	96.20	0.00	744	93.0%	83.5%
730E N°17	548.20	13.30	90.60	90.80	1.10	744	87.8%	83.9%
730E N°18	588.50	21.90	55.90	77.70	0.00	744	92.5%	85.5%
730E N°19	502.40	20.30	105.30	116.00	0.00	744	85.8%	78.7%
Total Flota	10,078.80	282.60	1,961.10	1,809.30	4.20	14,136	86.1%	82.8%

Tabla 29: Disponibilidad Ago 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE AGO 17 TO 30 AGO 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	559.60	14.90	103.70	64.70	1.10	744	86.1%	87.4%
730E N°02	297.90	6.60	402.30	34.80	2.40	744	45.9%	87.2%
730E N°03	542.70	15.30	92.80	92.90	0.30	744	87.5%	83.3%
730E N°04	520.40	15.90	149.90	57.80	0.00	744	79.9%	87.6%
730E N°05	607.60	15.50	60.90	57.20	2.80	744	91.8%	88.9%
730E N°06	593.50	21.80	48.70	79.00	1.00	744	93.5%	85.4%
730E N°07	553.50	16.60	87.20	86.00	0.70	744	88.3%	84.3%
730E N°08	397.20	9.20	292.70	44.60	0.30	744	60.7%	88.0%
730E N°09	569.60	14.50	97.70	62.00	0.20	744	86.9%	88.1%
730E N°10	600.60	19.40	58.00	65.00	1.00	744	92.2%	87.6%
730E N°11	571.10	23.40	63.20	86.30	0.00	744	91.5%	83.9%
730E N°12	546.20	20.10	100.00	77.50	0.20	744	86.6%	84.8%
730E N°13	520.50	19.40	117.10	85.80	1.20	744	84.3%	83.0%
730E N°14	589.90	18.10	62.20	73.80	0.00	744	91.6%	86.5%
730E N°15	521.30	22.60	107.40	78.30	14.40	744	85.6%	81.9%
730E N°16	566.70	16.40	82.40	78.30	0.20	744	88.9%	85.7%
730E N°17	516.60	13.70	140.30	73.20	0.20	744	81.1%	85.6%
730E N°18	554.70	16.00	113.20	59.80	0.30	744	84.8%	87.9%
730E N°19	559.00	16.40	104.50	63.90	0.20	744	86.0%	87.4%
Total Flota	10,188.60	315.80	2,284.20	1,320.90	26.50	14,136	83.8%	86.0%

Tabla 30: Disponibilidad Set 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE SET 17 TO 30 SET 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	563.40	14.40	83.90	58.10	0.20	720	88.3%	88.6%
730E N°02	422.00	12.40	263.00	22.50	0.10	720	63.5%	92.3%
730E N°03	654.90	12.60	52.40	57.11	0.10	720	92.7%	98.1%
730E N°04	505.70	18.30	158.00	37.80	0.20	720	78.1%	90.0%
730E N°05	516.50	15.90	140.60	46.40	0.60	720	80.5%	89.1%
730E N°06	587.80	20.50	58.90	52.80	0.00	720	91.8%	88.9%
730E N°07	560.60	18.50	88.10	51.70	1.10	720	87.8%	88.7%
730E N°08	287.30	7.80	393.80	29.80	1.30	720	45.3%	88.1%
730E N°09	581.70	17.80	66.00	54.00	0.50	720	90.8%	88.9%
730E N°10	552.10	14.30	105.00	44.70	3.90	720	85.4%	89.8%
730E N°11	523.90	17.70	129.40	49.00	0.00	720	82.0%	88.7%
730E N°12	471.80	15.40	199.40	33.30	0.10	720	72.3%	90.6%
730E N°13	346.80	1.20	326.50	44.80	0.70	720	54.7%	88.1%
730E N°14	533.70	16.40	103.70	66.20	0.00	720	85.6%	86.6%
730E N°15	412.80	9.70	260.80	35.90	0.80	720	63.8%	89.9%
730E N°16	563.50	14.80	96.50	45.20	0.00	720	86.6%	90.4%
730E N°17	602.00	18.30	63.70	35.60	0.40	720	91.2%	91.7%
730E N°18	379.50	10.00	293.20	37.00	0.30	720	59.3%	88.9%
730E N°19	555.80	18.50	93.60	51.70	0.40	720	87.0%	88.7%
Total Flota	9,621.80	274.50	2,976.50	796.50	10.70	13,680	78.2%	89.8%

Tabla 31: Disponibilidad Oct 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE OCT 17 TO 30 OCT 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	589.80	16.70	64.30	73.20	0.00	744	91.4%	86.8%
730E N°02	602.20	16.00	81.20	44.40	0.20	744	89.1%	90.9%
730E N°03	565.20	19.10	93.50	66.10	0.10	744	87.4%	86.9%
730E N°04	283.40	9.20	425.70	25.50	0.20	744	42.8%	89.0%
730E N°05	516.50	17.20	160.10	50.00	0.20	744	78.5%	88.5%
730E N°06	512.00	17.40	158.00	56.60	0.00	744	78.8%	87.4%
730E N°07	452.80	16.40	229.40	45.20	0.20	744	69.2%	88.0%
730E N°08	531.40	16.20	142.80	51.70	1.90	744	80.8%	88.4%
730E N°09	534.80	15.90	144.00	49.30	0.00	744	80.6%	89.1%
730E N°10	602.40	19.60	90.80	50.70	0.10	744	87.8%	92.2%
730E N°11	603.10	20.20	73.80	46.90	0.00	744	90.1%	90.0%
730E N°12	540.90	13.30	145.00	44.20	0.60	744	80.5%	90.3%
730E N°13	498.50	14.70	164.60	65.80	0.40	744	77.9%	86.0%
730E N°14	528.20	19.10	145.30	51.10	0.30	744	80.5%	88.2%
730E N°15	507.50	18.10	166.60	51.30	0.50	744	77.6%	87.9%
730E N°16	567.40	15.70	100.20	60.70	0.00	744	86.5%	88.1%
730E N°17	558.50	17.70	108.80	58.60	0.40	744	85.4%	87.9%
730E N°18	551.90	15.30	111.60	64.70	0.50	744	85.0%	87.3%
730E N°19	564.10	17.20	107.20	54.60	0.90	744	85.6%	88.6%
Total Flota	10,110.60	295.40	2,712.90	1,010.60	6.50	14,136	80.8%	88.5%

Tabla 32: Disponibilidad Nov 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE NOV 17 TO 30 NOV 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	525.20	13.70	84.70	96.00	0.40	720	88.2%	82.7%
730E N°02	572.10	22.80	53.90	70.70	0.50	720	92.5%	85.9%
730E N°03	483.50	20.90	155.60	60.00	0.00	720	78.4%	85.7%
730E N°04	544.10	20.80	78.10	76.00	1.00	720	89.2%	84.8%
730E N°05	499.90	18.90	121.40	79.70	0.10	720	83.1%	83.5%
730E N°06	539.20	19.50	78.10	83.00	0.20	720	89.2%	84.0%
730E N°07	522.60	23.70	108.80	64.40	0.50	720	84.9%	85.5%
730E N°08	551.00	21.60	81.20	64.70	1.50	720	88.7%	86.3%
730E N°09	549.10	22.60	69.40	77.70	1.20	720	90.4%	84.4%
730E N°10	531.30	22.00	91.20	75.40	0.10	720	87.3%	84.5%
730E N°11	527.40	21.60	98.30	72.20	0.50	720	86.3%	84.8%
730E N°12	537.60	20.60	94.50	66.70	0.60	720	86.9%	85.9%
730E N°13	507.00	20.00	117.00	73.90	2.10	720	83.8%	84.1%
730E N°14	554.60	23.80	68.30	73.00	0.30	720	90.5%	85.1%
730E N°15	516.20	12.60	103.20	87.70	0.30	720	85.7%	83.7%
730E N°16	502.40	15.70	97.80	104.00	0.10	720	86.4%	80.7%
730E N°17	547.20	15.50	80.70	75.50	1.10	720	88.8%	85.6%
730E N°18	447.20	15.20	177.80	79.50	0.30	720	75.3%	82.5%
730E N°19	546.00	24.60	83.50	65.50	0.40	720	88.4%	85.8%
Total Flota	10,003.60	376.10	1,843.50	1,445.60	11.20	13,680	86.5%	84.5%

