

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Propuesta de plan de mantenimiento proactivo para la
flota de camiones de acarreo en la unidad minera
Constancia**

Edgar Alvaro Villalta Manchego

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Frank William Zárate Peña
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 8 de abril de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:
PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO PARA LA FLOTA DE CAMIONES DE ACARREO EN LA UNIDAD MINERA CONSTANCIA

Autor:
EDGAR ALVARO VILLALTA MANCHEGO – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

ASESOR

Mag. FRANK WILLIAM ZARATE PEÑA

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a las personas que han sido los principales impulsores de mi presencia aquí hoy. En especial, agradezco a mis padres, Edgar y Graciela, quienes no solo me dieron la vida, sino que también me alentaron a no rendirme en cada etapa de mi trayectoria. La persona que soy se debe a su constante apoyo. A mi segunda madre, María Josefa, mi abuela y compañera cariñosa, «Chepita». También, a mi abuelo Clemente, quien me brindó el aliento necesario en los momentos más críticos. A ellos, mi eterna gratitud por su paciencia y amor incondicional.

AGRADECIMIENTO

A la vida y a Dios, por mi invaluable familia, destacando a mis padres como el pilar de mi existencia. Agradezco cada día por su incansable esfuerzo, ejemplar superación, sacrificio y, sobre todo, por inculcarme valores fundamentales, como la humildad. También rindo homenaje a mis entrañables abuelos, Benito, María, Clemente y Ofelia, cuyo legado siempre llevo conmigo de manera presente. Extendiendo mi gratitud a la Universidad Continental y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica, reconozco a mis profesores por sus valiosos consejos y contribuciones académicas que enriquecieron mi formación. Agradezco a mis buenos amigos, cuya compañía hizo más llevadera esta travesía de investigación, y a mis colegas, quienes brindaron apoyo, motivación y fueron un claro ejemplo para mi desarrollo personal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Asesor	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción	xv
Capítulo I	16
Planteamiento del problema	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	16
1.1.1. Problema general.....	17
1.1.2. Problemas específicos	17
1.2. Objetivos de la investigación	18
1.2.1. Objetivos generales	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Justificación de la investigación.....	18
1.3.1. Importancia de la investigación	18
1.3.2. Viabilidad de la investigación.....	19
1.3.3. Limitaciones del estudio	19
1.4. Variables.....	19
1.4.1. Variable independiente	19
1.4.1.1. Diseño de plan de mantenimiento proactivo.....	19
1.4.2. Variable dependiente.....	20
1.5. Operacionalización de variables.....	21
Capítulo II	22
Marco teórico	22
2.1. Antecedentes de la investigación.....	22
2.1.1. Antecedentes nacionales	22
2.1.2. Antecedentes internacionales	24
2.1.3. Antecedentes locales	25
2.2. Bases teóricas.....	27
2.2.1. Evolución del mantenimiento	27

2.2.1.1. Objetivo del mantenimiento.....	28
2.2.2. Clases de mantenimiento	28
2.2.2.1. Mantenimiento preventivo	28
2.2.2.2. Mantenimiento predictivo	28
2.2.2.3. Mantenimiento correctivo.....	29
2.2.2.4. Mantenimiento proactivo	29
2.2.3. Indicadores de mantenimiento	30
2.2.3.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	30
2.2.3.2. Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)	31
2.2.3.3. Disponibilidad.....	32
2.2.4. Análisis de criticidad.....	32
2.2.5. Diagrama de Pareto.....	35
2.2.6. Análisis de causa – raíz (ACR).....	36
2.2.6.1. Análisis de modo y efecto de la falla (AMEF)	36
2.2.7. Características de camión de acarreo Caterpillar 793F.....	36
2.2.7.1. Descripción del equipo.....	37
2.3. Definición de términos básicos.....	43
Capítulo III.....	44
Metodología	44
3.1. Método y nivel de investigación	44
3.1.1. Método de investigación	44
3.1.2. Nivel de investigación.....	44
3.2. Diseño de investigación	45
3.3. Población y muestra.....	45
3.3.1. Población.....	45
3.3.2. Muestra	46
3.4. Técnicas e instrumentos considerados	46
3.4.1. Entrevistas.....	46
3.4.2. Documental	46
3.4.3. Registro de historial de fallas y mantenimiento.....	47
3.4.4. Registro de disponibilidad de los equipos.....	47
3.4.5. Manuales	47
3.4.6. Ficha técnica	47
3.5. Método	47
3.5.1. Cálculo y análisis de los indicadores	48
3.5.2. Análisis de causa raíz (ACR) y AMEF.....	52

3.5.3. Elaboración de un plan para controlar la causa raíz y preservarla de una manera sostenible en el tiempo con base en KPI.....	52
Capítulo IV	53
Resultados y discusión	53
4.1. Diagnóstico del mantenimiento.....	53
4.1.1. Atribuciones y responsabilidades.....	53
4.1.1.1. Jefe de mantenimiento	53
4.1.1.2. Jefe de taller	54
4.1.2. FODA.....	54
4.1.3. Proceso de mantenimiento	55
4.2. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	56
4.2.1. Selección de unidades críticas.....	56
4.2.2. Cálculo y análisis de indicadores	57
4.2.3. Componentización de activos y análisis de criticidad por equipo	58
4.2.4. Identificación de los subsistemas más críticos mediante el análisis de criticidad y Pareto. Detenciones programadas y no programadas de activos críticos 2020	61
4.2.5. Análisis de criticidad.....	62
4.2.6. Diagrama de Pareto	65
4.2.7. Análisis causa raíz.....	66
4.2.8. AMEF	71
4.3. Plan de mantenimiento actual	82
4.3.1. Actividades	82
4.3.2. Plan de mantenimiento actual	83
4.3.3. Programación de rotación de neumáticos	84
4.4. Plan de mantenimiento proactivo.....	86
4.4.1. Creación del plan de mantenimiento proactivo.....	86
4.4.2. Plan de mantenimiento proactivo propuesto	86
4.4.2.1. Tareas proactivas recomendadas para el sistema de Neumáticos	87
4.4.2.2. Tareas recomendadas para el sistema de combustible	89
4.5. Cuadro comparativo.....	90
Conclusiones	91
Recomendaciones	93
Lista de referencias	94
Anexos.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	21
Tabla 2. Codificación de equipos de acarreo Caterpillar 793F	45
Tabla 3. Muestra	46
Tabla 4. Formato de componentización de activos.....	49
Tabla 5. Análisis FODA	54
Tabla 6. Equipos con disponibilidad baja	57
Tabla 7. Indicadores de mantenimiento para unidades críticas.....	58
Tabla 8. Componentización de camión minero Caterpillar 793F	59
Tabla 9. Componentes de camión minero.....	61
Tabla 10. Falla en los sistemas del camión Cat 793f – periodo 2020.....	65
Tabla 11. Análisis de aceite 2021	69
Tabla 12. Análisis de modo y efecto de fallas	72
Tabla 13. Resumen de RPN de los modos de falla mas críticos	78
Tabla 14. Arbol de decisiones.....	79
Tabla 15. Registro de rotaciones de neumáticos 2021	84
Tabla 16. Consumo anual 2021 de neumáticos de la flota por tipo y marca	85
Tabla 17. Consideraciones previas.....	87
Tabla 18. Explosión de llantas	87
Tabla 19. Reventón de llantas	87
Tabla 20. Frecuencias proactivas complementarias para evitar fallas catastróficas	87
Tabla 21. Programación de Mantenimiento Proactivo sistema de combustible	89
Tabla 22. Mantenimiento actual y propuesto – Sistema de combustible	90
Tabla 23. Cuadro comparativo de mantenimiento actual y propuesto – Sistema de Neumáticos	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Táctica de mantenimiento proactivo.....	30
Figura 2. Tiempo medio entre fallas	31
Figura 3. Modelo básico de criticidad.....	33
Figura 4. Modelo de cuadro de ponderación de criterios.....	33
Figura 5. Criterios para el cálculo de la ocurrencia	34
Figura 6. Gráfica de resultados de un análisis de criticidad.....	35
Figura 7. Diagrama de Pareto	35
Figura 8. Camión de acarreo Caterpillar 793F.....	36
Figura 9. Motor Cat.....	37
Figura 10. Estructura de sistema de combustible de baja presión y de alta presión	37
Figura 11. Transmisión	38
Figura 12. Elementos que componen un neumático	39
Figura 13. Terminología del neumático	39
Figura 14. Componentes del sistema de enfriamiento de freno	41
Figura 15. Esquema de sistema hidráulico de enfriamiento de freno	42
Figura 16. Sistema de cajón minero.....	42
Figura 17. Diagrama de bloques	48
Figura 18. Componentización de activos.....	48
Figura 19. Criterios para el análisis de criticidad de sistemas	50
Figura 20. Valoración del nivel de criticidad.....	51
Figura 21. Rangos de criticidad	51
Figura 22. Organización.....	53
Figura 23. Proceso de mantenimiento de la flota.....	56
Figura 24. Disponibilidad de flota Cat.....	57
Figura 25. MTTR Y MTBF	58
Figura 26. Análisis de criticidad de activos críticos- Periodo 2020.....	62
Figura 27. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020	62
Figura 28. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020	63
Figura 29. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020	63
Figura 30. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020	64
Figura 31. Gráfica de criticidad de activos críticos – periodo 2020	65
Figura 32. Diagrama de Pareto	66
Figura 33. Rocas en el área de trabajo	70
Figura 34. Mantenimiento diario con base en la investigación realizada	82

Figura 35. La frecuencia del mantenimiento preventivo- 350 h/operación con base en la investigación realizada	83
Figura 36. Diagrama de plan de mantenimiento	86
Figura 37. Documento de Confirmación documentada proactiva	90

RESUMEN

La tesis «Propuesta de plan de mantenimiento proactivo para la flota de camiones de acarreo en la unidad minera Constancia», aborda el desafío crítico de una baja tasa de disponibilidad promedio del 80.36 % en los vehículos modelo 793F. Esta investigación adopta un enfoque mixto, evaluando parámetros tanto en calidad como en cantidad, y se considera descriptiva al recopilar, ordenar y representar información sobre sucesos. El diseño de investigación es no experimental, ya que se desarrolla sin premeditadamente utilizar variables independientes. La muestra comprende 19 equipos, seleccionando específicamente 5 camiones con baja disponibilidad para el 2020. La metodología incluyó componentización de sistemas, análisis de criticidad y aplicación de Pareto, utilizando el AMEF como herramienta principal. Se propusieron actividades proactivas y nuevas frecuencias para abordar causas fundamentales de fallas, con el objetivo de eliminar el 40 % de las inoperatividades y mejorar tiempos de paralización. El levantamiento de información involucró revisión minuciosa del historial de incidencias y entrevistas con personal de mantenimiento. La evaluación de datos reveló equipos que no cumplían con el *benchmark* mínimo del 88 % de disponibilidad. Identificando indicadores como el tiempo promedio entre fallas (MTBF) y tiempo para reparar (MTTR), se estableció un plan proactivo para alcanzar una disponibilidad del 88 % en la flota, priorizando fallas críticas mediante la división en sistemas y subsistemas. Las entrevistas profundizaron en las causas raíz, contribuyendo con una propuesta integral de mejora.

Palabras claves: AMFE, acarreo, benchmark, MTTR, MTBF, mantenimiento proactivo,

ABSTRACT

The proposed thesis of an initiative-taking maintenance plan for the haul truck fleet at the Constancia mining unit, addressing the critical challenge of a low average availability rate of 80.36% in model 793F vehicles. This research adopts a mixed approach, evaluating parameters in both quality and quantity, and is considered descriptive when collecting, organizing, and representing information about events. The research design is non-experimental since it is developed without deliberately using independent variables. The sample includes 19 teams, specifically selecting 5 trucks with low availability for the year 2020. The methodology included system componentization, criticality analysis and Pareto application, using FMEA as the main tool. Initiative-taking activities and new frequencies were proposed to address fundamental causes of failures, with the objective of eliminating 40 % of inoperability and improving downtime. The collection of information involved a thorough review of the history of incidents and interviews with maintenance personnel. The data evaluation revealed equipment that did not meet the minimum benchmark of 88% availability. Identifying indicators such as mean time between failures (MTBF) and time to repair (MTTR), an initiative-taking plan was established to achieve an availability of 88% in the fleet, prioritizing critical failures by dividing them into systems and subsystems. The interviews delved into root causes, contributing to a comprehensive proposal for improvement.

Keywords: AMFE, benchmark, hauling, MTTR, MTBF, initiative-taking maintenance

INTRODUCCIÓN

Para esta investigación se desarrolla una propuesta de plan de mantenimiento proactivo para la flota de camiones de acarreo de la empresa minera Constancia, como respuesta a la baja disponibilidad de equipos, utilizando AMEF como principal herramienta.

Capítulo I: planteamiento del problema. En este capítulo se aborda la realidad problemática destacando tanto el problema general como los específicos. Se desarrollan los objetivos de la investigación, generales y específicos, y se justifica su relevancia. Además, se presentan las variables, su operacionalización, y se discuten las limitaciones del estudio.

Capítulo II: marco teórico. En el segundo capítulo se realiza una investigación bibliográfica de trabajos de tesis que respalden la problemática de la presente investigación a nivel nacional, internacional y local. Asimismo, se presentan las bases teóricas relacionadas con la evolución del mantenimiento, tipos de mantenimiento e indicadores para un diagnóstico, análisis de criticidad, diagrama 80-20, análisis de causa-raíz, y se proporciona información específica sobre el camión de acarreo Caterpillar 793F. Se define también una serie de términos básicos esenciales para la comprensión del trabajo.

Capítulo III: metodología. En este capítulo se describe el método y nivel de investigación, el diseño de investigación empleado, y la población y muestra seleccionadas para el estudio. Se detallan las técnicas e instrumentos utilizados, como entrevistas, documentación, registros de historial y manuales. La metodología se enfoca en el cálculo y análisis de indicadores, el análisis de causa raíz y, de modo y efecto de fallas, y la elaboración de un plan para controlar la causa raíz.

Capítulo IV: resultados y discusión. El cuarto capítulo inicia con un diagnóstico del mantenimiento, incluyendo atribuciones, responsabilidades y un análisis FODA. Luego, se presenta un análisis de la información, abordando temas como la selección de unidades críticas, cálculo y análisis de indicadores, componentización de activos, análisis de criticidad, diagrama de Pareto, ACR y AMEF. Se expone también el plan de mantenimiento actual y se propone un plan de mantenimiento proactivo, seguido de un cuadro comparativo entre ambos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se sientan las bases para el desarrollo de la investigación y se proporciona una guía clara sobre cómo se aborda el problema.

1.1. Planteamiento y formulación del problema

En el mantenimiento hay distintas etapas y programas, pero todas tienen como finalidad otorgar un tiempo útil de trabajo prolongado realizando las actividades deseadas, el mantenimiento constantemente está combatiendo los desgastes y las fallas que pudieran presentarse al estar en funcionamiento, como también evitar alguna falla que ocasione daños irreparables a las personas y a la empresa, al centrarse directamente en el mantenimiento proactivo, fundamentalmente se orienta con realizar actividades direccionadas para prevenir los causantes que dan comienzo a las fallas (1), son procedimientos básicos pero ampliamente útiles. No este concentrado en reparar o corregir el problema, la finalidad es atacar las raíces de lo que más adelante pudiera ser un problema, o como en un informe se planteó la finalidad del mantenimiento proactivo que pretende maximizar la vida útil operativa (2).

El rubro minero no es ajeno a los servicios de mantenimiento, ya que está repleto de equipos que trabajan sin detenerse procurando, por parte de la empresa, que todas sus máquinas cumplan la mayor cantidad de horas operativas. Y realizar la menor cantidad de mantenimientos necesarios, así reducen costos, pero incrementan la producción lo que se traduce en ganancia para la empresa, es por esta razón que las empresas invierten grandes cantidades en mejorar sus programas de mantenimiento y en el caso del mantenimiento proactivo no es la excepción.

En el procedimiento inicial para realizar un correcto plan de mantenimiento es necesario elaborar una minuciosa inspección y evaluación de las deficiencias o desperfectos de todos los sistemas que forman parte de la industria (3). El mantenimiento proactivo es tan importante como los demás programas de mantenimiento, pero en el proactivo, concretamente aplicado en los camiones mineros, se sustenta toda la información adquirida durante la operación y en sus mantenimientos en totalidad. Estos datos brindan las herramientas para que el predictivo realice el monitoreo buscando identificar o tratar de minimizar las causas raíz de las fallas. Una de las herramientas que se puede mencionar es el monitoreo de condición, que brinda información de la salud del equipo.

Con base en la información proporcionada, se puede constatar que el principal desafío que enfrenta la unidad minera de Constancia se relaciona primordialmente con la carencia de un sistema adecuado de mantención para su flota de camiones modelo 793F. La actual tasa de disponibilidad promedio se sitúa en un 80.36 %, que resulta ser significativamente baja para un conjunto de vehículos que desempeñan un papel fundamental en las operaciones mineras.

Es imperativo asegurar y preservar a lo largo del tiempo el óptimo rendimiento en el mantenimiento de la flota de equipos de acarreo, dado que aproximadamente el 50 % de la inversión anual de la unidad minera se destina al mantenimiento de dicha flota. Es por esta razón que la inclusión de una de las estrategias de mantenimiento más exhaustivas adquiere un carácter trascendental.

1.1.1. Problema general

¿Cómo se puede mejorar el plan de mantenimiento de la flota de los camiones mineros de la minera Constancia para poder garantizar la optimización del proceso de acarreo?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál serán las herramientas y técnicas para recolectar información durante la primera etapa de investigación?
- ¿Cómo se podrá identificar los equipos más críticos de la flota?
- ¿Cómo se podrá analizar el estado de mantenimiento y disponibilidad de la flota?
- ¿Cómo determinar los sistemas más críticos de los equipos de baja disponibilidad?
- ¿Cómo mejorar el plan de mantenimiento de la flota de camiones de acarreo?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivos generales

Proponer un plan de mantenimiento proactivo para la flota de camiones de acarreo de una unidad minera – Constancia.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de información técnica como historial de fallas, indicadores, manuales de operación, y entrevistas, para procesar el volumen de datos de mantenimiento.
- Evaluar los datos recopilados, a fin de identificar los equipos más críticos según la disponibilidad y comparar con el *benchmark*.
- Calcular y realizar el análisis del MTTR y MTBF respectivo en base al número de paradas y tiempos de reparación y comparar con el *benchmark*.
- Analizar las fallas mediante modo y efecto de falla (AMEF) de la flota de equipos.
- Establecer un plan para controlar la causa raíz y preservarla de una manera sostenible en el tiempo con base en KPI.

