



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA.

**ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO Y ANALISIS DE
FALLAS DEL CAMION MINERO MT-65
EN SCM CAROLA**

TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS
REQUISITOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EJECUCION EN
MANTENCION INDUSTRIAL.

Profesor Guía: Osvaldo Duran Artigas.

Giovanni Alfaro Correa.
German Poblete Pino.
Copiapó, Chile 2022.

AGRADECIMIENTOS

Siendo esta la manera de clausura de nuestros 3 años de estudio y el arduo trabajo que ha conllevado este proyecto de titulación, no puedo dejar de agradecer a la cantidad de personas que han influenciado y ayudado en nuestro desarrollo, tanto personal, como profesional, siendo nuestros padres y amigos quienes han sido nuestros principales pilares, que con su apoyo nos han ayudado a salir adelante en cualquier circunstancia; agradecer a los profesores Jorge Reyes Huencho por su gran apoyo y ayuda en el desarrollo estudiantil y profesional. Agradecer al profesor guía Osvaldo Durán, a SCM Carola y personal de ellas especialmente al jefe de Mantención Francisco González quien depositó su confianza en nosotros.

RESUMEN

Este proyecto presenta un estudio del comportamiento y evaluación de las fallas del camión de extracción de mineral MT 65 de la marca Epiroc, adquirido por la Sociedad Contractual Minera Carola, para desarrollar labores de extracción de mineral en su faena subterránea, con el objetivo de aumentar su producción de mineral de cobre. Para abordar el presente realizó una evaluación, selección y cruce de información de los registros de mantenimiento de la compañía con los de los asesores técnicos, con la finalidad de analizarlos con herramientas aplicadas a la gestión del mantenimiento. Con esta información se confeccionan y presentan tablas de registro de fallas por equipo, indicando componentes, sistemas, tiempos de detención y modos de fallas. El estudio se aplicó a una flota de 5 equipos en un periodo de evaluación de 18 meses, donde se aplican las técnicas y herramientas de gestión de mantenimiento, como lo son el cálculo de indicadores KPI de Disponibilidad, Confiabilidad, evaluación y priorización de fallas, utilizando histogramas del tipo Pareto y gráficos de dispersión Jack Knife. Con estas herramientas se evidenciaron las fallas con mayor impacto en el área de mantenimiento. Encontrando que la disponibilidad de los equipos en estudio ponderó en 71,38 % y la confiabilidad ponderó en un 76,83 %. Dentro del análisis los sistemas que generaron mayor tiempo de detención acumularon 4.407,1 horas y los componentes que generaron mayor tiempo de detención acumularon 4.529,5 horas. Con ayuda de la priorización de fallas se obtuvo que el sistema grave crónico fue el de estructura – motor y de manera análoga los componentes con una criticidad grave fueron los pernos de viga, ductos de suspensión, electroválvula Y834 y cilindro de suspensión. Una vez obtenidos los resultados se aplicó un análisis de causa raíz con el método de los 5 ¿Por qué? donde se revisó en detalle las fallas más perjudiciales, para generar recomendaciones acorde a la situación de los equipos y su soporte de mantenimiento esperando que estas ayuden a evitar que vuelvan a ocurrir con el mismo impacto.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3 Objetivos.	3
1.3.1 Objetivos generales.	3
1.3.2 Objetivos específicos.	3
CAPITULO II	4
2.1 Antecedentes o entorno de desarrollo de problemática.	4
2.1.1 Sociedad Contractual Minera Carola.	4
2.1.2 Descripción Mantenimiento en SCM Carola.	4
2.2.1 Área de Mantenición Rodados.	5
2.2.1.1 Descripción del área de Mantenición Rodados.	5
2.2.1.2 Trabajos y tareas rutinarias	6
2.2.1.3 Flota de equipos.	6
2.2.1.4 Estructura Área Mantenición Rodados.	7
2.2 Mantenimiento industrial. ..	8
2.3 Tipos de mantenimiento	9
2.3.1 Mantenimiento correctivo.	9
2.3.1.1 No planificado:	9
2.3.2 Mantenimiento Planificado:	9
2.3.2.1 Predictivo.	9
2.3.2.2 Preventivo.	9
2.4 Indicador de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.	10
2.4.1 Tiempo entre fallas (TBF – Time Between Failure).	10
2.4.2 Tiempo Para Reparar (TTR – Time To Repair).	11
2.4.3 Confiabilidad.	11
2.4.4 Disponibilidad.	12
2.4.5 Mantenibilidad.	12
2.5 Herramientas de priorización y análisis de fallas en mantención Industrial.	14
2.5.1 Análisis Gráfico por Pareto.	14

2.5.2	Análisis Gráfico Jack Knife.	16
2.5.3	Análisis causa raíz (RCA).	18
2.5.3.1	Método de los 5 ¿Por qué?	19
CAPITULO III		21
3.1	Descripción.	21
3.2	Descripción de equipo.	22
3.2.1	Especificaciones Técnicas.	23
3.2.2	Ubicación de componentes.	24
3.3.	Tren de potencia.	25
3.3.1	Motor.	26
3.3.2	Transmisión.	26
3.3.3	Conjunto Upbox – Dropbox.	27
3.3.4	Eje propulsor.	29
3.4	Mantenición.	30
3.4.1	Box de Mantenición y Localización de Filtros.	30
3.4.2	Box de Testeo Hidráulico.	31
3.5	Sistema Eléctrico.	32
3.5.1	Sistema eléctrico.	32
3.7	Sistema Hidráulico.	34
3.7.1	Generación.	34
3.7.2	Sistema de Dirección.	36
3.7.3	Sistema de Basculación.	37
3.7.4	Sistema Auxiliar, Freno y Suspensión.	38
3.7.4.1	Sistema de Freno.	39
3.7.4.2	Sistema de suspensión.	40
3.7.5	Sistema Refrigeración.	41
CAPITULO IV		42
4.1	Presentación de antecedentes generales y procesamiento de información para cálculos de indicadores en estudio.	43
4.2	Evaluación de indicadores KPI de mantenimiento.	50
4.2.1	Presentación de indicadores KPI obtenidos.	55
4.3	Análisis Gráfico de fallas mediante Pareto.	58
4.2.2	Presentación Análisis gráfico de fallas mediante Pareto	70

4.2.3 presentación de resultados.	84
4.4 Priorización y evaluación de resultados.	86
4.4.1 Jack nife por sistemas.	86
4.4.2 Jack Nife por componentes.	88
4.4.3 Comentarios.	90
4.5 Análisis RCA según métodos 5 ¿por qué?	92
4.5.1 Recomendaciones.	94
Conclusión.	95
Bibliografía.	96

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Organigrama de mantención rodados.	7
Figura N° 2.2: Grafico pareto.	15
Figura N° 2.3: Gráfico Jack Knife.	16
Figura N° 3.1: Camión MT 65.	21
Figura N° 3.2: Camion MT.	22
Figura N° 3.3: Componentes Camion MT-65.	24
Figura N° 3.4: Componentes Camion MT-65.	24
Figura N° 3.5: Tren de potencia.	25
Figura N° 3.6: Motor Cummins.	26
Figura N° 3.7: Transmisión Allison.	26
Figura N° 3.8 : Upbox Kessler.	27
Figura N° 3.9: Dropbox Kessler.	28
Figura N° 3.10: Dropbox Kessler.	29
Figura N° 3.11: Box de mantención.	30
Figura N° 3.12: Box de testeo Hidráulico.	31
Figura N° 3.13: Fuente de generación.	32
Figura N° 3.14: A10 Interruptores de circuito montados dentro de la cabina.	33
Figura N° 3.15: A20 Caja eléctrica de componentes principales.	33
Figura N° 3.16: A30 Caja eléctrica de componentes principales.	34
Figura N° 3.17: Bombas Hidráulicas.	35
Figura N° 3.18: Componentes principales de dirección.	36
Figura N° 3.19: Componentes de sistema de basculación.	37
Figura N° 3.20: Válvula Auxiliar.	38
Figura N° 3.21: Plano hidráulico de Freno.	39
Figura N° 3.22: Sistema de Suspensión.	40
Figura N° 3.23: Enfriadores.	41
Figura N° 3.24: Enfriadores vista superior.	41
Figura N° 4.1: Orden de Trabajo.	44
Figura N° 4.2: Orden de trabajo nueva.	46

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Especificaciones Técnicas Camión MT65.	22
Tabla N° 4.1: Control de Camión MT65.	487
Tabla N° 4.2: Ingreso de Orden de Trabajo.	498
Tabla N° 4.3: Control de Camión MT65.	510
Tabla N° 4.4: Tabla de cálculos de KPI Camión MT-01.	521
Tabla N° 4.5: Tabla de cálculos de KPI Camión MT-02.	532
Tabla N° 4.6 : Tabla de cálculos de KPI Camión MT-03.	532
Tabla N° 4.7: Tabla de cálculos de KPI Camión MT-04.	543
Tabla N° 4.8: Tabla de Cálculos de KPI Camión MT-05.	543
Tabla N° 4.9: Historial fallas Camión MT-01, para evaluación de grafico Pareto.	598
Tabla N° 4.10: Tabla de falla por sistemas camión MT-01.	59
Tabla N° 4.11: Pareto de falla por componentes camión MT- 01.	600
Tabla N° 4.12: Historial de fallas Camión MT-02, para evaluación de grafico Pareto.	611
Tabla N° 4.13: Tabla de falla por sistemas camión MT-02.	622
Tabla N° 4.14: Tabla de falla por componentes camión MT-02.	633
Tabla N° 4.15: Historial de fallas Camión MT-03, para evaluación de gráfico Pareto.	64
Tabla N° 4.16: Tabla de falla por sistemas camión MT-03.	655
Tabla N° 4.17: Tabla de falla por componente camión MT-03.	655
Tabla N° 4.18: Historial fallas Camión MT-04, para evaluación de gráfico Pareto.	666
Tabla N° 4.19: Tabla de falla por sistemas camión MT-04.	677
Tabla N° 4.20: Tabla de falla por componentes camión MT-04.	677
Tabla N° 4.21: Historial de fallas Camión MT-05, para evaluación de gráfico Pareto.	68
Tabla N° 4.22: Tabla de falla por sistemas camión MT-05.	69
Tabla N° 4.23: Tabla de falla por componentes camión MT-05.	69
Tabla N° 4.24: Tabla de valorazion por falla de camiones. MTs.	912
Tabla N° 4.24: Tabla de análisis RCA – 5 ¿Por qué?	914

INDICE DE GRAFICOS.

Gráfico N° 4.1: Disponibilidad de flota camión MTs.	554
Gráfico N° 4.2: Confiabilidad de flota camión MTs.	576
Gráfico N° 4.3: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-01.	711
Gráfico N° 4.4: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-01.	722
Gráfico N° 4.5: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-02.	733
Gráfico N° 4.6: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-02.	744
Gráfico N° 4.7: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT- 03.	755
Gráfico N° 4.8: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-03.	766
Gráfico N° 4.9: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-04.	777
Gráfico N° 4.10: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-04.	78
Gráfico N° 4.11: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-05.	79
Gráfico N° 4.12: Pareto de horas de fallas por componentes de equipos MT- 05.	800
Gráfico N° 4.13: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipos MTs.	812
Gráfico N° 4.14: Pareto de horas de fallas por componentes de equipos MTs.	823
Gráfico N° 4.15: Jack knife de fallas por sistemas de equipos MTs.	87
Gráfico N° 4.16: Jack knife de fallas por componentes de equipos MTs.	89

CAPITULO I

Antecedentes Generales

1.1 Introducción.

En la actualidad el desarrollo tecnológico y los cambios acelerados exigen cada vez más preparación de los mantenedores para responder de una manera adecuada y poder salvaguardar los procesos productivos de cualquier rubro mirados desde el enfoque de la mantención.

Dicho lo anterior es que el presente proyecto aborda una problemática que surge en departamento de mantención de rodados, el cual está enfocado en mantener todos los equipos de extracción de mineral de la Compañía Minera Carola. Debido a que esta compañía se encuentra en fase de expansión y con aspiraciones de pasar de mediana minería a la categoría de gran minería, adquiere equipos nuevos en el mercado generando un escenario adverso en temas de mantención de los equipos, sumado a que en temas de control administrativo del mantenimiento existía una falta de preparación, en cuanto a planificación, programas y estrategias de ejecución de mantención, ya que solo se trabaja ejecutando mantenciones preventivas a edad constante y mantenciones correctivas. Por lo que se desconocía el comportamiento de los equipos respecto al mantenimiento, modos de fallas, frecuencias de fallas y el impacto de estas en la operación para lo cual fueron adquiridos.

Por lo expuesto, la presente entrega un estudio de fallas para evaluar y aclarar el comportamiento del camión MT 65, apoyándose en herramientas de análisis de fallas como lo son el análisis gráfico de fallas de Pareto, evaluación de indicadores de mantención, evaluación gráfica de dispersión de fallas Jack knife y análisis de causa raíz.

1.2 Definición del problema

A lo largo de la trayectoria de las operaciones de la SCM Carola, está ha pasado por todas las etapas de desarrollo y crecimiento como entidad minera. Hoy en día se han replanteado sus objetivos de producción lo que implica aumentar su productividad y pasar de mediana minería a gran minería. Por lo tanto, todos sus recursos se ven involucrados al cumplimiento de esta meta y una de las grandes necesidades que se presentan es aumentar la capacidad de extracción de mineral, por lo que se optó por introducir en su operación un camión con mayor de capacidad de extracción. Dentro de las alternativas que ofrecía el mercado para suplir la necesidad de extracción de mineral la compañía escogió el “camión MT 65” de la marca Epiroc, Cabe hacer mención que este equipo es nuevo en el mercado y fue lanzado comercialmente en Chile en dos faenas en la región de Atacama, Siendo una de estas la SCM Carola la cual integro dos equipos a su flota de extracción, aspirando a tener una flota de 12 camiones MT65.

Junto con la llegada de estos equipos se comenzó a tener problemas a nivel de mantenimiento, técnicamente el departamento de mantención no estaba preparado para suplir todas las necesidades y requerimientos para mantener de buena forma estos equipos y uno de los principales problemas que se tenía era que no se contaba con estrategias claras de control de las mantenciones y no se contaba con una base de datos estructurada como historial de mantención, sino que solo se llevaban los registros de ejecución de mantenciones a edad constante y había escasa planificación del mantenimiento, por lo que al ocurrir fallas en estos equipos, el proceder para reparar y mantener éstos tenía un carácter improvisado producto del desconocimientos de estos equipos.

1.3 Objetivos.

Mediante la recopilación y análisis de datos de camiones de extracción MT 65 referente a las fallas es que se espera cumplir con los siguientes objetivos en la presente.

1.3.1 Objetivos generales.

Estudiar y evaluar el comportamiento del camión MT65 Epiroc en base a sus modos de fallas, con la finalidad de evidenciar y buscar una solución a las fallas con más alto impacto en departamento de mantención en la Sociedad Contractual Minera Carola.

1.3.2 Objetivos específicos.

Mediante la consecución de las siguientes tareas es que se llevara a cabo el cumplimiento del objetivo general.

- Confeccionar un sistema de registro de datos asociados al mantenimiento correctivo para poder recopilar y procesar información acerca de fallas del equipo MT 65.
- Realizar un análisis de indicadores KPI por cada equipo en estudio.
- Realizar un análisis de fallas y de priorización mediante el método Pareto y mediante gráficos de dispersión Jack knife.
- Realizar análisis causa raíz, mediante el método de los 5 ¿Porque?
- Realizar recomendaciones al departamento de mantención, con los resultados obtenidos.

Capítulo II

Marco teórico

Con el fin de darle una base conceptual a este trabajo de titulación, a continuación, desarrollaremos los aspectos de emplazamiento y los aspectos teóricos que se van a presentar a lo largo de esta investigación.

2.1 Antecedentes o entorno de desarrollo de problemática.

En esta sección describiremos de forma general el Departamento de Mantenición de Rodados y daremos detalles de la empresa, para que de esta forma se pueda obtener una visión general del escenario en el que se centró el presente.

2.1.1 Sociedad Contractual Minera Carola.

Mina Carola de propiedad de la Sociedad Contractual Minera Carola, corresponde a una faena subterránea, ubicada al Sur de la comuna de Tierra Amarilla, a unos 21 Kilómetros al Sur-Este de Copiapó, capital de la Región de Atacama. Actualmente la compañía ha pasado por unas etapas de desarrollo y crecimiento como entidad minera y es por lo mismo que se han replanteado sus objetivos de producción, lo que implica aumentar su productividad con la finalidad de pasar de mediana minería a gran minería. Por lo tanto, todos sus recursos se ven involucrados al cumplimiento de esta meta.

2.1.2 Descripción Mantenimiento en SCM Carola.

El Mantenimiento en SCM Carola, se enfoca en concebir de forma integral la mantención de sus activos, ya que se entiende que la mantención desempeña un rol primordial en sus procesos productivos. Debido a que años anteriores estos procesos se encontraban externalizados y acarreaban grandes pérdidas económicas y técnicas, por lo que se decidió dar un gran paso e internalizar el mantenimiento, quedando conformado el Departamento de Mantenición SCM Carola, que estaba a su vez compuesto por el Área de Mantenición Electrohidráulico y Rodados. Siendo la tarea de este conjunto el poder satisfacer las necesidades de mantención y a la vez ejecutar de manera integral los desafíos propuestos por el directorio.

2.2.1 Área de Mantenimiento Rodados.

El Área de Mantenimiento Rodados es creada el año 2017, tras absorber lo que anteriormente fue Transportes Saber Ltda. Como se menciona anteriormente, nace bajo la necesidad internalizar las labores de mantenimiento y reparación de los equipos carguío, camiones de extracción y equipos de apoyo, con el propósito de aumentar la producción total de mineral, estos cambios solo se lograrían con un cambio radical en el área de Mantenimiento Rodados, ya que su forma de trabajar era arcaica y solo basada en el mantenimiento correctivo. De esta forma se realizan grandes cambios, tanto como área de rodados, como en planificación, abastecimiento y ejecución del mantenimiento. Mediante estos cambios se espera lograr mantener los equipos y aumentar la disponibilidad, lo cual repercutirá en un aumento del tonelaje con la finalidad de cumplir las nuevas necesidades y aspiraciones de la empresa.

2.2.1.1 Descripción del área de Mantenimiento Rodados.

El Área rodados tiene la gran tarea de trabajar con un camión nuevo en el mercado de extracción en la minería subterránea, por lo que tiene que realizar grandes cambios en la estructura, tanto en mantenimiento, como en planificación y abastecimiento.

Esto se logra tras realizar cambios a nivel estructural aumentando la dotación de personal, contratando mano de obra más especializada y con un nivel técnico más alto, idóneo para toda la mantenimiento de los equipos.

El trabajo y la mantenimiento que se lleva a cabo en el área de rodados a la flota de equipos a cargo, es de tipo preventiva a edad constante cada 250 horas, con una estricta pauta de mantenimiento, con apoyo de inspecciones más detalladas que se realizan en cada de mantenimiento de 1.000 horas que se mejoran en base a los reportes de solicitud de trabajo o repuesto, más inspecciones rápidas antes de iniciar cada turno.

2.2.1.2 Trabajos y tareas rutinarias

Como se menciona anteriormente, Mantenimiento Rodados realiza una serie de trabajos, pero se preocupa de trabajar en el mantenimiento preventivo, el cual se realiza al inicio de cada turno de 12 horas, lo cual ha dado muy buenos resultados para detectar fallas y detener equipos a tiempo.

Dentro de las tareas que se realizan en Mantenimiento rodados están las siguientes:

- Mantenciones preventivas.
- Mantenciones programadas.
- Mantenciones correctivas.
- Cambio y reparaciones de sistemas hidráulicos.
- Cambio y reparaciones de sistemas eléctricos.
- Cambio de componentes mayores.
- Reparaciones mayores.

2.2.1.3 Flota de equipos.

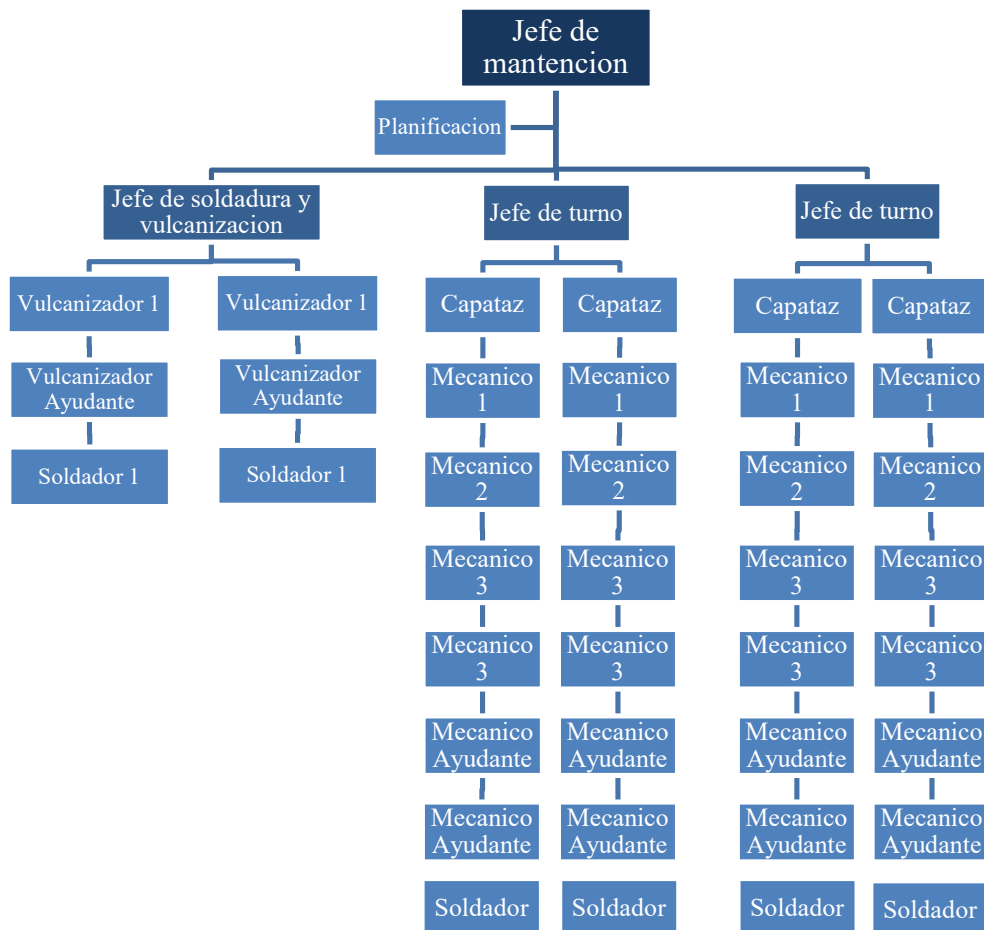
La modernización de equipos en la empresa apunta hacia el aumento de producción, no obstante, la llegada de equipos nuevos ha aumentado la flota actual de los equipos, tanto en los equipos de carguío, como en los de extracción y otros. La flota actual se compone de:

- 5 Camiones MT65 (Epiroc).
- 6 Camiones A40F (Volvo).
- 3 Cargadores L220H (Volvo).
- 1 Excavadora PC 300 (Komatsu).
- 2 Excavadoras PC 200 (Komatsu).
- 5 Acuñaadores Mecánicos (Bell).

2.2.1.4 Estructura Área Mantención Rodados.

Es la encargada de la ejecución de toda actividad productiva del taller Rodados y tiene como principal función la mantención y reparación de flota de extracción, flota de carguío, flota de acuñadores mecánicos y equipos de apoyo. Esta gran carga laboral llevo a la jefatura de mantención a realizar modificaciones en su estructura de trabajo y aumentar la dotación de personal. La dotación actual de trabajadores la componen 1 Jefe de Mantención, 1 Planificador, 1 Jefe de Soldadura y Vulcanización, 2 Jefes de Turno, 2 Capataces, 20 Mecánicos, 4 Soldadores y 4 Vulcanizadores. El trabajo de mantención se realiza en dos turnos rotativos 4x4, con 12 horas de trabajo para cada turno (turno día y turno noche).