Tabla 33: Disponibilidad Dic 2017 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE DIC 17 TO 30 DIC 17								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	480.80	25.90	141.00	95.70	0.60	744	81.0%	79.7%
730E N°02	516.40	23.90	86.00	116.90	0.80	744	88.4%	78.5%
730E N°03	504.60	22.50	65.40	151.10	0.40	744	91.2%	74.4%
730E N°04	525.40	28.50	77.60	112.30	0.20	744	89.6%	78.8%
730E N°05	466.10	23.80	139.40	113.80	0.90	744	81.3%	77.1%
730E N°06	511.70	21.40	91.00	119.90	0.00	744	87.8%	78.4%
730E N°07	515.30	28.00	77.90	122.70	0.10	744	89.5%	77.4%
730E N°08	516.60	17.10	93.50	116.00	0.80	744	87.4%	79.4%
730E N°09	491.80	22.80	119.40	109.70	0.30	744	84.0%	78.7%
730E N°10	496.90	18.90	112.80	115.00	0.40	744	84.8%	78.7%
730E N°11	518.90	28.80	73.60	120.80	1.90	744	90.1%	77.4%
730E N°12	541.60	23.20	77.90	100.80	0.50	744	89.5%	81.3%
730E N°13	444.50	22.30	117.90	157.50	1.80	744	84.2%	71.0%
730E N°14	499.40	23.90	59.40	160.80	0.50	744	92.0%	72.9%
730E N°15	517.80	23.90	85.20	116.90	0.20	744	88.5%	78.6%
730E N°16	568.60	22.50	46.60	106.10	0.20	744	93.7%	81.5%
730E N°17	382.80	17.00	231.80	111.70	0.70	744	68.8%	74.7%
730E N°18	436.60	22.40	148.00	136.70	0.30	744	80.1%	73.3%
730E N°19	515.70	23.70	106.00	98.50	0.10	744	85.8%	80.8%
Total Flota	9,451.50	440.50	1,950.40	2,282.90	10.70	14,136	86.2%	77.5%

Tabla 34: Disponibilidad Ene 2018 camiones 730E, Datos Dispatch

1 DE ENE 18 TO 31 ENE 18								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	651.30	25.60	53.40	12.40	1.30	744	92.8%	94.3%
730E N°02	489.50	19.30	103.20	132.00	0.00	744	86.1%	76.4%
730E N°03	486.60	21.70	87.40	148.00	0.30	744	88.3%	74.1%
730E N°04	417.90	20.60	156.20	148.70	0.60	744	79.0%	71.1%
730E N°05	520.70	24.50	68.10	128.90	1.80	744	90.8%	77.0%
730E N°06	494.20	21.60	90.40	137.50	0.30	744	87.8%	75.6%
730E N°07	482.00	28.20	109.50	122.70	1.60	744	85.3%	76.0%
730E N°08	477.70	25.00	105.00	134.80	1.50	744	85.9%	74.8%
730E N°09	480.80	17.30	113.60	131.20	1.10	744	84.7%	76.3%
730E N°10	516.00	25.50	77.40	124.00	1.10	744	89.6%	77.4%
730E N°11	422.70	16.10	170.70	134.50	0.00	744	77.1%	73.7%
730E N°12	425.70	20.00	151.50	145.60	1.20	744	79.6%	71.8%
730E N°13	494.90	18.40	123.20	105.10	2.40	744	83.4%	79.7%
730E N°14	490.20	20.20	61.90	171.30	0.40	744	91.7%	71.9%
730E N°15	477.00	24.10	76.40	163.10	3.40	744	89.7%	71.4%
730E N°16	492.80	24.70	87.10	139.10	0.30	744	88.3%	75.0%
730E N°17	485.20	23.40	80.40	154.20	0.80	744	89.2%	73.1%
730E N°18	448.90	21.00	105.10	167.20	1.80	744	85.9%	70.3%
730E N°19	502.10	17.70	101.50	121.90	0.80	744	86.4%	78.1%
Total Flota	9,256.20	414.90	1,922.00	2,522.20	20.70	14,136	86.4%	75.7%

Tabla 35: Disponibilidad Feb 2018 camiones 730E, Datos Dispatch

01 DE FEB 18 TO 28 FEB 18								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	467.00	23.00	93.90	87.70	0.40	672	86.0%	80.8%
730E N°02	501.70	26.40	64.70	79.20	0.00	672	90.4%	82.6%
730E N°03	396.30	22.80	152.70	100.00	0.20	672	77.3%	76.3%
730E N°04	269.50	16.80	324.50	60.90	0.30	672	51.7%	77.6%
730E N°05	405.50	23.60	161.00	81.80	0.10	672	76.0%	79.4%
730E N°06	457.00	26.10	79.80	108.50	0.60	672	88.1%	77.2%
730E N°07	449.40	27.20	98.50	96.80	0.10	672	85.3%	78.4%
730E N°08	502.70	27.90	54.90	86.00	0.50	672	91.8%	81.5%
730E N°09	422.90	23.20	126.90	97.90	1.10	672	81.1%	77.6%
730E N°10	386.20	19.20	204.30	62.20	0.10	672	69.6%	82.6%
730E N°11	440.00	21.50	108.20	102.30	0.00	672	83.9%	78.0%
730E N°12	499.20	28.40	66.90	77.30	0.20	672	90.0%	82.5%
730E N°13	421.30	20.40	127.90	101.20	1.20	672	81.0%	77.4%
730E N°14	413.60	21.10	157.80	78.70	0.80	672	76.5%	80.4%
730E N°15	446.90	27.80	113.30	82.60	1.40	672	83.1%	80.0%
730E N°16	457.70	28.70	85.50	99.00	1.10	672	87.3%	78.0%
730E N°17	485.00	25.70	66.20	94.70	0.40	672	90.1%	80.1%
730E N°18	476.20	26.70	63.50	104.80	0.80	672	90.6%	78.3%
730E N°19	415.70	22.60	155.80	77.90	0.00	672	76.8%	80.5%
Total Flota	8,313.80	459.10	2,306.30	1,679.50	9.30	12,768	81.9%	79.4%

Tabla 36: Disponibilidad Mar 2018 camiones 730E, Datos Dispatch

01 DE MAR 18 TO 31 MAR 18								
Unidad	Operativo (Horas)	Demora (Horas)	Mantenimiento (Horas)	Stand By	Utilitario	Total	Disponibilidad	Utilización
730E N°01	609.00	27.80	67.20	39.10	0.90	744	91.0%	90.0%
730E N°02	546.40	23.50	134.40	38.90	0.80	744	81.9%	89.6%
730E N°03	498.40	23.80	163.10	58.40	0.30	744	78.1%	85.8%
730E N°04	500.40	26.10	139.90	76.10	1.50	744	81.2%	82.8%
730E N°05	547.10	22.70	119.50	54.20	0.50	744	83.9%	87.6%
730E N°06	575.10	25.60	98.50	44.70	0.10	744	86.8%	89.1%
730E N°07	540.60	18.50	107.20	77.00	0.70	744	85.6%	84.9%
730E N°08	561.30	26.30	103.50	51.30	1.60	744	86.1%	87.6%
730E N°09	529.20	21.10	137.40	55.60	0.70	744	81.5%	87.2%
730E N°10	529.90	21.40	147.00	44.60	1.10	744	80.2%	88.8%
730E N°11	574.70	24.90	77.20	66.70	0.50	744	89.6%	86.2%
730E N°12	516.00	25.70	136.00	65.00	1.30	744	81.7%	84.9%
730E N°13	488.90	20.10	182.40	49.80	2.80	744	75.5%	87.1%
730E N°14	433.40	19.00	241.10	50.30	0.20	744	67.6%	86.2%
730E N°15	596.90	27.90	73.10	41.80	4.30	744	90.2%	89.0%
730E N°16	483.20	20.10	182.00	58.20	0.50	744	75.5%	86.0%
730E N°17	565.20	22.50	101.00	53.40	1.90	744	86.4%	87.9%
730E N°18	612.00	25.60	62.70	42.10	1.60	744	91.6%	89.8%
730E N°19	556.30	27.00	117.80	42.20	0.70	744	84.2%	88.8%
Total Flota	10,264.00	449.60	2,391.00	1,009.40	22.00	14,136	83.1%	87.3%

Anexo N° 2 – Contexto Operacional camión Komatsu 730E

↳ Barrick Gold Corporation

Barrick es la compañía minera de oro más importante del mundo, fundada en 1983 y con sede en Toronto, actualmente tiene cerca de 10,000 empleados y cuenta con operaciones y proyectos mineros en 10 países alrededor del mundo. Barrick Gold tiene como objetivo, aumentar el flujo de caja por acción de una cartera de activos de oro y cobre de alta calidad a través de la asignación disciplinada de capital y la excelencia operativa; así como la generación de riqueza a través de la minería responsable, generación de valor para nuestros propietarios, nuestra gente, los países y comunidades en los que opera.