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Importancia de la investigación

- El mantenimiento proactivo resulta de importancia porque su esencia es identificar los causantes que provocan las fallas, analizar las razones y tratar de mitigarlos en los camiones mineros, dada su importancia en la producción, es vital que mantengan una confiabilidad óptima, es ahí donde recae la importancia de los mantenimientos de estos equipos.
- La presente investigación tiene como finalidad proveer de un plan de mantenimiento proactivo para mantener una producción constante sin generar retrasos ni detenciones en los equipos, reduciendo mantenimientos o cambio prematuro de elementos por causa de fallas.
- A su vez, este trabajo de investigación servirá de ayuda para desarrollar y corroborar los conocimientos obtenidos del estudio y lograr la obtención del título profesional.

1.3.2. Viabilidad de la investigación

Se cuenta con los recursos necesarios para poder desarrollar la investigación y contraste de información gracias al apoyo por parte del área de mantenimiento que brindó información respecto a los servicios de mantenimiento realizados a sus unidades indicando los tipos de trabajos que se realizaron.

1.3.3. Limitaciones del estudio

La primera limitación es por parte de la empresa y su política de privacidad de no poder otorgar un documento de autorización.

También se considera dentro de limitaciones la coyuntura actual en condición al covid-19 y las medidas de seguridad y restricciones necesarias para poder realizar viajes, dificultando así la visita a la unidad minera, lugar donde se puede presenciar de manera directa los datos y adquirir de manera personal recomendaciones o sucesos de consideración durante los servicios de mantenimiento.

1.4. Variables

1.4.1. Variable independiente

1.4.1.1. Diseño de plan de mantenimiento proactivo

Se busca implementar un plan de mantenimiento proactivo para que sea aplicado o incluido dentro de los planes de mantenimiento de la unidad minera para los camiones de acarreo.

A) Plantear evaluaciones necesarias

Este punto se refiere a la obtención de datos por medio de análisis y evaluaciones para poder interpretar el estado de los componentes, por lo tanto, se tienen los siguientes indicadores:

- Análisis de vibraciones
- Desgastes prematuros
- Análisis de muestras de aceite

B) Evaluar la aplicación del plan de mantenimiento actual

Se considera esta evaluación con la intención de detectar puntos deficientes en el desarrollo del plan de mantenimiento, y así encontrar la razón del por qué la ausencia de este y sus consecuencias con la efectividad del servicio.

- Considerar modificaciones para el plan de mantenimiento
- Determinar puntos débiles del mantenimiento
- Posibles mejoras en el nuevo plan

C) Evaluar la base de datos de mantenimientos en los equipos

Según el servicio de mantenimiento y el historial de estos en los años anteriores, se podrá identificar cuántos y cuáles fueron las mayores incidencias de los camiones, así como, según sus horas de trabajo considerar los servicios y análisis necesarios.

- Evaluar por criticidad
- Evaluar horas de trabajo
- Considerar reparaciones realizadas

1.4.2. Variable dependiente

A) Disponibilidad de flota

Es importante asegurar la disponibilidad de los equipos en las mejores condiciones para que puedan trabajar durante la mayor cantidad de horas de manera óptima, asegurando la productividad y brindando seguridad para los operadores. Para lograr el objetivo de alcanzar una mejora reduciendo detenciones e incrementando la producción.

B) Control y mantenimiento de fluidos

El aceite y refrigerante son elementos esenciales para el funcionamiento y seguridad, mediante ellos y un respectivo análisis, se puede verificar el desgaste, desprendimiento o contaminación de los sistemas, por los que requieren de estos fluidos.

- Horas productivas
- Condiciones y niveles del fluido
- Cantidad y calidad de aditivos

C) Programas de mantenimiento

Los programas de mantenimiento están considerados en todos los equipos o máquinas para realizar funciones de mantenimiento, determinadas por los siguientes indicadores.

- Horas de trabajo efectivas
- Condiciones de desgaste
- Indicadores de alerta

D) Sistema hidráulico y vibraciones del equipo

En estos equipos son importantes los sistemas hidráulicos, ya que son estos los que realizan las funciones específicas de trabajo debido a la fuerza que requieren y es necesario su buen funcionamiento, así como, las vibraciones excesivas generan desgastes prematuros.

- Condiciones de operación subestándar
- Condiciones climáticas y estado de carreteras

- Fugas en sistema hidráulico y elementos desajustados o desgastados

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1. *Operacionalización de variables*

Variab les	Indicadores	Definición
Independiente:		Programación y
- Plan de mantenimiento proactivo	- AMEF - MTBF - MTTR	actividades definidas para la mantención de activos
Dependiente:		Relación entre tiempo
- Disponibilidad flota de camiones de acarreo.	- Frecuencia de fallas - MTBF - MTTR	disponible y el tiempo total de parada

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco teórico tiene como objetivo proporcionar una base sólida de conocimiento teórico y conceptual de la literatura existente, también tiene la intención de fundamentar y respaldar la investigación, así como, guiar la interpretación de la información.

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Garrido (4), en su investigación se basó en desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para la flota de camiones mineros CAT 785C, que permitirá mejorar la disponibilidad mecánica y su vida útil, así garantiza la productividad del transporte de mineral y desmonte en la mina Shougang. Para esta investigación se tomó una muestra de 20 camiones mineros tipo CAT 785C. Para plantear el plan de mantenimiento preventivo se utilizó como herramienta el análisis FODA y el análisis de causa – efecto, dando como problema crítico, la falta de seguimiento y monitoreo de los equipos, gracias a este análisis se pudo detectar a tiempo los desgastes prematuros de 2 unidades, cuya eficiencia de disponibilidad era demasiado baja, ya que estas disponían de un tiempo de funcionamiento (17830 h) muy por debajo de lo establecido. En una de ellas era necesario el cambio de aceite multigrado (MX ESP 15W-40) a uno de tipo sintético (ESP 5W-40), donde aumentará la vida útil de la unidad y reducirá el tiempo de ejecución del mantenimiento, otras de las causas fueron los filtros, en las conclusiones se logró una reducción considerable de 6 horas por cada camión, mediante el diseño del nuevo plan de mantenimiento preventivo. Por otra parte, se mejoró en la disponibilidad mecánica alcanzando un 92 %, siendo uno de los más elevados hasta el momento dentro de la empresa.

León (5), su investigación tuvo como objetivo detallar los eventos no deseados mediante el ACR (análisis causa raíz), es decir, dicha herramienta sirvió para dar solución a los problemas encontrados. El ACR se aplica en diversas áreas, centrándose en cinco ideologías: seguridad, producción, proceso, fallos y sistemas. El trabajo también aborda la confiabilidad operacional (CO) y el análisis de criticidad (CA), destacando sus cuatro áreas fundamentales, Donde, la confiabilidad humana se refiere a la consistencia y ausencia de errores en las acciones y decisiones humanas. La confiabilidad de procesos implica la operación constante y eficiente de un sistema, minimizando fallas. La confiabilidad de diseño se centra en la probabilidad de que un producto cumpla con especificaciones a lo largo de su vida útil. La confiabilidad de equipos aborda la capacidad de componentes o sistemas técnicos para funcionar de manera consistente, minimizando el tiempo de inactividad y optimizando el rendimiento. En las conclusiones, se destaca que el ACR es valioso exclusivamente para mejorar sistemas, siendo una herramienta compleja y efectiva para identificar a fondo problemas. Su eficacia lo posiciona como la mejor opción para detectar fallos o problemas en la planta.

Jiménez et al. (6), en su investigación, el objetivo principal fue llevar a cabo un diagnóstico a los equipos de la minería Shougang Hierro Perú para obtener la criticidad y disponibilidad que trabajaban en la planta de filtros, teniendo como punto de referencia las normas SAE JA1011 que guía la gestión de la confiabilidad en sistemas, mientras que SAE JA1012 se enfoca en el desarrollo de planes específicos para mejorar la confiabilidad durante el ciclo de vida de productos o sistemas. Se observó que los equipos de la planta no contaban con un análisis adecuado de criticidad y los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad, lo que resultaba en una gestión deficiente del mantenimiento y dificultaba la toma de decisiones acertadas y eficaces. La investigación, de carácter aplicativo, se destacó por su enfoque en la aplicación y práctica del conocimiento, centrándose en el proceso, los sistemas y los equipos. Se utilizaron normas de mantenimiento, como la ISO, que establece normas globales para diversos sectores, mientras que SAE se especializa en estándares para la industria automotriz y aeroespacial, junto con fórmulas, diagramas, indicadores de mantenimiento, historial de fallas y cálculos matemáticos. Como resultado, se logró un análisis de criticidad de la planta de filtros, identificando a los evaporadores de concentración, compresores de aire, bombas de *overflow*, fajas transportadoras y tanques de almacenamiento de aire como los equipos de mayor criticidad.

Zeballos (7), realizó una propuesta de un plan de mantenimiento proactivo específicamente dirigido hacia los reductores, componentes críticos que son importantes en el proceso de calentamiento y enfriamiento uniforme de las turbinas de gas modelo 7FA.04. Del muestreo realizado y el análisis de aceite de los equipos se consideró esto como de suma relevancia, ya que una supervisión minuciosa tendría el potencial de extender los intervalos de

cambio de aceite, lo cual se traduciría en un ahorro adicional anual y en una mejor disponibilidad y confiabilidad. La central, concebida como reserva fría, tiene como propósito principal la generación de energía para atender la demanda requerida en situaciones de problemas o fallas en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). A diario, el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) lleva a cabo pruebas de manera aleatoria, subrayando la necesidad de que las turbinas estén completamente disponibles y sean confiables para prevenir arranques no exitosos. Esto es clave para las áreas como Operaciones y el equipo de Mantenimiento. En el proceso se ha contado con manuales de los fabricantes, la experiencia acumulada por el personal y las directrices entregadas durante y después del proyecto de construcción de la planta, con el claro propósito de concebir un plan de mantenimiento centrado en la identificación proactiva de posibles fallas y en la prolongación efectiva de la vida útil de los activos.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Moscoso (8) llevó a cabo la elaboración de un exhaustivo programa de mantenimiento proactivo con el objetivo primordial de mitigar la incidencia del mantenimiento correctivo en los equipos mecánicos empleados en el transporte de hidrocarburos en Ecuador. La ejecución de este proyecto involucró la aplicación meticulosa de métodos científicos tanto aplicados como correlacionales, sumado a la observación minuciosa y la consulta a expertos, con el fin de interpretar los datos y llevar a cabo la implementación práctica del programa. Entre los resultados más significativos y esenciales se destaca el diagnóstico y la subsiguiente reparación de los daños identificados en los poliductos y otros equipos mecánicos, logrando así disminuir la necesidad de mantenimiento correctivo en el transporte de hidrocarburos. Es importante señalar que este programa de mantenimiento proactivo posee la flexibilidad necesaria para su aplicación en diversas empresas, adaptándose a los contextos específicos y áreas de actuación de la organización. El objetivo principal radica en alinear los criterios de actividades en los diferentes tipos de mantenimiento, con la finalidad de mejorar la operación, reducir los mantenimientos correctivos en el transporte de hidrocarburos y optimizar el uso eficiente de los recursos disponibles.

Mogrovejo y Sigüenza (9), en su investigación, el propósito fundamental fue llevar a cabo un mantenimiento proactivo centrado en el análisis de lubricante aplicado a los vehículos del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) municipal del cantón Girón. En una fase inicial, se procedió a evaluar la situación actual del mantenimiento de la flota, tomando como referencia un conjunto representativo de 17 vehículos. Se llevó a cabo una evaluación de los aceites utilizados, específicamente aquellos de tipo 15w40 y 20w50. Durante este análisis, se consideraron los límites permisibles, y se ejecutó una comparación detallada entre ambos tipos de aceites. Como

resultado del diagnóstico, se formuló un PM proactivo que se considera satisfactorio. No obstante, se subraya la necesidad de implementar un seguimiento más riguroso a los aceites mediante muestreos periódicos para optimizar aún más las prácticas de mantenimiento.

Morales y Alberto (10), plantearon la necesidad de construir una ruta alternativa para la comunidad de Amojileca, conectándola con el pueblo de Omiltemi debido a un deslizamiento de tierra en los kilómetros km 5+800 al 7+200 en esa área. En este contexto, se consideró esencial implementar un PM para la maquinaria pesada con el fin de reducir el tiempo de inactividad y mejorar la eficiencia de las empresas involucradas. Para la planificación, se aseguró disponer de todas las facilidades para cumplir con la carga de mantenimiento proyectada, utilizando la ruta crítica para el desarrollo y control del proyecto. Como conclusión, se destacó que la planificación del mantenimiento tiene un impacto directo en la disminución de inactividad causada por paradas no programadas de la maquinaria. La selección adecuada de actividades y la utilización eficiente de equipos para prevenir fallas mecánicas contribuyen a garantizar el rendimiento óptimo de la maquinaria, resaltando así la importancia de una planificación de mantenimiento eficaz.

Torres y Sebastian (11) en su investigación, se centraron en la creación de un programa de mantenimiento específico destinado a la flota de equipos que se encargan de la pavimentación y movimientos de tierras en la empresa JMS. El proceso metodológico se inició con la recopilación de datos y una evaluación exhaustiva de las prácticas de mantenimiento existentes en la empresa. La formulación del programa de mantenimiento adaptado tuvo como base la experiencia técnica y la información obtenida del manual del fabricante, considerando tanto el horómetro de las máquinas como las horas de trabajo acumuladas. Se adoptó un enfoque de RCM, aprovechando la información recopilada para lograr una mejora en la reducción de costos y mejorar la disponibilidad de las máquinas. Al finalizar la investigación, se diseñó e implementó el plan de mantenimiento, logrando un mayor control sobre las máquinas mediante análisis estadísticos que abarcaron desde el inicio hasta la conclusión del estudio.

2.1.3. Antecedentes locales

Fernández (12) realizó un programa de mantenimiento proactivo con el propósito de reducir las tareas correctivas en la flota de camiones que transportaban hidrocarburos. Para el proceso de desarrollo de la tesis, se emplearon métodos científicos aplicados y correlacionales, así como, la observación y la consulta a expertos para recopilar datos y realizar una implementación práctica. El programa implementado se basó en el análisis de indicadores clave de desempeño (KPI) para medir tiempos, fallas y otros aspectos relacionados con los equipos, buscando una gestión más efectiva. Los resultados obtenidos se centraron en el análisis y la restauración de daños en poliductos y equipos mecánicos, con la meta de disminuir la necesidad

de realizar mantenimiento correctivo. Se destaca que este plan puede ser aplicado en empresas, siendo adaptable a contextos específicos y áreas de acción, con el objetivo primordial de optimizar la operación y asegurar el uso eficiente de recursos (12).

Robles (13), en el curso de su investigación, el propósito fundamental fue la ejecución de un plan basado en la confiabilidad destinado a prolongar la vida útil de los camiones de acarreo de la marca Caterpillar en la SMCV. Para llevar a cabo este proyecto, se recopilaron datos detallados, tales como las horas acumuladas de operación, las horas acumuladas de los componentes, los resultados de los análisis de aceites, los informes de las fallas en campo, los reportes de las reparaciones de los componentes en taller, así como, los análisis de falla. Se utilizó una variedad de métodos, como el análisis de defectos de falla, el diagnóstico de área y el análisis de la causa raíz de las fallas del tren de fuerza de los camiones. Con base en esta información detallada, se desarrolló un plan de mantenimiento integral. Al concluir el proyecto, se logró cumplir con los objetivos establecidos, implementando con éxito el RCM con el fin de extender la vida del sistema de fuerza de los camiones en la SMCV.

Velásquez (14), en su investigación realizada, se buscó comparar la efectividad entre la implementación del Mantenimiento Productivo Total (MPT) y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en los volquetes FMX propiedad de la cooperativa Santiago de Ananea LTD. Se utilizaron técnicas documentales y de campo para recopilar información, incluyendo la revisión y actualización exhaustiva de todos los procedimientos, matrices, instrumentos y formatos del sistema integrado de gestión. Durante el análisis, se aplicaron métodos como el análisis de causa-efecto y la elaboración del diagrama de 80-20 para identificar fallos y proponer mejoras en el sistema de mantenimiento. También se llevó a cabo el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMFE), y se calculó el Índice de Prioridad de Riesgos (NPR). Los resultados obtenidos revelaron que tanto la implementación del Mantenimiento Productivo Total como del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad generaron mejoras significativas en el rendimiento de los volquetes FMX de la cooperativa minera Santiago. En detalle, mediante el Mantenimiento Productivo Total, se logró una mejora de hasta el 86 %, con una eficacia del 24 %. Por otro lado, con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, la mejora alcanzó el 84 %, con una eficacia del 20 %. Es fundamental destacar que la participación activa de los mecánicos y operarios desempeñó un papel crucial en la obtención de mejoras notables en la eficiencia, logrando un aumento del rendimiento del 54 % al 88 %.

Salas (15), tuvo como propósito central desarrollar un plan de mantenimiento basado en metodologías como PMO (Planificación del Mantenimiento Optimizado) y RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) para el conjunto de tractores oruga, específicamente los Caterpillar D11T, en el departamento minero de Tacna, en el área de Mantenimiento. Se realizó un análisis

exhaustivo del plan de mantenimiento existente, centrándose especialmente en la confiabilidad operacional de los activos. La aplicación de las metodologías PMO y RCM permitió identificar los factores que afectan directamente la confiabilidad operacional de los tractores de orugas. La implementación de este nuevo plan de mantenimiento tuvo como objetivo principal asegurar que estos activos mantuvieran una eficiencia óptima en sus funciones y cumplieran con los estándares requeridos en el proceso productivo. Esto incluyó la definición de políticas de mantenimiento óptimas. A lo largo del estudio, se examinaron detalladamente los componentes del plan de mantenimiento existente, evaluando su efectividad y eficiencia en términos de confiabilidad operacional. Se realizaron análisis detallados para identificar y comprender los factores que impactaban directamente en la confiabilidad, proponiendo mejoras basadas en las metodologías PMO y RCM. La esencia de esta investigación consistió en analizar y perfeccionar el plan de mantenimiento a través de las metodologías PMO y RCM, con el fin último de garantizar que los tractores de orugas Caterpillar D11T se mantuvieran en condiciones óptimas de funcionamiento y cumplieran con las expectativas de rendimiento en el proceso productivo de manera única y eficaz.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Evolución del mantenimiento

A lo largo del tiempo, el desarrollo del mantenimiento ha experimentado diversas transformaciones. En los primeros tiempos de la revolución industrial, los trabajadores tenían como principal responsabilidad la tarea de reparar las máquinas. Con el avance tecnológico, los equipos se volvieron más complejos, aumentando la tarea de reparación y dando origen a la creación de departamentos de mantenimiento separados de los operadores de producción. En esta etapa, predominaba el mantenimiento correctivo, donde la atención se centraba en resolver las fallas una vez que ocurrían.