Figura N° 2.1: Organigrama de mantención rodados



2.2 Mantenimiento industrial.

El mantenimiento es un conjunto de normas y técnicas aplicadas para la conservación de las máquinas, equipos o cualquier activo, con el fin de que estas proporcionen un mejor rendimiento en el mayor tiempo posible. El mantenimiento ha ido evolucionando con el desarrollo tecnológico; en sus inicios solo era una acción correctiva para la solución de fallas y las actividades de mantenimiento eran realizadas por los operadores de las maquinarias, lo que luego con el desarrollo de las máquinas cambió y ha surgido la necesidad de desarrollar los departamentos de mantenimiento, no solo con el fin de solucionar las fallas, sino que también para prevenirlas.

Actualmente el mantenimiento busca aumentar la disponibilidad y posteriormente la confiabilidad en la producción por lo que aparece el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento proactivo, la gestión de mantenimiento asistido por computador y el mantenimiento basado en la confiabilidad.

En síntesis, la misión del mantenimiento es implementar y mejorar en forma continua la estrategia del mantenimiento, para asegurar el máximo beneficio mediante prácticas innovadoras, económicas y seguras

2.3 Tipos de mantenimiento

Hoy en día en el sector industrial los equipos y las maquinarias son parte fundamental para mantener la producción en ritmo estable. A continuación, se describirán los diversos tipos de mantenimientos aplicados en la industria.

2.3.1 Mantenimiento correctivo.

Es el mantenimiento que se realiza con el fin de corregir los defectos que se han presentado en el equipo y se clasifican en:

2.3.1.1 No planificado:

Es el mantenimiento de emergencia. Y debe efectuarse con urgencia, ya sea por una avería imprevista o por una mala condición de trabajo (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas, etc.).

2.3.2 Mantenimiento Planificado.

En este caso se sabe de antemano lo que se debe realizar, de manera tal que cuando se detenga el equipo para realizar la reparación se cuente con el personal necesario, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizar la intervención correctamente.

2.3.2.1 Predictivo.

Este mantenimiento se basa en efectuar inspecciones para determinar el estado de operación de los equipos, mediante el conocimiento de valores de variables que ayudan a deducir el funcionamiento correcto de los equipos. Para este mantenimiento es necesario identificar las variables físicas (temperatura, presión, vibraciones, etc.), y los límites de las variaciones de estas que pueden causar daño al equipo. Este es el mantenimiento más técnico y más avanzado ya que requiere de conocimientos analíticos y técnicos, para lo cual se necesita equipos sofisticados de análisis y personal idóneo.

2.3.2.2 Preventivo.

Es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas y mantener a un determinado nivel los equipos, se dice también a este tipo de mantenimiento predictivo directo o periódico, por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo y se basa en la confiabilidad de los equipos.

2.4 Indicador de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

Actualmente y en apoyo del mantenimiento se utilizan técnicas más avanzadas aplicadas al análisis de equipos con el fin de determinar cómo se está llevando la mantención de los equipos y como se están comportando las fallas en los mismos por lo que se han introducido los índices globalizados de mantención u indicadores de mantenimiento, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

2.4.1 Tiempo entre fallas (TBF – Time Between Failure).

Es el tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. En el cálculo de la confiabilidad, éste factor es uno de los más utilizados, este dato se toma para el **tiempo promedio entre falla** (MTBF - Mean Time Between Failure), el cual indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla. Su interpretación nos dice que mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente. Específicamente es el tiempo medio en el cual el sistema cumple la función para la cual fue diseñado. El cálculo del MTBF se puede realizar mediante la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{t_1+t_2+t_3+t_4\dots+tf}{f} [\text{tiempo}].$$

MTBF: Es el tiempo promedio entre fallas.

tf: Tiempo operativo antes de que ocurra la falla.

f: Numero de fallas.

2.4.2 Tiempo Para Reparar (TTR – Time To Repair).

Es el tiempo tomado para reparar el activo que ha fallado. Para el cálculo de confiabilidad se utiliza el tiempo medio para reparar (MTTR – Mean Time To Repair)

$$MTTR = \frac{tr1 + tr2 + tr3 + tr4 + \dots + trr}{r}$$

$$MTTR = \frac{\sum trr}{r}$$

MTTR: Tiempo medio de reparación.

trr: tiempo de reparación.

r: Reparaciones realizadas.

2.4.3 Confiabilidad.

Es la probabilidad de que un sistema, equipo o componente lleve a cabo una función adecuadamente durante un periodo dado, bajo condiciones de operaciones previamente definidas y constantes.

Para llevar a cabo el estudio de esta probabilidad se deben tomar en cuenta parámetros que afecten directamente a la confiabilidad, entre aquellos parámetros está el ambiente, temperatura, presiones y otros factores que influyan en el trabajo del sistema, sin embargo, la confiabilidad no se basa en los hechos que causan las fallas, sino que se preocupa de la frecuencia en la que ocurren. Lo que quiere decir que no es una teoría física, sino que es una teoría estadística. Por lo que los datos que se toman para el análisis, son principalmente los tiempos relacionados con el trabajo del activo.

La confiabilidad está relacionada con la reducción de fallas en un intervalo de tiempo y es una medida de la probabilidad de operar libre de fallas.

$$R = \frac{T - TF}{T}$$

R: Confiabilidad

TF: Tiempo en que el equipo estuvo detenido por falla

T: Tiempo de funcionamiento del equipo

2.4.4 Disponibilidad.

Es el porcentaje de tiempo que un sistema es capaz de realizar las funciones para las cuales está diseñado, la disponibilidad inherente no considera los preventivos, las logísticas, ni las demoras administrativas. La disponibilidad lograda, considera los preventivos y correctivos, pero no incluye la logística ni las demoras administrativas.

$$A = \frac{T - TF - TTR}{T}$$

A: Disponibilidad

T: Tiempo de funcionamiento

TF: Tiempo en que el equipo estuvo detenido por falla

TTR: Tiempo en que el equipo estuvo detenido por mantención.

2.4.5 Mantenibilidad.

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

En otros términos, François Monchy, define la mantenibilidad como “la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t.

De manera análoga a la confiabilidad, la mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M = 1 - e^{-UT}$$

Donde:

M = es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo.

T= tiempo previsto para reparar.

e = constante Neperiana ($e=2.303$).

U= Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

2.5 Herramientas de priorización y análisis de fallas en mantención Industrial.

Las herramientas de análisis de falla son de utilidad para planificación de tareas en mantención para la identificación de problemas y sus efectos dentro de un proceso, o en el trabajo de un equipo.

Según lo citado anteriormente hoy en día se tiene una amplia gama de herramientas que ayudan a dilucidar estas problemáticas, pero las que aplican y encajan de mejor manera con nuestra investigación son las siguientes;

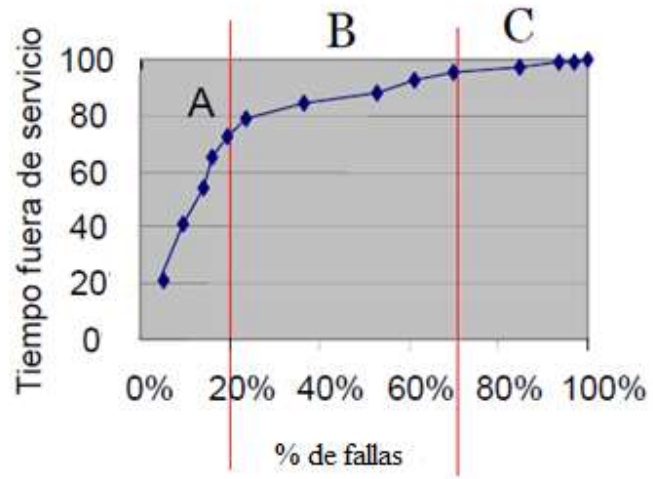
- Análisis mediante indicadores de mantenimiento.
- Análisis gráfico de fallas por el método Pareto.
- Análisis gráfico de dispersión Jack Knife.
- Análisis de causa raíz con método de 5 ¿Por qué?

2.5.1 Análisis Gráfico por Pareto.

El Principio del análisis gráfico por Pareto, es un principio que recibe su nombre en honor al economista Wilfredo Pareto y que indica que las entradas y salidas tienen una relación desigual. El principio explica que el 20% del esfuerzo es responsable por 80% de los resultados. Dicho de otra manera, el 80% de las consecuencias vienen del 20% de las causas. Esto también se conoce como la “Ley de Pareto”.

El gráfico de Pareto es una herramienta de análisis de datos ampliamente utilizada y es por lo tanto útil en la determinación de la causa principal durante un esfuerzo de resolución de problemas. Este permite ver cuáles son los problemas más grandes, permitiéndoles a los grupos establecer prioridades. En casos típicos, la minoría (pasos, servicios, ítems, problemas, causas) es responsable de la mayor parte del impacto negativo sobre la calidad. Si enfocamos nuestra atención en estos pocos vitales, podemos obtener la mayor ganancia potencial de nuestros esfuerzos por mejorar la calidad, por lo general el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los problemas o fallas.

Figura N° 2.2: Grafico pareto.



Como Muestra en la figura;

Zona A:

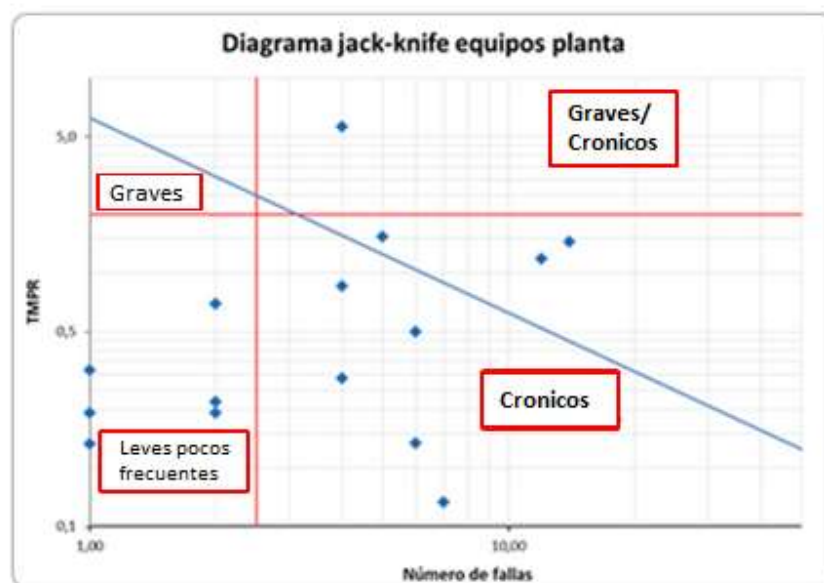
Concentra el 20% de las fallas más críticas y concentra el 80% de las fallas.

2.5.2 Análisis Gráfico Jack Knife.

Es un método para analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas usando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama preserva el esquema de clasificación de los histogramas de Pareto, y a su vez aporta contenidos adicionales con respecto a las frecuencias de fallas y tiempo medio de reparación, mediante la aplicación de valores límites, los diagramas de dispersión puede ser dividido en cuatro cuadrantes que permitan que las fallas sean clasificadas en: Leves poco frecuentes, Graves, Graves/crónico y crónico .

Además, permiten fácilmente la identificación de los problemas que afectan a la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema o equipos.

Figura N° 2.3: Gráfico Jack Knife.



Respecto a la base metodológica del gráfico de dispersión, el eje X corresponderá al número de intervenciones del equipo (frecuencia de falla) y el eje Y corresponderá al tiempo medio de reparación (MTTR). Una recta de pendiente negativa unitaria corresponde a todos los puntos con igual tiempo total no operativo, siendo este tiempo cada vez mayor a medida que la recta se aleja del origen.

Esta metodología permite clasificar las intervenciones imprevistas en cuatro cuadrantes, mediante la implementación de los valores límites para la media de MTTR y la media de Detenciones, que se clasifican de la siguiente manera:

Graves/Crónicas: Son aquellas fallas que se encuentran en el cuadrante superior derecho, están se encuentran sobre la media de MTTR y la media de Detenciones. Son las fallas que se les debe dar mas importancia al momento de analizar un gráfico Jack Nife, ya que son las que generan un alto impacto.

Graves: Son aquellas fallas que se encuentran en el cuadrante superior izquierdo, estas se encuentran sobre la media de MTTR. Son fallas que se les debe dar importancia al momento de analizar un gráfico Jack Nife.

Crónicas: Son aquellas fallas que se encuentran en el cuadrante inferior derecho, se encuentran las fallas que están sobre la media de Detenciones. Son fallas que se les debe dar importancia al momento de analizar un gráfico Jack Nife.

Leves pocos frecuentes: Son aquellas fallas que se encuentran en el cuadrante superior derecho, se encuentran las fallas que están sobre la media de MTTR y la media de Detenciones. Son fallas concideradas como normales.

2.5.3 Análisis causa raíz (RCA).

El análisis de causa raíz (RCA, por sus siglas en inglés) es el proceso de descubrir las causas raíz de los problemas para identificar soluciones adecuadas. El RCA asume que es mucho más efectivo prevenir y resolver sistemáticamente los problemas subyacentes en lugar de sólo tratar los síntomas y apagar incendios.

El análisis de la causa raíz se puede realizar con una colección de principios, técnicas y metodologías que pueden aprovecharse para identificar las causas raíz de un evento o tendencia. Al ver más allá de la causa y el efecto superficial, el RCA puede mostrar en qué punto los procesos o sistemas fallaron o causaron un problema en primer lugar.

Objetivos y beneficios

- El primer objetivo del análisis de la causa raíz es descubrir la causa raíz de un problema o evento.
- El segundo objetivo es comprender completamente cómo reparar, compensar o aprender de cualquier problema subyacente dentro de la causa raíz.
- El tercer objetivo es aplicar lo que aprendemos de este análisis para prevenir problemas futuros o repetir éxitos.

El análisis es tan bueno como lo que hacemos con él, por lo que el tercer objetivo del RCA es importante. También podemos usar el RCA para modificar los procesos centrales y los problemas del sistema de forma que se eviten problemas futuros.

2.5.3.1 Método de los 5 ¿Por qué?

Análisis de la causa raíz es el enfoque de los 5 ¿por qué? También podemos pensar en esto como el enfoque del niño molesto. Para cada respuesta a una pregunta de tipo POR QUÉ, seguida con una pregunta adicional y más profunda de "Bien, pero ¿POR QUÉ?". Los niños son sorprendentemente efectivos en el análisis de las causas raíz. La sabiduría común sugiere que alrededor de cinco preguntas de POR QUÉ pueden llevarnos a la mayoría de las causas raíz, pero en realidad podríamos necesitar tan sólo de dos o hasta 50 por qué, no es una ciencia exacta.

Ejemplo:

Problema: ¿Vehículo con culata torcida? Este es nuestro primer POR QUÉ.

Primera respuesta: Este presento problemas de temperatura.

Segundo por qué ¿Por qué presento problemas de temperatura?

Segunda respuesta: Porque presento falla en el sistema de refrigeración.

Tercer por qué ¿Por qué falla en el sistema de refrigeración?

Tercera respuesta: Se encuentra bomba de refrigerante con desgaste.

Cuarto por qué ¿Por qué bomba de refrigerante tiene desgaste?

Cuarta respuesta: Porque se utilizó refrigerante motor inapropiado.

Quinto por qué ¿Por qué se utilizó refrigerante motor inapropiado?

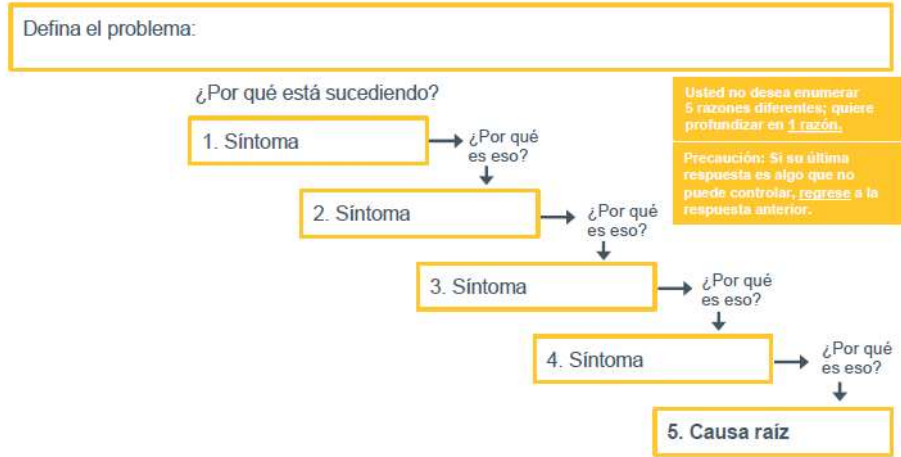
Quinta respuesta: Porque no tenía conocimiento del refrigerante adecuado para el sistema.

Resultados: Después de estas cinco preguntas, descubrimos que la causa raíz de la falla, se descubrió que el causante de la suba de temperatura, fue causada por que el refrigerante de motor inadecuado, provocó que la bomba sufriera desgaste temprano, no siendo capaz de por hacer circular el refrigerante por el sistema.

Los 5 por qué sirven para evitar suposiciones. Al encontrar respuestas detalladas a preguntas incrementales, las respuestas se vuelven más claras y concisas cada vez. Lo ideal es que el último POR QUÉ conduzca a un proceso que haya fallado, uno que luego se pueda arreglar. A continuación, se presentará un esquema conceptual del método.

Figura N° 2.4: Esquema conceptual 5 ¿Por qué?.

- La técnica se basa en preguntar "por qué" hasta llegar a la **causa raíz**



Capítulo III

Descripción del Camión MT 65

3.1 Descripción.

El Camión MT- 65 es un camión diseñado para el transporte de mineral en yacimientos mineros de minería subterránea, teniendo como virtud un alto poder de tracción y una gran capacidad de acarreo, con una capacidad máxima de 65 toneladas. El camión MT-65 cuenta con un gran confort para el operador entregando una comodidad única, éste tiene una suspensión hidráulica en eje delantero ayudando a disminuir las irregularidades del camino, una cabina hermética y certificada FOPS/ROPS, con asiento cómodo con suspensión neumática, además cuenta con cinturón de seguridad de 3 o 4 puntos.

Está equipado con un box de mantención donde se encuentra la mayoría de filtros de los lubricantes utilizados en el equipo, también tiene una moderna plataforma de control llamada RCS, la cual cumple funciones de un computador a bordo, para una mayor seguridad, fiabilidad de servicio y productividad.

Figura N° 3.1: Camión MT 65.



3.2 Descripción de equipo.

La marca Atlas Copco y ahora actualmente Epiroc ha evolucionado su camión minero a lo largo del tiempo, siendo hoy en día el camión MT-42 y Mt-65 las versiones actuales y aptos para trabajar en la minería subterránea. A continuación, se muestra la evolución de los equipos.

Figura N° 3.2: Camion MT.



3.2.1 Especificaciones Técnicas.

Tabla N° 3.1: Especificaciones Técnicas Camión MT65.

Capacidad Total:	65 Toneladas.
Capacidad Volumen:	29.6 .metros ³
Cabina certificada:	FOPS/ROPS.
Aire acondicionado:	Sistema climatizado.
Sistema de navegación a bordo.	Sistema RCS.
Sistema contra incendios:	Sistema Afex (Manual y automático).
Motor:	Cummins 19 lt / 760 HP.
Transmisión:	Alison tipo Planetaria.
Velocidades:	F 6 y R 2 con bloqueo de convertidor.
Sistema de retardo:	Retardo Hidráulico (Manual y automático).
Sistema eléctrico:	24 Volt.
Sistema eléctrico:	Sistema de RCS (comunicación CAN).
Sistema de frenos:	Frenos SAHR, sistema húmedo Multidisco.
Sistema de retardo:	Integrado en la transmisión.
Dirección:	Dirección hidráulica asistida.
Angulo de giro:	+ - 44°
Tiempo de ascenso y descenso tolva:	11 segundos.

3.2.2 Ubicación de componentes.

Para una mejor visualización de los componentes del equipo, a continuación, se presentan las siguientes imágenes.

Figura N° 3.3: Componentes Camion MT-65.



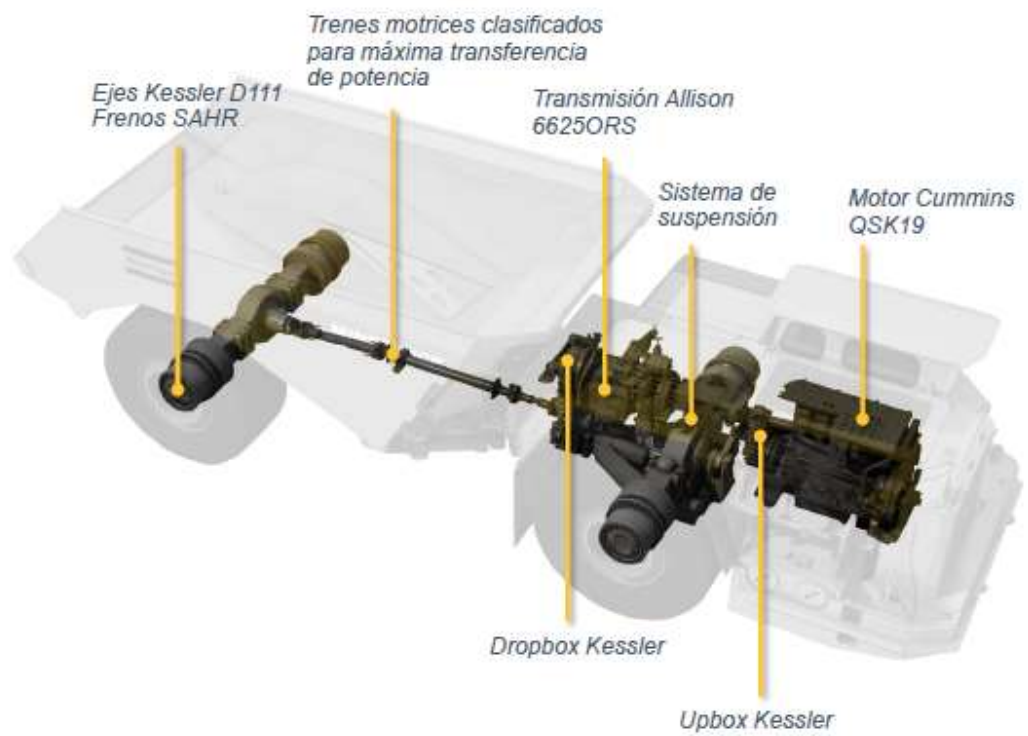
Figura N° 3.4: Componentes Camion MT-65.



3.3. Tren de potencia.

El camión MT-65 cuenta con un sistema mixto, ya que está compuesto por sus componentes principales de diferentes marcas. Cuenta con un motor Cummins, transmisión Allison, cajas de transferencia Kessler y ejes propulsores Kessler.

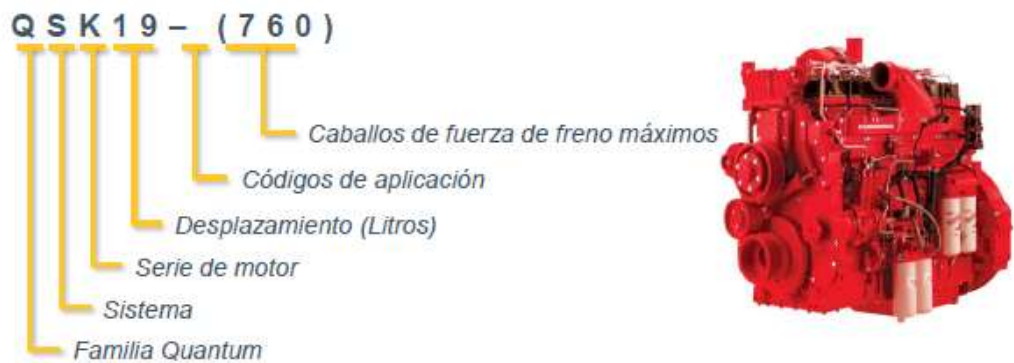
Figura N° 3.5: Tren de potencia.



3.3.1 Motor.

Motor Cummins QSK19 es un motor diésel con sistema camión rail, que puede desarrollar una potencia máxima de 760HP / 567kw, cuenta con un sistema de pre lubricación para garantizar la lubricación en la partida. Su sistema electrónico está enlazado al sistema RCS.

Figura N° 3.6: Motor Cummins.



3.3.2 Transmisión.

Transmisión Allison 6625ORS es una transmisión planetaria de 6 marchas adelante y 2 marchas atrás, cuenta con bloque de convertidor que provee una mayor velocidad en pendientes y suavidad al momento de pasar las marchas, a su vez cuenta con freno retardador.

Figura N° 3.7: Transmisión Allison.