Más del 75% de la producción de oro Barrick Gold proviene del continente americano, incluyendo Argentina, Canadá, República Dominicana, Perú y los Estados Unidos. La compañía también tiene operaciones y proyectos mineros en Australia, Chile, Papúa Nueva Guinea, Arabia Saudita y Zambia.

↳ Unidad Minera Lagunas Norte

Esta unidad productiva desarrolla el depósito de mineral denominado Lagunas Norte, ubicado en el distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad -en el área denominada distrito minero Alto Chicama, a 140 kilómetros al este de la ciudad de Trujillo. La altura del yacimiento se eleva entre 4,000 y 4,260 metros sobre el nivel del mar. El depósito de mineral Lagunas Norte comprende seis concesiones mineras que se extienden en un área total de 20,322 hectáreas, sumando las tres principales un total de 18,550 hectáreas, concesiones que fueron adquiridas a través de concurso público internacional PRI-50-2000 Alto Chicama.

La operación comprende una mina estándar, iniciando con el proceso perforación, el cual tiene como finalidad hacer taladros (donde se alojará la carga de explosivos) en el macizo rocoso según los diseños de ingeniería; posteriormente se realiza el proceso de ore control, actividad que consiste en la toma de muestras de los

taladros con el objetivo de tener certeza de cuál es la ley que se tiene por taladro, para así poder delimitar en el campo los polígonos de desmonte y mineral; luego se realiza la voladura que permite la fragmentación del macizo rocoso mediante un control adecuado de utilización de agentes de voladura. El macizo rocoso fragmentado se carga a través de cargadores frontales y/o palas hidráulicas que realizan el carguío de mineral y roca de desmonte en los camiones de acarreo, estos camiones transportan el mineral y roca de desmonte desde la mina hasta la chancadora primaria o botadero según corresponda.

El proceso de recuperación del oro posterior a la extracción del mineral se realiza a través de los procesos de chancado del mineral, lixiviación en pozas y refinado mediante el sistema Merrill Crowe.

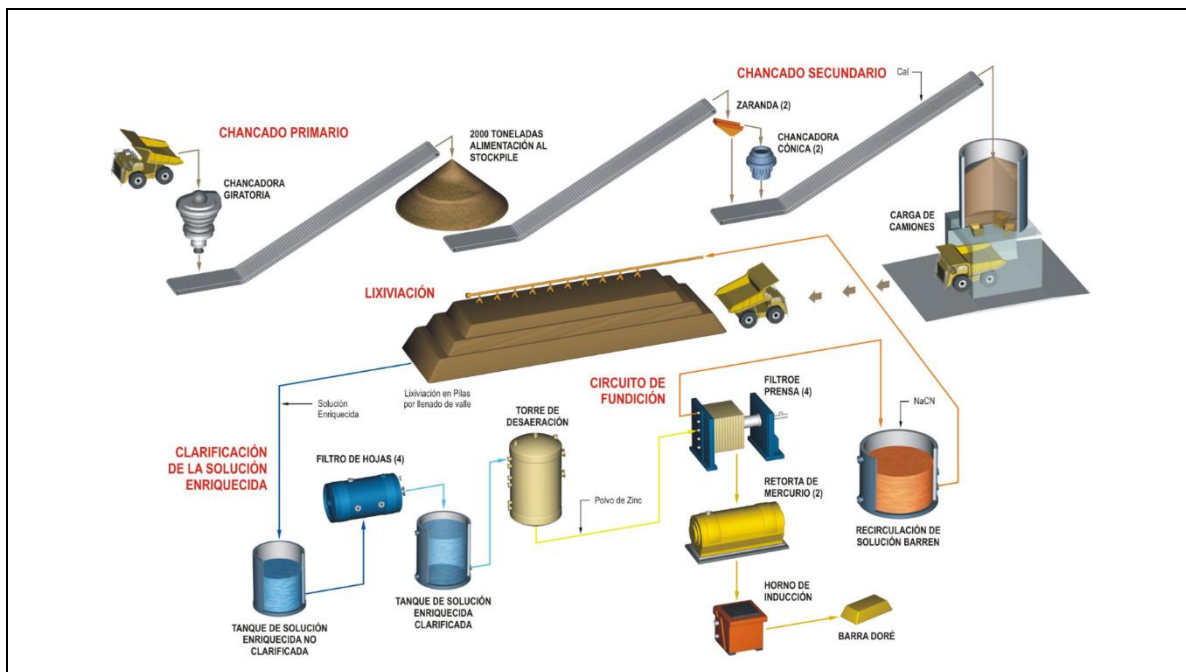


Figura 16: Diagrama de flujo de producción de oro Operación Lagunas Norte. Fuente: Barrick Gold

🔗 Proceso de Acarreo de Mineral

El proceso de acarreo consiste en el traslado de los diferentes materiales (mineral o estéril) por rutas habilitadas hacia los destinos preestablecidos (chancado primario o botadero), cumpliendo los programas de extracción definidos por la planificación de la mina.

En la unidad minera donde se realizó la investigación se utilizan 24 camiones (19 Komatsu 730E y 5 Caterpillar 785C) con descarga por la parte posterior, fabricados

con una tolva apoyada sobre la estructura principal (chasis) y que, a través de unos cilindros hidráulicos, se bascula hacia atrás para la descarga.

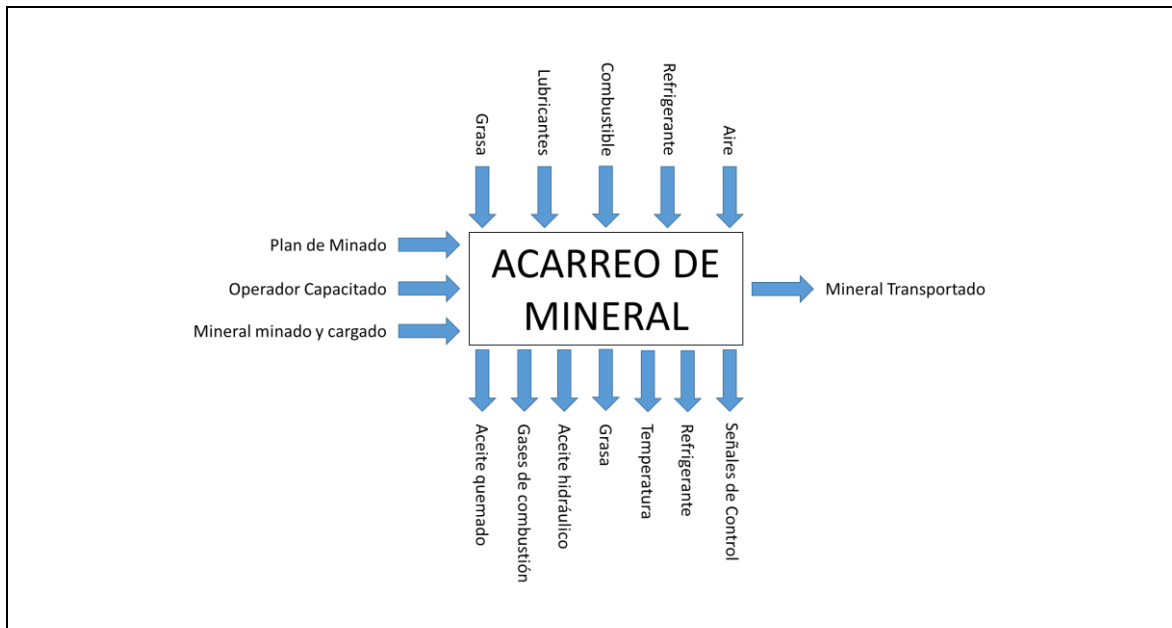


Figura 17: Entradas y salidas del proceso de acarreo de Mineral, Fuente: Minera Barrick Misquichilca

🔗 Camión Komatsu 730E



Figura 18: Camión Komatsu 730E, (Komatsu, 2004)

🔗 Descripción de camión de acarreo Komatsu 730E

El camión Komatsu 730E es un equipo de acarreo de accionamiento eléctrico compuesto principalmente por: sistema de potencia (paquete de motor, alternador, motores eléctricos), sistema eléctrico, sistema hidráulico, tolva, cabina. Las ruedas

traseras del camión (2) son propulsadas por dos (2) motores eléctricos de tracción. A la salida del alternador se suministra energía eléctrica a ambos motores que a su vez están unidos a la carcasa del eje trasero. Estos motores convierten nuevamente la energía eléctrica en energía mecánica a través de trenes de engranajes incorporados dentro del conjunto motor de las ruedas.