El concepto de fiabilidad surgió durante la Primera y Segunda Guerra Mundial, llevando a los departamentos de Mantenimiento a adoptar un enfoque preventivo, anticipándose a las fallas. Este cambio dio origen a nuevos conceptos, tales como el mantenimiento preventivo, predictivo, proactivo, la gestión de mantenimiento asistida por computadora y el RCM.

En la década de 1980, se desarrolló el Mantenimiento Productivo Total (TPM), que permitía a los operarios realizar algunas tareas de mantenimiento. El objetivo principal del TPM era lograr que los operarios se involucraran más en el cuidado de la maquinaria, buscando alcanzar cero averías.

En la actualidad, el TPM y el RCM no se consideran enfoques opuestos, sino que coexisten en las empresas. Ambos enfoques aportan sus beneficios, permitiendo una gestión integral del mantenimiento. Mientras que el TPM fomenta la participación activa de los operarios en la prevención de fallas, el RCM aporta un enfoque analítico para identificar las tareas de mantenimiento más efectivas. En conjunto, estos enfoques contribuyen a mejorar la eficiencia y la confiabilidad de los equipos en las empresas modernas (16).

2.2.1.1. Objetivo del mantenimiento

Según la perspectiva de Medrano, el mantenimiento se considera una actividad crucial para garantizar la disponibilidad de equipos, edificios e instalaciones. La adecuada realización de estas tareas es fundamental para preservar en óptimas condiciones operativas la infraestructura física de la planta (17).

Hoy en día, debido a la complejidad de los equipos, los departamentos de mantenimiento, al igual que los de producción, deben aumentar su dependencia mutua. Los costos de mantenimiento representan una gran parte del costo total de la producción.

2.2.2. Clases de mantenimiento

2.2.2.1. Mantenimiento preventivo

En muchos casos, se interpreta como «cambiar sea necesario o no». Esta filosofía a menudo se relaciona con cuándo reemplazar bombas, filtros, etc. Otros componentes son servicios independientemente de su estado para evitar interrupciones. En casi todos los casos, los cambios son por definición o muy inmediatos o tardíos. Se ha agotado la vida útil del componente o se ha agotado la vida útil, pero aún queda una buena cantidad de utilidad restante (7).

2.2.2.2. Mantenimiento predictivo

Los mantenimientos predictivos desempeñan un papel crucial al anticipar fallas, disfunciones o cambios inusuales en el funcionamiento de los equipos mediante el empleo de técnicas analíticas predictivas que evalúan el estado de los elementos y equipos. Estas prácticas permiten realizar recomendaciones para intervenciones oportunas durante el mantenimiento, generando ahorros tanto en tiempo como en recursos financieros para la empresa. El objetivo principal es optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos sin incurrir en costos de mantenimiento elevados.

Aunque muchas empresas logran éxitos al implementar sistemas de mantenimiento predictivo, algunas optan por abandonar esta estrategia. Esta variabilidad en los resultados se atribuye, en gran medida, a la falta de metas y objetivos claramente definidos antes de la

implementación. Para lograr un mantenimiento predictivo exitoso, es esencial establecer un programa adecuado con técnicas apropiadas y un sistema de evaluación para medir los beneficios obtenidos.

La implementación efectiva del mantenimiento predictivo requiere equipos de medición, registros de datos y personal capacitado. Entre las principales técnicas de mantenimiento predictivo se incluyen, entre otras, la monitorización de vibraciones, análisis de aceites, termografía y ultrasonido. La selección y aplicación correctas de estas técnicas son fundamentales para el éxito del programa de mantenimiento predictivo:

- Medición y análisis vibracional
- Termografía
- Ultrasonido
- Tribología
- Mediciones eléctricas

2.2.2.3. Mantenimiento correctivo

La reparación de equipos, herramientas, vehículos, entre otros, constituye una actividad que no se programa con antelación, sino que se lleva a cabo según sea necesario. El mantenimiento correctivo implica una respuesta inmediata, a veces gestionada y supervisada mediante informes que indican la máquina fuera de servicio. En estos casos, el personal se enfoca en realizar únicamente los trabajos esenciales para restablecer la operatividad y disminuir el tiempo de inactividad, mitigando así las pérdidas de producción (18).

2.2.2.4. Mantenimiento proactivo

A) Objetivo del mantenimiento proactivo

Según la perspectiva de Carrasco (16), el mantenimiento proactivo es una metodología que utiliza tecnología y diagnósticos predictivos para extender significativamente la vida útil de las maquinarias y disminuir las labores de mantenimiento. El objetivo principal es eliminar o controlar las causas de las fallas en los equipos, y no simplemente abordar los síntomas. A través de esta práctica, se busca identificar la causa raíz de las fallas, implementando medidas preventivas para mejorar la confiabilidad y eficiencia de los equipos.

Este enfoque de mantenimiento se basa sólidamente en principios esenciales como la solidaridad, la colaboración, la sensibilización, la iniciativa propia y el trabajo en equipo. Dentro de este contexto, la gestión de mantenimiento debe poseer un profundo entendimiento de los problemas inherentes al mantenimiento. Es crucial involucrar a todo el personal, desde técnicos

hasta directivos, para que comprendan de manera integral las actividades desempeñadas en el ámbito del mantenimiento.

De acuerdo con Widman, el mantenimiento proactivo se rige por tres principios fundamentales:

- Mejorar los procedimientos anticipándose a la ocurrencia de fallos.
- Prevenir paradas del equipo mediante el mantenimiento correctivo.
- Prolongar el intervalo entre las intervenciones de mantenimiento preventivo.

B) Táctica de mantenimiento proactivo

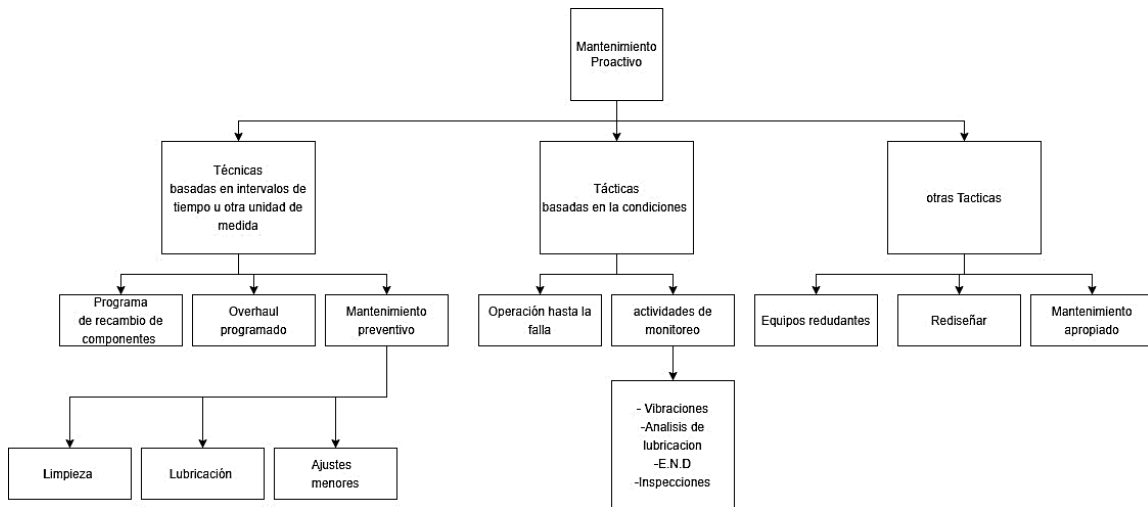


Figura 1. Táctica de mantenimiento proactivo.

Fuente: La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial (16)

2.2.3. Indicadores de mantenimiento

Los indicadores desempeñan un papel fundamental al cuantificar los objetivos establecidos y controlar el rendimiento de la empresa. Además, evalúan la calidad de las operaciones con el fin de alcanzar los objetivos específicos de mantenimiento. Estos indicadores proporcionan dirección a los procesos de mantenimiento para lograr mejoras continuas. La importancia de los indicadores radica en su capacidad para optimizar los procesos, variando según los objetivos y estrategias particulares de la empresa.

2.2.3.1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

La inversa de la frecuencia de fallas, medida en horas, representa el tiempo promedio de operación entre fallos de un equipo. Dichas fallas pueden derivar de problemas técnicos intrínsecos al producto, reflejando la falta de confiabilidad del equipo, o bien ser consecuencia de descuidos en las labores de mantenimiento o reparación. (19).

Fórmula:

$$MTBF [hr] = (Horas Operativas / Número de Fallas) \text{ Ecuación 1}$$

A) Punto de referencia

Las referencias de MTBF (tiempo medio entre fallas) muestran variaciones significativas dependiendo del modelo de la máquina, su tamaño relativo, antigüedad, diseño «madurez» y complejidad. En el caso de todoterrenos y grandes camiones de la clase 785-793, se dispone de documentación detallada. Para una flota de camiones nuevos, el MTBF de referencia es de 80 horas, mientras que para una flota “madura” (que ha pasado por su primera ronda de reconstrucciones de componentes principales) es de 60 horas. Estos puntos de referencia representan un rendimiento sostenible a lo largo del tiempo, documentado como el mejor en su categoría. Frecuentemente se solicita evaluar el desempeño a través de una serie de resultados, y la siguiente figura refleja la mejor evaluación en esta área (12).

B) Parámetros MTBF

MTBF	Características
50 - 60 horas	Excelente: alto % de tiempo de inactividad programado; la organización de administración de equipos es altamente proactivo.
40 - 50 horas	Aceptable: la mayor parte del tiempo de inactividad está programada; énfasis sustancial en la gestión de equipos.
30 - 40 horas	Marginal: aprox. la mitad de todo el tiempo de inactividad está programado; Gestión de equipos disciplinas no completamente funcional.
20 - 30 horas	Justo: < 40 % de tiempo de inactividad programado; esfuerzo mínimo en la gestión de equipos.
< 20 horas	Pobre: solo se programan PM; Gestión de equipos la organización es puramente reactiva.

*Figura 2. Tiempo medio entre fallas
Fuente: Caterpillar (19)*

2.2.3.2. Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)

El tiempo promedio de reparación es una métrica de rendimiento que evalúa la velocidad con la que se restablece el funcionamiento de una máquina después de experimentar un período de inactividad debido a un incidente (19).

Fórmula:

$$MTTR [hr] = (horas totales de inactividad / Número de Paradas) \text{ Ecuación 2}$$

A) Punto de referencia

Los puntos de referencia de MTTR varían un poco según el modelo de máquina, su tamaño relativo y complejidad de diseño, pero en mucha menor medida que MTBS; con la máquina, la edad es el principal impulsor de MTTR. MTTR para grandes camiones todoterreno en la clase de tamaño 785 – 793 está muy bien documentado. El punto de referencia para una flota de camiones en la clase de tamaño 785 - 793 es de 3 a 6 horas (19).

2.2.3.3. Disponibilidad

Esta medida tiene en cuenta el tiempo en el que el sistema está en funcionamiento, así como, el tiempo en el que puede estar inactivo debido a trabajos de mantenimiento, ya sean programados o correctivos. En otras palabras, la disponibilidad representa la proporción de tiempo en el que un sistema está disponible y listo para su uso en comparación con el tiempo total, incluyendo cualquier periodo de inactividad planificado o imprevisto. Una alta disponibilidad indica un buen rendimiento del sistema, mientras que una baja disponibilidad sugiere que el sistema experimenta periodos significativos de inactividad (19).

$$\text{Índice de disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \% \text{ Ecuación 3}$$

Donde:

MTBF: tiempo medio entre fallas (h)

MTTR: tiempo medio entre reparaciones (h)

A) Punto de referencia

El cálculo del índice de disponibilidad se basa en la frecuencia y duración de los eventos de tiempo de inactividad o paradas. Utilizando la relación matemática entre el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), se determina este índice. Este resultado indica cuál de los dos factores, ya sea la frecuencia de fallas o el tiempo necesario para repararlas, tuvo una influencia predominante en el rendimiento general del sistema. Realizar este cálculo ofrece una guía valiosa para la toma de decisiones, ya que permite identificar qué aspecto, entre el tiempo de inactividad y el tiempo de reparación, impacta más en la disponibilidad. Este análisis contribuye a una evaluación más informada de la eficiencia operativa de la flota de camiones, proporcionando datos cruciales para mejorar la gestión y el rendimiento del sistema (19).

2.2.4. Análisis de criticidad

La evaluación de criticidad de la flota de camiones es un enfoque empleado en la gestión de mantenimiento para analizar y categorizar la importancia relativa de los diversos activos

presentes en una flota de camiones. La finalidad principal es mejorar la disponibilidad y confiabilidad a partir de un análisis que consiste en reconocer los equipos críticos o de mayor repercusión en las operaciones, con el propósito de establecer prioridades y asignar recursos de manera eficaz.



Figura 3. Modelo básico de criticidad

Fuente: El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional (20)

La evaluación de la criticidad de una flota de camiones implica típicamente la consideración de diversos factores, tales como el tiempo de inactividad del equipo, el impacto en la producción, los costos asociados con reparaciones y mantenimiento, la disponibilidad de repuestos, entre otros aspectos relevantes. Estos factores son ponderados y utilizados para calcular un índice de criticidad o clasificación para cada vehículo en la flota.

A través de este análisis, se logra identificar qué camiones demandan una mayor atención en términos de preventivo, la facilidad de repuestos críticos y la necesidad de tiempos de respuesta rápidos ante posibles averías. Esto posibilita la implementación de estrategias de mantenimiento proactivo y la priorización de actividades de mantenimiento, con el objetivo de minimizar los impactos negativos en la operación global de la flota.

Sistemas	Frecuencia de Falla (Peso)	Impacto Producción (Peso)	TPPR (Peso)	Costo de Reparación (Peso)	Impacto Seguridad (Peso)	Impacto Ambiente (Peso)	Criticidad
Sistema 1	4	6	2	5	0	0	212
Sistema 2	3	4	2	10	0	0	126
Sistema 3	1	8	2	5	35	30	134
Sistema 4	3	8	1	5	0	0	111
Sistema 5	1	6	1	25	0	0	49
Sistema 6	4	4	2	5	0	0	148
Sistema 7	3	8	2	5	0	0	207
Sistema 8	3	6	2	10	0	0	174
Sistema 9	3	4	1	5	0	0	63

Figura 4. Modelo de cuadro de ponderación de criterios

Fuente: El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional (20)

También tiene como propósito identificar y priorizar los componentes o activos que tienen un impacto significativo en el rendimiento, seguridad o continuidad operativa de un sistema. Al evaluar la importancia relativa de cada elemento, se busca establecer prioridades para las actividades de mantenimiento, enfocándose especialmente en aquellos considerados críticos. Durante el análisis de criticidad, se pueden considerar diversos criterios para tomar decisiones fundamentadas:

Probabilidad	Ocurrencia - Frecuencia de fallas - MTBF en días	Interpretación
5	MTBF < 10	Es probable que ocurra varias veces en una semana
4	10 <= MTBF < 35	Es probable que ocurra algunas veces en 1 mes, pero es poco probable que ocurra en una semana.
3	35 <= MTBF < 370	Es probable que ocurra algunas veces en 1 año, pero es poco probable que ocurra en 1 mes.
2	370 <= MTBF < 720	Es probable que ocurra algunas veces en 2 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
1	720 <= MTBF	Es probable que ocurra después de 2 años.

Figura 5. Criterios para el cálculo de la ocurrencia

En el análisis de criticidad de flota de camiones se suelen utilizar algunas fórmulas para calcular los índices de criticidad. A continuación, se mencionan dos fórmulas comunes:

$$\text{Índice de Criticidad} = \text{Severidad} \times \text{Frecuencia} \times \text{Detectabilidad}$$

- La severidad representa el impacto o consecuencia de una falla en el equipo.
- La frecuencia indica la probabilidad o frecuencia con la que ocurren las fallas.
- La detectabilidad evalúa la capacidad de detectar o prever una falla antes de que ocurra.

Estos factores se multiplican para obtener un índice de criticidad para cada camión, lo que permite clasificarlos según su nivel de importancia.

$$\text{Índice de Criticidad} = \frac{(\text{Importancia Operacional} + \text{Importancia Económica})}{2}$$

La importancia operacional evalúa el impacto de una falla en la operación y producción.

La importancia económica considera los costos asociados con las fallas, como reparaciones, pérdida de productividad, etc.

Estos valores se suman y se dividen por dos para obtener un índice de criticidad promedio para cada camión.

Las fórmulas planteadas y criterios son referenciales, cada empresa maneja sus propias ponderaciones, y criterios de severidad.

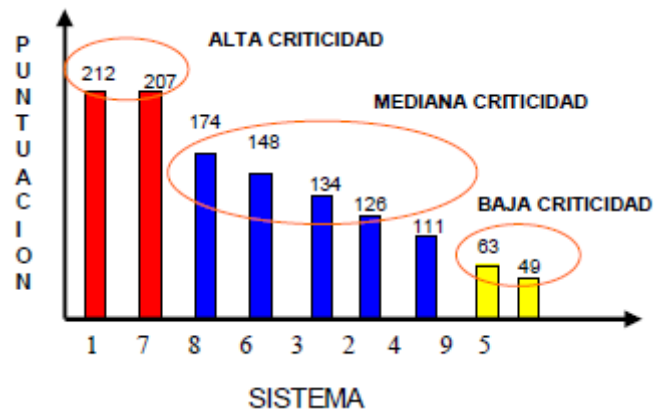


Figura 6. Gráfica de resultados de un análisis de criticidad
Fuente: El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional (20)

2.2.5. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta gráfica que ayuda a identificar y priorizar las causas principales de un problema. Se basa en el principio de Pareto, que sugiere que el 80 % de los efectos provienen del 20 % de las causas. El diagrama organiza las barras de mayor a menor para visualizar claramente las contribuciones más significativas, facilitando la toma de decisiones para abordar las causas principales y mejorar la situación. Se utiliza comúnmente en gestión de calidad y resolución de problemas.