6625 -Serie/Modelo
6 – Front
2 – Reverse
O – Off
R – Road
S – Serie

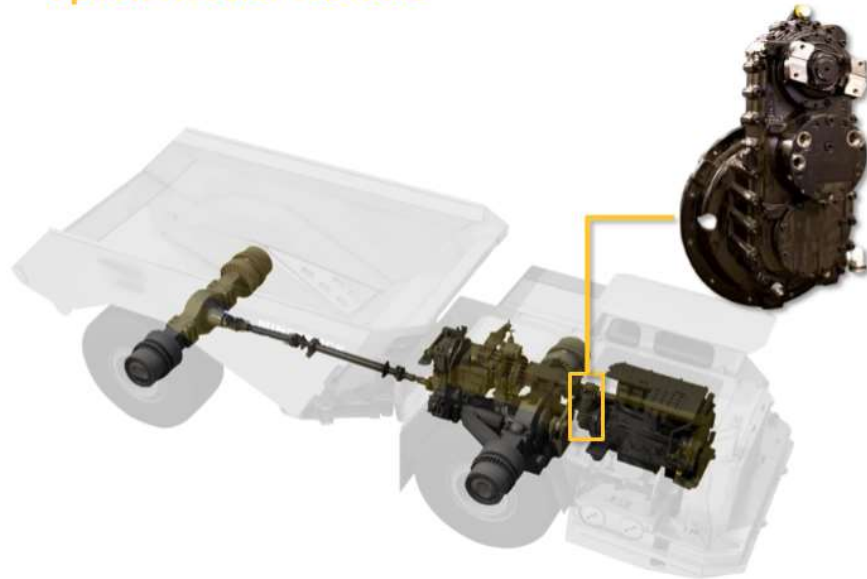


3.3.3 Conjunto Upbox – Dropbox.

La Upbox es una caja de engranes, encargada de transmitir el movimiento desde el motor diésel a la transmisión, este movimiento es 1:1.

Figura N° 3.8 : Upbox Kessler.

Upbox Kessler W2465.2



La Dropbox es una caja de engranes, encargada de transmitir la potencia desde la transmisión a los ejes propulsores, a través de la caja de transferencia este permite darle potencia al eje delantero como al eje trasero, este movimiento es 1:1. Esta caja cuenta con bomba hidráulica que permite lubricar y enfriar el conjunto Dropbox y Upbox.

Figura N° 3.9: Dropbox Kessler.

Dropbox Kessler W3021.2 -



3.3.4 Eje propulsor.

Los ejes propulsores de la marca Kessler Modelo D111, cuenta con un diferencial convencional tanto para el eje delantero como el trasero, cuenta con un eje oscilante y bastidor hidráulico, este este equipo con engranajes de planetarios doble en sus extremos para un mejor control del torque y posee frenos SAHR (frenos de desplazamiento negativo).

Figura N° 3.10: Dropbox Kessler.

D111 – Serie/Modelo
D – Eje de impulso
111 – Tipo/rango de eje



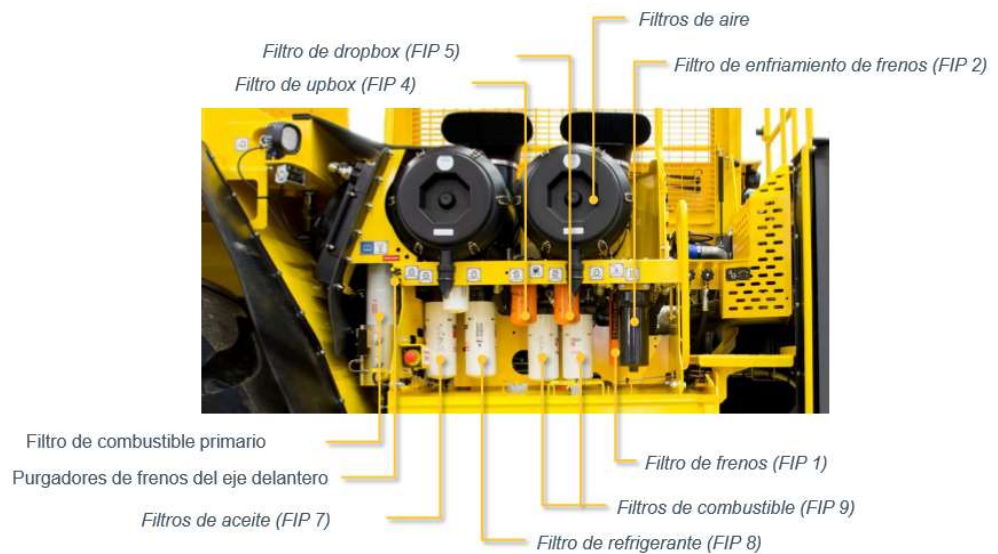
3.4 Mantención

El camión MT 65 fue diseñado por los ingenieros de Epiroc, para entregar un confort al operador y un diseño amigable a los técnicos y mantenedores. Así fue como se hicieron trabajos para facilitar las tareas de mantenimiento, siendo una de las mejoras el incorporar un box especial de mantención, donde se encuentran casi en su totalidad los filtros de aceites del equipo.

3.4.1 Box de Mantención y Localización de Filtros.

Como se mencionó anteriormente Epiroc organizó y distribuyó la totalidad de filtros utilizados en camión. En el box de mantención encontramos los filtros de aire de motor, filtros de aceite motor, filtros de combustible, filtro de refrigerante, filtro hidráulico, filtro de refrigeración de freno, filtros de Dropbox y Upbox.

Figura N° 3.11: Box de mantención.



3.4.2 Box de Testeo Hidráulico.

Este box de mantención se encuentra el filtro de transmisión, filtro magnético de Dropbox y Upbox. Además de un banco hidráulico, donde se pueden realizar pruebas de presión hidráulicas, en sistema de freno, carga de freno, sistema hidráulico de dirección y basculación.

Figura N° 3.12: Box de testeo Hidráulico.



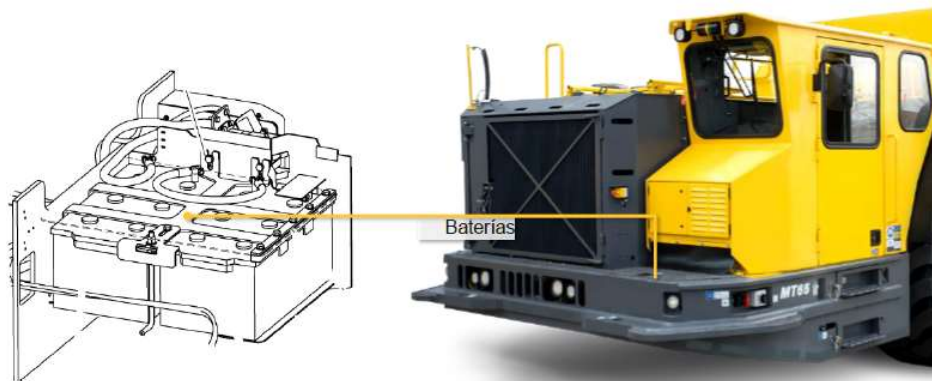
3.5 Sistema Eléctrico.

El sistema eléctrico del camión Mt-65 cuenta con un sistema de 24 volt continuo que función con dos baterías de 200 ampere, este modelo se caracteriza porque cuenta con el sistema RCS incluido en equipo, en el que palabras simples es un sistema de computador a bordo, el que te permite tener acceso a varias funciones a través de su pantalla.

3.5.1 Sistema eléctrico.

Sistema eléctrico de 24 volt de corriente continua, este cuenta con 3 cajas eléctricas que permiten abarcar distancias con eficiencia, estas cajas cuentan con relés y fusibles térmicos para una mayor eficiencia y seguridad.

Figura N° 3.13: Fuente de generación.

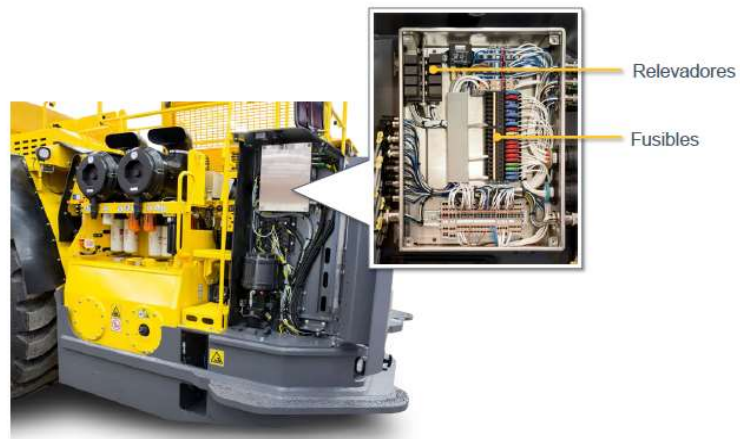


Las cajas A10 y A20 son las cajas más importantes de camión MT-65, ya que por estas cajas se comanda todo el camión y permite que el sistema eléctrico pueda trabajar y navegar por el equipo, así pueda mantener la conexión con la ECM del motor, La TCU de la transmisión y sistema de RCS de Epiroc.

Figura N° 3.14: A10 Caja eléctrica montados en la cabina.



Figura N° 3.15: A20 Caja eléctrica de componentes principales.



Caja A30, esta caja eléctrica contiene los componentes para realizar las funciones provenientes de la caja A 10 a la unidad de carga. Funciones tales como: Luces traseras, luces de freno, luces de retroceso, cámara de retroceso, sensor de tolva.

Figura N° 3.16: A30 Caja eléctrica de componentes principales.



Fuente: Curso Camión MT-65.

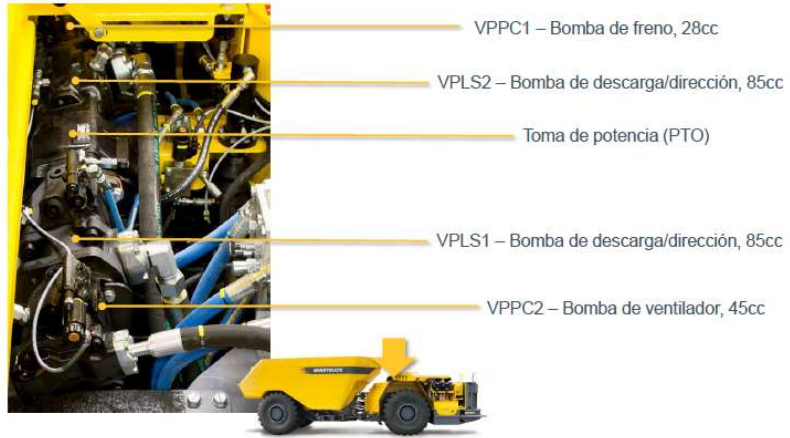
3.7 Sistema Hidráulico.

El camión MT-65 cuenta con sistema hidráulico con 4 bombas hidráulicas de bombas que trabajan con sistema positivo (sensible a la carga). El sistema hidráulico se subdivide en Sistema dirección, sistema basculación, sistema de freno, sistema de refrigeración, a su vez cuenta con sistema adicional que trabaja con la suspensión del equipo.

3.7.1 Generación.

El Camión MT 65 cuenta con un sistema hidráulico sensible a la carga, el cual cuenta con 4 bombas hidráulicas de pistones axiales que permiten realizar las funciones anteriormente mencionadas. Cuenta con la bomba VPLS1 y VPLS2 que corresponden al sistema de basculación, dirección y Suspensión, la bomba VPPC1 que corresponde al sistema de freno y la bomba VPPC2 que corresponde al sistema de refrigeración.

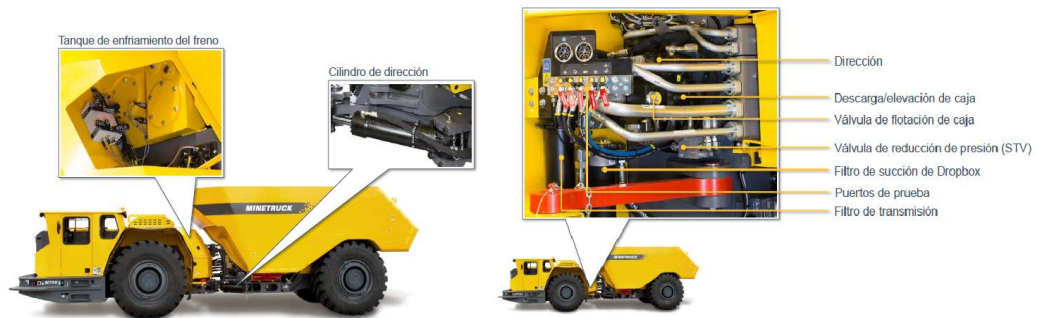
Figura N° 3.17: Bombas Hidráulicas.



3.7.2 Sistema de Dirección.

El camión MT-65 tiene dirección hidrodinámica y articulada, equipada con un sistema de dirección sensible a la carga. Este sistema dirección está acoplado en paralelo con el sistema de bascula miento con el cual comparten bombas hidráulicas. No obstante, el sistema de dirección cuenta con prioridad respecto al de bascula miento para garantizar así el funcionamiento de la dirección. Este está conformado por una bomba hidrodinámica (Orbitrol), bloque principal y los cilindros de dirección.

Figura N° 3.18: Componentes principales de dirección.



3.7.3 Sistema de Basculación.

El sistema de basculamiento del camión MT-65, es un sistema confiable, rápido y eficaz, ideal para transportar carga y optimizar los ciclos de trabajos. Gracias a sus dos bombas de pistones axiales y dos cilindros telescópicos de doble efecto logra un tiempo de 12 segundos en la elevación y 10 segundos en el descenso, también cuenta con la función de posición flotante evita que la tolva esté en contacto con el chasis y así evitar daños a la estructura.

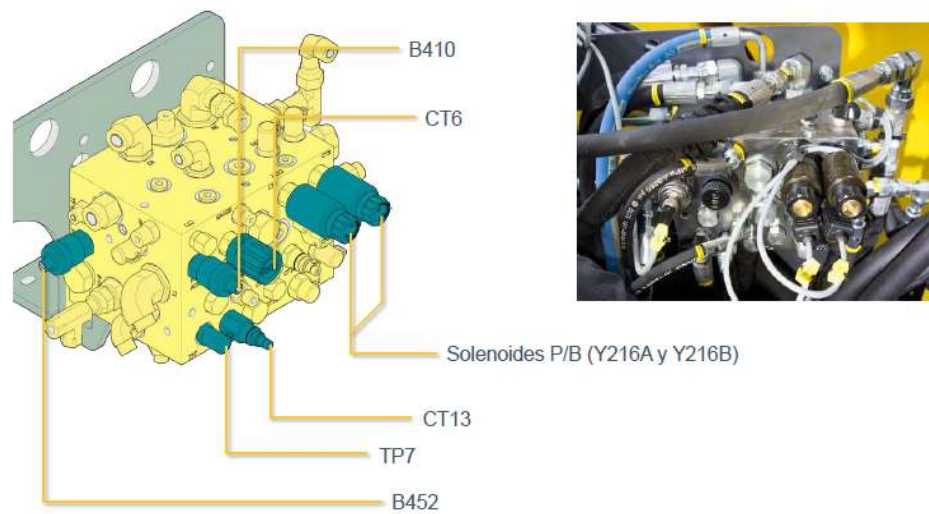
Figura N° 3.19: Componentes de sistema de basculación.



3.7.4 Sistema Auxiliar, Freno y Suspensión.

El bloque auxiliar que desarrolla una función importante en equipo, ya que a través de este componente hidráulico alberga la función de acumulación de presión de freno y posteriormente la liberación de frenos de estacionamiento y freno de servicio. Otra de sus funciones es alimentar la válvula del sistema de suspensión.

Figura N° 3.20: Válvula Auxiliar.

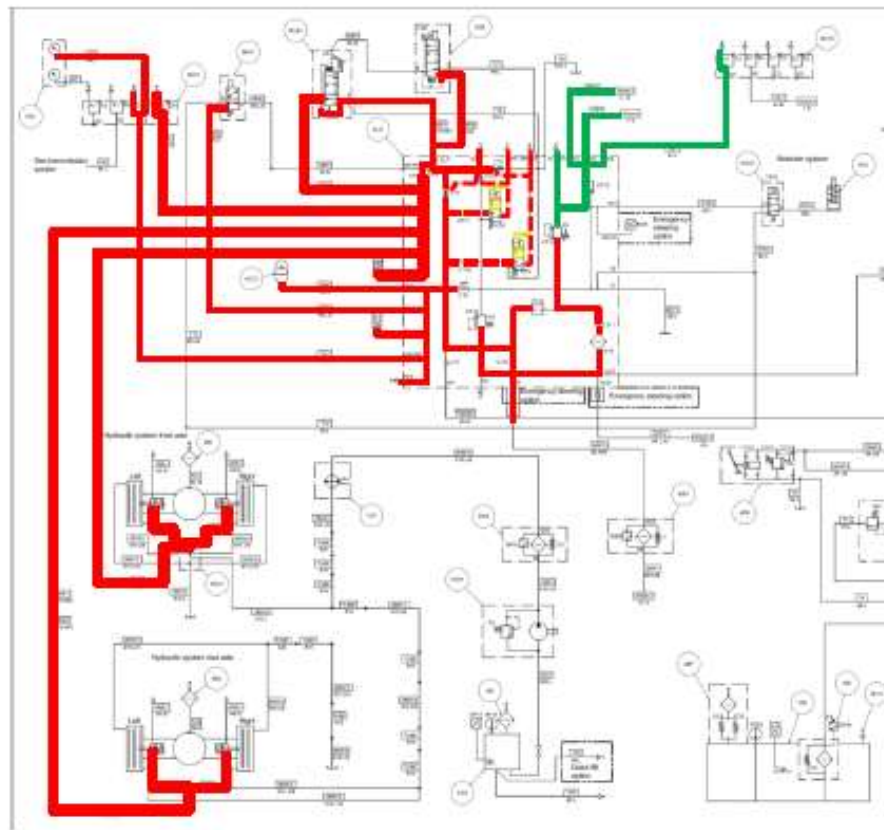


3.7.4.1 Sistema de Freno.

El sistema de freno del camión MT-65 es un sistema pensado en la minería interior mina con la finalidad de asegurar la correcta detención del equipo. Este cuenta con tres sistemas de frenos. Freno de estacionamiento, freno de servicio y freno retardador (inserto en la transmisión).

El freno de estacionamiento y freno de servicio dependen netamente de la bomba hidráulica de control negativo y del bloque auxiliar, éste distribuye la presión hidráulica al acumulador, a las válvulas Y216a e Y216b y al pedal de freno. Cabe mencionar que el sistema hidráulico del sistema de freno de estacionamiento es un sistema positivo y el freno de servicio es un sistema negativo.

Figura N° 3.21: Plano hidráulico de Freno.



3.7.4.2 Sistema de suspensión.

Esta cuenta con un sistema de suspensión hidráulica, en base a unos cilindros hidráulicos que trabajan en conjuntos con gas Nitrógeno, de esta manera le entrega un mayor confort al operador.

Figura N° 3.22: Sistema de Suspensión.



3.7.5 Sistema Refrigeración.

El sistema de refrigeración es parte del sistema hidráulico, cuenta con un potente motor hidráulico, que llega a alcanzar 2500 RPM cuando el sistema lo requiere para poder enfriar y refrigerar los diversos fluidos del equipo.

A continuación, se aprecian los enfriadores disponibles en equipo.

Figura N° 3.23: Conjunto de enfriadores.



Figura N° 3.24: Enfriadores vista superior.



Capítulo IV

Metodología y Desarrollo

En esta sección abordaremos la consecución de los objetivos de la presente, mediante el cumplimiento de la siguiente metodología

- Presentación de antecedentes generales y procesamiento de información para cálculos de indicadores en estudio.
- Evaluación de indicadores KPI de mantenimiento.
- Análisis gráfico de fallas mediante gráficos Paretos y gráficos Jack Nife.
- Presentación de resultados.
- Realización de Análisis Causa Raíz.
- Presentación de resultados a modo de recomendaciones

4.1 Presentación de antecedentes generales y procesamiento de información para cálculos de indicadores en estudio.

Una de las etapas más complejas a la hora realizar un estudio en base a indicadores de mantención, es contar con una buena base de datos para ser evaluados, y que concentre la información apropiada para la comprensión e interpretación de los cálculos que de ésta se puedan obtener.

Para nuestro caso, se presentó el siguiente escenario en el taller de mantención rodados: “no existía un sistema o departamento encargado de procesar y evaluar las fallas de equipos, en base a registros históricos de fallas, por lo que el departamento de mantención rodados junto con el personal de planificación se encargaban de registrar las mantenciones programadas a edad constante, con pautas de mantención recomendadas por el fabricante, por ser este un requerimiento básico solicitado por el SERNAGEOMIN.

Al momento de efectuar actividades imprevistas o de carácter correctivo que se presentaban en la operación de los equipos, éstas quedaban fuera del registro por política de trabajo de la administración antigua de la compañía minera.

En síntesis: “no se contaba con personal capacitado para registrar e ingresar los datos, ni se contaba con herramientas que ayudaran a procesar los datos para obtener los lineamientos o directrices del estado u comportamiento de la flota de equipos”.

A continuación, presentaremos los formatos o documentos de mantención con los que se trabaja versus los formatos que se propusieron para abordar esta situación.

Figura N° 4.1: Orden de Trabajo.

TRANSportes SAVER LTDA.
AENNA CAROLA

N° 002332

ORDEN DE TRABAJO

EQUIPO A INTERVENIR: MT 65 HOROMETRO: 730

HORA INICIO: 08:30 HORA TERMINO: 09:00 HORAS TOTALES: _____

PERSONAL	CARGO	H.H	VAL UNIT HH \$	VAL TOT HH \$
<u>Hector VEGA</u>	<u>ML</u>			
TOTAL HH				

TRABAJOS REALIZADOS


Se procede a rellenar casa drop-box con Aceite 85W90 con 3 Lts Estando presente el Aseador tecnico de ATLAS COPCO.


REPUESTOS Y MATERIALES UTILIZADOS

CODIGO	DESCRIPCION	NRO PARTE	CANT.	UNID	VAL UNIT \$	VAL TOT \$
	<u>Aceite 85W90</u>		<u>03</u>	<u>LIT</u>		
TOTAL MAT. Y REPUESTOS						
TOTAL GENERAL: H.H. + MAT Y REPTOS. \$ _____						

Forma "LOPECORT" Form 201904 - Copia

NOTA: LAS PERSONAS QUE FIRMAN SE HACEN RESPONSABLES DE LA INTERVENCION DEL EQUIPO. SE REQUIERE LETRA CLARA ENTREGAR DIARIAMENTE AL TERMINO DEL TURNO


 MECANICO TURNO


 ASATAZ

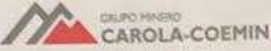
En la imagen “Orden de Trabajo” se muestra el formato estándar de registro de trabajos de mantención que se llevaba a cabo con la administración antigua. Junto con la llegada de una nueva administración se comenzaron a implementar cambios a nivel de departamentos, los cuales repercutieron en el departamento de mantención rodados en los siguientes aspectos: se contrató más personal mecánico, se implementaron los trabajos con más y mejores herramientas , se capacitó al personal con cursos de mecánica básica de los nuevos equipos adquiridos, (Hidráulica Básica, Electricidad Básica, Aire acondicionado, Formación Básica de Mantención y de Cómo Llenar Correctamente un Formato de Orden de Trabajo).

Una vez que se contó con el personal de mantención capacitado, se implementó un nuevo formato de orden de trabajo para las mantenciones preventivas, correctivas y proactivas, siendo el siguiente paso el poder realizar la digitalización de las órdenes de trabajo en un documento Excel, el cual era ingresado en primera instancia por el Capataz y el Jefe de turno. Posteriormente se realizó la incorporación de un asistente de planificación el cual terminó a cargo de la tarea hasta la actualidad.

A continuación, se muestra el nuevo formato de ingreso y control de órdenes de trabajo

Figura N° 4.2: Orden de trabajo nueva.