El camión 730E tiene un peso estructural de 138,371 Kg, su altura máxima es de 6.25 m y su ancho máximo 7.54 m.

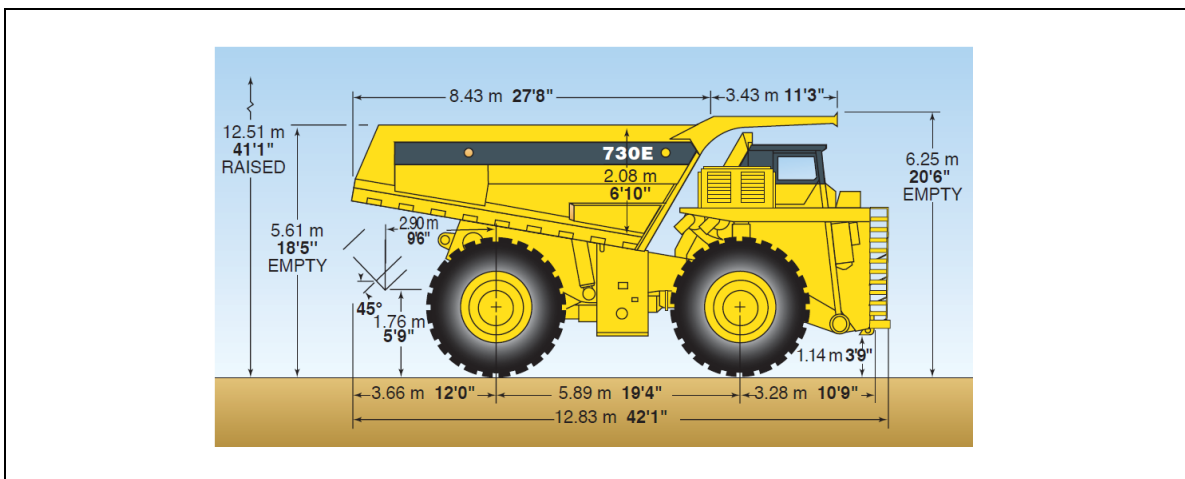


Figura 19: Medidas de camión Komatsu 730E, (Komatsu, 2004)

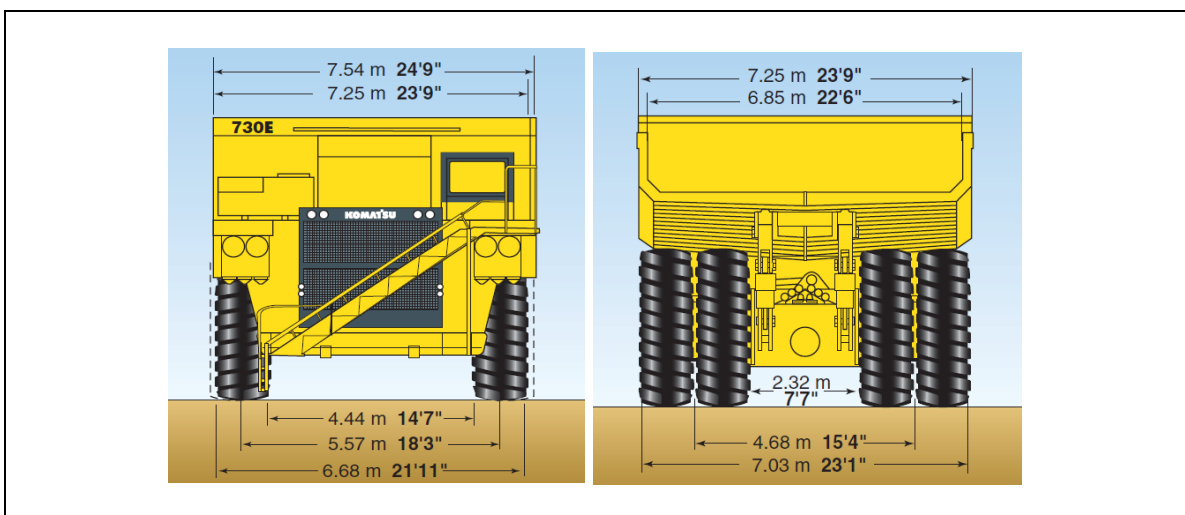


Figura 20: Medidas de camión Komatsu 730E, (Komatsu, 2004)

El camión 730E se encuentra equipado con un Motor Diesel Cummins K2000 de 16 cilindros con una potencia de 2000 Hp a 1900 RPM, un alternador General Electric GTA-22 y dos motores eléctricos de tracción de 24 voltios G.E. 788FS (motores de tracción).

Cuando un camión es detenido por eventos que no son: suministro de combustible, falta de operador, refrigerio, limpieza de área de trabajo, cambio de turno, necesidades fisiológicas, eventos de seguridad, son tiempo cargados a mantenimiento.

Debido a que las operaciones en mina se realizan a tajo abierto, continuamente se presentan con tormentas eléctricas (rayos, truenos), ante esta situación las actividades de Mantenimiento se paralizan tomando horas adicionales a la reparación. El tiempo de reparación en los turnos nocturnos se incrementa hasta un 50%, por falta de visibilidad.

En Lagunas Norte, la flota de Camiones 730E está compuesta por 19 equipos. Trabajan 24 horas al día en dos turnos de 12 horas, los operadores aplican los procedimientos operacionales incluidos en los manuales: llamados estándares de operación. Asimismo, se cuenta con personal de mantenimiento multifuncional (mecánicos, electricistas, electrónicos, soldadores, etc.) para ambos en turnos de operación

☞ **Políticas y Guardias de Mantenimiento**

La mayor parte de las actividades de mantenimiento de los camiones son prestadas por personal propio de Minera Barrick con excepción de los servicios de engrase automático y de soldadura que es con personal contratista.

Los turnos del personal de mantenimiento cubren las 24 horas del día, en turnos rotativos de 12 horas. Se tiene 12 técnicos por guardia aproximadamente.

☞ **Política de Inventarios**

Existe un almacén de repuestos manejada por el departamento de logística en las instalaciones de la Mina.

La mayor parte de los repuestos son importados y con tiempos de entrega por parte de fábrica entre 1 a 3 meses para componentes menores, los componentes mayores tienen un tiempo diferente porque requieren fabricación cuando se genere la orden de compra.

🔑 **Funciones y criterios de funcionamiento.**

El funcionamiento del camión 730E se divide en los siguientes sistemas

- Sistema motor mecánico (Diesel)
- Sistema de potencia
- Sistema hidráulico
- Sistema estructura
- Sistema equipo de trabajo
- Sistema eléctrico y electrónico
- Sistema tren de potencia



Figura 21: Componentes Camión Komatsu 730E. (Komatsu, 2004)

🔑 **Sistema Motor Mecánico (Diesel)**

Como su nombre lo señala el motor Cummins modelo K2000E tiene una potencia nominal de 2000HP a 1900 RPM. El K2000E está diseñado para aplicaciones de camiones que remolcan de 170 a 240 toneladas. El K2000E estará típicamente instalado en un camión que remolque aproximadamente 200 toneladas usado para trabajos en minería.



Figura 22: Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

a. Sistema de Lubricación

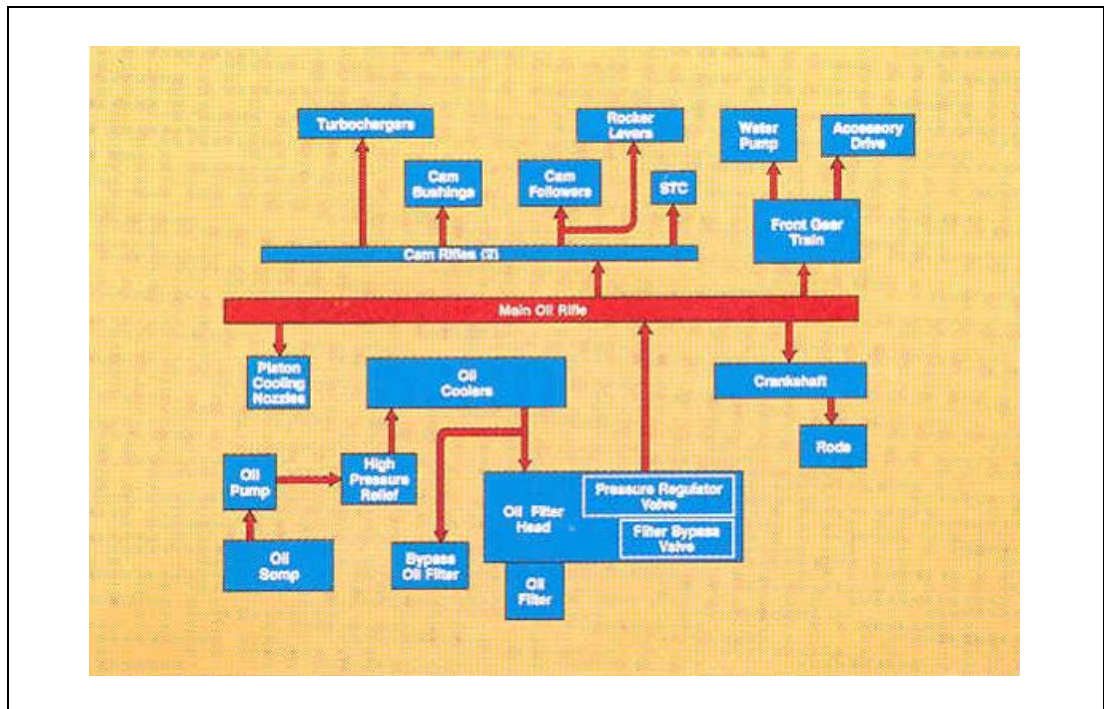


Figura 23: Esquema de los sistemas de lubricación motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