A) Herramienta Pareto

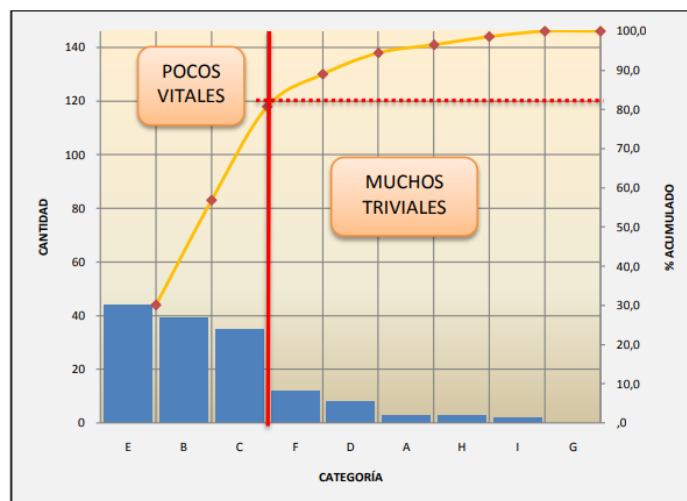


Figura 7. Diagrama de Pareto
Fuente: Seminario de investigación en metodologías de análisis de fallas (21)

2.2.6. Análisis de causa – raíz (ACR)

Los problemas que se tiene en el sistema se pueden determinar gracias a un análisis de fallas, en la cual se determina la causa raíz del problema. Un análisis de falla es una técnica proactiva, gracias a ello se pueden alcanzar niveles óptimos de calidad y disponibilidad.

2.2.6.1. Análisis de modo y efecto de la falla (AMEF)

El AMEF es una metodología usada en gestión de calidad e ingeniería para identificar y evaluar modos potenciales de falla, así como, sus efectos y gravedad. Busca prevenir problemas al anticiparse a fallas, evaluando la probabilidad de ocurrencia, la detección y las consecuencias de cada falla. Se aplica en diversas industrias para mejorar la fiabilidad y calidad de productos y procesos.

2.2.7. Características de camión de acarreo Caterpillar 793F

El equipo se destaca como una máquina versátil capaz de transportar diversos tipos de materiales, incluyendo minerales. Este vehículo se posiciona como la opción de costo óptimo en su categoría por unidad de producción. El equipo ha experimentado mejoras significativas en su capacidad de servicio, seguridad, productividad y comodidad, consolidándolo como un líder de la industria en su clase, el modelo 793F.

La combinación de estas características con el excepcional servicio de respaldo proporcionado por los distribuidores hace que los camiones mineros Cat sean la elección preferida en numerosos sitios mineros. Su desempeño y eficiencia en la producción los convierten en una opción confiable para satisfacer las necesidades específicas de los sitios mineros (22).

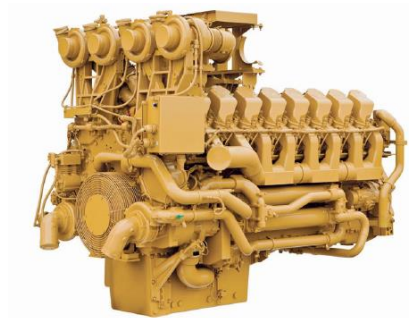


*Figura 8. Camión de acarreo Caterpillar 793F
Fuente: Caterpillar modelo 739F (22)*

2.2.7.1. Descripción del equipo

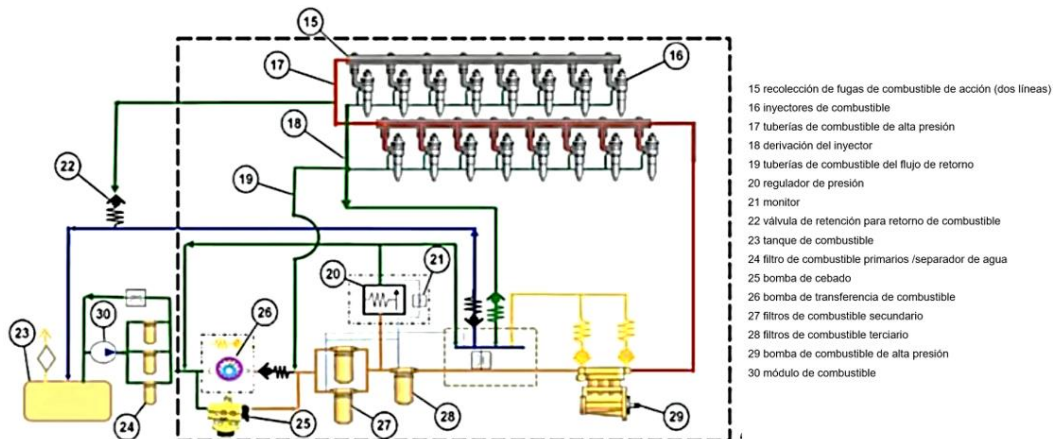
A) Tren de fuerza: Motor

El modelo 793F destaca por su rendimiento excepcional en aplicaciones mineras desafiantes, gracias a su potente motor diésel Cat C175-16. Diseñado con un postenfriador y turbocompresor cuádruple, este motor optimiza la gestión de potencia, cumpliendo con los estándares de emisiones de la EPA de EE. UU. Su reserva de par del 20 % garantiza una fuerza de arrastre excepcional en diversas condiciones operativas. Además, el motor, con un mayor desplazamiento y control electrónico del sistema de combustible, logra una eficiencia sobresaliente sin comprometer rendimiento ni durabilidad. La inclusión del radiador MESABI y opciones de arranque contribuyen a mejorar la durabilidad y facilitar el servicio del modelo 793F.



*Figura 9. Motor Cat
Fuente: Caterpillar modelo 739F (22)*

B) Motor Cat® C175-16



*Figura 10. Estructura de sistema de combustible de baja presión y de alta presión
Fuente: ITM - Centro de Investigación y Tecnología Mecánica*

C) Sistema de control electrónico

Componentes del ECM

- Sistema de cebado de combustible con bomba eléctrica
- Dispositivos de medición de velocidad y sincronización del motor
- Dispositivo de control de combustible

- Componentes eléctricos para la inyección de combustible

D) Tren de fuerza: transmisión

La transmisión del equipo cuenta con un sistema de control electrónico. Los mandos finales de Caterpillar trabajan en conjunto con la servotransmisión planetaria, actuando como un sistema integrado para transferir la máxima potencia al suelo. Estos mandos finales de doble reducción están específicamente diseñados para resistir fuerzas de alto par y cargas de impacto, lo que resulta en un aumento del par alto y una reducción de la tensión en el tren de impulsión.

El convertidor de par integra la potencia máxima de tracción y la transición suave de cambios de marcha. Equipado con un sistema de traba, se activa alrededor de los 8 km/h (5 mph), mejorando la entrega de potencia a las ruedas de manera eficiente.

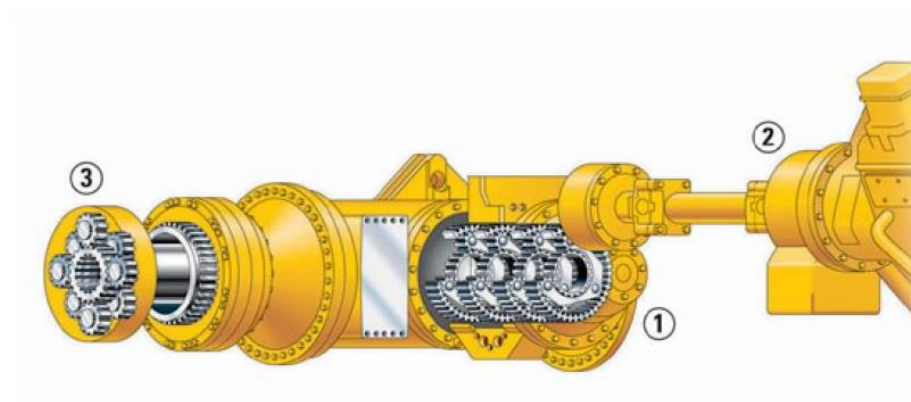


Figura 11. Transmisión
Fuente: Caterpillar modelo 739F (22)

E) Tren de fuerza de transmisión

- Tambores de ruedas de larga duración

Diseñada para trabajos de escalada, esta configuración está diseñada para prolongar la vida útil de los neumáticos y soportar más horas de trabajo y escalada. Mayor vida de las ruedas que están diseñadas con un material más grande, más estable, con ejes más grandes, diferentes anchos de cojinetes de rueda, mayor fricción y discos para mayor tiempo de frenado y la conexión es más larga.

F) Neumáticos

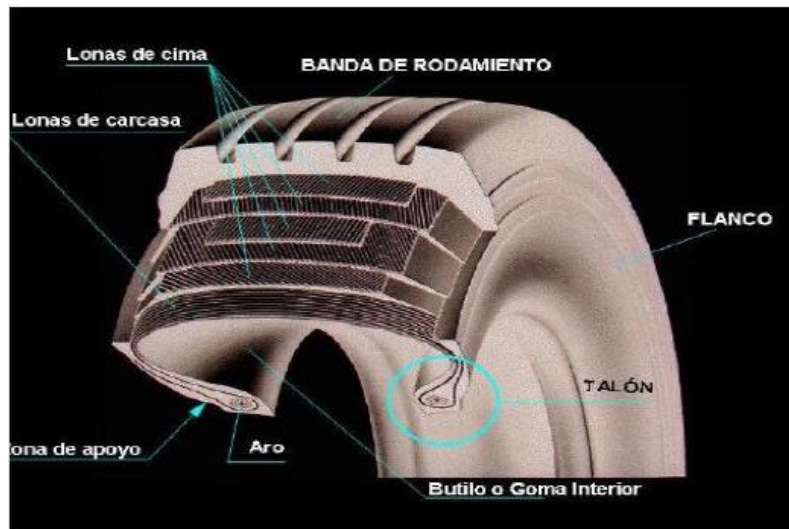


Figura 12. Elementos que componen un neumático
Fuente: Livias (23)

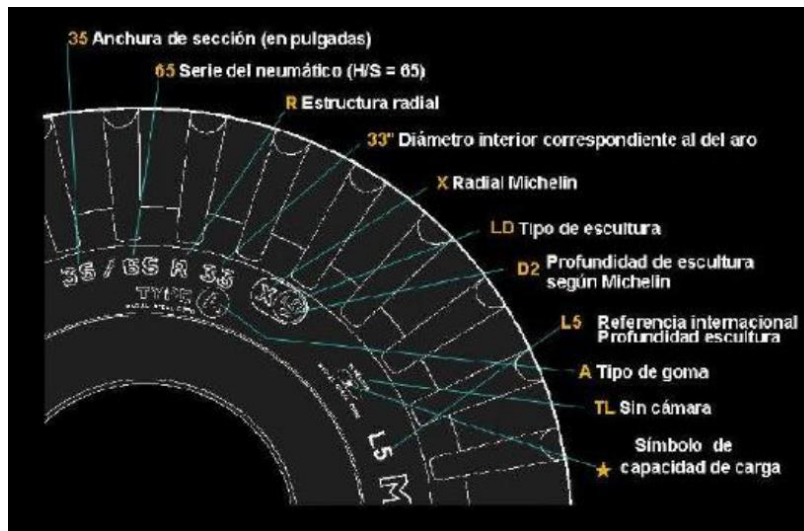


Figura 13. Terminología del neumático
Fuente: Livias Riquez (23)

- Retardo adicional

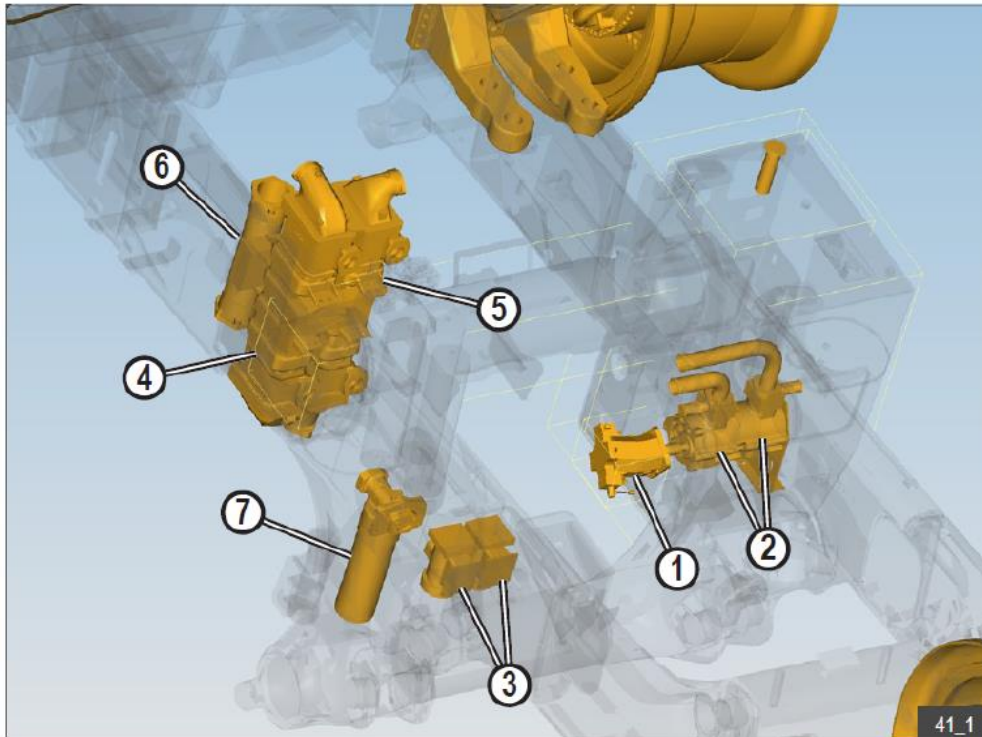
Esta alternativa ha sido desarrollada específicamente para condiciones de conducción cuesta abajo extremas y, generalmente, proporciona capacidades adicionales de desaceleración de marcha. Al conducir cuesta abajo, la velocidad aumentará en un 25 %. Para lograr una desaceleración adicional, se han incorporado frenos más grandes y una capacidad adicional de enfriamiento de frenos. Es importante señalar que esta opción obliga al uso de tambores de ruedas de larga duración.

G) Integración del motor y el tren de fuerza

El enlace de datos Cat se destaca por su enfoque integral en la minimización de gastos operativos al integrar de manera electrónica los sistemas informáticos de la máquina. Su propósito principal se centra en la optimización del rendimiento global del tren de fuerza, mejorando la fiabilidad y prolongando la vida útil de los componentes. Entre las características sobresalientes, se encuentra el cambio de marcha con aceleración controlada, una función que administra las rpm del motor durante los cambios para reducir la carga y el desgaste de los embragues de manera eficiente. Asimismo, la administración de cambios de sentido regula la velocidad del motor en los cambios de marcha inversa, evitando posibles daños a altas velocidades. Complementando estas funciones, el inhibidor de cambios impide cambios superiores a los programados, a menos que la caja esté completamente en posición descendente. La protección realiza cambios ascendentes de forma automática para prevenir velocidades excesivas y, en caso de superar los límites, desactiva el embrague de bloqueo para una mayor seguridad. Además, la marcha máxima programable permite al operador establecer límites de velocidad mediante la herramienta de servicio Cat ET, brindando un mayor control y personalización en la operación del equipo.

H) Sistema de frenado CAT

El sistema de frenado superior está meticulosamente diseñado para permitir que los operadores se enfoquen en la productividad, asegurando un funcionamiento confiable y control preciso incluso en condiciones exigentes de los caminos de acarreo. Este avanzado sistema de frenos Cat incorpora un diseño integral con funciones de retardo, frenos de servicio, secundarios y de estacionamiento, proporcionando una eficiencia óptima de frenado sin consumir combustible durante el retardo. Destacan los frenos de disco múltiples enfriados por aceite, con un sistema de enfriamiento continuo que garantiza un rendimiento constante y un retardo excepcional. Estos frenos, equipados con discos y placas de mayor tamaño, ofrecen una operación más confiable sin requerir ajustes frecuentes, siendo completamente herméticos para prevenir la contaminación y reducir la necesidad de mantenimiento. Además, la gestión electrónica del control automático del retardador hidráulico (ARC) se encarga de regular la reducción de velocidad en pendientes, asegurando un mantenimiento óptimo de las rpm del motor y la eficiencia sobresaliente del sistema de frenado.



- Motor de enfriamiento de freno (1)
- Bombas de enfriamiento de freno (2)
- Rejillas de enfriamiento de freno (3)
- Enfriador de freno de aceite delantero rectangular (4)
- Enfriador de freno de aceite trasero rectangular (5)
- Enfriador de freno de aceite delantero redondo (6)
- Filtro de aceite de enfriamiento de levante / freno (7)

Figura 14. Componentes del sistema de enfriamiento de freno
Fuente: Caterpillar

La representación gráfica exhibe los elementos que componen el sistema de enfriamiento de frenos, destacando que el aceite de enfriamiento de frenos comparte la misma sección del depósito que el aceite de levante.

El enfriador de aceite de freno delantero redondo está instalado en los camiones con el enlace del retardador adicional.

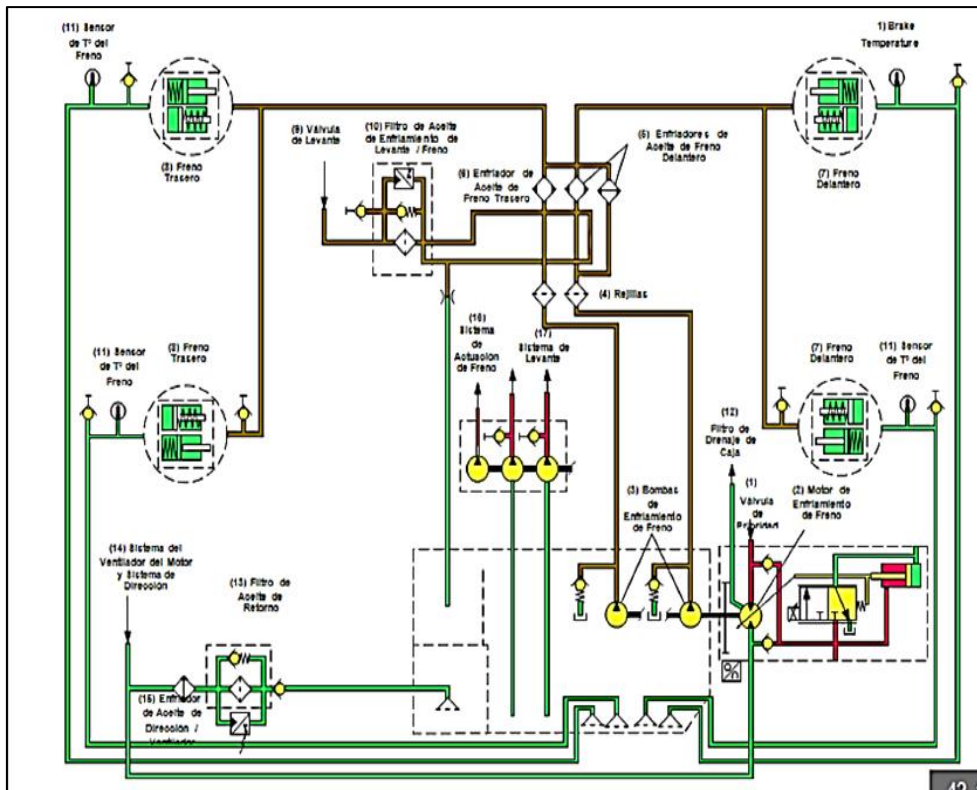


Figura 15. Esquema de sistema hidráulico de enfriamiento de freno
Fuente: Caterpillar

I) Estructuras

La estructura del bastidor del modelo 793F presenta un diseño de sección en la caja, integrando secciones forjadas y fundidas para resistir impactos sin requerir peso adicional. Se utiliza acero suave en toda la estructura para flexibilidad y durabilidad, facilitando reparaciones en el terreno. Las partes fundidas con varillas internas reforzadas dispersan la tensión y reubican uniones soldadas para aumentar la durabilidad del bastidor. Además, el modelo ofrece tres opciones de caja diseñadas para trabajar de manera óptima con la estructura del bastidor, garantizando un rendimiento estructural superior.