Andrés



GRUPO MINERO
CAROLA-COEMIN

Chazme

ORDEN DE TRABAJO

N° **041770**

IDENTIFICACION	CORRECTOR <input checked="" type="checkbox"/>	PREVIENCIÓN	FECHA OPERACION	SI	NO	SUPERVISOR	<i>Andrés Paredes</i>
N° EQUIPO	<i>67a 6</i>	Nº DE LÍNEAS				OTI TURNO	
OPERACION		Nº DE TABLONES				OPERADOR	
PERIMETRO UNIDAD						ORDEN SISTEMA	
INDICACION DE IDENTIFICACION						ORDEN SUB-SISTEMA	
						ORDEN COMPONENTE	

ESTADO DE LA OPERACION: CERRADO DE OPERACION ESTADO DE TRABAJO A REALIZAR

DESCRIPCION DEL TRABAJO: *Se trabaja en conjunto a personal Nalmet, en Reparación de sistema de sistema eléctrico, se vuelve a cargar software y se agrega módulo a vista, se realizan pruebas eléctricas, OK. Se cambia sello de tapa de pena: cambio de placa base.*

OBSERVACIONES:

CONDICION DE EQUIPO: OPERATIVO FUERA DE SERVICIO

RECURSOS UTILIZADOS:

DESCRIPCION	Nº DE PARTES	CANTIDAD
<i>Sello de tapa</i>		

RELLENO DE ACEITE:

ACEITE	SEALANT	GRASAS	ALMOXARFA

TECNICO: *Eduardo Torres Vega*

CONTROL PERSONAL MECANICO	A. punto	B. día	DÍA							TURNO							TOTAL HRS																				
			20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19										
TIEMPO	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200		
RECIBO Y FIRMADO DE TURNO			<i>XX</i>																																		
CHARLA Y CONCIENCIACION			<i>X</i>																																		
SEÑALA DE TRANSICION																																					
ORDEN Y/O DE CAMBIOS																																					
ANALISIS DE RIESGOS																																					
REVISION DE OPI / MÓDULO																																					
REVISION DE REPARACIONES																																					
LISTA DE REPARACIONES																																					
INTERVENCION PREVENTIVA																																					
INTERVENCION CORRECTIVA																																					
INTERVENCION POR FALLA OPERACION																																					
REVISION																																					
REVISION TALLER																																					
LIMPIEZA COMPONENTES																																					
TRASLADO																																					
LIMPIEZA DE EQUIPO / COMPONENTES																																					
TRABAJO SOLDADURA																																					
SEÑALA DE TRABAJOS REALIZADOS																																					
MENTIONAR PROGRAMAS																																					
REPARACION MAYOR																																					

[Firma]
Firma Técnico

Firma Operador


V° B° Jefe Turno Mantenimiento

Como se mencionó anteriormente con la capacitación del personal en el llenado e ingreso de órdenes de trabajo, esta trajo un aumento considerable en la cantidad de OT producidas e ingresadas en los registros históricos de mantención.

Al realizar el estudio de estos registros y tras una evaluación de los datos ingresados, se encontró que había una importante ausencia de estos. Al encontrarse con esta disyuntiva y no tener la posibilidad de poder evaluar los aspectos estadísticos del mantenimiento, se tuvo que acudir, de forma complementaria, a los registros de mantención del asesor técnico Epiroc el cual entregaba una bitácora diaria de cada equipo con la que se efectuó un cruce de información más real y fidedigna.

Tabla N° 4.1: Control de Camión MT65.

CONTROL EQUIPO CAEX MT65



Mes		Septiembre 2017														Horas de Mant Prev		48																	
Equipo		MT-65														Horómetro inicial motor		41		Hrs Mant Prev Real		12		Horas motor Esperada		460									
N° Serie		TMG17URED265														Horómetro final motor		331		Hrs Mant Corr		38		Horas		448									
Rig Number		8997646100														Total horas trabajadas motor		290		Disponibilidad		82,9%		Confiabilidad		87%									
Art/Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	24		
Motor Diesel	Horometro Inicial						41	50	56	56	57	73	83	99	114	123	132	141	150	159	173	191	208	226	244	263	281	291	311	331			41		
	Horometro Final						50	56	56	57	73	83	99	114	123	132	141	150	159	173	191	208	226	244	263	272	281	301	321	331			331		
	Total Horas						9	6	0	1	15	10	15	15	9	9	9	9	9	14	13	17	13	13	19	9	0	10	10	0			251		
	Hrs. Mant. Programadas																										12							12	
Mant. / Reparac.	Hrs. Mant. Correctivas											1	3	1	3						7									24			38		
	Hrs. Preventivas							3	6												9													18	
	Disponibilidad Equipo						100%	88%	75%	100%	100%	96%	90%	98%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	77%	63%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	100%	100%	0%			88%	
	Aceite Hidráulico																																	0	
	Aceite de motor							18																			65							83	
	Aceite de dropbox																																		0
	Aceite de Transmision																			2															2
	Refrigeracion de freno							5																											5
	Aceite de diferencial																																		0
	Aceite de mando final																																		0
	Petróleo						389		0	0										165			405											959	
	Refrigerante												3																						3
	Toneladas totales						355	205			380												385												1325
	Vueltas por turno						5	3	0	0	6												6											20	

La asesoría de Epiroc entregó importante información: “se obtuvieron los horómetro de los camiones por cada turno de trabajo y también se pudo recopilar información sobre las horas de trabajo de cada equipo, esto permitió realizar un cruce importante de datos para complementar el estudio del camión MT 65.

Como se aludió anteriormente, mediante la complementación de información de los registros de mantenimiento, se pudo efectuar el análisis del historial de falla por cada camión en estudio, de las cuales se clasificaron solamente las detenciones del tipo correctiva de cada camión para obtener datos relevantes para ser estudiados. Como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.2: Ingreso de Orden de Trabajo.

INGRESO DE ORDEN DE TRABAJO									
FECHA	TIPO DE INTERVENCIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	OBSERVACIONES	TIEMPO DE TRABAJO		
							Hora Inicio	Hora Término	Total
12-11-2017	CORRECTIVA	CABINA	A/C				8:00	15:00	7:00
14-11-2017	CORRECTIVA	ELECTRICO	CORTE ELECTRICO				16:00	20:00	4:00
17-11-2017	CORRECTIVA	ESTRUCTURA	PRETECCION DE TRANSMISION				8:00	22:00	14:00
19-11-2017	CORRECTIVA	DIFERENCIAL DELANTERO	FUGA DE ACEITE				8:00	13:00	5:00
26-11-217	CORRECTIVA	ESTRUCTURA	TAPA SUPERIOR				8:00	20:00	12:00
26-11-218	CORRECTIVA	TRANSMISION	FILTRO				8:00	20:00	12:00
12-012-2017	CORRECTIVA	ELECTRICO	CORTE ELECTRICO				12-12-2018 20:00	13-12-2018 10:00	14:00
14-dic	CORRECTIVA	ESTRUCTURA	CAPO	SEGURO DE CAPO	LEMA EN CAPO DE MOTOR, SE PROCEDE A REPARAR SEGURO, SE ENCUENTRA CON LINEA SENSOR DE ANUL ROZANDO EL ESCAPE, SE REPARA		2:00	3:00	1:00
15-dic	CORRECTIVA	ELECTRICO	LUCES	SE CHEQUEA EQUIPO POR PROBLEMAS ELECTRICOS ENCONTRANDO	SE CHEQUEA EQUIPO POR PROBLEMAS ELECTRICOS ENCONTRANDO	OR Y ESPEJOS SE REVIZAN PLANOS ANALIZANDO Y ENCONTRANDO QUE CA	9:00	13:00	4:00
16-dic	CORRECTIVA	MOTOR	RADIADOR	RADIADOR	DCE, SE PROCEDE A DESMONTAR RADIADOR Y RETIRO DE PUERTA, PARA MEJORAR CONDICION SE ENCUENTRA MARCADO DONDE SE PRODUCE EL ROCE PARA CONTINUAR REPARACION		17:00:00	18:30	1:30
18-dic	CORRECTIVA	ELECTRICO	LUCES DEL TABLERO	SIN LUCES EN PANEL	CHEQUEA EQUIPO SE COMUNICA CON TECNICO DE ATLAS, NOS INDICA SI OPERADOR PUEDE CONTINUAR	INICA TECNICO DE ATLAS MANTENER ATENTO A OTRO EVENTO	1:00	2:00	1:00
19-dic	CORRECTIVA	MOTOR	RADIADOR	DESGASTE RADIADORES	SE MODIFICA PROTECCION DE RADIADORES POR ENCONTRARSE DESGASTANDO RADIADORES	SE NORMALIZA	9:00	12:00	3:00
02-ene	CORRECTIVA	ELECTRICO	FUSIBLE	PROBLEMAS DE LUCES DELANTERAS	LANTERAS, SE CHEQUEAN LINEAS DE LUCES Y FOCOS Y CARGA DE FUSIBLE Y SE ENCUENTRA FUSIBLE N° 24 SUELTO SE APRETA Y EQUIPO QUEDA OPERATIVO.		2:05	2:21	0:16
03-ene	CORRECTIVA	MOTOR	RADIADOR	PUERTA DE RADIADOR SIN PASADORES	SE INGRESA A INTERIOR MINA SE CHEQUEA EQUIPO ENCONTRANDO PUERTA DE RADIADORES SIN PASADORES DE POMOLO. SE ARREGLA CONECTOR DE LUZ DE LA PUERTA		2:40	3:40	1:00
04-ene	CORRECTIVA	ENGRASE	ENGRASE	SE RELLENA DEPOSITO DE GRASA	SE RELLENA DEPOSITO DE GRASA YA QUE SE ENCONTRABA EN EL MINIMO		2:00	2:25	0:25
05-ene	CORRECTIVA	FRENO	BLOQUE	FUGA POR BLOQUE DE FRENO	SE ELIMINA ENCONTRANDO ORING CORTADO Y SE SACA NIPLE DE BLOQUE DE FRENO ENCONTRANDO	2 ORING	20:15	22:20	2:05
08-ene	CORRECTIVA	TRANSMISION	BOMBA	SE ELIMINA FUGA DE TRANSMISION	RADOR DE AGUA, FILTROS DE AIRE, SE RELLENA ESTANQUE HIDRAULICO CON 25 LITS DE ACEITE DTE 26, SE CHEQUEAN NIVELES, SE REAPRETAN PERNS DE PISO DE BOMBA, SE		9:00	19:00	10:00
09-ene	CORRECTIVA	DIRECCION	FLEXIBLE	FUGA EN CILINDRO DE DIRECCION IZQUIERDO	SE REALIZA ELIMINACION DE FUGA EN CODO Y FLEXIBLE LADO ESPANSION DE CILINDRO DE DIRECCION IZQUIERDO REALIZANDO APRIETE Y LIMPIEZA A AMBOS COMPONENTES		8:40	10:00	1:20
12-ene	CORRECTIVA	TRANSMISION	PTO	EQUIPO CON FUGA	SE CHEQUEA EQUIPO ENCONTRANDO FUGA POR ACOPLAMIENTO DE BOMBA, SE REAPETAN PERNS DE SUJECION DE BOMBA, EQUIPO SIGUE CON FUGA, SE DEBE CAMBIAR		15:40	16:30	0:50
16-ene	CORRECTIVA	TRANSMISION	PTO				8:00	9:30	1:30
17-ene	CORRECTIVA	MOTOR	REFRIGERANTE	EQUIPO CON FUGA DE REFRIGERANTE MOTOR	SE INGRESA A MINA A REVISAR EQUIPO CON FUGA DE REFRIGERANTE MOTOR, SE REvisa Y SE SACA A TALLER		3:00	4:00	1:00
26-ene	CORRECTIVA	ESTRUCTURA	PRETECCION DE TRANSMISION				26-01-2018 10:00	27-01-2018 17:00	31:00
29-ene	CORRECTIVA	MOTOR	REFRIGERANTE	SE CHEQUEA QUE NO FUGUE REFRIGERANTE Y SE NOTA FUGA POR FLEXIBLE SUELTO DE "T" Y SE RELLENA CON REFRIGERANTE			29-01-2018 8:00	30-01-2018 0:00	16:00
04-feb	CORRECTIVA	MOTOR	RADIADOR	EQUIPO PRESENTA PROBLEMAS CON POMOLO DE PUERTA	EL CUAL PRESENTA PROBLEMAS CON POMOLO DE PUERTA ACCESO A RADIADOR, SE FIJA PUERTA Y EL SOLDADOR SUELDA LOS POMOLO		10:15	13:00	2:45
16-feb	CORRECTIVA	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO				16:00	20:00	4:00
17-feb	CORRECTIVA	MOTOR	DEPOSITO DE EXPANSION	SE EXTRAE DEPOSITO DE REFRIGERANTE DE MOTOR	ELIMINAR FISURA EN EL MISMO UBICADA EN UNA DE LAS ESQUINAS. LUEGO DEL ENFRIAMIENTO		8:20	12:30	4:10
25-feb	CORRECTIVA	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	SE CAMBIA NEUMATICO POSICION N°4	SE CAMBIA NEUMATICO POSICION N°4 DEBIDO A UNA DE LAS ESQUINAS. LUEGO DEL ENFRIAMIENTO		8:30	9:30	1:00
26-feb	CORRECTIVA	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	SE INGRESA A MINA NIVEL 50 CASERON 3 PARA CAMBIO DE	ESTABA ROTO Y CON CORTE EN BANDA LATERAL. CON AYUDA DEL SCOOP, SE LEVANTA CAMION,		3:00	13:00	10:00
28-feb	CORRECTIVA	FRENO	ESANQUE	SE PREPARA EQUIPO Y SE EMPIEZA A DESMONTAR.	DE ACEITE FRENO, SE DRENA ACEITE COMPLETO.		8:00	18:00	10:00
03-mar	CORRECTIVA	CABINA	PUERTA	SE REvisa CIERRE DE PUERTA DE CABINA	PROCEDE A REAPRETAR PASADON DE CIERRE EL CUAL SE ENCONTRABA RODADO. SE LLEVA A PERNO		14:20	16:20	2:00
11-03-2018	CORRECTIVA	HIDRAULICO	DUCTO DE SUSPENSION				11-03-2018 22:30	12-03-2018 13:30	15:00
12-03-2018	CORRECTIVA	MOTOR	ESCAPE				10:00	20:00	10:00
26-03-2108	CORRECTIVA	CABINA	A/C				15:00	20:00	5:00
27-03-2108	CORRECTIVA	CABINA	A/C				18:00	20:00	2:00
29-03-2108	CORRECTIVA	NEUMATICOS	LLANTA DOBLADA				3:30	20:00	16:30
01-abr	CORRECTIVA	MOTOR	REFRIGERANTE				17:00	20:00	3:00
10-04-2018	CORRECTIVA	DIRECCION	PERNS CORTADO				14:00	20:00	6:00
02-may	CORRECTIVA	MOTOR	FUGA DE ACEITE MOTOR				17:00	20:00	3:00
03-may	CORRECTIVA	HIDRAULICO	CILINDRO DE DIRECCION				03-05-2018 12:00	08-05-2018 8:00	116:00
18-05-218	CORRECTIVA	HIDRAULICO	FUGA				13:00	20:00	7:00
19-may	CORRECTIVA	CABINA	ASIENTO				16:00	20:00	4:00
21-may	CORRECTIVA	MOTOR	FUGA DE ACEITE MOTOR				18:00	20:00	2:00
05-jun	CORRECTIVA	CABINA	ASIENTO				8:00	12:00	4:00
06-jun	CORRECTIVA	HIDRAULICO	SUSPENSION				03-06-2018 16:00	08-06-2018 8:00	112:00
17-jun	CORRECTIVA	A/C	CONDENSADOR				8:00	16:00	8:00
03-jul	CORRECTIVA	A/C	CARGA				8:00	10:00	2:00

4.2 Evaluación de indicadores KPI de mantenimiento.

Una vez realizado el filtrado de la información de los registros históricos de mantenimiento, se obtuvo la base de datos para efectuar el estudio de indicadores KPI de los camiones MT-65; con esta información y los siguientes criterios se confeccionaron las tablas para el cálculo de indicadores para llevar a cabo el estudio de la disponibilidad, confiabilidad, MTTR, MTFB y tasa de falla.

Criterios generales y variantes de cálculo de indicadores provenientes del sistema de trabajo de los equipos en estudio.

- Horas de trabajo del turno 12 horas.
- Horas de trabajo de camión por turno 10 horas.
- Horas totales de trabajo de camión por mes 600 horas.
- Horas de mantención Preventiva 60 horas.
- Carga de horas de mantención asociadas por pautas
 - Pautas de 250 horas. (12 horas).
 - Pautas de 500 horas. (12 horas).
 - Pautas de 750 horas. (12 horas).
 - Pautas de 1000 horas. (24 horas).
 - Pautas de 2000 horas. (48 horas).

A continuación, se muestran las tablas donde se efectuaron los cálculos para obtener los indicadores en estudio

Tabla de control de equipo de asesor Epiroc.

Tabla N° 4.3: Control de Camión MT65.

		Mes		Septiembre 2017																								Horas de Mant Prev		48		Numero de detenciones		6									
		Equipo		MT-65																								Horómetro inicial motor		41		Hrs Mant Prev Real		12		Horas motor Esperada		460		MTBF		48	
		N° Serie		TMG17URE0265																								Horómetro final motor		331		Hrs Mant Corr		38		Horas		448		MTTR		6	
		Rig Number		8997646100																								Total horas trabajadas motor		290		Disponibilidad		82,9%		Confiabilidad		87%		Disponibilidad		88,5%	
		Art/Dia		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
Motor Diesel	Horometro Inicial									41	50	56	56	57	73	83	99	114	123	132	141	150	159	173	191	208	226	244	263	281	291	311	331	41									
	Horometro Final									50	56	56	57	73	83	99	114	123	132	141	150	159	173	191	208	226	244	263	272	281	301	321	331	331									
	Total Horas									9	6	0	1	16	10	16	15	9	9	9	9	9	14	18	17	18	18	18	9	0	10	10	0	251									
Mant. / Reparac.	Hrs. Mant. Programadas																																		12	12							
	Hrs. Mant. Correctivas														1	3	1	3																24	38								
	Hrs. Preventivas																																			18							
	Disponibilidad Equipo										100%	88%	75%	100%	100%	96%	90%	98%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	77%	63%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	100%	100%	0%	88%							
	Aceite Hidráulico																																		0								
	Aceite de motor										18																								83								
	Aceite de dropbox																																			0							
	Aceite de Transmision																						2													2							
	Refrigeracion de freno										5																									5							
	Aceite de diferencial																																			0							
	Aceite de mando final																																			0							
	Petróleo										389		0	0																						959							
	Refrigerante																						3													3							
	Toneladas totales										355	205			380																					1325							
	Vueltas por turno										5	3	0	0	6																					20							

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla de control anterior se logró obtener información de la planificación y operación respecto a los camiones MT 65, donde se pudo apreciar el comportamiento de trabajo del equipo y se complementó la información del movimiento de horas trabajadas, horas de mantención efectivas, tiempos de buen funcionamiento, tiempos de detención y descripción de fallas por cada camión en el periodo en que se realizó el estudio con una base más real.

Las siguientes tablas son las que se confeccionaron para contener y calcular en un solo formato los indicadores KPI y sus variantes.

Tablas resumen de datos y cálculos de indicadores KPI.

Tabla N° 4.4: Tabla de cálculos de KPI Camión MT-01.

Camion MT-01									
Mes	TBF Hrs	TRR Hrs	TMP Hrs	MTBF	MTTR	N° Fallas	Tasa Falla	Disponibilidad Hrs	Confiabilidad Hrs
sep-17	290	38	12	48	6	6	0,01000	82,76%	86,9%
oct-17	530	1	24	530	1	1	0,00167	95,28%	99,8%
nov-17	519	14	56	104	3	5	0,00833	86,51%	97,3%
dic-17	519	48	20	58	5	9	0,01500	86,90%	90,8%
ene-18	493	16	91	99	3	5	0,00833	78,30%	96,8%
feb-18	528	19	12	59	1	9	0,01500	94,13%	96,4%
mar-18	509	0	36	509	0	1	0,00167	92,93%	100,0%
abr-18	411	145	0	59	21	7	0,01167	64,72%	64,7%
may-18	501	148	12	251	74	2	0,00333	68,06%	70,5%
jun-18	436	53	88	55	7	8	0,01333	67,66%	87,8%
jul-18	230	387	12	33	55	7	0,01167	0,00%	0,0%
ago-18	0	744	0	0	372	1	0,00167	0,00%	0,0%
sep-18	345	191	36	31	17	11	0,01833	34,20%	44,6%
oct-18	279	360	12	40	51	7	0,01167	0,00%	0,0%
nov-18	286	292	0	41	42	7	0,01167	0,00%	0,0%
dic-18	309	124	72	51	21	6	0,01000	36,57%	59,9%
	387	161				92		55,5%	62,2%

Tabla N° 4.5: Tabla de cálculos de KPI Camión MT-02.

Camion MT-02									
Mes	TBF Hrs	TRR Hrs	TMP Hrs	MTBF	MTTR	N° Fallas	Tasa Falla	Disponibilidad Hrs	Confiabilidad Hrs
sep-17									
oct-17									
nov-17	288	55	12	48	9	6	0,01000	76,7%	80,9%
dic-17	533	18	18	107	8	5	0,00833	93,2%	96,6%
ene-18	491	69	60	55	8	9	0,01500	73,7%	85,9%
feb-18	405	66	48	68	11	6	0,01000	71,9%	83,7%
mar-18	519	50	52	87	8	6	0,01000	80,3%	90,4%
abr-18	556	9	48	278	5	2	0,00333	89,7%	98,4%
may-18	419	93	36	84	19	5	0,00833	69,2%	77,8%
jun-18	423	36	12	141	12	3	0,00500	88,7%	91,5%
jul-18	507	98	0	127	24	4	0,00667	80,7%	80,7%
ago-18	461	77	62	66	11	7	0,01167	69,8%	83,3%
sep-18	523	26	14	109	5	5	0,00833	92,4%	95,0%
oct-18	467	45	75	45	4	11	0,01833	74,3%	90,4%
nov-18	354	195	0	39	22	9	0,01500	44,9%	44,9%
dic-18	397	48	96	40	5	10	0,01667	63,7%	87,9%
453	63					88		76,4%	84,8%

Tabla N° 4.6: Tabla de cálculos de KPI Camión MT-03.

Camion MT-03									
Mes	TBF Hrs	TRR Hrs	TMP Hrs	MTBF	MTTR	N° Fallas	Tasa Falla	Disponibilidad Hrs	Confiabilidad Hrs
sep-17									
oct-17									
nov-17									
dic-17									
ene-18									
feb-18									
mar-18									
abr-18									
may-18									
jun-18									
jul-18	222	15	0	111	8	2	0,00333	93,2%	93,2%
ago-18	548	17	10	137	4	4	0,00667	95,1%	96,9%
sep-18	476	55	10	79	9	6	0,01000	86,3%	88,4%
oct-18	501	28	12	125	7	4	0,00667	92,0%	94,4%
nov-18	482	135	48	68	12	8	0,01333	62,0%	72,0%
dic-18	524	14	60	75	2	7	0,01167	85,9%	97,3%
459	44					31		85,8%	90,4%

Tabla N° 4.7: Tabla de cálculos de KPI Camión MT-04.

Camion MT-04									
Mes	TBF Hrs	TRR Hrs	TMP Hrs	MTBF	MTTR	N° Fallas	Tasa Falla	Disponibilidad Hrs	Confiabilidad Hrs
sep-17									
oct-17									
nov-17									
dic-17									
ene-18									
feb-18									
mar-18									
abr-18									
may-18									
jun-18									
jul-18									
ago-18	317	27	0	53	5	6	0,01000	91,5%	91,5%
sep-18	418	177	18	70	30	6	0,01000	53,3%	57,7%
oct-18	591	7	14	197	2	3	0,00500	96,4%	98,8%
nov-18	541	11	24	180	4	3	0,00500	93,5%	98,0%
dic-18	471	83	36	52	9	9	0,01500	74,7%	82,4%
	468	61				27		81,9%	85,7%

Tabla N° 4.8: Tabla de Cálculos de KPI Camión MT-05.