🔍 **Bomba de lubricación**

La bomba es de alta capacidad y posee un arreglo único de engranes helicoidales, éste componente se encuentra montado en la brida inferior del cárter y es impulsada con el engrane posterior del cigüeñal, la bomba tiene un engrane intermedio entre el engrane del cigüeñal y el engrane impulsor

de la bomba, este arreglo del engrane impulsor proporciona un rango de multiplicación de velocidad “overdrive” de relación 1.105 a 1, esto otorga la misma velocidad de la bomba con relación a la velocidad nominal de un motor de 2100 RPM.

✧ **Válvula de alivio de presión de aceite**

El sistema utiliza una válvula de alivio externa para presiones elevadas en vez de una válvula integrada a la bomba como en los primeros modelos. Esta válvula está localizada entre la bomba y el cabezal del filtro. La válvula está atornillada al bloque de cilindros del lado opuesto al cabezal del filtro. La válvula contiene un émbolo y un resorte. Está calibrada para descargar el aceite al cárter cuando la presión exceda de 160 PSI.

✧ **Enfriadores de aceite**

En la descarga de presión alta el flujo de aceite es dirigido a través de los puertos del bloque de cilindros a la galería de admisión del enfriador de aceite. En el enfriador, el aceite fluye a través de los puertos del bloque de cilindros al cabezal del filtro.

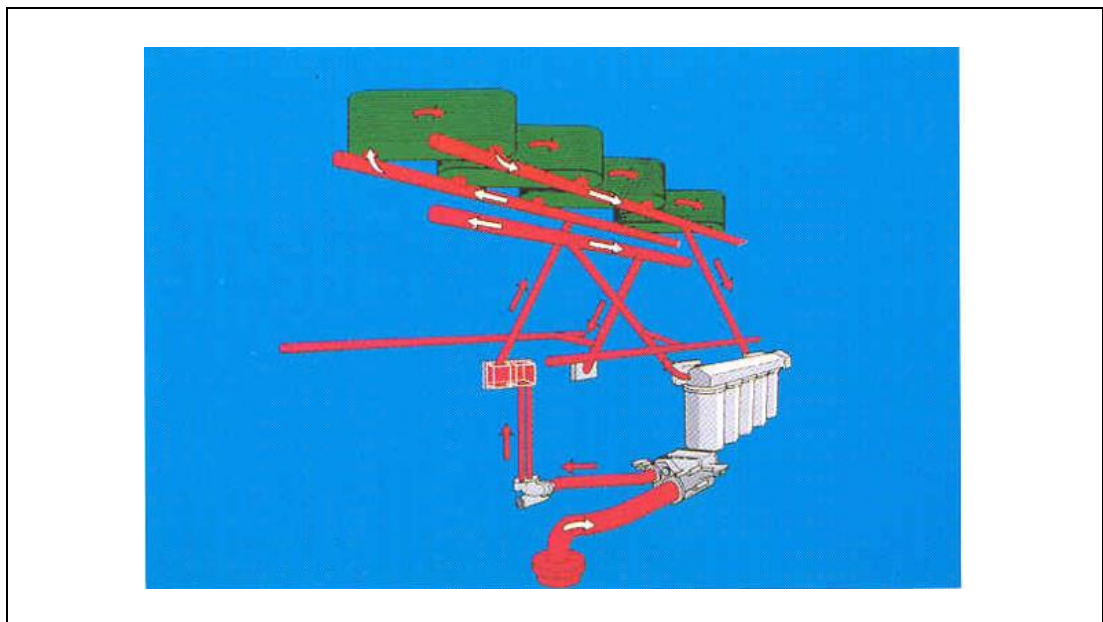


Figura 24: Flujo de enfriadores de aceite Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

📌 Cabezal del filtro

El cabezal del filtro puede ser montado en cualquier lado del motor, la única diferencia en las partes internas será el tubo de alimentación de aceite de la bomba a la válvula de alivio para presiones elevadas. Realizando el montaje del filtro por el lado izquierdo, el aceite fluye a través del lado derecho del bloque de cilindros y entra al cabezal del filtro por la parte de atrás. El aceite fluye a través de la cavidad de la válvula reguladora hacia las tomas de admisión del filtro, posteriormente atraviesa el filtro medio y sube hasta la galería de aceite limpio del cabezal.

La válvula reguladora detecta la presión del aceite proveniente de la galería de la entrada al cabezal del filtro y regula la presión del sistema de 35 a 70 PSI, el detectar la presión en la galería de aceite permite que la presión del aceite del motor permanezca constante sin importar la condición de los elementos filtrantes.

El cabezal del filtro también contiene una válvula de derivación del filtro, cuando la diferencia de presión entre las galerías de admisión al filtro y la de salida excede 51 PSI se abre la derivación y el flujo de aceite no pasará por los filtros.

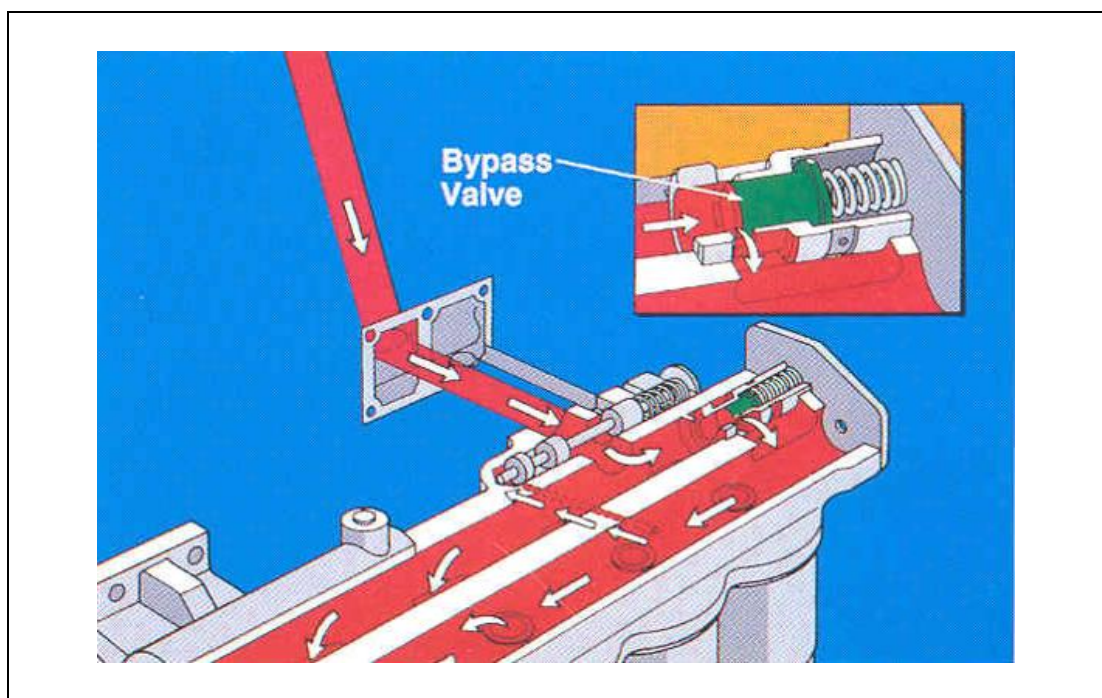


Figura 25: Válvula derivación del filtro Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