Sistema de caja camión		
Caja de camión Cat	Descripción	Representación
Caja x	Si tiene una mina nueva o es un minero contratista la caja x es el diseño perfecto para usted Si tiene una nueva mina o es minero contratista, la caja X es el diseño preciso. Usa el proceso de diseño específico para minería de Cat para crear cajas con tamaños y configuraciones adecuados que cumplan con los requisitos específicos de las aplicaciones de servicio pesado.	
Msd II	Las cajas MSD II se diseñan para minas establecidas y se personalizan para adaptarse a las aplicaciones de minería específicas basadas en evaluaciones de sitios de minería. El MSD II es la mejor caja liviana fabricada para aplicaciones de minería y alcanza excelente rendimiento de carga útil	
Caja para carbón sin compuerta	La caja para carbón sin compuerta se diseñó para aplicaciones especializadas de acarreo de carbón. Se puede cargar hasta alcanzar el rango total de densidad de carbón para lograr cargas útiles de objetivo. La caja se diseñó y fabricó usando el concepto de caja MSD II, lo cual asegura mayor durabilidad y fiabilidad.	

Figura 16. Sistema de cajón minero
Fuente: Caterpillar (22)

2.3. Definición de términos básicos

1. Plan de mantenimiento proactivo: estrategia que anticipa y aborda proactivamente posibles fallas en los equipos para mejorar la confiabilidad y disponibilidad.
2. Tasa de disponibilidad: porcentaje que indica el tiempo en que los camiones están operativos, crucial para evaluar la eficiencia en operaciones mineras.
3. *Benchmark*: estándar de referencia mínima, en este contexto, para la disponibilidad de los equipos.
4. Sistemas y subsistemas: división de los equipos en componentes principales y sus subdivisiones para un análisis más detallado.
5. Indicadores de mantenimiento: métricas como MTBF y MTTR para evaluar la eficiencia y rendimiento de los equipos.
6. Mantenimiento proactivo: enfoque que busca identificar y abordar las causas subyacentes de las fallas antes de que ocurran, a través de inspecciones regulares, análisis de datos y actividades predictivas.
7. Flota de camiones de acarreo: conjunto de vehículos especializados en transporte de material de la minería, como los camiones Caterpillar 793F en el contexto de la unidad minera Constancia.
8. Nivel de criticidad: evaluación de la importancia y el impacto de los sistemas del equipo, utilizado para priorizar y planificar las actividades de mantenimiento.
9. Sistemas del equipo: componentes y partes críticas de los camiones de acarreo, cuyo rendimiento y estado influyen directamente en la operatividad y eficacia del equipo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Este capítulo tiene como objetivo justificar el enfoque metodológico que se utilizó en la investigación.

3.1. Método y nivel de investigación

3.1.1. Método de investigación

Se considera que la presente investigación es de enfoque mixto, ya que presenta parámetros que se evalúan en cuanto a calidad y cantidad. Para Otero (24), una investigación mixta conlleva la recopilación, evaluación y conclusión de parámetros cuantitativos y cualitativos que fueron considerados por el investigador de relevancia para su estudio, es donde la perspectiva objetiva del enfoque cuantitativo y la perspectiva subjetiva del enfoque cualitativo llegan a unirse en uno, para dar soluciones a incógnitas planteadas por el ser humano.

Podría considerarse la calidad de los trabajos de mantenimiento o los estudios y evaluaciones para obtener datos idóneos y a su vez la cantidad de evaluaciones, elementos a estudiar y dentro de estos la cantidad de desgaste o presencia de elementos desprendidos.

3.1.2. Nivel de investigación

Se considera investigación descriptiva, ya que consiste en la recolección de información que describen los sucesos y proceder a ordenarlos, tabularlos, representar y describir la recolección de información. Dada la magnitud de información se dispone del uso de gráficos para facilitar la interpretación de los datos adquiridos.

Y de tipo explicativo, ya que tiene como finalidad la de dar respuestas a las causas reales de los contratiempos, está enfocado en los motivos o fundamentos raíces que dan origen a los hechos (25).

La presente investigación es de alcance descriptivo, ya que se desarrolló a partir de la información ya obtenida por la empresa que es un historial de los equipos y sus mantenimientos. Y explicativa o casual, ya que mediante el historial se puede evaluar si el programa es ideal o presenta algunas deficiencias en planificación o aplicación.

3.2. Diseño de investigación

Este tipo de diseño de investigación no es de naturaleza experimental dado que se caracteriza por motivo que se desarrolla sin utilizar premeditadamente las variables independientes. Lo que se hace es visualizar la manera que se manifiestan los sucesos o fenómenos de forma normal en su contexto habitual, para luego proceder a estudiarlos.

La presente investigación se define como no experimental por el motivo que se interpretaron los datos brindados y se procedió a evaluar las partes más relevantes.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La formación de la población implica la inclusión de la flota de camiones de minería HUBBAY del tipo de acarreo Caterpillar 793F.

Tabla 2. Codificación de equipos de acarreo Caterpillar 793F

Código	Descripción del equipo
TR-001	Cat n.º 1
TR-002	Cat n.º 2
TR-003	Cat n.º 3
TR-004	Cat n.º 4
TR-005	Cat n.º 5
TR-006	Cat n.º 6
TR-007	Cat n.º 7
TR-008	Cat n.º 8
TR-009	Cat n.º 9
TR-010	Cat n.º 10
TR-011	Cat n.º 11
TR-012	Cat n.º 12

TR-013	Cat n.º 13
TR-014	Cat n.º 14
TR-015	Cat n.º 15
TR-016	Cat n.º 16
TR-017	Cat n.º 17
TR-018	Cat n.º 18
TR-019	Cat n.º 19

3.3.2. Muestra

La muestra es la esencia, un subgrupo de la población. Para el muestreo se ha elegido 5 camiones escogidos con base en la baja disponibilidad. La información técnica se encuentra en el anexo 5.

Tabla 3. Muestra

Equipo	% dispo.
TR-002	80.3
TR-003	80.2
TR-004	79.7
TR-008	80.9
TR-010	80.7

3.4. Técnicas e instrumentos considerados

Los instrumentos utilizados para recolección de información fueron:

3.4.1. Entrevistas

Herramienta esencial para esta investigación, el instrumento de investigación facilita la recopilación de información sobre el problema en cuestión, que se centra en las causas de las fallas recurrentes en los camiones. En este contexto, se llevaron a cabo entrevistas con los operadores y el jefe de mantenimiento, utilizando el *meet* y formatos de entrevista disponibles en los anexos 2 y 3.

3.4.2. Documental

Se utiliza con el propósito de obtener información sobre fallas, así como, mantenimiento correctivo y preventivo realizado en períodos anteriores. Esta recopilación de datos se lleva a cabo a través de la revisión de documentos específicos.

3.4.3. Registro de historial de fallas y mantenimiento

Se trata de un conjunto de datos que detalla las horas dedicadas a mantenimiento preventivo programado, mantenimiento correctivo programado y mantenimiento correctivo no programado. Además, incluye registros de las fechas en que se lleva a cabo el mantenimiento, junto con una breve descripción de las tareas realizadas, anexo 6.

3.4.4. Registro de disponibilidad de los equipos

Proporciona la disponibilidad inicial de los equipos antes de la implementación del estudio y después de la aplicación del plan de mantenimiento, permitiendo determinar la disponibilidad final de los vehículos.

3.4.5. Manuales

Se trata de documentos que condensan los procedimientos, normativas y secuencia de operaciones, junto con la asignación de recursos relacionados con las actividades de mantenimiento.

3.4.6. Ficha técnica

Su propósito es proporcionar información sobre las condiciones operativas del camión, las recomendaciones de mantenimiento proporcionadas por los fabricantes y las especificaciones técnicas de cada vehículo, anexo 5.

3.5. Método

Se proporciona el siguiente diagrama de bloques como una representación visual de los pasos y el método seguido para la creación del plan de mantenimiento.

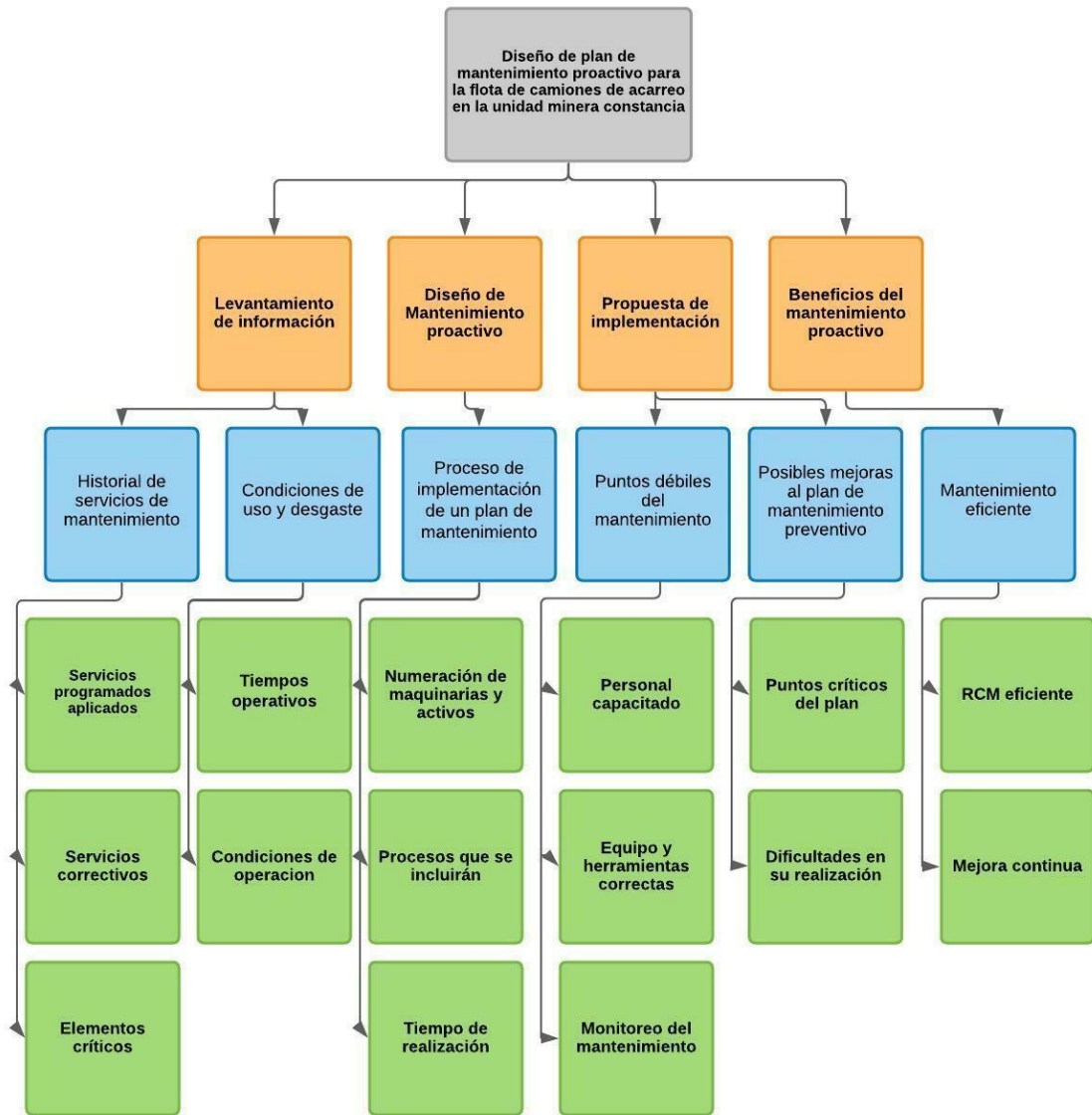


Figura 17. Diagrama de bloques

3.5.1. Cálculo y análisis de los indicadores

Calcular y realizar un análisis del MTTR y MTBF respectivo con base en el número de paradas y tiempos de reparación y comparar con el *benchmark* o punto de referencia del fabricante. Realizar la componentización de los activos identificando los sistemas y subsistemas.

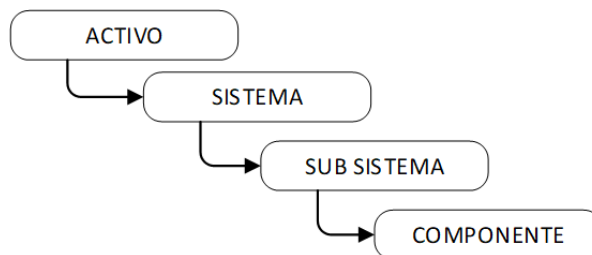


Figura 18. Componentización de activos

Tabla 4. Formato de componentización de activos

Sistema	Subsistemas	Componentes
sistema 1	subsistema 1	comp 1
		comp 2
	subsistema 2	comp 3
		comp 4
sistema 2	subsistema 3	comp 5
	subsistema 4	comp 6
		comp 7
sistema 3	subsistema 5	comp 8
		comp 9
	subsistema 6	comp 10
		comp 11
subsistema 7	comp 12	
	comp 13	
		comp 14

Identificación los sistemas con mayor criticidad mediante el análisis de criticidad y Pareto

En una primera etapa, se procede a categorizar las interrupciones (expresadas en horas y cantidad de paradas) observadas en la flota de camiones de acarreo seleccionada, clasificándolas según el sistema y subsistema. Posteriormente, se realiza un análisis de criticidad a nivel de los subsistemas que conforman el camión, asignándoles niveles de criticidad específicos.

Para llevar a cabo el análisis de criticidad, se consideran los siguientes criterios:

Análisis de Criticidad		
Frecuencia de falla	1	Se considera nro. de veces que falla el sistema o subsistema es un indicador para definir la estrategia de mantenimiento a ejecutar.
Impacto en el equipo padre	0.5	Se considera importante definir la importancia del sistema o subsistema para que el equipo cumpla su función.
Criticidad del equipo padre	-	Estos valores ya están definidos por el Procedimiento de Criticidad de Equipos de la compañía.
Lead time del repuesto	0.1	Es consciente que el tiempo de reposición de los repuestos y componentes del sistema afecta directamente a la operación del equipo, y está afectado por muchas variables entre ellas el tiempo de fabricación, transporte, obsolescencia, reemplazos, entre otros.
Costo de reparación	0.2	Como consecuencia de falla se generan gastos de reparación de los equipos, es importante este indicador ya que los costos elevados pueden ser controlados o disminuidos a través de una estrategia apropiada del mantenimiento
Impacto en la seguridad	0.1	La seguridad de las personas y los equipos es un indicador importante para definir la criticidad, porque se considera como uno los pilares importantes al personal que labora en las instalaciones y cuida sus activos como fuente de generación.
Impacto ambiental	0.1	El cuidado del medio ambiente es un criterio importante para nuestra compañía por lo tanto nuestros equipos tienen que estar 100% operativos y confiables para no dañar el medio.

*Figura 19. Criterios para el análisis de criticidad de sistemas
Fuente: Cáceres (5)*

Criterios	Peso	Criterios peso valoración del nivel de criticidad				
		Muy bajo=1	Bajo=2	Medio=3	Alto=4	Muy alto=5
Frecuencia de falla	1	<500hrs	<500hrs, 1000hrs>	<1000hrs, 1500hrs>	<1500hrs, 2000hrs>	>2000hrs
Impacto en el equipo padre	0.5	No afecta la operación/capacidad del equipo.	Afecta la capacidad del equipo en menos del 20%.	Afecta la capacidad del equipo en 20% a 50%.	Afecta la capacidad del equipo en 50% o más.	Afecta la operación del Equipo.
Lead time del repuesto	0.1	1 a 14 días	15 a 45 días	46 a 90 días	91 a 120 días	121 días a más
Costo de reparación	0.2	Gasto irrelevante <1k\$	Gasto bajo 1k\$-10k\$	Gasto razonable 10k\$-50k\$	Gasto importante 50k\$-100k\$	Gastos altos >100k\$
Impacto en la seguridad	0.1	No existe riesgo para las personas ni equipos.	Puede producir daños leves que desaparecen con tratamiento o reparación.	Puede producir daños graves, que desaparecen con tratamiento o reparación.	Pueden producir daños muy graves que dejan secuela después de un tratamiento o reparación.	Riesgo de muerte inminente o falla catastrófica en el equipo.
Impacto Ambiental	0.1	No provoca ningún daño.	Produce daños medio ambientales reversibles.	Produce daños medio ambientales cuyos efectos no violan las normativas.	Provoca daños medio ambientales irreversibles dentro de la mina.	Provoca daños medio ambientales irreversibles fuera de la mina.

Figura 20. Valoración del nivel de criticidad
Fuente: Cáceres (5)

En este contexto, se han definido cinco niveles para la evaluación de la criticidad, abarcando desde «no crítico» hasta «muy alta criticidad», cada uno con sus valores respectivos, los cuales se detallan en la siguiente evaluación.

Criticidad	Rango
Muy Alta Criticidad	31.1 hasta 80
Alta Criticidad	15.1 hasta 31
Media Criticidad	8.1 hasta 15
Baja Criticidad	4.1 hasta 8
No critico	Igual o menor de 4

Figura 21. Rangos de criticidad
Fuente: Cáceres (5)

La ecuación empleada para calcular el grado de criticidad es la siguiente:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = 0.5 \times IE \times (3 - CE) + 0.1 \times LT + 0.2 \times CR + 0.1 \times IS + 0.1 \times IA$$

Donde:

IE: Impacto en el equipo

CE: Criticidad del equipo

LT: Lead Time en logística

CR: Reparación

IS: Seguridad

IA: Ambiental

Se realiza un análisis mediante el diagrama de Pareto con el objetivo de identificar los sistemas que tienen la mayor repercusión en la falta de disponibilidad de la flota. Se examina el porcentaje acumulado de la duración de las fallas, con una atención especial al 53 %, que representa los sistemas más críticos. Esta evaluación facilita la identificación de los componentes que contribuyen de manera significativa a la falta de disponibilidad, destacando áreas prioritarias para la implementación de proyectos de mejora, especialmente, en el ámbito del mantenimiento.