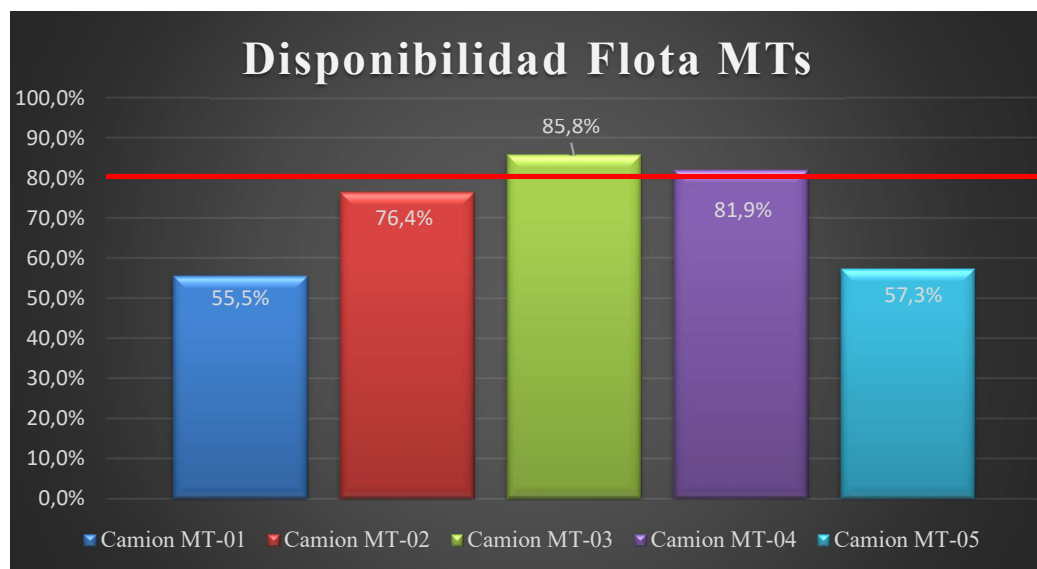
Camion MT-05									
Mes	TBF Hrs	TRR Hrs	TMP Hrs	MTBF	MTTR	N° Fallas	Tasa Falla	Disponibilidad Hrs	Confiabilidad Hrs
sep-17									
oct-17									
nov-17									
dic-17									
ene-18									
feb-18									
mar-18									
abr-18									
may-18									
jun-18									
jul-18									
ago-18	354	5	0	118	2	6	0,01000	98,6%	98,6%
sep-18	525	23	18	48	2	11	0,01833	92,2%	95,6%
oct-18	537	9	14	134	2	4	0,00667	95,7%	98,3%
nov-18	251	380	24	36	54	7	0,01167	0,0%	0,0%
dic-18	0	744	36	0	744	0	0,00000	0,0%	0,0%
	333	232				28		57,3%	58,5%

4.2.1 Presentación de indicadores KPI obtenidos

Una vez obtenidos los cálculos de los indicadores se procedió a la interpretación de éstos, mediante un análisis de gráficos comparativos durante el periodo en estudio el cual fue de 18 meses de observación de datos, equivalentes a 8.020 horas esperadas de trabajo, considerando un escenario operación ideal de los equipos MT.

A continuación, se muestra el comportamiento histórico los equipos analizados, bajo indicadores KPI de disponibilidad y confiabilidad.

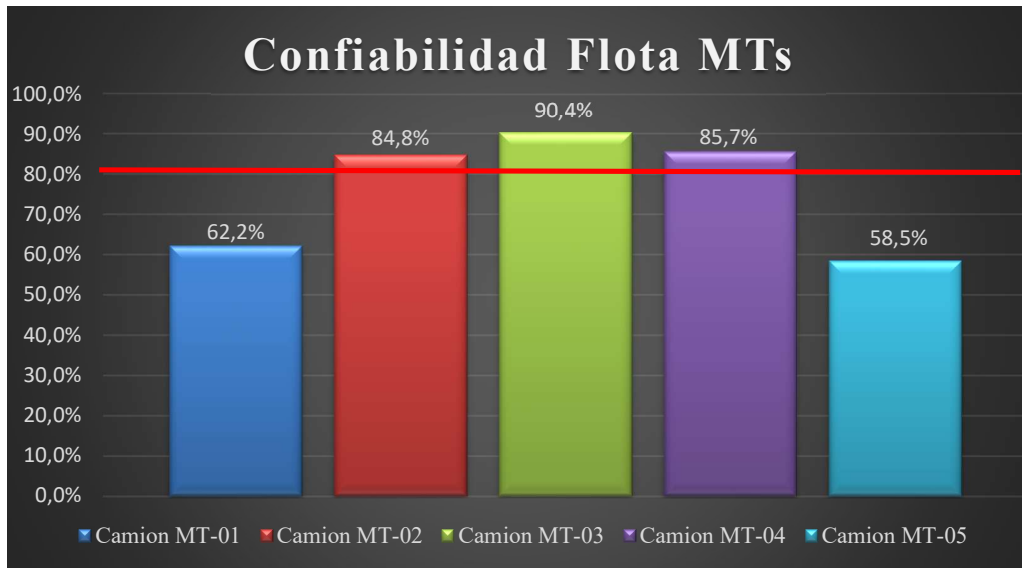
Gráfico N° 4.1: Disponibilidad de flota camión MTs.



Del gráfico que expone la comparativa del indicador de disponibilidad media de la flota de camiones MT- 65 en el periodo en evaluación se desprende las siguientes conclusiones.

1. El equipo de más bajo rendimiento respecto al indicador de ISO disponibilidad media de un 80%, fue el camión MT-01, alcanzando un 55,5% de capacidad para efectuar las labores de extracción de mineral en un estado operativo, consiguiendo un promedio de horas de buen funcionamiento de 387 horas.
2. En el periodo en estudio, el equipo MT-02 obtuvo un rendimiento bajo respecto al indicador de ISO disponibilidad media de un 80%, alcanzando un 76,38% de capacidad para efectuar las labores de extracción de mineral en un estado operativo, en el periodo en estudio. consiguiendo un promedio de buen funcionamiento de 453 horas.
3. El equipo de más alto rendimiento respecto al indicador de ISO disponibilidad media de un 80%, fue el camión MT-03, alcanzando un 85,8 % de capacidad de efectuar las labores de extracción de mineral en un estado operativo, consiguiendo un promedio de buen funcionamiento de 459 horas.
4. El equipo MT-04 obtuvo un rendimiento alto respecto al indicador de ISO disponibilidad media de un 80 %, alcanzando un 81,9 % de capacidad de efectuar las labores de extracción de mineral en un estado operativo, en el periodo en estudio consiguiendo un promedio de buen funcionamiento de 468 horas.
5. El equipo MT-05 obtuvo un rendimiento bajo respecto al indicador de ISO disponibilidad media de un 80 %, alcanzando un 57,3 % de capacidad de efectuar las labores de extracción de mineral en un estado operativo en el periodo en estudio, consiguiendo un promedio de buen funcionamiento de 333 horas.

Gráfico N° 4.2: Confiabilidad de flota camión MTs.



Del gráfico que expone la comparativa del indicador de confiabilidad media de la flota de camiones MT- 65 en el periodo en evaluación se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El equipo MT-01 obtuvo un rendimiento bajo respecto al indicador de ISO confiabilidad media de un 80 %. Alcanzando un 62,2 % de probabilidad de efectuar la extracción de mineral adecuadamente bajo estándares de operación.
2. El equipo MT-02 obtuvo un rendimiento alto respecto al indicador de ISO confiabilidad media de un 80 %. Alcanzando un 84,8 % de probabilidad de efectuar la extracción de mineral adecuadamente bajo estándares de operación.
3. El equipo MT-03 obtuvo rendimiento más alto respecto al indicador de ISO confiabilidad media de un 80%, alcanzando un 90,4 % de probabilidad de efectuar la extracción de mineral adecuadamente bajo estándares de operación.
4. El equipo MT-04 obtuvo un rendimiento alto respecto al indicador de ISO confiabilidad media de un 80 %. Alcanzando un 85,7 % de probabilidad de efectuar la extracción de mineral adecuadamente bajo estándares de operación.

5. El equipo de más bajo rendimiento respecto al indicador de ISO confiabilidad media de un 80%, fue el camión MT-05, alcanzando un 58,5 % de probabilidad de efectuar la extracción de mineral adecuadamente bajo estándares de operación.

4.3 Análisis Gráfico de fallas mediante Pareto.

De la misma forma que la sección anterior se abordará el desarrollo del análisis gráfico del tipo Pareto trabajando en base a los datos contenidos en la tabla de ingreso de órdenes de trabajo tabla 4.2 que está al comienzo de este capítulo. De la cual se realizó la agrupación y selección de datos para conformar la tabla Historial de falla de camión, donde se clasificaron las fallas por sistemas, componentes, horas de falla y números de fallas. Siguiendo con la conformación de gráficos mediante análisis Pareto, dicha tabla mencionada anteriormente es reformulada para crear dos nuevas tablas: tabla Pareto de falla por sistema camión y tabla Pareto de falla por componente de camión, que se detallarán a continuación:

Pareto de falla por sistema de camión; Donde se clasificaron las fallas por sistemas, horas de falla, su frecuencia, números de falla, frecuencia acumuladas horas y frecuencia acumuladas porcentuales en horas.

Pareto de falla por componente camión; Donde se clasificaron las fallas por componentes, horas de falla, su frecuencia, números de falla, frecuencia acumuladas horas y frecuencia acumuladas porcentuales en horas.

Tabla N° 4.9: Historial fallas Camión MT-01.

HISTORIAL DE FALLAS CAMION MT-01				
N°	SISTEMA	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS
1	SUSPENSIÓN	PERNOS DE VIGA	1108	1
2	MOTOR	VENTILADOR	618,5	2
3	SUSPENSIÓN	CILINDRO SUSPENSIÓN	310	1
4	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	106	20
5	ENGRASE	BOMBA DE ENGRASE	87	2
6	TRANSMISION	PTO	36	1
7	ELECTRICO	CAMARA	18,3	1
8	SUSPENSIÓN	VALVULA	16	1
9	CABINA	ASIENTO	12	1
10	FRENOS	FUGA HIDRAULICA	11	1
11	AIRE ACONDICIONADO	COMPRESOR	10,5	2
12	AIRE ACONDICIONADO	CARGA DE SISTEMA	10	6
13	AIRE ACONDICIONADO	CAMBIO DE CORREA	10	1
14	HIDRAULICO	VALVULA	9,5	3
15	ELECTRICO	MODULO A20	9	1
16	ESTRUCTURA	PUERTAS MOTOR	9	1
17	TRANSMISION	FUGA DE ACEITE	9	1
18	HIDRAULICO	FUGA	8	1
19	TRANSMISION	SENSOR DE TEMPARATURA	8	2
20	TRANSMISION	COMPONENTE	7	1
21	FRENOS	COMPENSADORA - BOMBA FRENO	5	1
22	ESTRUCTURA	PROTECCIONES INFERIORES	4,5	1
23	DIRECCION	BOMBA	3,5	1
24	ELECTRICO	BATERIA	3	1
25	FRENOS	SWICH DE FRENO DE ESTACIONAMIENTO	3	1
26	HIDRAULICO	SELLOS	3	1
27	ELECTRICO	LUCES ALTAS	2,2	2
28	CABINA	RADIO	2,1	1
29	ESTRUCTURA	PERNO	2	1
30	MOTOR	FILTROS SATURADOS	2	3
31	TRANSMISION	SENSOR B357	2	1
32	DIRECCION	CILINDRO DE DIRECCION	1,5	1
33	AIRE ACONDICIONADO	FILTRO CABINA	1	1
34	AIRE ACONDICIONADO	CLIMATIZADOR	1	20
35	CABINA	LIPIAPARABRIZAS	1	6
36	ELECTRICO	SENSOR	1	1
37	ELECTRICO	MOTOR PARTIDA	1	1
38	MOTOR	LUBRICACION DE TURBO	1	1
39	CABINA	CABINA	0,5	1
40	ESTRUCTURA	PASAMANOS CABINA	0,5	1
41	ESTRUCTURA	TOLVA	0,2	2
42	MOTOR	ESTANQUE COMBUSTIBLE	0,2	1
			2454	

Tabla N° 4.10: Tabla de falla por sistemas camión MT-01.

TABLA DE FALLAS POR SISTEMAS DE CAMION MT-01					
N°	SISTEMA	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	SUSPENSIÓN	1434	3	1434	58,5%
2	MOTOR	621,5	5	2055,5	83,8%
3	NEUMATICOS	106	20	2161,5	88,1%
4	ENGRASE	87	1	2248,5	91,7%
5	TRANSMISION	62	6	2310,5	94,2%
6	A/C	32,5	6	2343	95,5%
7	ELECTRICO	25,5	8	2368,5	96,6%
8	HIDRAULICO	20,2	20	2388,7	97,4%
9	FRENO	19	3	2407,7	98,2%
10	ESTRUCTURA	16	6	2423,7	98,8%
11	CABINA	15,5	5	2439,2	99,5%
12	DIRECCION	5	2	2444,2	99,7%
13	REN DE POTENC	5	1	2449,2	99,9%
14	AFEX	3	1	2452,2	100,0%
		2452			

Tabla N° 4.11: Pareto de falla por componentes camión MT- 01

TABLA DE FALLAS POR COMPONENTES CAMION MT-01					
N°	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	PERNOS DE VIGA	1108	1	1108	45,15%
2	VENTILADOR	618,5	2	1726,5	70,35%
3	CILINDRO SUSPENSIÓN	310	1	2036,5	82,99%
4	NEUMATICO PINCHADO	106	20	2142,5	87,31%
5	BOMBA DE ENGRASE	87	2	2229,5	90,85%
6	PTO	36	1	2265,5	92,32%
7	CAMARA	18,3	1	2283,8	93,06%
8	VALVULA	16	1	2299,8	93,72%
9	ASIENTO	12	1	2311,8	94,21%
10	FUGA HIDRAULICA	11	1	2322,8	94,65%
11	COMPRESOR	10,5	2	2333,3	95,08%
12	CARGA DE SISTEMA	10	6	2343,3	95,49%
13	CAMBIO DE CORREA	10	1	2353,3	95,90%
14	VALVULA	9,5	3	2362,8	96,28%
15	MODULO A20	9	1	2371,8	96,65%
16	PUERTAS MOTOR	9	1	2380,8	97,02%
17	FUGA DE ACEITE	9	1	2389,8	97,38%
18	FUGA	8	1	2397,8	97,71%
19	SENSOR DE TEMPARATURA	8	2	2405,8	98,04%
20	COMPONENTE	7	1	2412,8	98,32%
21	COMPENSADORA - BOMBA FRENO	5	1	2417,8	98,52%
22	PROTECCIONES INFERIORES	4,5	1	2422,3	98,71%
23	BOMBA	3,5	1	2425,8	98,85%
24	BATERIA	3	1	2428,8	98,97%
25	BOTERA DE FRENO DE ESTACIONAMIENTO	3	1	2431,8	99,10%
26	SELLOS	3	1	2434,8	99,22%
27	LUCES ALTAS	2,2	2	2437	99,31%
28	RADIO	2,1	1	2439,1	99,39%
29	PERNO	2	1	2441,1	99,47%
30	FILTROS SATURADOS	2	3	2443,1	99,56%
31	SENSOR B35T	2	1	2445,1	99,64%
32	CILINDRO DE DIRECCION	1,5	1	2446,6	99,70%
33	FILTRO CABINA	1	1	2447,6	99,74%
34	CLIMATIZADOR	1	20	2448,6	99,78%
35	LIPIAPARABRIZAS	1	6	2449,6	99,82%
36	SENSOR	1	1	2450,6	99,86%
37	MOTOR PARTIDA	1	1	2451,6	99,90%
38	LUBRICACION DE TURBO	1	1	2452,6	99,94%
39	CABINA	0,5	1	2453,1	99,96%
40	PASAMANOS CABINA	0,5	1	2453,6	99,98%
41	TOLVA	0,2	2	2453,8	99,99%
42	ESTANQUE COMBUSTIBLE	0,2	1	2454	100,00%
		2454			

Tabla N° 4.12: Historial de fallas Camión MT-02.

HISTORIAL DE FALLAS CAMION MT-02				
N°	SISTEMA	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS
1	SUSPENSIÓN	DUCTO DE SUSPENSIÓN	679	2
2	TRANSMISION	PTO - FLANJE	144	1
3	DIRECCION	BANCADAS - CILINDRO DE DIRECCION	116	1
4	DIRECCION	V/V SISTEMA	82	1
5	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	76	10
6	TRANSMISION	FILTRO TRANSMISION	47,5	3
7	CABINA	SOPORTES	47,5	2
8	ESTRUCTURA	PRETECCION DE TRANSMISION	45	2
9	HIDRAULICO	FUGA HIDRAULICA	33	5
10	TRANSMISION	FUGA ACEITE TRANSMISION- PTO	24	5
11	MOTOR	FUGA DE REFRIGERANTE	21	4
12	ELECTRICO	CORTE ELECTRICO	18	2
13	FRENO	DUCTO DE PRESION DE FRENO	17	1
14	NEUMATICOS	LLANTA DOBLADA	16,5	1
15	A/C	CARGA	16	4
16	SUSPENSIÓN	CARGA DE NITRIGENO	15	3
17	A/C	CONDENSADOR	13	2
18	ESTRUCTURA	PROTECCION DE ESCAPE	12	1
19	CABINA	LIMPIAPABRIZAS	11	2
20	FRENO	ESTANQUE	10	1
21	MOTOR	ESCAPE	10	1
22	MOTOR	RADIADOR	8	4
23	HIDRAULICO	FLEXIBLE	7	1
24	ESTRUCTURA	PUERTA RADIADORES	6	1
25	DIRECCION	PERNOS CORTADO	6	1
26	HIDRAULICO	V/V SISTEMA	5	1
27	MOTOR	FUGA DE ACEITE MOTOR	5	2
28	ESTRUCTURA	PESOMETRO	5	1
29	TREN DE POTENCIA	FUGA DE ACEITE- CUBO REDUCTOR	5	1
30	MOTOR	SILENCIADOR	4,5	1
31	MOTOR	DEPOSITO DE EXPANSIÓN	4,1	1
32	ESTRUCTURA	TOLVA	4	1
33	ELECTRICO	LUCES	4	1
34	MOTOR	COMBUSTIBLE	3,5	1
35	CABINA	PUERTA	3,5	2
36	AFEX	PAD	3	1
37	TRANSMISION	ESTANQUE	2,5	1
38	TRANSMISION	CARDAN	2	1
39	FRENO	BLOQUE	2	1
40	ELECTRICO	CAMARA	2	3
41	CABINA	ASIENTO	1,5	7
42	SUSPENSIÓN	PIVOTE	1,5	1
43	DIRECCION	FLEXIBLE	1,2	1
44	HIDRAULICO	ESTANQUE	1,2	1
45	DIRECCION	CILINDRO DE DIRECCION	1	1
46	ESTRUCTURA	CAPO	1	1
47	ELECTRICO	LUCES DEL TABLERO	1	1
48	ENGRASE	ENGRASE	1	1
49	ELECTRICO	FUSIBLE	0,2	1
			1545	

Tabla N° 4.13: Tabla de falla por sistemas camión MT-02.

TABLA DE FALLA POR SISTEMAS CAMION MT-02					
N°	SISTEMA	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	SUSPENSIÓN	695,5	6	695,5	48,6%
2	TRANSMISION	220,1	17	915,6	64,0%
3	NEUMATICOS	92,2	11	1007,8	70,5%
4	DIRECCION	90	4	1097,8	76,8%
5	ESTRUCTURA	73	7	1170,8	81,9%
6	CABINA	63	13	1233,8	86,3%
7	MOTOR	56	14	1289,8	90,2%
8	HIDRAULICO	47	8	1336,8	93,5%
9	FRENO	30	3	1366,8	95,6%
10	A/C	29	6	1395,8	97,6%
11	ELECTRICO	25	8	1420,8	99,4%
12	TREN DE POTENCIA	5	1	1425,8	99,7%
13	AFER	3	1	1428,8	99,9%
14	ENGRASE	1	1	1429,8	100,0%
		1429,8			

Tabla N° 4.14: Tabla de falla por componentes camión MT-02.

TABLA DE FALLA POR COMPONENTES CAMION MT-02					
N°	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	DUCTO DE SUSPENSION	679	2	679,00	43,34%
2	PTO - FLANJE	144	1	823,00	53,26%
3	BANCADAS - CILINDRO DE DIRECCION	116	1	939,00	60,77%
4	VIV SISTEMA	82	1	1021,00	66,08%
5	NEUMATICO PINCHADO	76	10	1097,00	70,93%
6	FILTRO TRANSMISION	47,5	3	1144,50	74,07%
7	SOPORTES	47,5	2	1192,00	77,14%
8	PRETECCION DE TRANSMISION	45	2	1237,00	80,05%
9	FUGA HIDRAULICA	33	5	1270,00	82,19%
10	FUGA ACEITE TRANSMISION- PTO	24	5	1294,00	83,74%
11	FUGA DE REFRIGERANTE	21	4	1315,00	85,10%
12	CORTE ELECTRICO	18	2	1333,00	86,27%
13	DUCTO DE PRESION DE FRENO	17	1	1350,00	87,37%
14	LLANTA DOBLADA	16,5	1	1366,50	88,44%
15	CARGA	16	4	1382,50	89,47%
16	CARGA DE NITRIGENO	15	3	1397,50	90,44%
17	CONDENSADOR	13	2	1410,50	91,28%
18	PROTECCION DE ESCAPE	12	1	1422,50	92,06%
19	LIMPIAPABRIZAS	11	2	1433,50	92,77%
20	ESTANQUE	10	1	1443,50	93,42%
21	ESCAPE	10	1	1453,50	94,07%
22	RADIADOR	8	4	1461,50	94,58%
23	FLEXIBLE	7	1	1468,50	95,04%
24	PUERTA RADIADORES	6	1	1474,50	95,42%
25	PERNOS CORTADO	6	1	1480,50	95,81%
26	VIV SISTEMA	5	1	1485,50	96,14%
27	FUGA DE ACEITE MOTOR	5	2	1490,50	96,46%
28	PESOMETRO	5	1	1495,50	96,78%
29	FUGA DE ACEITE- CUBO REDUCTOR	5	1	1500,50	97,11%
30	SILENCIADOR	4,5	1	1505,00	97,40%
31	DEPOSITO DE EXPANSION	4,1	1	1509,10	97,66%
32	TOLVA	4	1	1513,10	97,92%
33	LUCES	4	1	1517,10	98,18%
34	COMBUSTIBLE	3,5	1	1520,60	98,41%
35	PUERTA	3,5	2	1524,10	98,63%
36	PAD	3	1	1527,10	98,83%
37	ESTANQUE	2,5	1	1529,60	98,99%
38	CARDAN	2	1	1531,60	99,12%
39	BLOQUE	2	1	1533,60	99,25%
40	CAMARA	2	3	1535,60	99,38%
41	ASIENTO	1,5	7	1537,10	99,48%
42	PIVOTE	1,5	1	1538,60	99,57%
43	FLEXIBLE	1,2	1	1539,80	99,65%
44	ESTANQUE	1,2	1	1541,00	99,73%
45	CILINDRO DE DIRECCION	1	1	1542,00	99,79%
46	CAPO	1	1	1543,00	99,86%
47	LUCES DEL TABLERO	1	1	1544,00	99,92%
48	ENGRASE	1	1	1545,00	99,99%
49	FUSIBLE	0,2	1	1545,20	100,00%
		1545,2			

Tabla N° 4.15: Historial de fallas Camión MT-03.

HISTORIAL DE FALLAS CAMION MT-03				
N°	SISTEMA	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS
1	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	29	5
2	ELECTRICO	Y216 B	22	1
3	CABINA	PUERTA	15,7	7
4	ELECTRICO	Y216 A	14	1
5	HIDRAULICO	FUGA HIDRAULICA	13,5	2
6	CABINA	PERNOS DE CABINA	4,5	2
7	ELECTRICO	MEGA FUSIBLE	4	1
8	REFRIGERACION	VENTILADOR	4	1
9	ESTRUCTURA	PESOMETRO	3,5	1
10	DIRECCION	CILINDRO DE DIRECCION	2	2
11	ESTRUCTURA	SOPORTE DE CUÑAS	1,5	2
12	MOTOR	FUGA ACEITE MOTOR	1,5	2
13	ESTRUCTURA	TAPA BARROS	1,5	1
14	CABINA	ASIENTO	1	1
15	DIRECCION	FUGA	1	1
16	ESTRUCTURA	ESCALERA	1	1
17	HIDRAULICO	ORRING	0,5	1
18	MOTOR	FILTRO MOTOR	0,5	1
19	CABINA	EXTINTOR	0,60	4
20	DIRECCION	PERNO DE BANCADA	0,4	1
			121,70	

Tabla N° 4.16: Tabla de falla por sistemas camión MT-03.