✎ **Galería Principal de aceite**

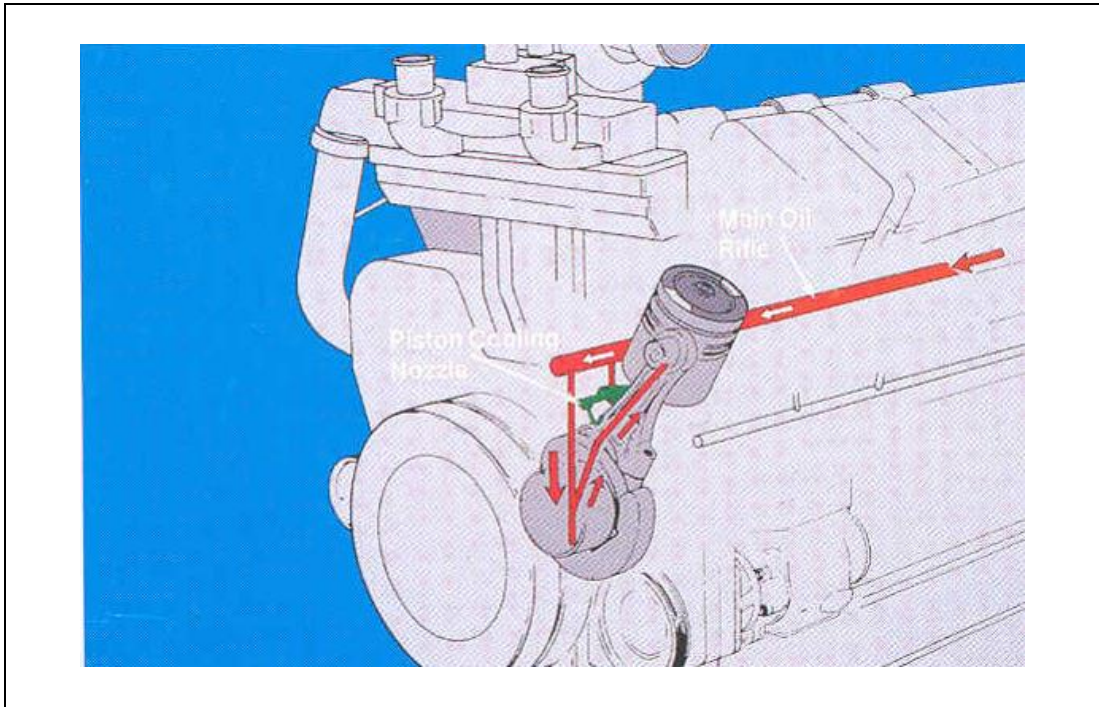


Figura 26: Galería principal de aceite Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

Proveniente del cabezal del filtro, el aceite fluye a la galería principal de aceite por el centro del bloque de cilindros, la cual, suministra aceite al cigüeñal y pernos, a las galerías de aceite derecha e izquierda del árbol de levas, a las toberas para el enfriamiento del pistón y a la carcasa del engrane frontal.

✎ **Galería de aceite del árbol de levas**

Las galerías de aceite del árbol de levas proveen de éste a los bujes, turbocargadores, flechas de seguidores de levas y flechas de balancines. Tanto el balancín de admisión como el de escape tienen tapones en los agujeros de aceite de la nariz.

✎ **Enfriamiento del pistón**

El K2000E tiene un ensamble nuevo de toberas para el enfriamiento del pistón, estas toberas están orientadas en proporcionar el flujo a las galerías para el enfriamiento de los pistones a través de un contacto continuo. Antes de ensamblar las toberas son checadas en un dispositivo para obtener una

alineación precisa, por lo que deben ser manejadas con mucho cuidado para evitar un desalineamiento.

El ensamble de las toberas contiene una válvula de presión y dos toberas, hay ocho ensambles de toberas, una en cada juego de cilindros opuestos. Están localizados en el cárter del cigüeñal del motor entre los cilindros y reciben el flujo de aceite. La válvula de presión abre permitiendo el flujo a las toberas cuando se tiene una presión de 15 a 20 PSI. Los tubos de las toberas tienen extremos estampados.

☞ **Carcasa frontal de engranes**

El tren de engranajes frontal recibe la lubricación de la galería principal de aceite a la parte frontal del motor. Las tres flechas locas tienen barrenos localizados en el bloque de cilindros.

La bomba de agua, el impulsor de la bomba hidráulica y el impulsor de accesorios reciben la lubricación de los agujeros localizados en la cubierta frontal de engranes, y estos agujeros de la cubierta frontal reciben el aceite de la parte frontal de la galería principal de aceite.

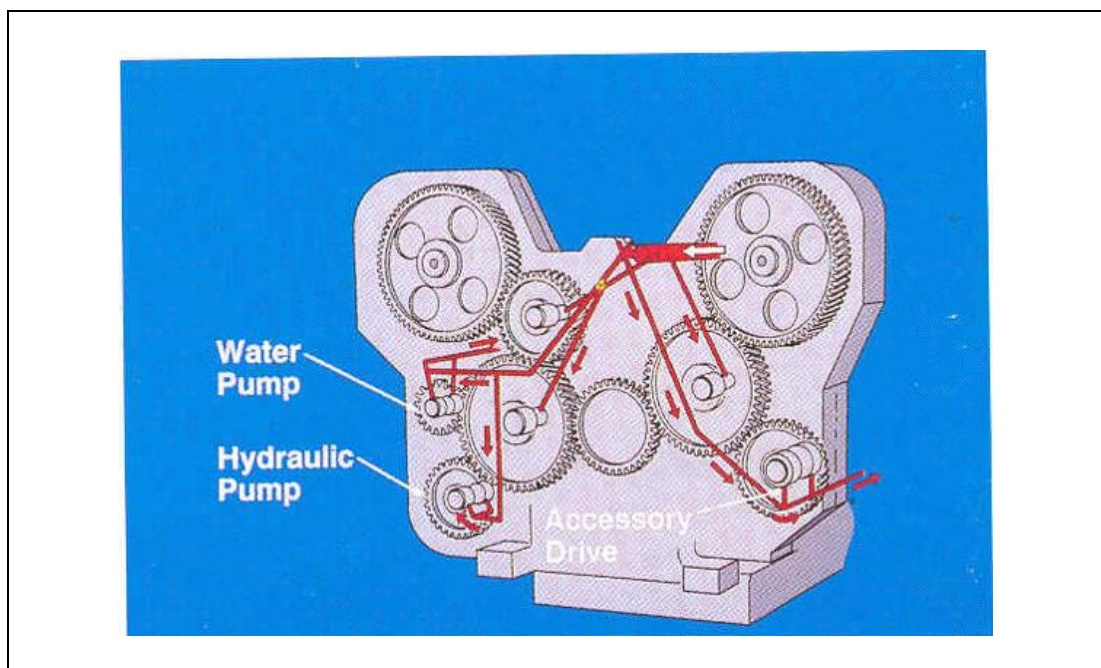


Figura 27: Carcasa frontal de engranes Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

☞ Turbocargadores

Los turbocargadores reciben la lubricación de las galerías del árbol de levas. El K2000 tiene cuatro turbocargadores y se caracterizan por tener un sistema de enfriamiento de flujo alto, el cual, incorpora el sistema post enfriado de baja temperatura (LTA).

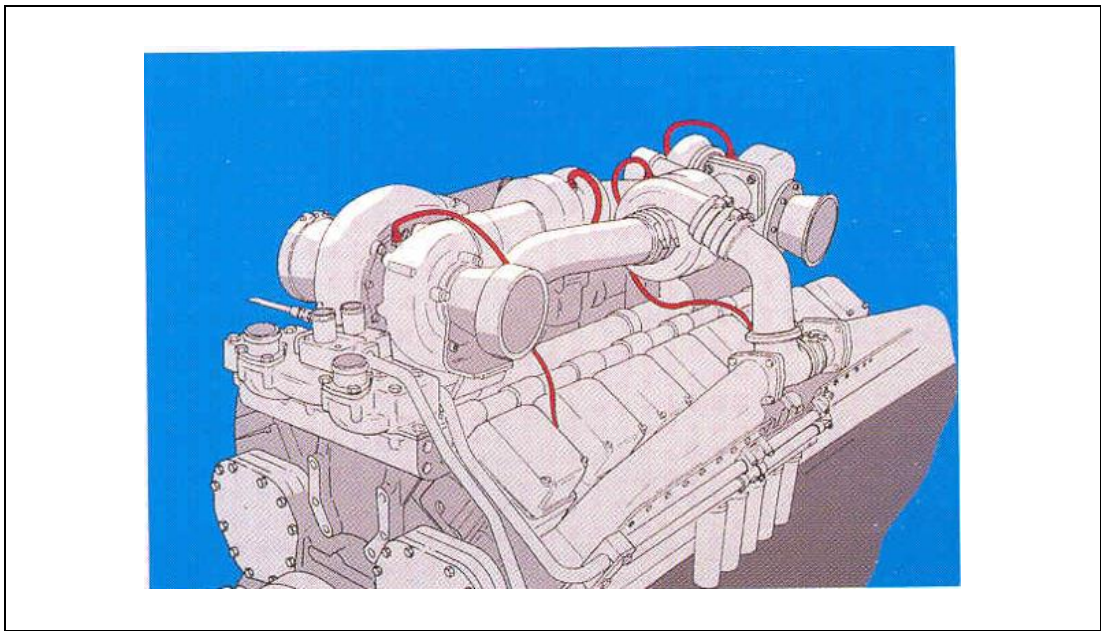


Figura 28: Sistema de lubricación de turbos Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