3.5.2. Análisis de causa raíz (ACR) y AMEF

Se determina el origen de la falla con las herramientas mencionadas para brindar posibles soluciones.

3.5.3. Elaboración de un plan para controlar la causa raíz y preservarla de una manera sostenible en el tiempo con base en KPI

Al identificar las principales causas – raíz, se establece un plan de mantenimiento proactivo que hace que los KPI mejoren.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico del mantenimiento

Examinando a los responsables y ejecutores de las labores de mantenimiento en la unidad minera de interés, se analizó la estructura organizativa representada en el organigrama. La unidad minera alberga 19 camiones mineros sujetos a un PM preventivo. En la sección inicial de este capítulo, se identificaron dos sistemas de los equipos críticos que presentan una mayor incidencia de fallos.

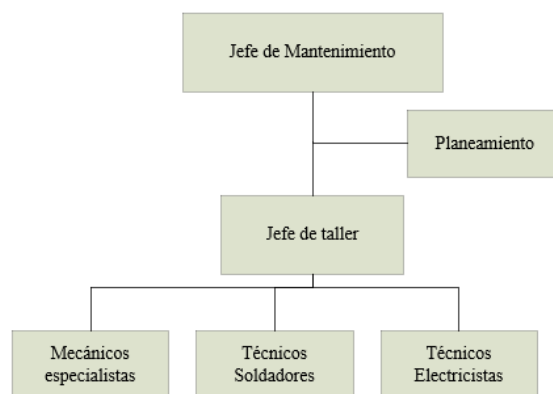


Figura 22. Organización
Fuente: La empresa

4.1.1. Atribuciones y responsabilidades

4.1.1.1. Jefe de mantenimiento

Tiene las siguientes responsabilidades y funciones:

- Gestionar, controlar y evaluar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de la flota de camiones.
- Autorizar directamente los requerimientos de repuestos e insumos, asegurando que cumplan con las especificaciones técnicas necesarias.

- Presentar informes a la gerencia al concluir los hitos de operación.
- Validar las órdenes de trabajo y solicitudes de repuesto.
- Elaborar el plan de mantenimiento semanal y mensual para cada flota de equipos.
- Colaborar en la administración y control del Supervisor de taller.
- Elaborar requerimientos de repuestos, insumos y materiales para mantener un *stock* mínimo de repuestos de uso frecuente, garantizando la pronta atención a las reparaciones.
- Mantener un control e inventario actualizado de las herramientas y equipos utilizados en los talleres.

4.1.1.2. Jefe de taller

El encargado de mantenimiento, bajo la supervisión directa del jefe de Mantenimiento y con la colaboración del *Planner* de mantenimiento, se encarga de llevar a cabo el plan de mantenimiento establecido para un período de trabajo determinado, siguiendo las frecuencias planificadas para las distintas flotas. Su equipo está conformado por diversos mecánicos de campo.

Sus funciones principales son:

- Realizar seguimiento al proceso de las reparaciones llevadas a cabo en el taller.
- Brindar apoyo al personal técnico para realizar trabajos específicos para los cuales no estén suficientemente capacitados.
- Verificar el correcto funcionamiento de los equipos de taller utilizados en las reparaciones.
- Coordinar y solicitar la reparación o reposición de equipos en mal estado.

4.1.2. FODA

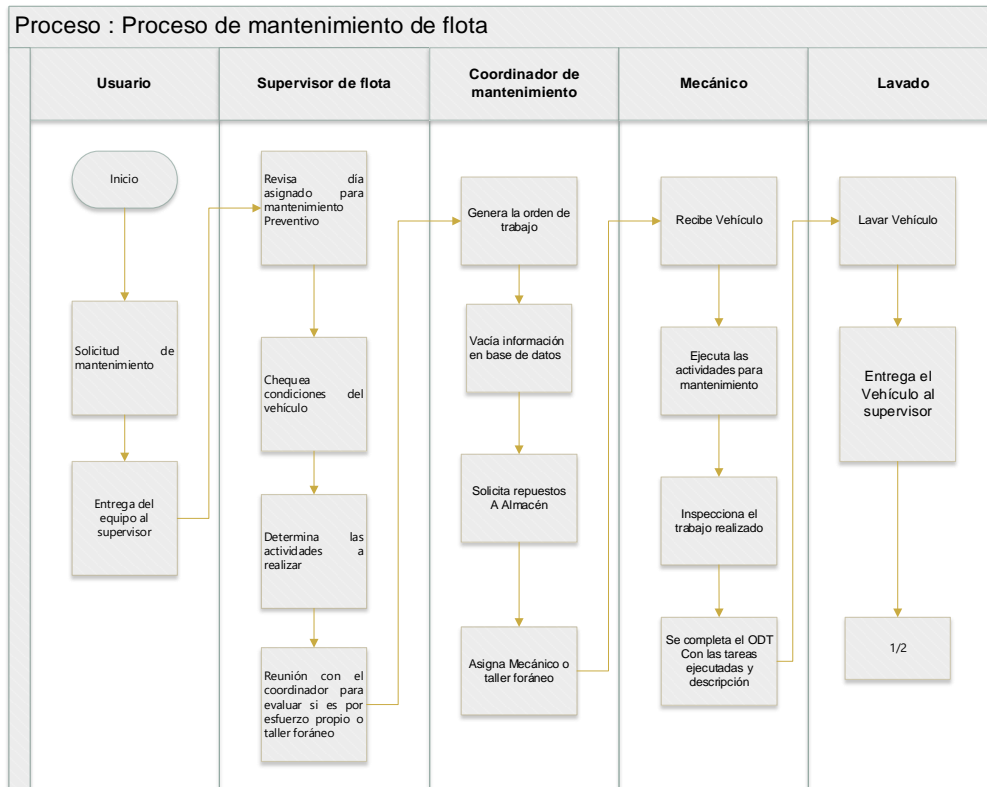
- Se elabora el FODA del área de Mantenimiento

Tabla 5. Análisis FODA

FODA	
Fortalezas	Oportunidades
Personal técnico y de ingeniería Capacitado y competitivo Herramientas adecuadas Disponibilidad de horarios	Oportunidad de mejora continua
Debilidades	Amenazas
No hay buena gestión Poca administración	Retrasos de repuestos Retrasos de insumos

4.1.3. Proceso de mantenimiento

Según la entrevista realizada al jefe de mantenimiento, reporta que todo el mantenimiento por parte de los ejecutores, ingenieros y personal técnico especialista, se realiza conforme al plan de mantenimiento preventivo, cumpliendo adecuadamente el proceso, programaciones y frecuencias, sin embargo, indica que lo que falla recurrentemente es la parte gestora y administrativa, ya que no se cuenta con los repuestos en *stock* y los insumos no están siempre disponibles en cantidad y calidad para la ejecución de los debidos mantenimientos.



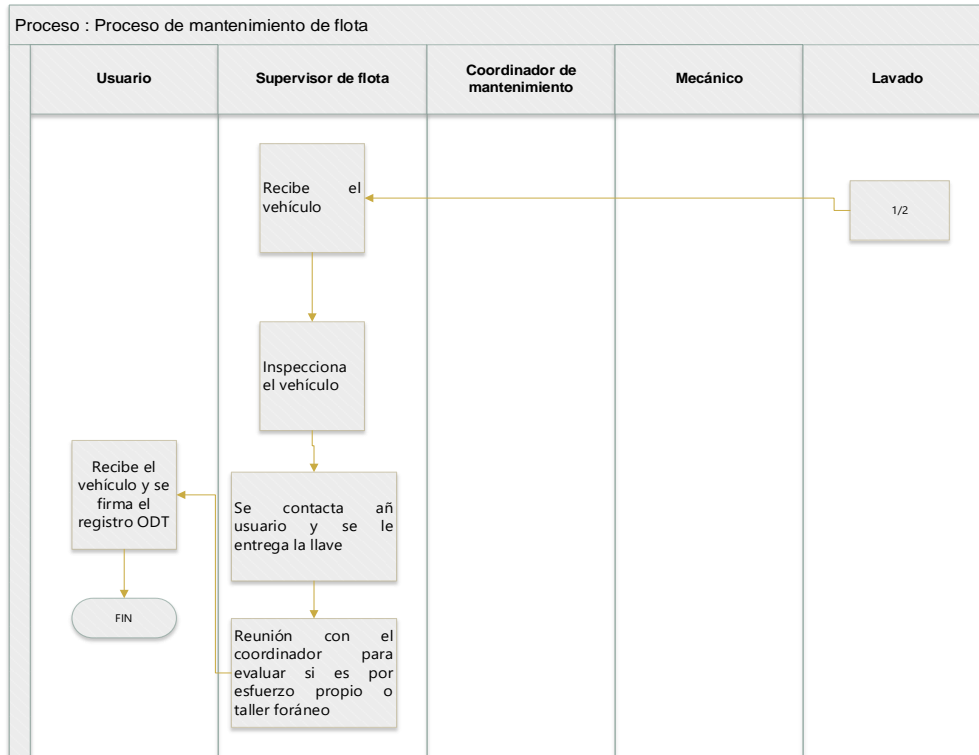


Figura 23. Proceso de mantenimiento de la flota

4.2. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Para el mantenimiento proactivo basado en el historial de fallas anual aplicado a la flota de camiones de acarreo 793F se consideran los siguientes pasos:

4.2.1. Selección de unidades críticas

Actualmente, la empresa cuenta con una flota de 19 camiones de acarreo y se realiza la primera selección con base en la disponibilidad, lo que permitirá deducir la cantidad de camiones con más fallas.

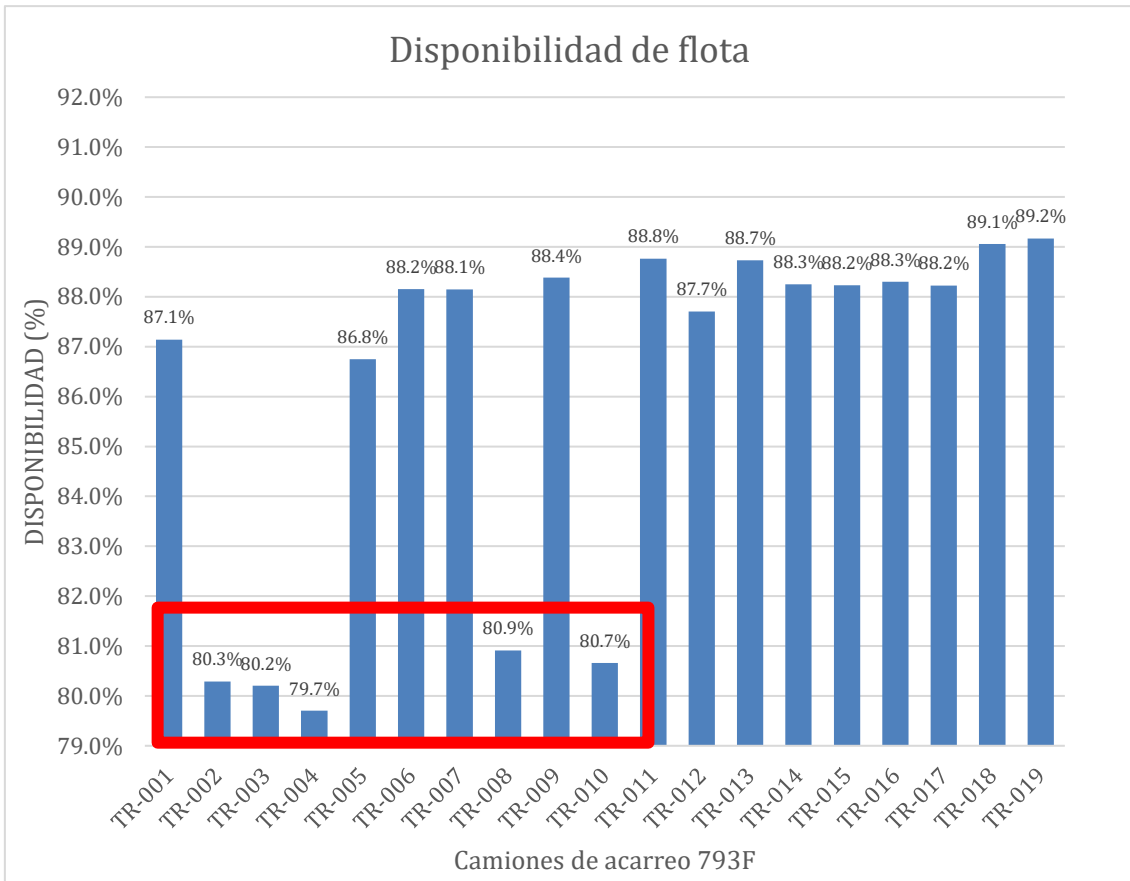


Figura 24. Disponibilidad de flota Cat

Según las métricas KPI para evaluar el desempeño del proceso de CAT se tiene que los puntos de referencia del índice de disponibilidad para flota maduran, como es el caso, es de 88 %.

Tabla 6. Equipos con disponibilidad baja

Equipo	% dispo.
TR-002	80.3
TR-003	80.2
TR-004	79.7
TR-008	80.9
TR-010	80.7

4.2.2. Cálculo y análisis de indicadores

Para la muestra seleccionada se determina los indicadores MTBF y MTTR.

Tabla 7. Indicadores de mantenimiento para unidades críticas

Camión	Disponibilidad	Horas inactivas	N.º de paradas	MTTR	MTBF
TR-008	80.9 %	556.47	117	4.76	20.15
TR-010	80.7 %	586.02	118	4.97	20.77
TR-002	80.3 %	588.63	99	5.95	24.24
TR-003	80.2 %	670.95	102	6.58	26.64
TR-004	79.7 %	864.6	106	8.16	32.02

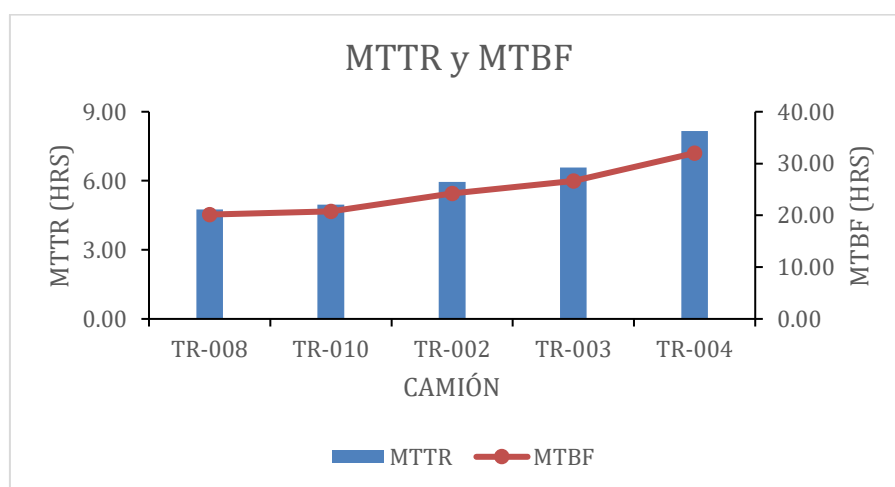


Figura 25. MTTR Y MTBF

Como se observa en la figura 25, los equipos TR-002, 008, 010 muestran un MTTR dentro del rango del punto de referencia (3-6 h), sin embargo, el TR-003 y 004 se encuentra fuera del rango debido a que hay mayores horas de inactividad. Respecto al MTBF los equipos TR-002, 003, 008, 010, según el punto de referencia están en el rango de (20-30 h) se considera Justo; < 40 % de tiempo de inactividad programado; esfuerzo mínimo en la gestión de equipos y el TR-004 se encuentra en el rango (30-40 h) es marginal; aprox. la mitad de todo el tiempo de inactividad está programado; gestión de equipos y disciplina no completamente funcional.

4.2.3. Componentización de activos y análisis de criticidad por equipo

Una vez que se identificaron los componentes de los equipos, la información se colocó en los formatos de componentización correspondientes como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Componentización de camión minero Caterpillar 793F

Sistema	Subsistemas	Componentes	
Motor	Motor Básico	Motor Diesel válvulas de motor turbocompresor 1	
	Sistema de admisión	turbocompresor 2 turbocompresor 3 turbocompresor 4 bomba de combustible	
	Sistema de combustible	bombas de transferencia de combustible inyectores de combustible	
	Sistema de compresión	compresor secador de aire	
	Sistema de refrigeración	bomba de agua bomba de agua de refrigeración	
	Sistema eléctrico	alternador faja de alternador motor de arranque neumático	
	Tren de potencia	Tren de potencia	convertidor de torque transmisión
		Tren de rodaje	mando final izquierdo mando final derecho diferencial
	Hidráulico	Sistema de cilindro	cilindro de levante de tolva izquierda cilindro de levante de tolva derecho
Bomba de levante		bomba de levante	
Cubos	Ruedas	rueda izquierda rueda derecha	
	sistema de dirección	cilindro de dirección izquierda cilindro de dirección derecha	
	sistema de suspensión	cilindro de suspensión delantero izquierdo cilindro de suspensión delantero derecho	

cilindro de suspensión posterior
izquierdo

cilindro de suspensión posterior
derecho

Estructura	Cuerpo	bastidor superior
		bastidor inferior
	Implementos	tolva

4.2.4. Identificación de los subsistemas más críticos mediante el análisis de criticidad y Pareto. Detenciones programadas y no programadas de activos críticos 2020

Tabla 9. Componentes de camión minero

Sistemas	Subsistemas	TR-002		TR-003		TR-004		TR-008		TR-010	
		h	Frec.	h	Frec.	h	Frec.	h	Frec.	h	Frec.
Motor	Motor básico	54.0	6.0	53.0	17.0	64.5	11.0	46.1	5.0	43.4	10.0
	Sist. De admisión y escape	2.7	1.0	114.9	5.0	72.0	5.0	11.1	9.0	1.2	1.0
	Sist. Comb	39.2	3.0	74.8	17.0	205.6	9.0	71.4	9.0	77.2	12.0
	Sist. Compresor	0.0	0.0	22.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sist. de refriger.	8.8	6.0	68.4	9.0	21.8	6.0	10.9	2.0	10.7	4.0
	Sist. Eléctrico	52.6	8.0	0.3	1.0	20.4	9.0	4.3	8.0	18.8	6.0
Tren de potencia	Tren de potencia	2.3	3.0	46.7	8.0	13.6	3.0	27.3	6.0	47.8	11.0
	Tren de rodaje	51.4	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2	1.0
Hidráulicos	Sist. Cilindros	68.9	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0
	Sist. Levante	6.6	1.0	26.3	2.0	0.0	0.0	0.8	1.0	1.2	1.0
Cubos	Ruedas	171.8	29.0	54.6	19.0	163.8	21.0	110.8	15.0	170.2	26.0
	Sist. Dirección	3.8	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sist. suspensión	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.6	1.0	0.0	0.0
Estructura	Cuerpo	0.0	0.0	5.6	4.0	90.5	9.0	19.8	9.0	52.9	12.0
	Implementos	0.0	0.0	13.3	1.0	10.0	1.0	3.2	4.0	0.0	0.0
Frenos	Sist. Frenos	16.9	6.0	86.5	8.0	83.6	13.0	94.9	25.0	100.5	20.0
Monitor	Sist. Monitor	7.2	9.0	11.5	2.0	22.4	12.0	1.5	5.0	10.7	10.0

4.2.5. Análisis de criticidad

Se emplea la siguiente matriz.