TABLA DE FALLAS POR COMPONENTES DE CAMION MT-03					
N°	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	NEUMATICO PINCHADO	29	5	29	23,8%
2	Y216 B	22	1	51	41,9%
3	PUERTA	15,7	7	66,7	54,8%
4	Y216 A	14	1	80,7	66,3%
5	FUGA HIDRAULICA	13,5	2	94,2	77,4%
6	PERNOS DE CABINA	4,5	2	98,7	81,1%
7	MEGA FUSIBLE	4	1	102,7	84,4%
8	VENTILADOR	4	1	106,7	87,7%
9	PESOMETRO	3,5	1	110,2	90,6%
10	CILINDRO DE DIRECCION	2	2	112,2	92,2%
11	SOPORTE DE CUÑAS	1,5	2	113,7	93,4%
12	FUGA ACEITE MOTOR	1,5	2	115,2	94,7%
13	TAPA BARROS	1,5	1	116,7	95,9%
14	ASIENTO	1	1	117,7	96,7%
15	FUGA	1	1	118,7	97,5%
16	ESCALERA	1	1	119,7	98,4%
17	ORRING	0,5	1	120,2	98,8%
18	FILTRO MOTOR	0,5	1	120,7	99,2%
19	EXTINTOR	0,60	4	121,3	99,7%
20	PERNO DE BANCADA	0,4	1	121,7	100,0%
		121,70			

Tabla N° 4.17: Tabla de falla por componente camión MT-03, para evaluación de gráfico Pareto.

TABLA DE FALLAS POR COMPONENTES DE CAMION MT-03					
N°	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	NEUMATICO PINCHADO	29	5	29	23,8%
2	Y216 B	22	1	51	41,9%
3	PUERTA	15,7	7	66,7	54,8%
4	Y216 A	14	1	80,7	66,3%
5	FUGA HIDRAULICA	13,5	2	94,2	77,4%
6	PERNOS DE CABINA	4,5	2	98,7	81,1%
7	MEGA FUSIBLE	4	1	102,7	84,4%
8	VENTILADOR	4	1	106,7	87,7%
9	PESOMETRO	3,5	1	110,2	90,6%
10	CILINDRO DE DIRECCION	2	2	112,2	92,2%
11	SOPORTE DE CUÑAS	1,5	2	113,7	93,4%
12	FUGA ACEITE MOTOR	1,5	2	115,2	94,7%
13	TAPA BARROS	1,5	1	116,7	95,9%
14	ASIENTO	1	1	117,7	96,7%
15	FUGA	1	1	118,7	97,5%
16	ESCALERA	1	1	119,7	98,4%
17	ORRING	0,5	1	120,2	98,8%
18	FILTRO MOTOR	0,5	1	120,7	99,2%
19	EXTINTOR	0,60	4	121,3	99,7%
20	PERNO DE BANCADA	0,4	1	121,7	100,0%
		121,70			

Tabla N° 4.18: Historial fallas Camión MT-04.

HISTORIAL DE FALLAS CAMION MT-04				
N°	SISTEMA	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS
1	SUSPENSION	CILINDRO SUSPENSIÓN	144,00	1
2	ESTRUCTURA	PERNOS DE BANCADA	40,00	2
3	CABINA	SOPORTES	18,50	1
4	HIDRAULICO	FLEXIBLES MAL ESTADO	10,10	1
5	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	6,00	1
6	ELECTRICO	Y216B	6,00	1
7	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	6,00	1
8	FRENOS	VALVULA COMPENSADORA	5,30	1
9	ELECTRICO	MODULO D601	4,50	1
10	ELECTRICO	CORTE ELECTRICO	4,50	1
11	AIRE ACONDICIONADO	CONDENSADOR	4,15	1
12	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	4,00	1
13	AIRE ACONDICIONADO	CORTE ELECTRICO	2,15	1
14	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	2,00	1
15	FRENOS	FILTRO ACEITE	2,00	1
16	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	2,00	1
17	AIRE ACONDICIONADO	CARGA DE REFRIGERANTE	2,00	1
18	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	2,00	1
19	ELECTRICO	CTO. A/C	1,80	1
20	DIRECCION	ORRING	1,60	1
21	HIDRAULICO	FUGA ACEITE	1,60	1
22	MOTOR	FUGA ACEITE	1,00	1
23	HIDRAULICO	ENFRIADOR	1,00	1
24	CABINA	ESPEJOS	0,80	1
25	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	0,80	1
26	ELECTRICO	FOCOS	0,70	1
27	CABINA	PUERTA	0,50	1
28	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	0,50	1
29	MOTOR	ARRANQUE	0,30	1
30	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	0,30	1
31	CABINA	EXTINTOR	0,40	3
			276,50	

Tabla N° 4.19: Tabla de falla por sistemas camión MT-04.

TABLA DE FALLAS POR SISTEMAS DE CAMION MT-04					
N°	SISTEMA	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	SUSPENSION	1,0	144,00	144	53,1%
2	ESTRUCTURA	2,0	38,00	182,00	67,1%
3	NEUMATICOS	9,0	27,00	209,00	77,0%
4	CABINA	4,0	20,50	229,50	84,6%
5	ELECTRICO	5,0	17,40	246,90	91,0%
6	HIDRAULICO	1,0	12,60	259,50	95,6%
7	AIRE ACONDICIONADO	3,0	6,50	266,00	98,0%
8	FRENOS	2,0	2,30	268,30	98,9%
9	DIRECCION	1,0	1,60	269,90	99,4%
10	MOTOR	1,0	1,50	271,40	100,0%
			271,40		

Tabla N° 4.20: Tabla de falla por componentes camión MT-04, para evaluación de gráfico Pareto.

TABLA DE FALLAS POR COMPONENTES DE CAMION MT-04					
N°	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	CILINDRO SUSPENSIÓN	144,00	1	144,00	52,1%
2	PERNOS DE BANCADA	40,00	2	184,00	66,5%
3	SOPORTES	18,50	1	202,50	73,2%
4	FLEXIBLES MAL ESTADO	10,10	1	212,60	76,9%
5	NEUMATICO PINCHADO	6,00	1	218,60	79,1%
6	Y216B	6,00	1	224,60	81,2%
7	NEUMATICO PINCHADO	6,00	1	230,60	83,4%
8	VALVULA COMPENSADORA	5,30	1	235,90	85,3%
9	MODULO D601	4,50	1	240,40	86,9%
10	CORTE ELECTRICO	4,50	1	244,90	88,6%
11	CONDENSADOR	4,15	1	249,05	90,1%
12	NEUMATICO PINCHADO	4,00	1	253,05	91,5%
13	CORTE ELECTRICO	2,15	1	255,20	92,3%
14	NEUMATICO PINCHADO	2,00	1	257,20	93,0%
15	FILTRO ACEITE	2,00	1	259,20	93,7%
16	NEUMATICO PINCHADO	2,00	1	261,20	94,5%
17	CARGA DE REFRIGERANTE	2,00	1	263,20	95,2%
18	NEUMATICO PINCHADO	2,00	1	265,20	95,9%
19	CTO. A/C	1,80	1	267,00	96,6%
20	ORRING	1,60	1	268,60	97,1%
21	FUGA ACEITE	1,60	1	270,20	97,7%
22	FUGA ACEITE	1,00	1	271,20	98,1%
23	ENFRIADOR	1,00	1	272,20	98,4%
24	ESPEJOS	0,80	1	273,00	98,7%
25	NEUMATICO PINCHADO	0,80	1	273,80	99,0%
26	FOCOS	0,70	1	274,50	99,3%
27	PUERTA	0,50	1	275,00	99,5%
28	NEUMATICO PINCHADO	0,50	1	275,50	99,6%
29	ARRANQUE	0,30	1	275,80	99,7%
30	NEUMATICO PINCHADO	0,30	1	276,10	99,9%
31	EXTINTOR	0,40	3	276,50	100,0%
		276,50			

Tabla N° 4.21: Historial de fallas Camión MT-05, para evaluación de gráfico Pareto.

HISTORIAL DE FALLAS CAMION MT-05				
N°	SISTEMA	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS
1	ESTRUCTURA	IMPACTO	888	1
2	HIDRAULICO	Y834	184	1
3	MOTOR	ARNEZ DE MOTOR	26	1
4	ESTRUCTURA	PESOMETRO	9	2
5	NEUMATICOS	NEUMATICO PINCHADO	8	4
6	ELECTRICO	ALTERNADOR	7	1
7	AIRE ACONDICIONADO	COMPRESOR	6,5	2
8	TRANSMISION	SENSOR	6	1
9	TRANSMISION	CARDAN	4,5	1
10	ELECTRICO	BATERIAS	4	1
11	MOTOR	FUGA REFRIGERANTE	4	2
12	MOTOR	ENCENDIDO	3,6	1
13	HIDRAULICO	ENFRIADOR	3,5	1
14	HIDRAULICO	FUGA HIDRAULICA	2	2
15	ESTRUCTURA	ESPEJOS	1,5	2
16	ESTRUCTURA	PORTA CUÑAS	1	2
17	CABINA	SENSOR PUERTA	1	1
18	HIDRAULICO	ESTANQUE	1	1
19	ELECTRICO	MOTOR PARTIDA	1	1
20	AIRE ACONDICIONADO	CARGA DE REFRIGERANTE	1	1
21	DIRECCION	CILINDRO DIRECCION	0,5	1
22	CABINA	EXTINTOR	0,40	3
			1163,50	

Tabla N° 4.22: Tabla de falla por sistemas camión MT-05.

TABLA DE FALLAS POR SISTEMAS DE CAMION MT-05					
N°	SISTEMA	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	ESTRUCTURA	900	7	900,00	77,4%
2	HIDRAULICO	187	5	1087,00	93,5%
3	MOTOR	36,6	4	1123,60	96,6%
4	NEUMATICOS	8	4	1131,60	97,3%
5	ELECTRICO	12	3	1143,60	98,3%
6	AIRE ACONDICIONADO	7,5	3	1151,10	99,0%
7	TRANSMISION	10,5	2	1161,60	99,9%
8	CABINA	1	1	1162,60	100,0%
9	DIRECCION	0,5	1	1163,10	100,0%
		1163,1			

Tabla N° 4.23: Tabla de falla por componentes camión MT-05, para evaluación de gráfico Pareto.

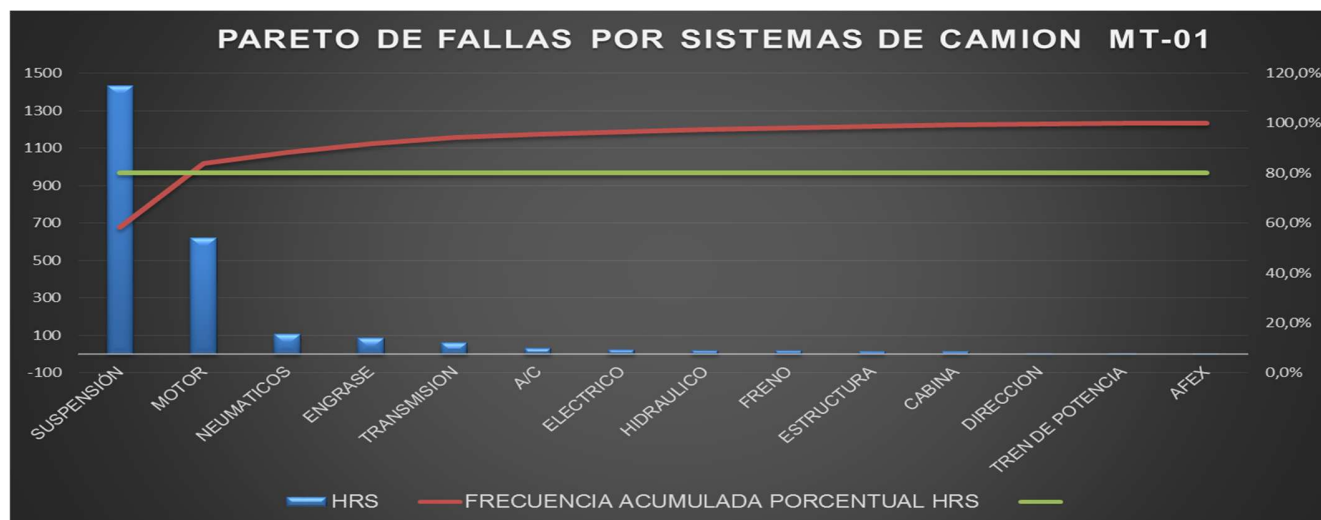
TABLA DE FALLAS POR COMPONENTES DE CAMION MT-05					
N°	COMPONENTE	HRS	N° DE FALLAS	FRECUENCIA ACUMULADA HRS	FRECUENCIA ACUMULADA PORCENTUAL HRS
1	IMPACTO	888	1	888,00	76,3%
2	Y834	184	1	1072,00	92,1%
3	ARNEZ DE MOTOR	26	1	1098,00	94,4%
4	PESOMETRO	9	2	1107,00	95,1%
5	NEUMATICO PINCHADO	8	4	1115,00	95,8%
6	ALTERNADOR	7	1	1122,00	96,4%
7	COMPRESOR	6,5	2	1128,50	97,0%
8	SENSOR	6	1	1134,50	97,5%
9	CARDAN	4,5	1	1139,00	97,9%
10	BATERIAS	4	1	1143,00	98,2%
11	FUGA REFRIGERANTE	4	2	1147,00	98,6%
12	ENCENDIDO	3,6	1	1150,60	98,9%
13	ENFRIADOR	3,5	1	1154,10	99,2%
14	FUGA HIDRAULICA	2	2	1156,10	99,4%
15	ESPEJOS	1,5	2	1157,60	99,5%
16	PORTA CUÑAS	1	2	1158,60	99,6%
17	SENSOR PUERTA	1	1	1159,60	99,7%
18	ESTANQUE	1	1	1160,60	99,8%
19	MOTOR PARTIDA	1	1	1161,60	99,8%
20	CARGA DE REFRIGERANTE	1	1	1162,60	99,9%
21	CILINDRO DIRECCION	0,5	1	1163,10	100,0%
22	EXTINTOR	0,40	3	1163,50	100,0%
		1163,50			

4.2.2 Presentación Análisis gráfico de fallas mediante Pareto

Una vez confeccionadas las tablas de concentración de fallas por equipos, se procedió a la interpretación de éstos, mediante un análisis comparativo de los gráficos de fallas en el periodo en estudio el cual fue de 18 meses de observación de datos, equivalentes a 8.020 horas esperadas de trabajo, considerando un escenario operación ideal de los equipos MT.

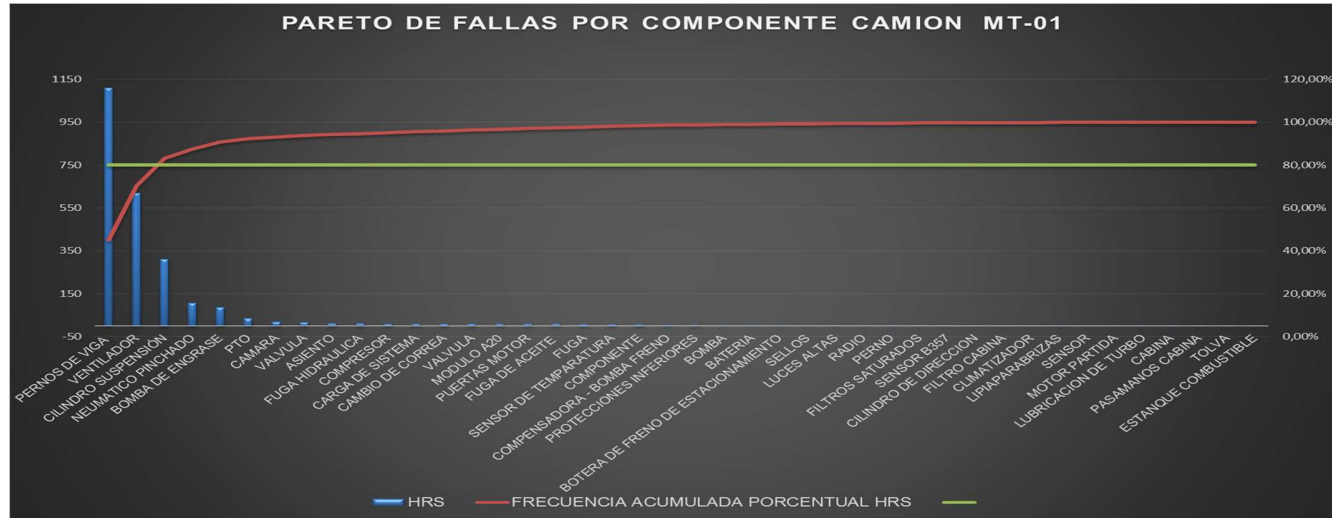
A continuación, se mostrará el comportamiento histórico de los equipos analizados bajo la perspectiva del análisis por Pareto y análogamente al estudio anterior, se determinó evaluar gráficos por sistemas y por componentes.

Gráfico N° 4.3: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-01.



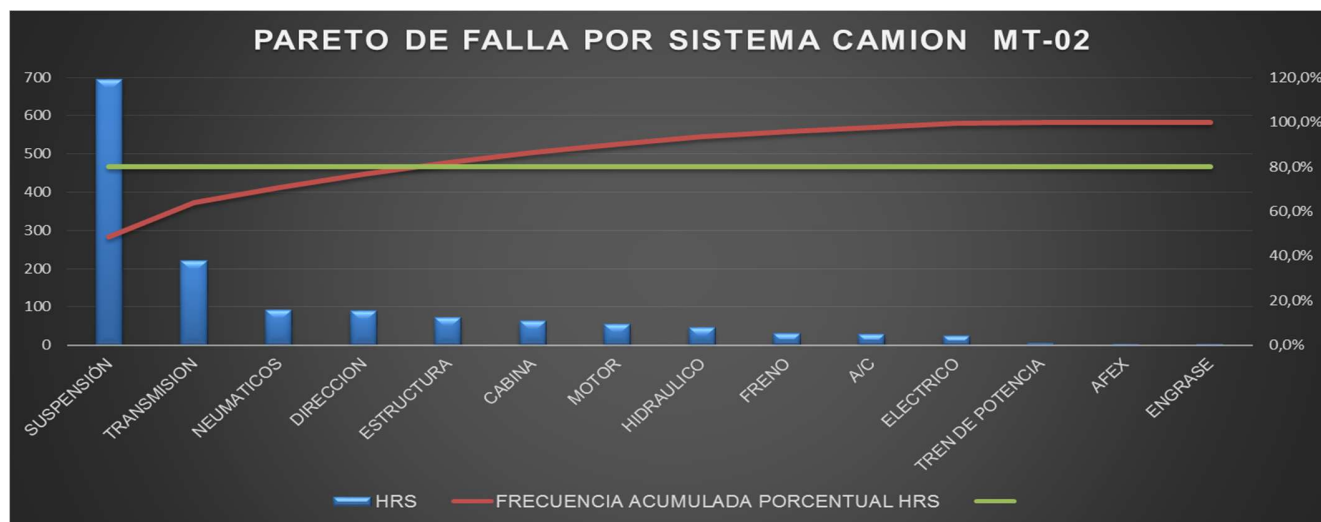
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de sistemas del camión MT-01 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación, este ha presentado diversas fallas distribuyéndose de la siguiente forma: dentro del 80% de los sistemas que más fallaron y generaron el mayor tiempo de detención se encuentra el sistema de suspensión, con un total de un acumulado en horas de detención de 1.434 horas y el sistema de motor con un total acumulado de 621,5 horas. Por lo que dentro del 20% restante de los sistemas que han fallado se encuentran los sistemas menos significativos acumulando 396,7 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.4: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-01.



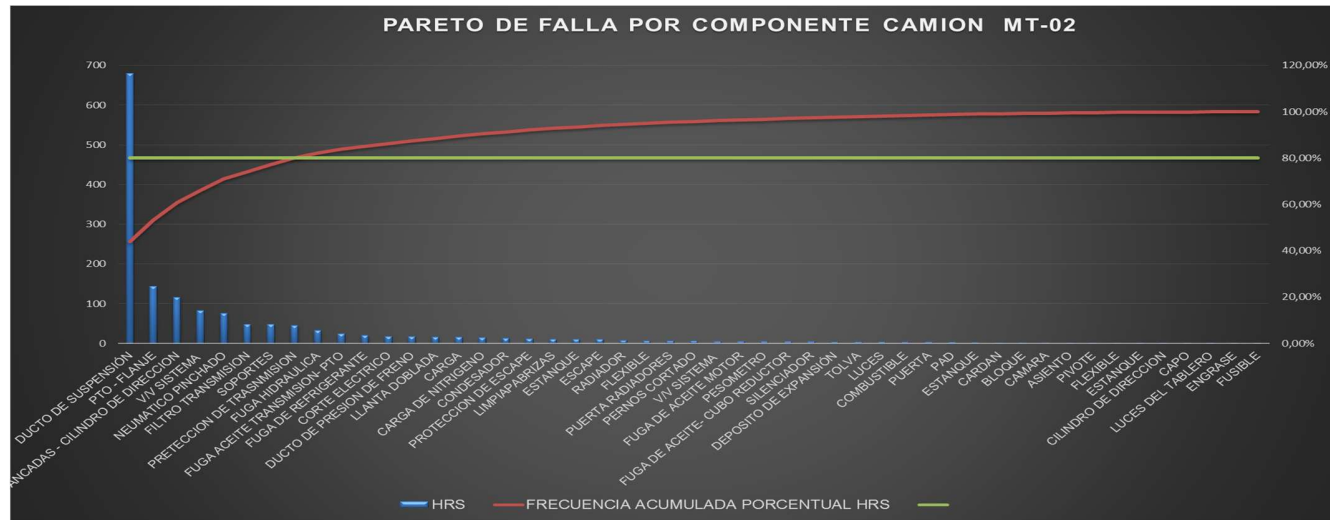
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de componentes del camión MT-01 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación, este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma: dentro del 80% de los componentes que más fallaron y generaron el mayor tiempo de detención se encuentran los pernos de viga, con un total acumulado de 1.108 horas, el ventilador principal con un total acumulado de 618,5 horas y los cilindros de suspensión con un total acumulado de 310 horas. Por lo que dentro del 20% restante de los componentes que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 404,5 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.5: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-02.



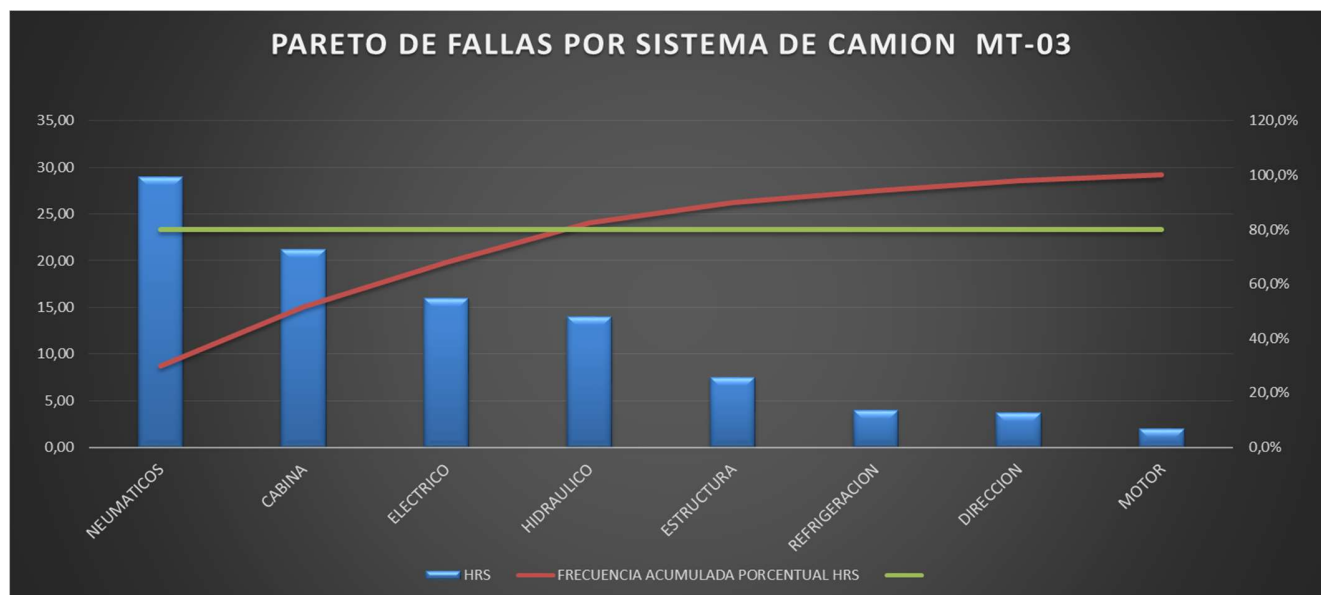
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de sistemas del camión MT-02 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma: el 80 % de los sistemas que más fallaron y generaron el mayor tiempo detención se encuentran el sistema de suspensión con un total de un acumulado en horas de detención de 695,5 horas y el sistema de transmisión con un total acumulado de 220,1 horas. Por lo que dentro del 20 % restante de los sistemas que han fallado se encuentran los sistemas menos significativos acumulando 514,2 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.6: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-02.