b. Sistema de Enfriamiento

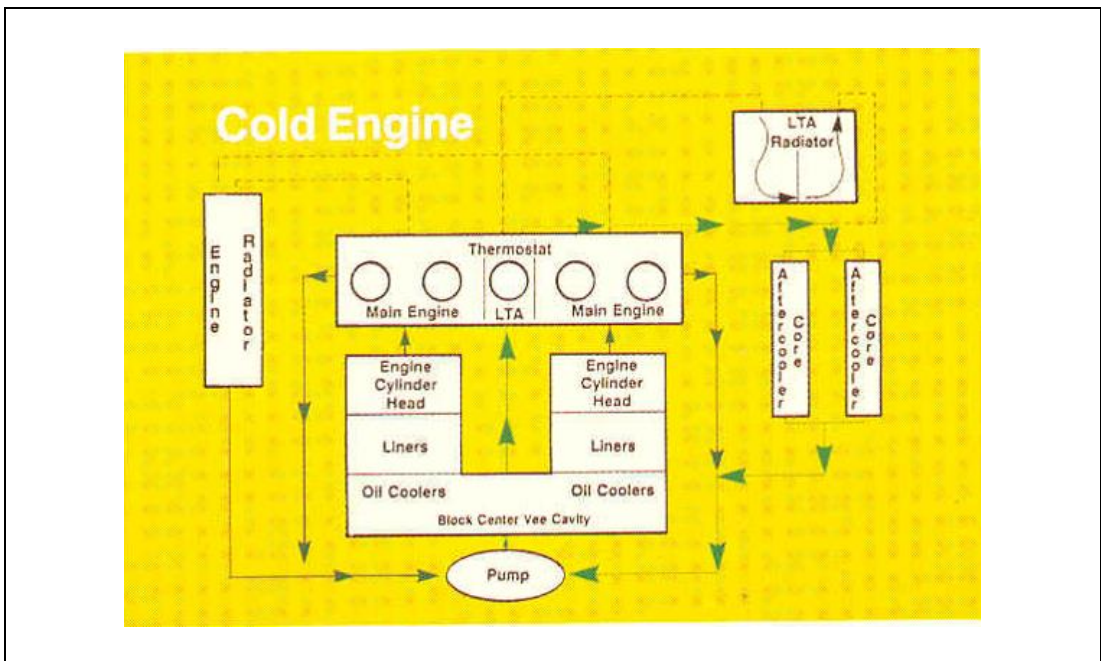


Figura 29: Componentes sistema de enfriamiento aceite Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

✎ **La bomba de agua (LTA)**

Es impulsada por el engrane de la carcasa frontal de engranes y está localizado en la parte frontal del motor a mano derecha.

El refrigerante fluye de la bomba de agua al centro de la ve, donde está localizado los enfriadores de aceite. De la ve, el refrigerante fluye en ambos bancos del bloque de cilindro y alrededor de las camisas. Del bloque de cilindro, se dirige hacia la cabeza del cilindro y entra al múltiple de agua y al termostato.

✎ **Carcasa del termostato.**

Los motores K2000 tienen una nueva carcasa de termostato de una sola pieza. La carcasa nueva contiene 4 termostatos para el sistema de enfriamiento del motor, y uno para el sistema post enfriado de baja temperatura (LTA). El motor y los sistemas post enfriados vienen completamente separados en la carcasa del termostato.

El termostato LTA tiene una brida moldeada y es más larga que los termostatos principales del motor, sin embargo, el cuerpo hermético es del mismo tamaño.

Aunque la carcasa nueva del termostato es significativamente diferente con respecto a los motores de modelos anteriores, el flujo de los refrigerantes es el mismo, la carcasa del termostato fue cambiada para incorporar el sistema LTA.

Cuando el motor está frío (debajo de la temperatura de operación), los termostatos están cerrados (retraídos). En esta posición, el conducto al radiador está sellado y el flujo del refrigerante es dirigido a través del centro del termostato hacia la cámara de derivación cargando a la bomba de agua. Conforme el motor va alcanzando la temperatura de operación, los termostatos empezarán a abrirse (extenderse). Mientras que el motor alcanza esta temperatura de operación, tanto los conductos del radiador y de derivación se abrirán y recibirán el flujo. Cuando se alcanza la

temperatura de operación, los termostatos estarán completamente abiertos (extendidos), cerrando la derivación y abriendo el conducto al radiador.

✎ **Post enfriamiento de baja temperatura**

El post enfriamiento de baja temperatura (LTA) es una característica nueva en los motores K2000. El sistema LTA, asegura la máxima potencia de salida y temperaturas bajas en los cilindros manteniendo estas temperaturas bajas en la toma de aire.

El LTA es un núcleo de agua, tipo sistema post enfriado y es una parte integral del sistema de enfriamiento del motor, sin embargo, a través del uso de un radiador separado y el termostato, el LTA tiene capacidad para suministrar el refrigerante a los núcleos del post enfriador y a una temperatura buena abajo del rango de operación del sistema de enfriamiento del motor. Un tubo de llenado con una válvula de una vía es usado para llenar el radiador LTA.

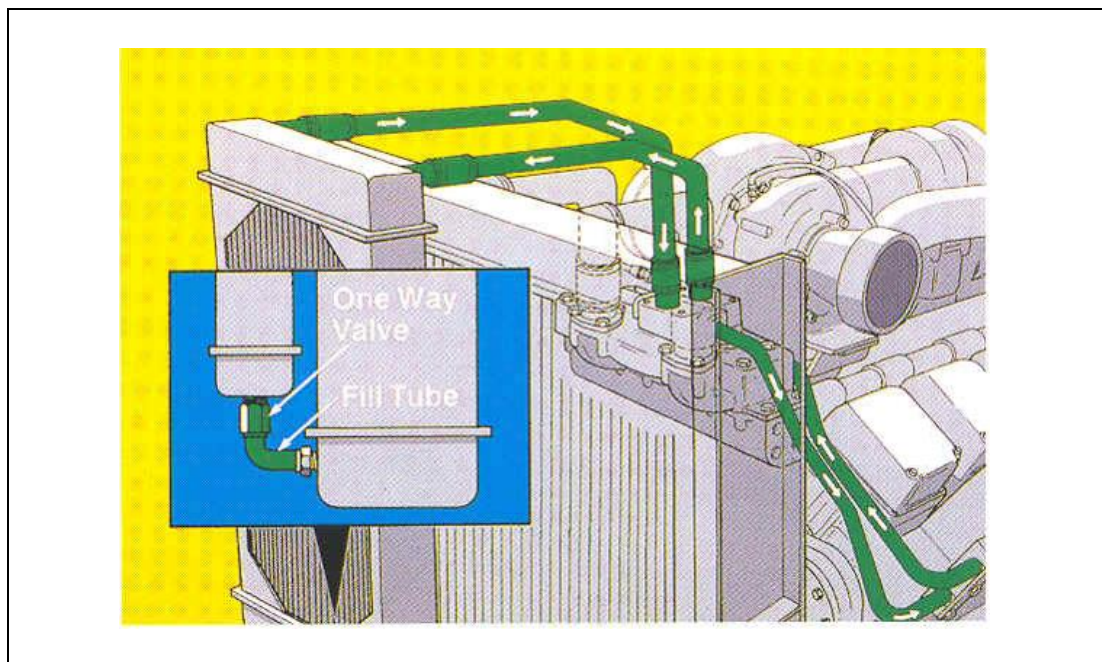


Figura 30: Sistema de post enfriado Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

Cuando el motor esta frio o debajo de la temperatura de operaci3n, el termostato del post enfriado estar3 cerrado (retra3do). El refrigerante proviene de la ve del bloque de cilindros fluir3 a trav3s de la carcasa del termostato a los n3cleos del post enfriador a ambos lados del motor, de esta manera el refrigerante caliente, calentara el aire de admisi3n frio y ayudara a reducir el humo blanco. (El termostato del LTA empezar3 a abrir a 160°F y estar3 totalmente abierto a 180°F)

✎ **Carcasa del post enfriador**

Las carcasas del post enfriador conforman el dise1o de una pieza. El motor cuenta carcasa para el lado izquierdo y otro para el lado derecho, es decir para cada lado del motor. Los n3cleos de acero est3n atornillados por un lado de la carcasa y la tuber3a es externa. Los nuevos sellos tipo espuma, son usados para sellar el conducto interno mientras el anillo O, es usado entre la cubierta y la carcasa.

c. Sistema de Aire, Admisi3n y Escape

El K2000E son turbo cargados y post enfriados. EL K2000E tiene dos etapas en el turbocargador y utilizan un post enfriador de baja temperatura descrito anteriormente en la secci3n enfriamiento.