Aplicando:

EQUIPO	SISTEMA	HORAS	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO EN EL EQUIPO PADRE	LEAD TIME DEL REPUESTO	COSTOS DE REPARACION (\$)	IMPACTO EN LA SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	IMPACTO ANUAL
TR-002	MOTOR BASICO	54.0	1	1	3	4	4	3	6	2.8	16.8
	SIST. DE ADMISION Y ESCAPE	2.7	1	1	3	4	4	3	1	2.8	2.8
	SIST. COMB	39.2	1	2	3	2	4	3	3	3.4	10.2
	SIST. COMPRESOR	0.0	1	2	3	3	4	3	0	3.6	0
	SIST. DE REFRIG.	8.8	1	2	3	4	3	3	6	3.7	22.2
	SIST. ELECTRICO	52.6	1	1	1	2	2	3	8	2	16
	TREN DE POTENCIA	2.3	1	1	3	2	2	3	3	2.2	6.6
	TREN DE RODAJE	51.4	1	1	1	2	1	1	7	1.7	11.9
	SIST. CILINDROS	68.9	1	1	3	4	4	2	4	2.7	10.8
	SIST. LEVANTE	6.6	1	1	1	3	2	2	1	2.1	2.1
	RUEDAS	171.8	1	1	3	4	4	2	29	2.7	78.3
	SIST. DIRECCION	3.8	1	1	3	2	4	2	4	2.3	9.2
	SIST. SUSPENSION	0.0	1	1	2	2	2	2	0	2	0
	CUERPO	0.0	1	1	1	1	1	1	0	1.5	0
	IMPLEMENTOS	0.0	1	1	1	1	1	1	0	1.5	0
	SIST. FRENO	16.9	1	1	1	1	1	1	6	1.5	9
SIST. MONITOR	7.2	1	1	1	1	1	1	9	1.5	13.5	

Figura 26. Análisis de criticidad de activos críticos- Periodo 2020

En la figura 26, se puede apreciar que en el camión TR-02, tiene principalmente la mayor cantidad de horas inoperativas provocada por las ruedas, sin embargo, se considera crítico porque el impacto en cuanto a seguridad puede causar graves daños y dejar secuelas a la persona y el mismo equipo, en cuanto a reparación, se considera que las llantas son los elementos más caros del activo por lo tanto adquirir nuevos resulta costoso. Estas fallas afectan al equipo padre según la gravedad de la falla, al igual que al medio ambiente.

EQUIPO	SISTEMA	HORAS	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO EN EL EQUIPO PADRE	LEAD TIME DEL REPUESTO	COSTOS DE REPARACION (\$)	IMPACTO EN LA SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	IMPACTO ANUAL
TR-003	MOTOR BASICO	53.0	1	1	3	4	4	3	17	2.8	47.6
	SIST. DE ADMISION Y ESCAPE	114.9	1	1	3	4	4	3	5	2.8	14
	SIST. COMB	74.8	1	2	3	2	4	3	17	3.4	57.8
	SIST. COMPRESOR	22.0	1	2	3	3	4	3	2	3.6	7.2
	SIST. DE REFRIG.	68.4	1	2	3	4	3	3	9	3.7	33.3
	SIST. ELECTRICO	0.3	1	1	1	2	2	3	1	2	2
	TREN DE POTENCIA	46.7	1	1	3	2	2	3	8	2.2	17.6
	TREN DE RODAJE	0.0	1	1	1	2	1	1	0	1.7	0
	SIST. CILINDROS	0.0	1	1	3	4	4	2	0	2.7	0
	SIST. LEVANTE	26.3	1	1	1	3	2	2	2	2.1	4.2
	RUEDAS	54.6	1	1	3	4	4	2	19	2.7	51.3
	SIST. DIRECCION	0.0	1	1	3	2	4	2	0	2.3	0
	SIST. SUSPENSION	0.0	1	1	2	2	2	2	0	2	0
	CUERPO	5.6	1	1	1	1	1	1	4	1.5	6
	IMPLEMENTOS	13.3	1	1	1	1	1	1	1	1.5	1.5
	SIST. FRENO	86.5	1	1	1	1	1	1	8	1.5	12
SIST. MONITOR	11.5	1	1	1	1	1	1	2	1.5	3	

Figura 27. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020

En la figura 27, se puede apreciar que en el camión TR-03, tiene principalmente la mayor cantidad de horas inoperativas provocada por las ruedas, sin embargo, se considera crítico porque el impacto en cuanto a seguridad puede causar graves daños y dejar secuelas a la persona y el mismo equipo, en cuanto a reparación, se considera que las llantas son los elementos más caros del activo, por lo tanto, adquirir nuevos resulta costoso. Estas fallas afectan al equipo padre según la gravedad de la falla, al igual que al medio ambiente. En cuanto al sistema de refrigeración se puede apreciar que el impacto de costos de reparación es elevado, ya que por lo general las fallas

son internas y se requiere hacer un diagnóstico mediante el programa VIMS para detectar las piezas deterioradas por elevadas temperaturas, por lo general, son piezas de elevados costos y al tratarse de refrigerantes estos afectan al medio ambiente, por lo que es importante manipularlos según indicaciones del fabricante.

El motor básico y sistema de combustible tienen una alta ponderación en impacto de seguridad y ambiental, ya que existe derrame, ya sea de combustible o aceites por lo general durante las fallas, estos pueden provocar situaciones catastróficas. En cuanto a costos de reparación y adquirir los repuestos, tratándose de componentes mecánicos son de costos elevados.

EQUIPO	SISTEMA	HORAS	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO EN EL EQUIPO PADRE	LEAD TIME DEL REPUESTO	COSTOS DE REPARACION (\$)	IMPACTO EN LA SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	IMPACTO ANUAL
TR-004	MOTOR BASICO	64.5	1	1	3	4	4	3	11	2.8	30.8
	SIST. DE ADMISION Y ESCAPE	72.0	1	1	3	4	4	3	5	2.8	14
	SIST. COMB	205.6	1	2	3	2	4	3	9	3.4	30.6
	SIST. COMPRESOR	0.0	1	2	3	3	4	3	0	3.6	0
	SIST. DE REFRIG.	21.8	1	2	3	4	3	3	6	3.7	22.2
	SIST. ELECTRICO	20.4	1	1	1	2	2	3	9	2	18
	TREN DE POTENCIA	13.6	1	1	3	2	2	3	3	2.2	6.6
	TREN DE RODAJE	0.0	1	1	1	2	1	1	0	1.7	0
	SIST. CILINDROS	0.0	1	1	3	4	4	2	0	2.7	0
	SIST. LEVANTE	0.0	1	1	1	3	2	2	0	2.1	0
	RUEDAS	163.8	1	1	3	4	4	2	21	2.7	56.7
	SIST. DIRECCION	0.0	1	1	3	2	4	2	0	2.3	0
	SIST. SUSPENSION	0.0	1	1	2	2	2	2	0	2	0
	CUERPO	90.5	1	1	1	1	1	1	9	1.5	13.5
	IMPLEMENTOS	10.0	1	1	1	1	1	1	1	1.5	1.5
	SIST. FRENO	83.6	1	1	1	1	1	1	13	1.5	19.5
	SIST. MONITOR	22.4	1	1	1	1	1	1	12	1.5	18

Figura 28. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020

En la figura 28, se puede apreciar que en el camión TR-04, tiene principalmente la mayor cantidad de horas inoperativas provocada por las ruedas, sin embargo, se considera crítico porque el impacto en cuanto a seguridad puede causar graves daños y dejar secuelas a la persona y el mismo equipo, en cuanto a reparación, se considera que las llantas son los elementos más caros del activo por lo tanto adquirir nuevos resulta costoso. Estas fallas afectan al equipo padre según la gravedad de la falla, al igual que al medio ambiente.

EQUIPO	SISTEMA	HORAS	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO EN EL EQUIPO PADRE	LEAD TIME DEL REPUESTO	COSTOS DE REPARACION (\$)	IMPACTO EN LA SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	IMPACTO ANUAL
TR-008	MOTOR BASICO	46.1	1	1	3	4	4	3	5	2.8	14
	SIST. DE ADMISION Y ESCAPE	11.1	1	1	3	4	4	3	9	2.8	25.2
	SIST. COMB	71.4	1	2	3	2	4	3	9	3.4	30.6
	SIST. COMPRESOR	0.0	1	2	3	3	4	3	0	3.6	0
	SIST. DE REFRIG.	10.9	1	2	3	4	3	3	2	3.7	7.4
	SIST. ELECTRICO	4.3	1	1	1	2	2	3	8	2	16
	TREN DE POTENCIA	27.3	1	1	3	2	2	3	6	2.2	13.2
	TREN DE RODAJE	0.0	1	1	1	2	1	1	0	1.7	0
	SIST. CILINDROS	0.0	1	1	3	4	4	2	0	2.7	0
	SIST. LEVANTE	0.8	1	1	1	3	2	2	1	2.1	2.1
	RUEDAS	110.8	1	1	3	4	4	2	15	2.7	40.5
	SIST. DIRECCION	0.0	1	1	3	2	4	2	0	2.3	0
	SIST. SUSPENSION	68.6	1	1	2	2	2	2	1	2	2
	CUERPO	19.8	1	1	1	1	1	1	9	1.5	13.5
	IMPLEMENTOS	3.2	1	1	1	1	1	1	4	1.5	6
	SIST. FRENO	94.9	1	1	1	1	1	1	25	1.5	37.5
	SIST. MONITOR	1.5	1	1	1	1	1	1	5	1.5	7.5

Figura 29. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020

En la figura 29, se puede apreciar que en el camión TR-08, tiene principalmente la mayor cantidad de horas inoperativas provocada por las ruedas, sin embargo, se considera crítico porque el impacto en cuanto a seguridad puede causar graves daños y dejar secuelas a la persona y el

mismo equipo, en cuanto a reparación, se considera que las llantas son los elementos más caros del activo por lo tanto adquirir nuevos resulta costoso. Estas fallas afectan al equipo padre según la gravedad de la falla, al igual que al medio ambiente.

En cuanto al sistema de frenos, en este caso no falla por alta ponderación en el impacto, sino porque es el segundo sistema que provoca horas inoperativas, la mayoría de sus fallas son reparaciones correctivas no planificadas, realizando acumulativo de horas por actividad en un rango de 2 – 3 horas.

EQUIPO	SISTEMA	HORAS	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO EN EL EQUIPO PADRE	LEAD TIME DEL REPUESTO	COSTOS DE REPARACION (S)	IMPACTO EN LA SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	IMPACTO ANUAL
TR-010	MOTOR BASICO	43.4	1	1	3	4	4	3	10	2.8	28
	SIST. DE ADMISION Y ESCAPE	1.2	1	1	3	4	4	3	1	2.8	2.8
	SIST. COMB	77.2	1	2	3	2	4	3	12	3.4	40.8
	SIST. COMPRESOR	0.0	1	2	3	3	4	3	0	3.6	0
	SIST. DE REFRIG.	10.7	1	2	3	4	3	3	4	3.7	14.8
	SIST. ELECTRICO	18.8	1	1	1	2	2	3	6	2	12
	TREN DE POTENCIA	47.8	1	1	3	2	2	3	11	2.2	24.2
	TREN DE RODAJE	36.2	1	1	1	2	1	1	1	1.7	1.7
	SIST. CILINDROS	0.7	1	1	3	4	4	2	1	2.7	2.7
	SIST. LEVANTE	1.2	1	1	1	3	2	2	1	2.1	2.1
	RUEDAS	170.2	1	1	3	4	4	2	26	2.7	70.2
	SIST. DIRECCION	0.0	1	1	3	2	4	2	0	2.3	0
	SIST. SUSPENSION	0.0	1	1	2	2	2	2	0	2	0
	CUERPO	52.9	1	1	1	1	1	1	12	1.5	18
	IMPLEMENTOS	0.0	1	1	1	1	1	1	0	1.5	0
	SIST. FRENOS	100.5	1	1	1	1	1	1	20	1.5	30
	SIST. MONITOR	10.7	1	1	1	1	1	1	10	1.5	15

Figura 30. Análisis de criticidad de activos críticos – periodo 2020

En la figura 30, se puede apreciar que en el camión TR-010, tiene principalmente la mayor cantidad de horas inoperativas provocada por las ruedas, sin embargo, se considera crítico porque el impacto en cuanto a seguridad puede causar graves daños y dejar secuelas a la persona y el mismo equipo, en cuanto a reparación, se considera que las llantas son los elementos más caros del activo por lo tanto adquirir nuevos resulta costoso. Estas fallas afectan al equipo padre según la gravedad de la falla, al igual que al medio ambiente.

El sistema de combustible tiene una alta ponderación en impacto de la seguridad y ambiental, ya que existe derrame ya sea de combustible o aceites por lo general durante las fallas, estos pueden provocar situaciones catastróficas. En cuanto a costos de reparación y adquirir los repuestos, tratándose de componentes mecánicos son de costos elevados.

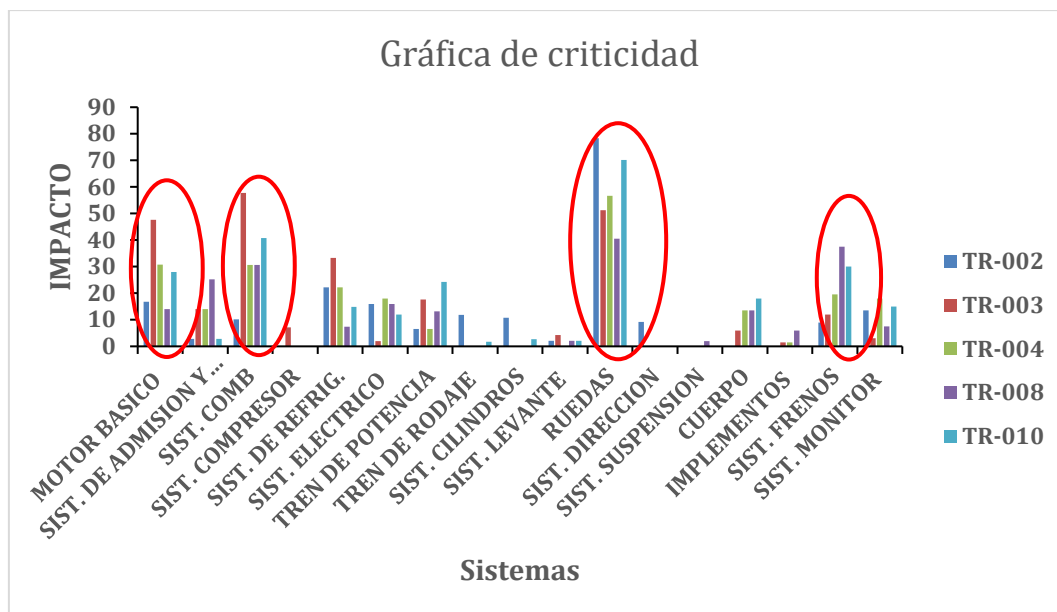


Figura 31. Gráfica de criticidad de activos críticos – periodo 2020

De acuerdo con el gráfico de criticidad, los sistemas que se identificaron muy críticos son el sistema de motor básico, sistema de combustible, ruedas y sistema de frenos. Sin embargo, es necesario identificar los sistemas triviales y no vitales para saber por cuál de los sistemas es necesario empezar e identificar la causa raíz de los eventos ocurridos, por lo que es necesario aplicar Pareto.

4.2.6. Diagrama de Pareto

La tabla 10, presenta el agrupamiento de las duraciones de las fallas que se produjeron en cada sistema de las flotas de camiones CAT793F seleccionadas.