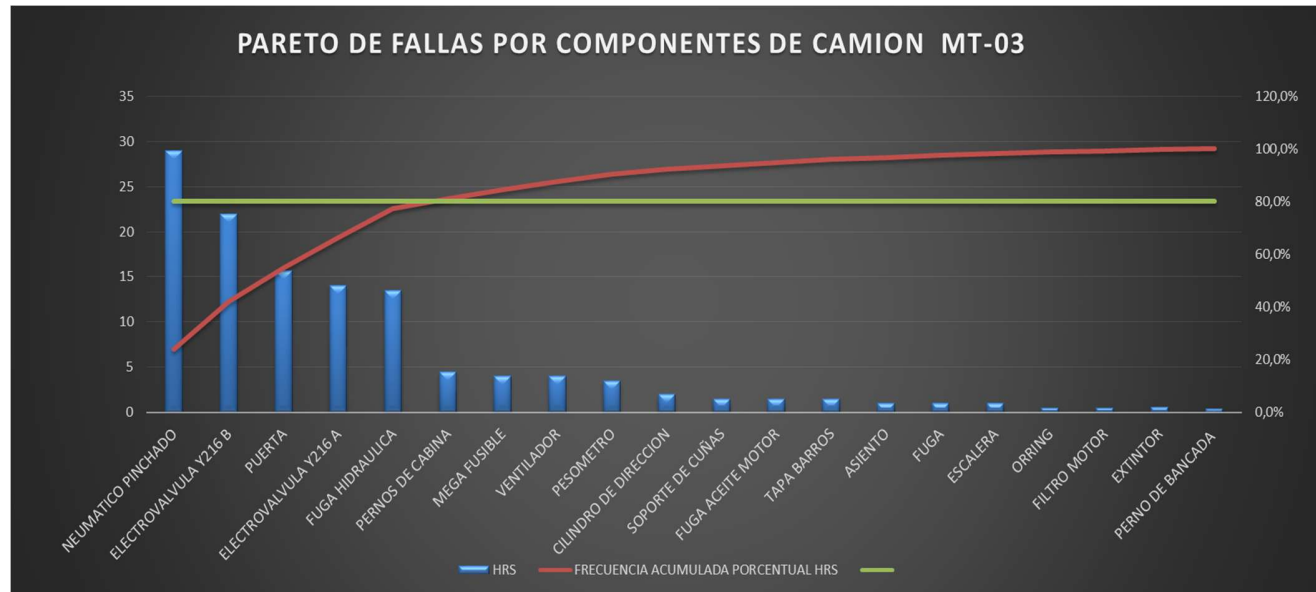
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de componentes del camión MT-02 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma: Dentro del 80 % de los componentes que más fallaron y generaron el mayor tiempo detención Se encuentran los ductos de cilindro de suspensión con un total acumulado de 679 horas, flanje de PTO con un total de 144 horas, bancadas de cilindro de suspensión con un total de 116 horas, válvula auxiliar con un total de 82 horas, neumatico pinchado con un total acumulado de 76 horas, filtros de transmisión con un total acumulado de 47.5 horas, soportes acumulando un total de 47.5 horas y protección de transmisión y acumulando un total de 45 horas. Acumulado un total de horas de detención de 1.237 horas. Por lo que dentro del 20 % restante de los componentes que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 308,2 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.7: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT- 03.



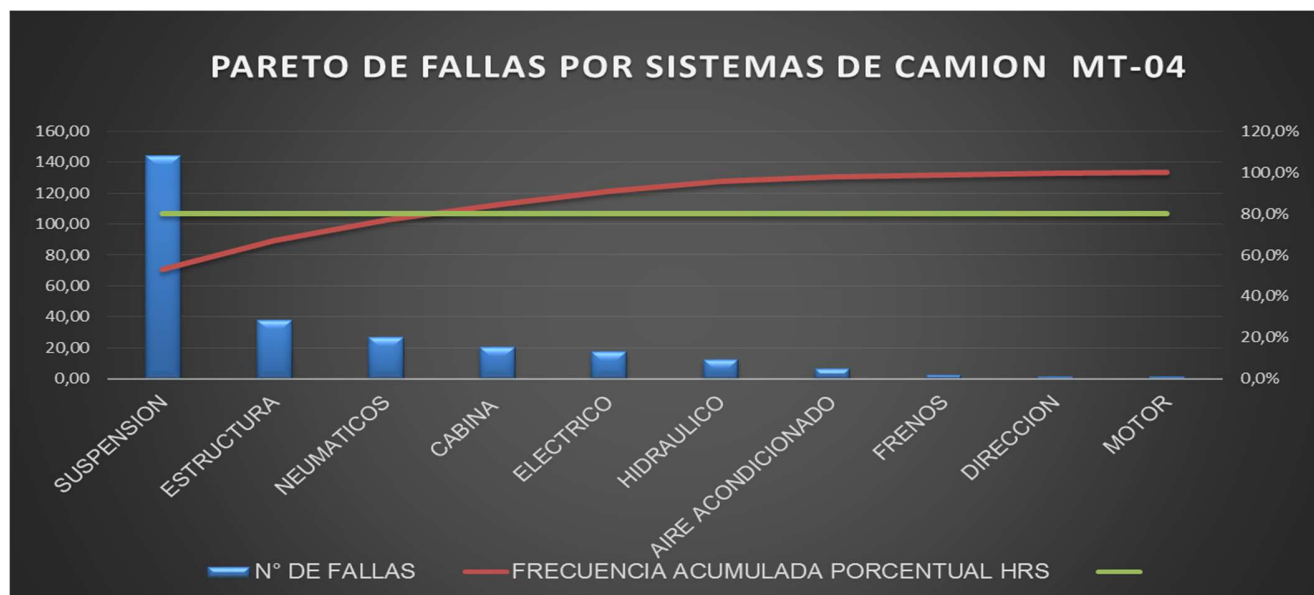
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de sistemas del camión MT-03 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma: dentro del 80% de los sistemas que más fallaron y generaron el mayor tiempo de detención se encuentran el sistema de rodados, con un total acumulado en horas de detención de 29 horas, el sistema de cabina con un total acumulado de 21,21 horas y el sistema eléctrico con un total acumulado de 16 horas; Por lo que dentro del 20 % restante de los sistemas que han fallado se encuentran los sistemas menos significativos acumulando 31,2 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.8: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-03.



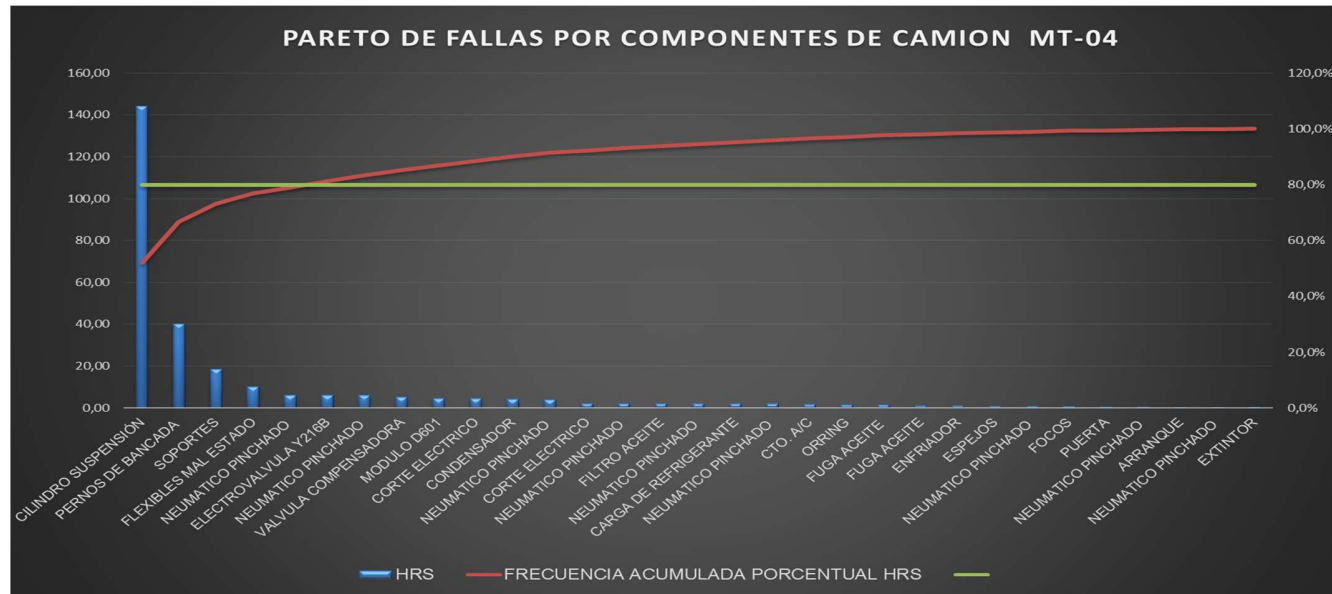
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de componentes del camión MT-03 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma, dentro del 80% de los componentes que más fallaron y generaron el mayor tiempo detención se encuentran: Los neumáticos con un total acumulado en horas de detención de 29 horas, electroválvula de frenos Y216B con 22 horas, la puerta de cabina acumulando 15,7 horas, electroválvula de freno Y216B con 14 horas y fuga hidráulica acumulando 13.5 horas. Por lo que dentro del 20% restante de los componentes que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 27,5 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.9: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-04.



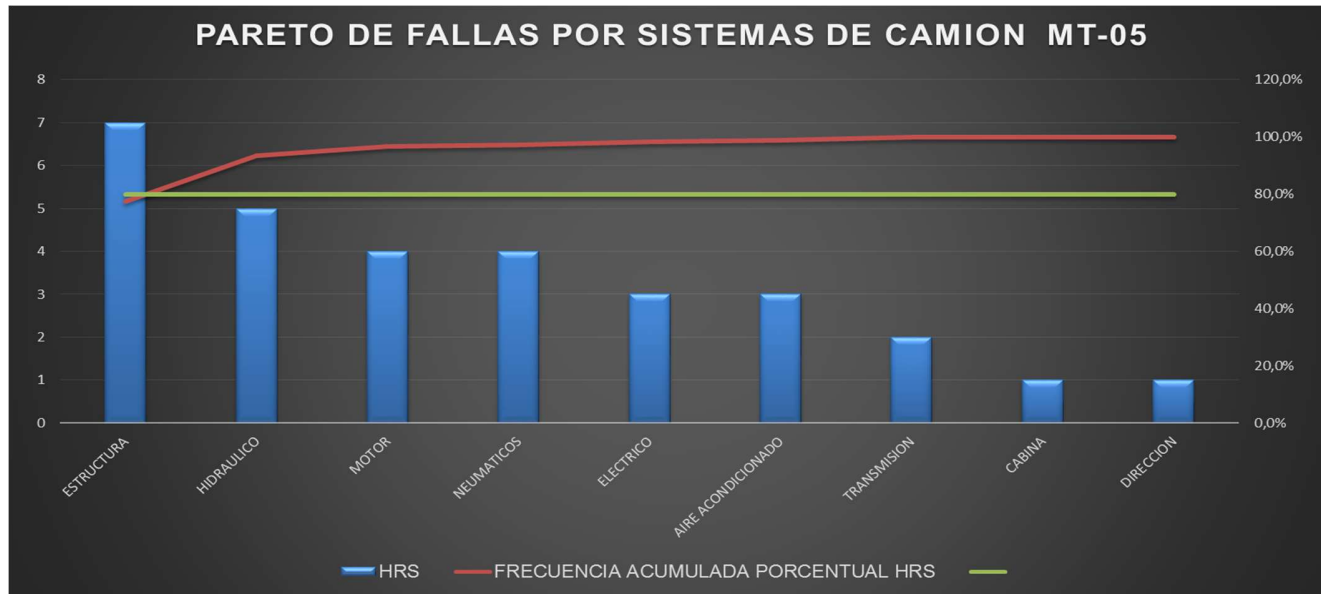
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de sistemas del camión MT-04 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma, dentro del 80% de los sistemas que más fallaron y generaron el mayor tiempo detención se encuentra el sistema de suspensión con un total acumulado en horas de detención de 144 horas, el sistema de carrocería con 38 horas y el sistema de rodados con 27 horas; Por lo que dentro del 20% restante de los sistemas que han fallado se encuentran los sistemas menos significativos acumulando 62,4 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.10: Pareto de horas de fallas por componentes de equipo MT-04.



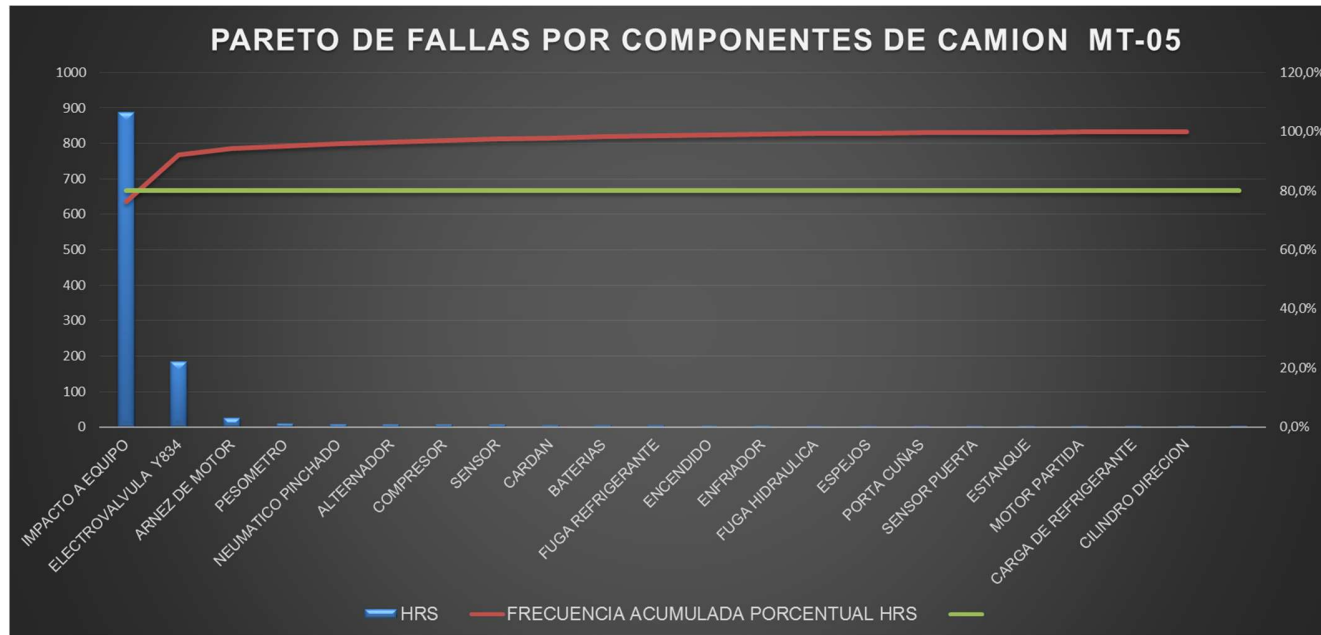
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de componentes del camión MT-04 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma, dentro del 80% de los componentes que más fallaron y generaron el mayor tiempo detención se encuentra: el cilindro de suspensión con un total acumulado en horas de detención de 144 horas, los pernos de bancada con 40 horas, los soportes de cabina con 18,5 horas y flexibles hidráulicos con 10,1 horas. Por lo que dentro del 20% restante de los componentes que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 57,6 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.11: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipo MT-05.



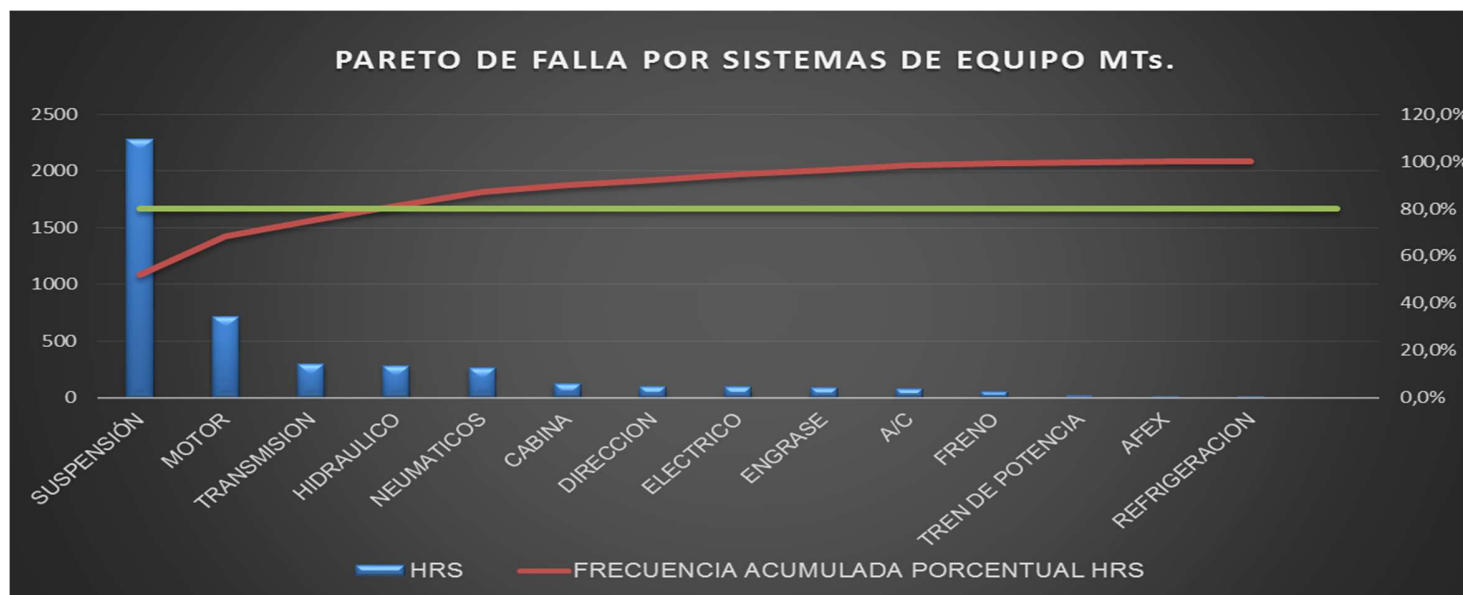
Del gráfico que expone el Pareto de tiempo de detención por fallas de sistemas del camión MT-05 se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo del equipo en evaluación, este ha presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma: dentro del 80 % de los sistemas que más fallaron y generaron el mayor tiempo detención se encuentra el sistema carrocería con un total acumulado en horas de detención de 888 horas., el sistema hidráulico con un total acumulado de 184 horas, por lo que dentro del 20 % restante de los sistemas que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 91 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.12: Pareto de horas de fallas por componentes de equipos MT- 05.



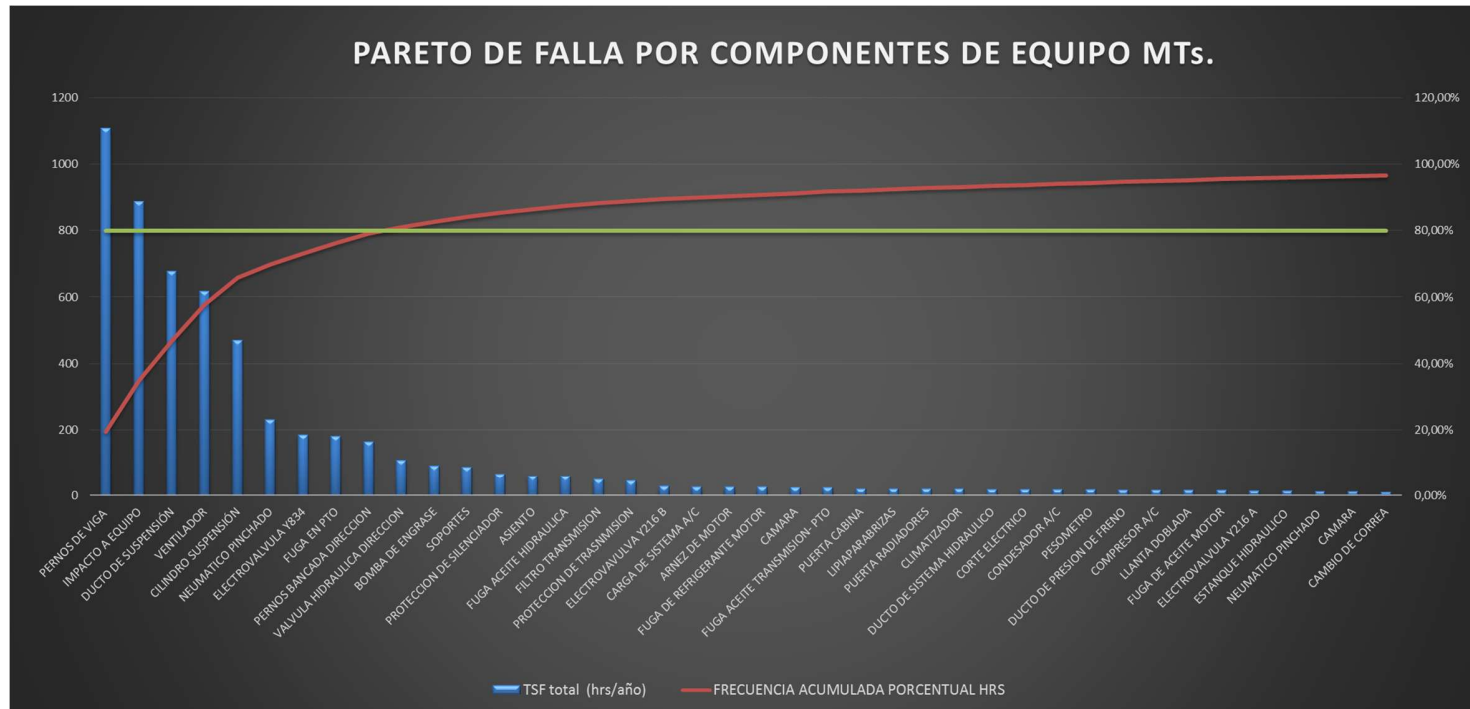
Del gráfico que expone el Pareto de tiempos de detención por fallas de componentes de los camiones MT -65 en estudio se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo de los equipos en evaluación estos han presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma, dentro del 80 % de los componentes que más fallaron y generaron mayor tiempo detención se encuentran el impacto de carácter operacional con un total acumulado en horas de detención de 888 horas., la Electroválvula Y834 con un total de un acumulado en horas de detención de 184 horas. Por lo que dentro del 20 % restante de los componentes que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 91 horas de detención por fallas.

Gráfico N° 4.13: Pareto de horas de fallas por sistemas de equipos MT.



Del gráfico que expone el Pareto de tiempos de detención por fallas de los sistemas de los camiones MT-65 en estudio se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo de los equipos en evaluación estos han presentado diversas fallas: distribuyéndose de la siguiente forma, dentro del 80 % de los sistemas que más fallaron y generaron mayor tiempo detención con un total de 4.027,1 horas. Se encuentran el sistema de suspensión con un total acumulado en horas de detención de 2.275,5 horas., el sistema de motor con un total de un acumulado en horas de detención de 717,1 horas, el sistema de transmisión con un total de un acumulado en horas de detención de 292,6 horas., por lo que dentro del 20 % restante de los sistemas que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 1.105,2 horas

Gráfico N° 4.14: Pareto de horas de fallas por componentes de equipos MT.



Del gráfico que expone el Pareto de tiempos de detención por fallas de los sistemas de los camiones MT -65 en estudio se desprenden las siguientes observaciones: A lo largo del periodo de trabajo de los equipos en evaluación estos han presentado diversas fallas, distribuyéndose de la siguiente forma, dentro del 80 % de los componentes que más fallaron y generaron mayor tiempo detención con un total de 4.522,5 horas. Donde se encuentran los siguientes componentes; Pernos de viga con un total acumulado en horas de detención 1.108 horas, Impacto a equipo con un total de un acumulado en horas de detención de 888 horas, Ducto de suspensión con un total de un acumulado en horas de detención de 679 horas, Ventilador con un total acumulado en horas de detención 618,5 horas, Cilindro de suspensión con un total de un acumulado en horas de detención de 469 horas, Neumático Pinchado con un total de un acumulado en horas de detención de 231 horas, Válvula Y834 con un total de un acumulado en horas de detención de 184 horas, Fuga por PTO con un total de un acumulado en horas de detención de 180 horas, Pernos de bancada con un total de un acumulado en horas de detención de 165 horas, por lo que dentro del 20 % restante de los sistemas que han fallado se encuentran los menos significativos acumulando 1.397,8 horas de detención por fallas en el periodo de estudio.