✎ **Turbocargador de dos etapas.**

Las dos etapas de turbocargador en el K2000E consisten en dos turbocargadores Holset HT100 para baja presi3n y dos turbocargadores Holset HC5A para alta presi3n. Las dos etapas de turbocargadores pueden alcanzar presiones mucho m3s elevadas que el sistema de una etapa.

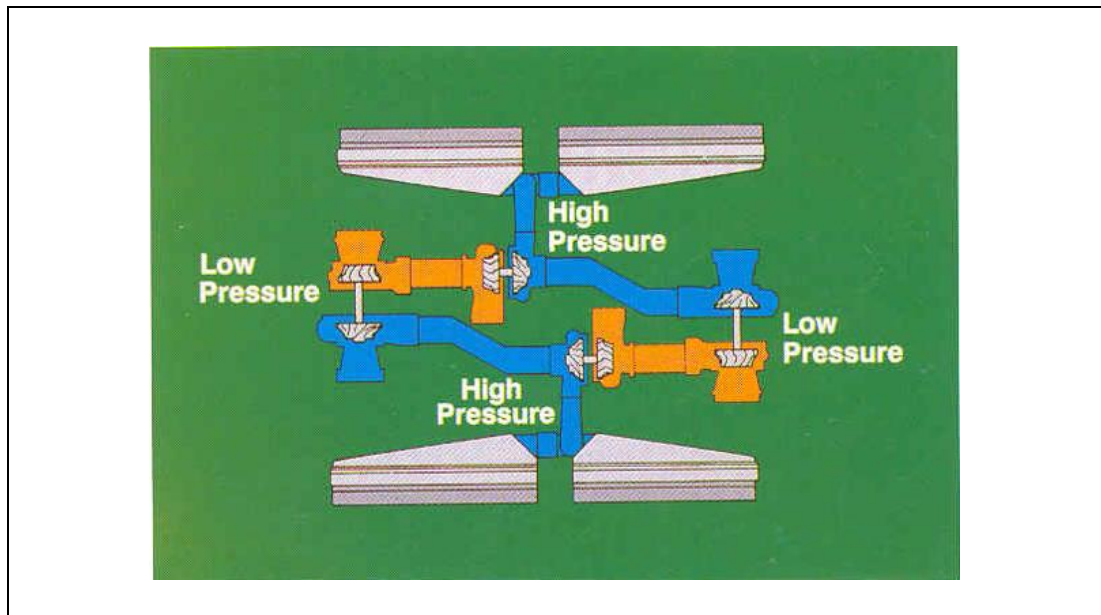


Figura 31: Esquema doble etapa de compresión Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

✎ **Múltiple de escape.**

El K2000E tiene un sistema de escape de diseño pulsante de alta eficiencia. El ensamble del múltiple en cada banco del motor está dividido en cuatro canales separados los cuales están dirigidos hacia la carcasa dividida del turbocargador para presiones altas. La distribución del múltiple está diseñada de acuerdo con el orden de encendido del motor. El separar los pulsos del escape previene que el pulso cancele el efecto de leño o tipo anterior.

El múltiple tipo pulsante no proporcionará presiones de escape más altas que el múltiple del tipo leño o anterior, sino que, al separar los cilindros de acuerdo con el orden de encendido, la energía del pulso de cada escape viajará a la carcasa de la turbina. Un buen diseño en el sistema de pulso otorga velocidades más consistentes de la turbina y mayor eficiencia al utilizar la energía del escape.

d. Sistema de Combustible

Los componentes de la bomba de combustible en el motor son los siguientes:

- (1) Bloque del combustible para el sensor CENTRY.
- (2) Bloque para control del combustible.

- (3) Múltiple de combustible ubicado al lado derecho.
- (4) Múltiple de combustible ubicado al lado izquierdo.
- (5) Drenaje de combustible.
- (6) Bomba de combustible PT con módulo CENTRY.
- (7) Filtro de combustible primarios.

Por el lado derecho del motor, las líneas de suministro y drenaje se conectan a través de todos los agujeros en el bloque de cilindros hacia los múltiples del combustible.

Los motores K2000E utilizan el sistema STC, que consta de una válvula de control mecánico, la cual, es operada por la presión de riel de combustible.

El sistema STC permite al motor operar con sincronización de la inyección en avance durante arranque en frío y condiciones de calentamiento en ralentí, y en la sincronización normal en condiciones de carga del motor media y alta.

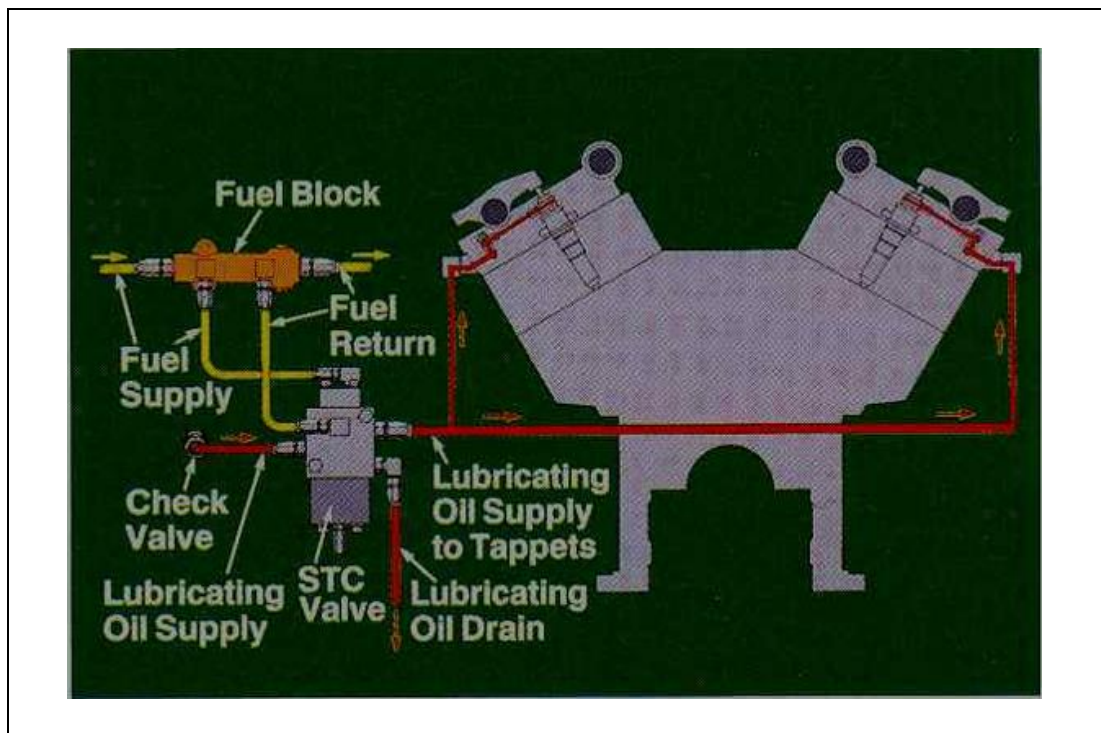


Figura 32: Sistema STC de combustible Motor Cummins K2000. (Cummins, 2004)

Como ya se mencionó antes, el sistema de combustible PT tiene un socio CENTRY. CENTRY trabaja en conjunción con el sistema de combustible PT.

CENTRY añade las ventajas electrónicas de simplicidad y dependencia de PT para cumplir con las demandas del mercado para otorgar mayor flexibilidad.

Algunos componentes del sistema CENTRY son:

- (1) El sensor de presión de riel y corte de combustible.
- (2) Controlador CENTRY
- (3) Arnés Eléctrico
- (4) Sensor de velocidad del motor.
- (5) Bomba de combustible PT
- (6) Módulo y válvula EFC