4.2.3 presentación de resultados.

En base a los análisis anteriores donde evaluamos los indicadores de mantenimiento aplicados a los equipos en estudio y al análisis de fallas mediante gráficos de Pareto se obtuvieron los siguientes resultados:

4.2.3.1 Del primer análisis se resume lo siguiente:

- ✓ La disponibilidad media de los equipos en estudio ponderó en un 71.38 % distribuyéndose de la siguiente forma:
 1. Para el camión MT 01 la disponibilidad alcanzada fue de un 55,5 %.
 2. Para el camión MT 02 la disponibilidad alcanzada fue de un 76,4 %.
 3. Para el camión MT 03 la disponibilidad alcanzada fue de un 85,8 %.
 4. Para el camión MT 04 la disponibilidad alcanzada fue de un 89,9 %.
 5. Para el camión MT 05 la disponibilidad alcanzada fue de un 57,3 %.

Siendo los equipos MT 04 y MT 03 los que mejor disponibilidad obtuvieron y el equipo MT 01 el que obtuvo la peor disponibilidad respecto a una ISO disponibilidad de un 80 %.

- ✓ La confiabilidad media de los equipos en estudio pondero en un 76.32 % distribuyéndose de la siguiente forma:
 1. Para el camión MT 01 la confiabilidad alcanzada fue de un 62,2 %.
 2. Para el camión MT 02 la confiabilidad alcanzada fue de un 84,8 %.
 3. Para el camión MT 03 la confiabilidad alcanzada fue de un 90,4 %.
 4. Para el camión MT 04 la confiabilidad alcanzada fue de un 85,7 %.
 5. Para el camión MT 05 la confiabilidad alcanzada fue de un 58,5 %.

Siendo los equipos MT 02, MT 03 y MT 04 los que mejor confiabilidad obtuvieron y el equipo MT 05 el que obtuvo la peor confiabilidad respecto a una ISO confiabilidad de un 80 %.

- ✓ El tiempo medio de buen funcionamiento MTBF de los equipos en estudio fluctuó en 98,2 horas de buen funcionamiento distribuyéndose de la siguiente forma en el periodo en estudio
 1. Para el camión MT 01 el MTBF alcanzado fue de 123 horas en promedio.

2. Para el camión MT 02 el MTBF alcanzado fue de 92 horas en promedio.
3. Para el camión MT 03 el MTBF alcanzado fue de 99 horas en promedio.
4. Para el camión MT 04 el MTBF alcanzado fue de 110 horas en promedio.
5. Para el camión MT 05 el MTBF alcanzado fue de 67 horas en promedio.

Siendo el equipo MT 01 y MT03 el que obtuvieron el mejor promedio de tiempo medio de buen funcionamiento.

- ✓ El tiempo medio de reparación MTTR de los equipos en estudio fluctuó en 46,2 horas de reparación distribuyéndose de la siguiente forma en el periodo en estudio
 6. Para el camión MT 01 el MTTR alcanzado fue de 42 horas en promedio.
 7. Para el camión MT 02 el MTTR alcanzado fue de 11 horas en promedio.
 8. Para el camión MT 03 el MTTR alcanzado fue de 7 horas en promedio.
 9. Para el camión MT 04 el MTTR alcanzado fue de 10 horas en promedio.
 10. Para el camión MT 05 el MTTR alcanzado fue de 161 horas en promedio.

Siendo el equipo MT 02, MT03 y MT04 el que obtuvieron el mejor promedio de tiempo medio de reparación.

4.2.3.2 Del segundo análisis se resume lo siguiente:

El análisis por diagramas del tipo Pareto de los equipos en estudio pudimos obtener las siguientes observaciones

- ✓ Dentro del 20 % de las fallas por sistemas de los equipos en estudio que acumularon el 80 % de los tiempos de detención, se observa lo siguiente;

Los sistemas de suspensión, estructura, motor y transmisión concentraron un total de 4407.1 horas de detención con un total de 95 detenciones
- ✓ Dentro del 20 % del total de fallas por componentes de los equipos en estudio que acumularon el 80 % de los tiempos de detención, se observa lo siguiente;

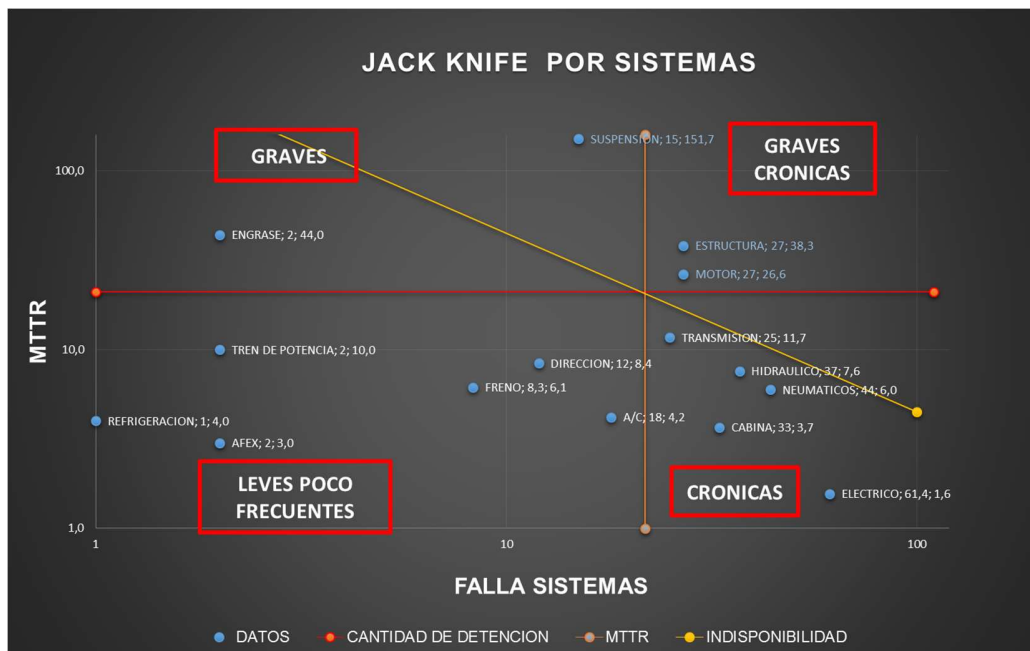
Los siguientes componentes; pernos de viga, impacto de equipo, ducto de suspensión, ventilador, cilindro de suspensión y pernos de bancada, concentraron un total de 4529.5 horas de detención con un total de 63 detenciones

4.4 Priorización y evaluación de resultados:

Para cumplir con este cometido trabajaremos con la herramienta Jack Knife donde utilizaremos de manera análoga al estudio de los gráficos de Pareto, las mismas tablas como base de datos. Donde someteremos a este análisis, tanto los sistemas como los componentes que fallaron de los equipos en estudio esperando ver el comportamiento de las frecuencias y gravedad de las fallas para poder segregar e identificar los tipos de falla, entre fallas Graves, Graves Crónicas, crónicas y leves poco frecuentes.

4.4.1 Jack nife por sistemas

Gráfico N° 4.15: Jack knife de fallas por sistemas de equipos MT.

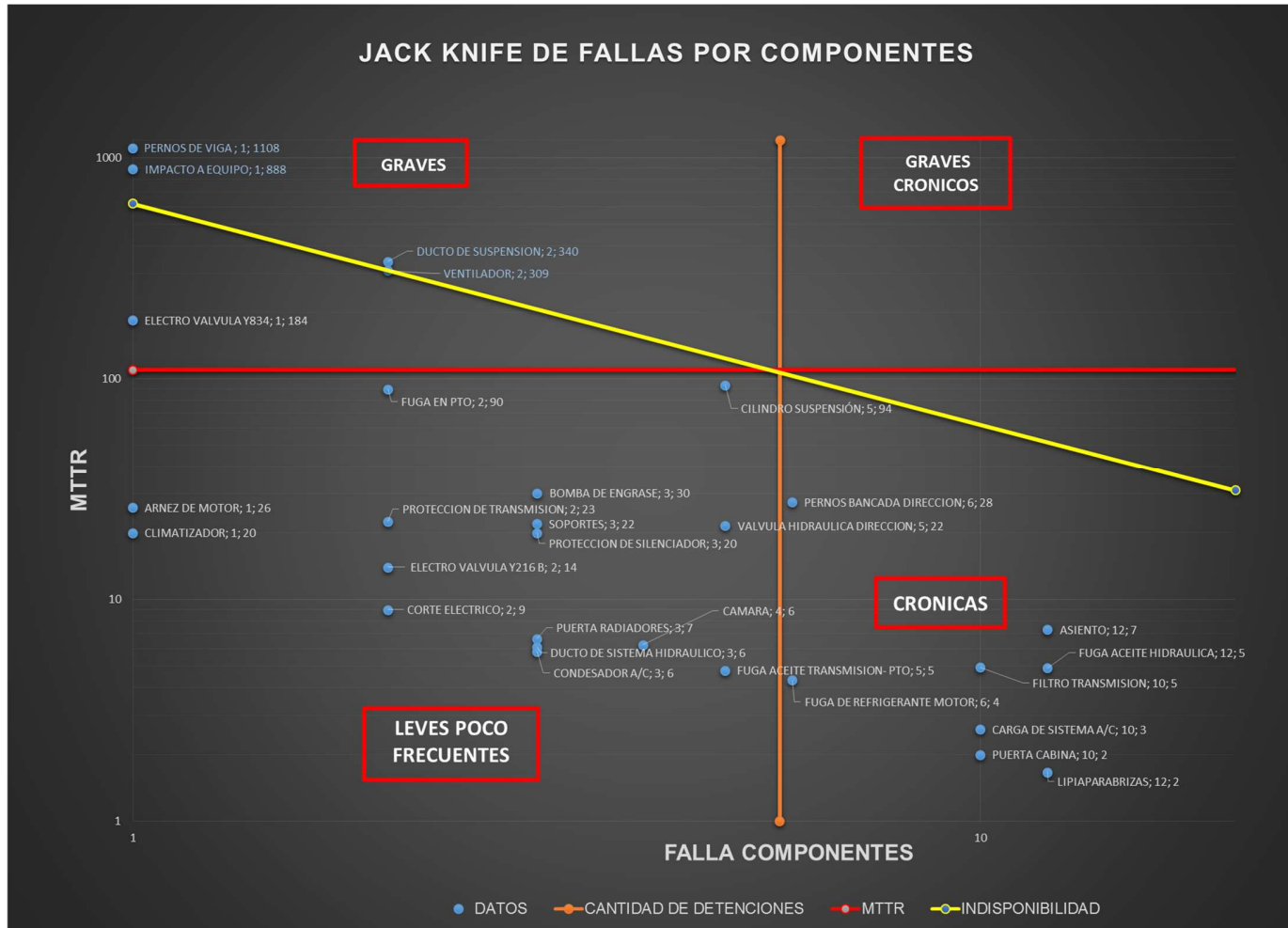


El grafico Jack Knife que expone la dispersión de frecuencia v/s el índice MTTR de las fallas por sistemas, se observa lo siguiente:

- ✓ Dentro de los sistemas catalogados como graves Crónicos; se obtuvieron los sistemas de estructura y Motor, ya que presentaron alto índice de frecuencias de falla con un alto índice de MTTR.
- ✓ Dentro de los sistemas catalogados como graves; se obtuvo el sistema de engrase, ya que presento un bajo índice de frecuencia de falla con un alto índice de MTTR.
- ✓ Dentro de los sistemas catalogados como crónicos; se obtuvieron los sistemas de Transmisión, Hidráulico, Neumáticos, Cabina y Eléctrico, ya que presentaron un bajo índice de frecuencias de fallas y un alto índice de MTTR.
- ✓ Dentro de los sistemas catalogados como leves poco frecuentes; se obtuvieron los sistemas de Tren de potencia, Dirección, Refrigeración, Afex y A/C, ya que presentaron un bajo índice de frecuencia de falla y un bajo MTTR.
- ✓ De los sistemas comparados con respecto a la indisponibilidad se segregan dentro de los graves crónicos los siguientes sistemas; el sistema de suspensión con una frecuencia de 15 fallas, acumulando 2275,5 horas de detención y un MTTR de 151,7 horas; el sistema de estructura con una frecuencia de 27 fallas, acumulando 1034,5 horas de detención y un MTTR de 38,3 horas y el sistema de motor con una frecuencia de 27 fallas, acumulando 717,1 horas de detención y un MTTR de 26,6 horas.

4.4.2 Jack Nife por componentes.

Gráfico N° 4.16: Jack knife de fallas por componentes de equipos MT.



El grafico Jack Knife que expone la dispersión de frecuencia v/s el índice MTTR de las fallas por componentes, se observa lo siguiente:

- ✓ Dentro de los componentes catalogados como “Graves Crónicos”, no se obtuvieron componentes que estuviesen segregados en este cuadrante.
- ✓ Dentro de los componentes catalogados como “Graves”, se obtuvieron los siguientes; impacto de equipo, pernos de viga, ducto de suspensión, ventilador electro válvula Y834 y cilindro de suspensión, ya que presento un bajo índice de frecuencia de falla con un alto índice de MTTR.
- ✓ Dentro de los elementos catalogados como “Crónicos”, se obtuvieron los siguientes; pernos de bancada, asiento, filtro de transmisión, fuga de aceite hidráulica, fuga de refrigerante motor, carga de sistema A/C, limpia parabrisas y puerta de cabina, ya que presentaron un bajo índice de frecuencias de fallas y un alto índice de MTTR.
- ✓ Dentro de los componentes catalogados como “Leves poco frecuentes”, se obtuvieron los siguientes; bomba de engrase, protección de transmisión, soporte de motor, válvula de dirección, protección de silenciador, porta de radiadores, ducto de sistema hidráulico, condensador de A/C, fuga de aceite de transmisión, arnés de motor y climatizador, ya que presentaron un bajo índice de frecuencia de falla y un bajo MTTR.
- ✓ De los componentes comparados con respecto a la indisponibilidad se segregan dentro de los más graves los siguientes; impacto de equipo con una frecuencia de 1 falla, acumulando 888 horas de detención y un MTTR de 888 horas; pernos de viga con una frecuencia de 1 falla, acumulando 1108 horas de detención y un MTTR de 1.108 horas, ductos de suspensión con una frecuencia de 2 fallas, acumulando 669 horas de detención y un MTTR de 340 horas y el ventilador con una frecuencia de 2 fallas, acumulando 618,5 horas de detención y un MTTR de 309 horas.

4.4.3 Comentarios.

De los resultados anteriormente expuestos en el análisis gráfico de priorización se puede apreciar un resultado puntual en la evaluación de los componentes que fallaron. Ya que de los cuatro componentes que se lograron segregar en el cuadrante de fallas graves comparadas respecto a indisponibilidad, se presenta una falla de origen operacional, que si bien presenta una sola frecuencia falla, acumula mucho tiempo de detención, alrededor de 888 horas por lo que queda fuera del análisis de priorización de fallas por ser un hecho aislado producido por consecuencias anexas al funcionamiento del equipo. Ya que esta falla corresponde a una colisión con otro equipo, quedando fuera de servicio a consecuencia de los daños y a la espera de una reparación mayor.

Para ahondar en el análisis de los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye que, del análisis gráfico por Pareto, se pueden visualizar los sistemas y componentes que presentaron fallas respecto a los tiempos de detención, pudiendo evidenciar las fallas más significativas y las menos relevantes. Quedando con ciertas dudas que vinieron a ser resueltas por el análisis de gráficos de dispersión Jack knife donde pudimos priorizar las fallas dándole una ponderación de criticidad de falla en función de indicadores de mantenimiento como la indisponibilidad, tiempos medios de mantención y tiempos medios de reparación, lo que arrojó como resultado lo siguiente. Los componentes segregados en el cuadrante de fallas graves son; pernos de viga, ducto de suspensión y ventilador siendo estos los que generaron mayor impacto desde el punto de vista del estudio de las fallas, por lo que, a continuación, se entrega una cuantificación económica para esclarecer su impacto desde el punto de vista de los costos de ineficiencia por indisponibilidad y a la vez realizaremos un análisis de causa raíz con el método de los 5 por qué.

Valor tonelada = 15.000 \$/TON

Flujo de mineral = 30 TON/ HRS

Valor dólar = \$ 685.

Tabla de valorización de fallas.

Tabla N° 4.24: Tabla de valorización por falla de camiones. MT-65.

TABLA DE VALORIZACION FALLA DE CAMIONES MTs						
N°	COMPONENTE	TTR	FRECUENCIA DE FALLAS	COSTO INEFICIENCIA TON	COSTO INEFICIENCIA \$	COSTO INEFICIENCIA US\$
1	PERNOS DE VIGA	1108	1	33240	\$ 498.600.000	\$ 727.883
2	DUCTO DE SUSPENSION	679	2	20370	\$ 305.550.000	\$ 446.058
3	VENTILADOR	618,5	2	18555	\$ 278.325.000	\$ 406.314

Como se puede apreciar de la tabla de valorización de fallas y mediante la previa obtención de los componentes que presentaron fallas más graves, se puede determinar que, en términos económicos sobre estos, lo siguiente:

- ✓ La falla de pernos de viga obtuvo un costo de ineficiencia por indisponibilidad, en dólares de US\$ 727.883 y en moneda nacional de \$ 498.600.000 por concepto de dejar de extraer 33.240 toneladas de mineral por las 1.108 horas que estuvieron detenidos los equipos.
- ✓ La falla de ductos de suspensión obtuvo un costo de ineficiencia por indisponibilidad, en dólares de US\$ 446.058 y en moneda nacional de \$305.550.000 por concepto de dejar de extraer 20.370 toneladas de mineral por las 679 horas que estuvieron detenidos los equipos.
- ✓ La falla de ventilador obtuvo un costo de ineficiencia por indisponibilidad, en dólares de US\$ 406.313 y en moneda nacional de \$ 278.325.000 por concepto de dejar de extraer 18.555 toneladas de mineral por las 618,5 horas que estuvieron detenidos los equipos.

4.5 Análisis RCA según métodos 5 ¿por qué?

Una vez detectadas las 3 fallas más importantes y con mayor impacto, Se realiza un análisis causa raíz, con el método de los 5 ¿Por qué? Con el objetivo de analizar y entregar una serie de recomendaciones para evitar que estas fallas vuelvan a ocurrir, y/o detectarlas de forma temprana y contar con las herramientas para corregirlas.

Síntesis.

En los últimos 18 meses de operación de los camiones MT-65, de la compañía minera S.C.M. Carola han generado 4.395,1 horas de detenciones no programadas, no considerando 1 eventos más catastróficos (impacto), estas fallas han registrado en su totalidad un costo de ineficiencia de USD \$1.580.255.- y más de 6 meses de detención en algunos equipos, a causa de la no disponibilidad de repuestos y fallas operacionales que afectan directamente en los indicadores MTTR y MTBF.

Objetivo.

Mejorar el proceso de trabajo del equipo de mantención para optimizar la operación de extracción de mineral, mejorando así los procesos de mantención preventiva y proactiva, reduciendo al mínimo las detenciones no programadas y los costos asociados a estas.

Alcance.

Estas recomendaciones apuntan a mejorar los procesos de mantenimiento y aumentar los indicadores MTBF y reducir el MTTR en los equipos en estudio, los cuales pierden valiosas horas productivas en las detenciones no programadas, elevando los costos de reparaciones.

Tabla de los 5 ¿Porque?

Tabla N° 4.25: Tabla de análisis RCA – 5 ¿Por qué?

Problema que genera detención.	1 ¿Por qué?	2 ¿Por qué?	3 ¿Por qué?	4 ¿Por qué?	5 ¿Por qué?	Solución.
Viga A fuera de lugar.	Pernos de viga A cortados.	Pernos sueltos y oxidados.	Sector se encuentra con exceso de barro.	Falta de limpieza y mantención.	Desconocimiento de la función de los pernos.	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitación a personal. - Inspeccionar apreté de pernos en pauta de mantención de 500 horas. - Cambio de pernos de viga A en la pauta de mantención de 2.000 horas.
Equipo sin aceite hidráulico.	Fuga hidráulica por suspensión	Ducto de suspensión en mal estado.	Ducto con desgaste por roce.	Ducto se encontró mal ubicado.	Sin elemento de sujeción a estructura de chasis.	<ul style="list-style-type: none"> - Buscar una posición nueva del ducto, para evitar roce, con la estructura. - Mantener un Stock crítico de ducto como repuestos en bodega.
Equipo con alta temperatura de refrigerante de motor.	Ventilador en mal estado.	Aspa de ventilador en mal estado y detenida.	Pernos ajenos al sector de ventilador.	Pernos del conjunto de enfriadores sueltos y fuera de lugar.	Pernos con apreté deficiente de fábrica.	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar apreté de pernos en la pauta de mantención de 500 horas.

4.5.1 Recomendaciones.

Como resultado de análisis de causa raíz, este evidencio ciertas falencias en departamento de mantención, que a continuación se describirán como recomendaciones.

- Aumentar la dotación de personal mecánico en los turnos día y noche.
- Realizar una capacitación al personal de mantención sobre el camión MT-65.
- Conformar un grupo de mantención, que se encarguen de las mantenciones programadas.
- Solicitar un contrato de asesoría técnica, para apoyar al personal mecánico.
- Realizar una pauta de mantención del camión MT-65, incluyendo los resultados del análisis causa raíz.
- Aumentar el stock crítico de repuestos mediante una bodega a concesión con Epiroc, donde se incluyan los repuestos nombrados en el resultado del análisis causa raíz.

Conclusión.

Con el término de este proyecto, se puede concluir que la base de cualquier modelo de gestión para los activos físicos como las flotas de equipos móviles es la correcta identificación de las averías de los equipos, pudiendo así determinar los sistemas críticos, componentes y las causas de los tiempos de detención no programados.

Por ende, se torna imprescindible contar con los registros detallados de cada detención y los TTR de estas, permitiendo identificar de forma eficaz las fallas producidas en los equipos y así poder estudiar, analizar y recomendar una estrategia para mitigar el impacto de las fallas a futuro.

Con la recopilación de datos en los formatos confeccionados y el análisis de los modos de fallas se formó una percepción de la concentración de los tiempos de detención no programados y estos se debían a que el camión MT no tenía altas frecuencias de fallas sino que el departamento de mantención, específicamente el área de planificación no podían abordar de manera eficaz la gestión rápida de los componentes involucrados en las fallas, sumado a esto el asesor y concesionario Epiroc no contaba con ciertos repuestos en Chile generándose desabastecimiento de repuestos para su sustitución inmediata y el restablecimiento de equipo a un estado operativo.

A la vez las herramientas de priorización e indicadores de mantenimiento plasmaron a cabalidad su cometido dándonos las directrices y orientación precisa del desempeño de los equipos, en el tiempo de estudio según las fallas que estos presentaron.

Respecto a los modos de fallas más críticas encontradas, las recomendaciones más predominantes y simples para estos casos es la implementación de una pauta de mantención personalizada, donde se incluyen los resultados del análisis de causa raíz y mejorar el stock crítico de repuestos, mediante la implementación de una bodega a concesión con Epiroc Chile, que incluya los repuestos que se evidenciaron que fallaron a lo largo del presente estudio.

Bibliografía

Adolfo Arata Andreani, (2013) "Ingeniería de la confiabilidad:", -: Providencia, Santiago de Chile: RIL editores.

Ángel Gómez, (2001) "Manual del ingeniero en manteamiento:"

Epiroc (2017) "Curso camión minero MT-65"

<https://tesisymasters.com>, 26 de mayo de 2021, 21:30.

<https://www.youtube.com/watch?v=kRv1iEFCNBM&t=666s>, 10 de octubre de 2021, 00:30.

<https://sites.google.com/view/cigamperu/inicio?authuser=0>, 5 de septiembre de 2021, 21:00.

<https://www.tableau.com/es-mx/learn/articles/root-cause-analysis>, 16 de noviembre de 2021, 19:30.