Tabla 10. Falla en los sistemas del camión Cat 793f – periodo 2020

+	Sistema	Horas	%	Acumulado	%Acumulado
	Ruedas	671.1	24	671.1	24
	Sist. comb	468.3	16	1139.4	40
	Sist. frenos	382.3	13	1521.7	53
	Motor básico	260.9	9	1782.7	63
	Sist. de admisión y escape	201.9	7	1984.6	70
TR-002	Cuerpo	169.0	6	2153.6	76
TR-003	Tren de potencia	137.8	5	2291.3	80
TR-004	Sist. de refrig.	120.7	4	2412.0	85
TR-008	Sist. eléctrico	96.4	3	2508.4	88
TR-010	Tren de rodaje	87.6	3	2596.0	91
	Sist. cilindros	69.6	2	2665.6	93.6
	Sist. suspensión	68.6	2	2734.2	96.0
	Sist. monitor	53.4	2	2787.6	97.85

Sist. levante	34.9	1	2822.5	99.07
Implementos	26.4	1	2848.9	100.00
Sist. compresor	22.0	1	2870.9	100.77
Sist. dirección	3.8	0	2874.7	100.91
Total	2848.9			

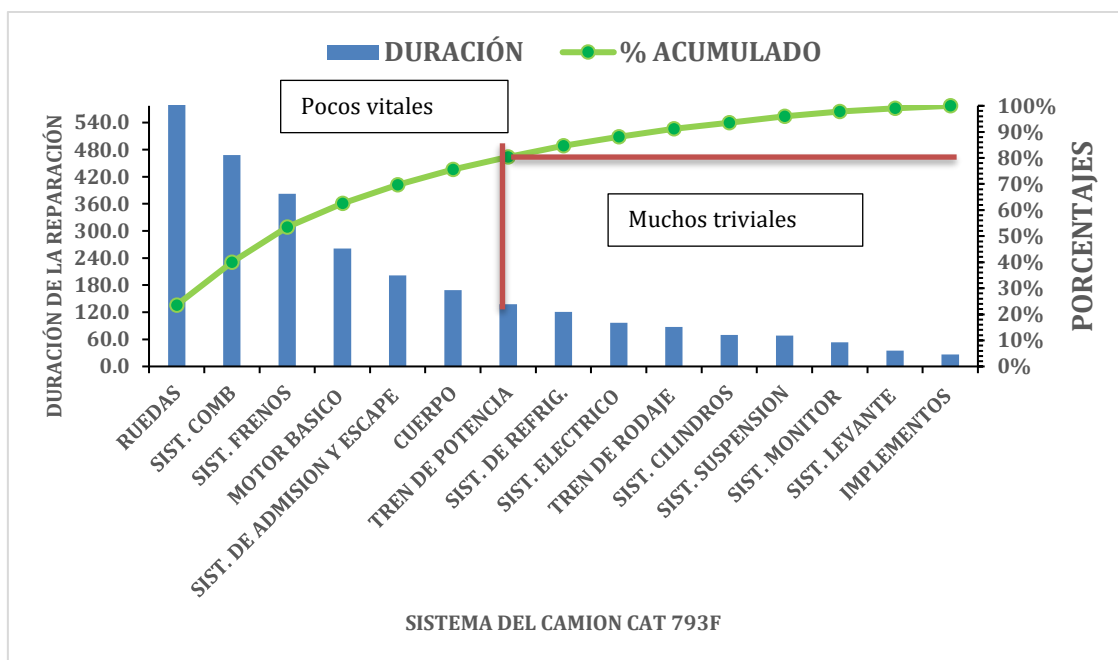


Figura 32. Diagrama de Pareto

Los resultados de la tabla 10, visualizados en la figura 32, señalan que las ruedas, el sistema de combustible, el sistema de frenos, el motor básico, el sistema de admisión y escape, y el cuerpo y tren de potencia constituyen el 80 % acumulado de las horas inoperativas totales. Estos componentes, clasificados como críticos, son responsables de la disminución en la disponibilidad de los equipos de la flota CAT793F.

Sin embargo, en la presente investigación solo se desarrolla un mantenimiento proactivo para los dos primeros sistemas, ruedas y sistema de combustible, representando el 40 % de las horas inoperativas.

4.2.7. Análisis causa raíz

Reportes del camión minero Caterpillar 793F

A) Reporte técnico 1 – Sistema de combustible

Equipo: Camión Volq – Cat 793F

Referencia: Falla catastrófica del motor

Objetivo

Identificar el origen fundamental de la falla catastrófica del motor de un camión utilizado en las operaciones de la empresa minera Constancia.

Antecedentes

- Poco control del módulo FCD
- Se ha evaluado el equipo por síntomas de pérdida de potencia en motor de forma gradual
- Se ha realizado una revisión del equipo por mal comportamiento en el arranque
- Se ha detectado temperatura alta de combustible
- Se ha realizado evaluación por baja presión de combustible
- Evaluación por fuga de combustible por sensor de presión de bomba de alta

Descripción de falla

- Se reportó que el motor estaba perdiendo potencia y se apagó de forma intempestiva.
- Se ha retirado los tapones magnéticos para realizar una revisión interna de la bomba de alta.
- El usuario revisó el *software* VIMS (*Vital Information Management System*) de monitoreo y vio que en el sistema de combustible las presiones estaban muy bajas y la temperatura del combustible muy alta.
- Una vez que se hizo revisión de:
 - Aceite adecuado
 - Fallo de un inyector o ligas del inyector
 - Sensor ICP (presión de control de inyección)
 - La bomba de combustible
 - Válvula IAPCB

Mecanismo de Falla

Para llegar al mecanismo de falla se ha realizado una revisión en los puntos más probables de falla:

1. Se revisó el aceite, no se identificó que esta fuera contaminada
2. Se verificó mediante un escaneo si estas fallaban, y
3. El sensor de control de presión de inyección estaba en perfectas condiciones
4. La bomba de combustible sufrió daños internos por dilución
5. La válvula IAPCB estaba en buenas condiciones

- Según la evaluación realizada, las pruebas sugieren que la causa principal de la falla en el motor se encuentra en la bomba de combustible de alta presión. A continuación, se proporciona una explicación detallada del mecanismo de la falla
- En la bomba de combustible de presión alta se detectó daños internos, se encontró daños prematuros de las piezas

Diagnóstico

- La falla del motor, en el sistema de combustible, específicamente la bomba de combustible había dilución del aceite que hizo que haya daños mecánicos internos en el accionamiento.
- La falla de válvula ICB, puede quedarse abierta por la contaminación o puede romperse, la dilución por pase de combustible, pin anti rotación que permite el pase de combustible, apertura y cierre de baja presión hacia del alta y dosifica hacia los inyectores.
- La bomba ya estaba cumpliendo su tiempo de vida
- Al realizar el cambio de componentes o inyectores, por temas de manipulación, cambio de la bomba de transferencia provoca contaminación, y a la vez el combustible al que tienen acceso es de baja calidad y este tiene mayor porcentaje de impurezas

Tabla 11. Análisis de aceite 2021

Estado	Id lab	Código de equipo	Descripción del componente	Fecha de muestreo	Fecha de recepción	Fecha de análisis	Fecha de reporte	Cambio de aceite	Cambio de filtro	Tipo de mant
Normal	4057	CM_015	Motor	03/01/2021	03/01/2021	03/01/2021	03/01/2021	Sí	Sí	PM3
Normal	4330	CM_015	Motor	17/01/2021	17/01/2021	17/01/2021	17/01/2021	Sí	Sí	PM1
Normal	4693	CM_015	Motor	02/02/2021	03/02/2021	03/02/2021	03/02/2021	Sí	Sí	PM2
Normal	5128	CM_015	Motor	17/02/2021	17/02/2021	17/02/2021	17/02/2021	Sí	Sí	PM1
Normal	5544	CM_015	Motor	03/03/2021	12/03/2021	13/03/2021	13/03/2021	Sí	Sí	PM4
Normal	6177	CM_015	Motor	31/03/2021	31/03/2021	31/03/2021	31/03/2021	Sí	Sí	PM1
Normal	6539	CM_015	Motor	15/04/2021	16/04/2021	16/04/2021	16/04/2021	Sí	Sí	PM2
Normal	7562	CM_015	Motor	28/05/2021	29/05/2021	29/05/2021	29/05/2021	Sí	Sí	PM3
Normal	7657	CM_015	Motor	01/06/2021	01/06/2021	01/06/2021	01/06/2021	Sí	Sí	PM50
Normal	8022	CM_015	Motor	14/06/2021	14/06/2021	14/06/2021	14/06/2021	Sí	Sí	PM1
Normal	8356	CM_015	Motor	26/06/2021	27/06/2021	27/06/2021	27/06/2021	Sí	Sí	PM2
Normal	8793	CM_015	Motor	11/07/2021	11/07/2021	11/07/2021	11/07/2021	Sí	Sí	PM1
Observado	9576	CM_015	Motor	06/08/2021	07/08/2021	07/08/2021	07/08/2021	Sí	Sí	PM1
Observado	10077	CM_015	Motor	22/08/2021	22/08/2021	23/08/2021	23/08/2021	Sí	Sí	PM2
Normal	10559	CM_015	Motor	05/09/2021	05/09/2021	05/09/2021	05/09/2021	No	No	SEG.
Observado	10566	CM_015	Motor	05/09/2021	05/09/2021	05/09/2021	06/09/2021	Sí	Sí	PM1
Normal	10629	CM_015	Motor	07/09/2021	07/09/2021	07/09/2021	07/09/2021	No	No	SEG
Normal	10754	CM_015	Motor	10/09/2021	11/09/2021	11/09/2021	11/09/2021	No	No	SEG
Observado	11019	CM_015	Motor	19/09/2021	20/09/2021	20/09/2021	20/09/2021	Sí	Sí	PM3
Observado	11509	CM_015	Motor	03/10/2021	04/10/2021	04/10/2021	04/10/2021	Sí	Sí	PM1
Observado	12502	CM_015	Motor	02/11/2021	03/11/2021	03/11/2021	03/11/2021	Sí	Sí	PM1
Observado	12962	CM_015	Motor	17/11/2021	17/11/2021	18/11/2021	18/11/2021	Sí	Sí	PM4
Normal	13082	CM_015	Motor	20/11/2021	21/11/2021	21/11/2021	21/11/2021	No	No	SEG.
Observado	13434	CM_015	Motor	02/12/2021	03/12/2021	03/12/2021	03/12/2021	Sí	Sí	PM1
Observado	13897	CM_015	Motor	18/12/2021	18/12/2021	18/12/2021	18/12/2021	Sí	Sí	PM2

B) Reporte técnico 2: Sistema de neumáticos

Equipo: Camión Volq- Cat 793F

Referencia: Falla catastrófica de un neumático reventado POS 4 – Minera Constanca.

Objetivo:

Determinar la causa raíz del neumático reventado POS 4 del camión de acarreo 793F.

Antecedentes

- Enero: Cambio de neumáticos 03 y 04 reencauche
- Marzo: Cambio de neumático pos 4-5-6 para reencauche
- Junio: Evaluación de neumático pos 4 (llanta reventada)
- Octubre: Emparejamiento pos4 desprendimiento banda rodamiento
- Rocas en la vía
- Falta de comunicación respecto a la limpieza de las vías considerando que es una zona muy rocosa.

Descripción de la falla

- Por la presencia de una roca filosa en la vía durante la operación en mina en zona de carguío y en retroceso, se produjo un corte profundo hasta la carcasa metálica de la rueda trasera – izquierdo- interior, el mismo que obligó a paralizar la unidad.



Figura 33. Rocas en el área de trabajo

Falla

- El análisis evidencia que la falla fue en el neumático trasero – izquierdo- interior sufriendo un corte profundo en la carcasa metálica y generando que se reviente.

Diagnóstico

- La falla se inicia cuando operaciones ni conductor no se percataron ni se reportó que en la vía había rocas filosas considerando que es una zona rocosa y tampoco se reportó que ese día no había programación de limpieza, como consecuencia se reventó (explosión) el neumático por una piedra filosa.

- El recauche ya no fue suficiente protección para proteger la carcasa metálica, pasando por los cinturones de protección.

4.2.8. AMEF

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) una valiosa herramienta que nos suministra datos esenciales acerca de las causas subyacentes y la frecuencia de las fallas predominantes, específicamente aplicado al análisis de modo y efecto de falla de los activos críticos, en este caso, el camión de acarreo Caterpillar 793F.

Tabla 12. Análisis de modo y efecto de fallas

Sistema	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	Efecto de la falla	Acciones recomendadas
Sistema de combustible	Bomba de combustible de presión alta	1 Comprime el combustible y lo entrega en la cantidad requerida, proporcionando de manera constante el combustible al acumulador de alta presión (raíl), logrando así mantener la presión del sistema.	A La bomba de combustible de alta presión no está suministrando el combustible con la presión requerida.	1 La bomba no daba pase de combustible por la baja presión	Operacional	Perdida de potencia y repercute en el motor	Sacar datos de horas de vida periódicamente de los componentes. Descargar la información del software de monitoreo VIMS para ver el comportamiento que hubo en el sistema, este graba lo que ha acontecido (presión, temperatura de todos los sistemas). Se realiza el respectivo escaneo encontrando el origen de la falla y determinar si se cambia la bomba de alta, inyectores, sellos de inyectores e inyectores (reparados), si es eléctrico se soluciona si es mecánico se cambia.
				2 Desgaste del impulsor de la bomba, reduciendo la presión y el flujo de combustible.	Operacional	Perdida de presión y flujo, pérdida de potencia de motor	Revisión periódica de impulsor para su cambio respectivo. El caudal máximo de combustible para el grupo adaptador de llenado rápido de combustible es de 375 litros/min (100 gal EE.UU./min).
			B La bomba de combustible de alta presión no está suministrando el combustible.	1 Falla del motor de la bomba, resultando en una entrega inadecuada de combustible.	Operacional	Perdida de presión y flujo, pérdida de potencia de motor	Inspección periódica de motor de bomba para su cambio o reparación respectiva.
	Regulador de presión	1 Este componente controla y mantiene la presión	A No regula combustible a una presión determinada	1 Falla en la bomba de combustible, no proporciona la	Operacional, Seguridad	Paralización inmediata del camión Caterpillar 793F,	Cambio de reguladores de presión, y cambio de filtros

Sistema	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	Efecto de la falla	Acciones recomendadas	
		adecuada en el sistema de combustible. Asegura que el combustible se suministre al motor con la presión óptima para un rendimiento eficiente.		2	Filtros obstruidos por residuos de combustible contaminado, impiden el paso de combustible a través de estos	Operacional	deterioro de motor. Perdida de potencia y repercute en el motor	Cambio de filtros primarios y secundarios
	Filtro de combustible	1 Se encarga de filtrar y eliminar impurezas, sedimentos y partículas no deseadas presentes en el combustible antes de que llegue al motor. Esto ayuda a proteger el sistema de inyección de combustible y otros componentes del motor de posibles daños.	A Filtro de combustible obstruido	1	Acumulación de sedimentos y suciedad en el filtro, limitando el flujo de combustible	Operacional, Medio Ambiente	Dificultades en la combustión del vehículo, disminución de la potencia y riesgo de un desgaste acelerado de los elementos del sistema de combustible debido a la presencia de combustible contaminado.	Sustitución de los filtros primario y secundario del sistema de combustible, seguido por la necesidad de purgar el sistema antes de iniciar el motor. Se incluyen marcas rotativas ubicadas a intervalos de 90 grados o 1/4 de vuelta entre sí en cada filtro, sirviendo como referencia al apretar los componentes. Es imperativo realizar el purgado del sistema de combustible antes de proceder con el encendido del motor.
				2	Desgaste o envejecimiento o del filtro, causando restricciones en el flujo de combustible	Operacional, Medio Ambiente, Seguridad	Las filtraciones en el filtro tienen el potencial de afectar adversamente otros	Es fundamental llevar a cabo inspecciones y limpiezas periódicas de los filtros. Como medida preventiva para evitar posibles lesiones, se recomienda cambiar o limpiar los filtros de combustible y los elementos del separador de agua con el interruptor

Sistema	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	Efecto de la falla	Acciones recomendadas
						<p>elementos o sistemas del equipo; en caso de inflamarse el combustible que se derrama, podría ocasionar lesiones graves o incluso fatales. Las fugas de combustible o el vertido de combustible sobre superficies calientes o componentes eléctricos representan un riesgo significativo de incendio.</p>	<p>general en la posición DESCONECTADA. Además, se debe limpiar de inmediato cualquier derrame de combustible.</p>
	Sensor de nivel de combustible	1 Proporciona información sobre el nivel de combustible en el tanque, lo cual es útil para el	A Falla en el sensor de presión, proporcionand o lecturas incorrectas o ausencia de información	1 Conexiones eléctricas defectuosas o cables dañados que afectan la señal del sensor.	Operacional	Fugas de combustible deterioran los materiales de conexiones eléctricas	Se realiza una inspección de los sensores de nivel de combustible con el propósito de mantenerlos limpios y operativos. El sensor ultrasónico de nivel se encuentra situado en el tanque de combustible, transmitiendo datos al indicador de combustible en el tubo de llenado. Se recomienda verificar periódicamente el

Sistema	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	Efecto de la falla	Acciones recomendadas	
		monitoreo y control del suministro de combustible.	sobre la presión del combustible.				medidor de nivel de combustible para evitar el sobrellenado.	
	Sistema de Inyectores de combustible	1 Son los encargados de inyectar el combustible en los cilindros del motor en la cantidad y momento precisos. Los inyectores atomizan el combustible en pequeñas partículas para una combustión eficiente y óptima.	A Inyectores de combustible obstruidos o defectuosos.	1	Presencia de agua o sedimentos en el combustible, causando obstrucciones en los filtros y problemas de inyección.	Operacional	Falta de potencia del motor, dificultades para subir pendientes y alcanzar velocidades óptimas, afectando a la productividad y la eficiencia de la operación minera.	Limpieza regular de inyectores, reemplazo de inyectores, monitorización y diagnóstico, cambio de combustible
				2	Combustible de baja calidad o adulterado, afectando la eficiencia del motor y causando problemas de combustión por pulverización de combustible irregular	Operacional	Aumento del consumo de combustible, fallos en ignición que perjudican el rendimiento del motor.	Limpieza regular de inyectores, reemplazo de inyectores, monitorización y diagnóstico, cambio de combustible

Sistema	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	Efecto de la falla	Acciones recomendadas
		2 El sistema de inyección controla el flujo y la inyección precisa de combustible en los cilindros del motor. Puede incluir componentes como bombas de inyección, rieles de combustible, tuberías y conexiones que distribuyen el combustible a los inyectores.	A El combustible que escapa o se derrama sobre las superficies calientes o los componentes eléctricos.	1 Falla de bomba combustible, no entrega la presión correcta puede dañar los inyectores.	Operacional, Seguridad	Puede ocasionar un incendio.	Limpieza inmediata de los derrames de combustible. Inspección periódica de inyectores de combustible
	Tanque de combustible	1 Es el depósito que almacena el combustible. El tanque de combustible del camión minero 793F tiene una capacidad considerable para permitir	A Combustible contaminado	1 Obstrucción en filtros primarios y secundarios	Operacional	El combustible no estaría filtrado y puede estar contaminado. El combustible contaminado puede causar el desgaste acelerado de	Limpieza inmediata de los derrames de combustible. No llenar los filtros de combustible con combustible antes de instalarlos. Debe cebarse el sistema de combustible antes de arrancar el motor.

Sistema	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	Efecto de la falla	Acciones recomendadas
		una operación prolongada sin reabastecimiento frecuente.				los componentes del sistema de combustible.	
Neumáticos y ruedas	Llanta pos 4	2 Permite el sustento y el desplazamiento de la unidad. Permite el libre manejo del equipo por parte del operador	A Paralización inmediata del camión debido a un repentino ruido de algo que reventó y pérdida de presión del neumático POS 4 (posterior - izquierda - parte interna)	1 Debido al efecto de la introducción repentina de una roca puntiaguda en las vías, hay un gran corte en la carcasa metálica del neumático, por lo que no permite el libre desplazamiento o para seguir en operación, sin embargo, si podía movilizarse hasta el taller.	Operacional	Paralización inmediata del camión Caterpillar 793F por ponchadura súbita del neumático, con consecuencias de merma en la producción.	Antes que el camión baje a taller se realiza una evaluación previa del aro, tuercas, un diagnóstico total. Inspeccionar las vías diariamente y en todo momento por operaciones. Reportar si las vías están con material tanto por operaciones como el conductor. Inspeccionar de forma visual el estado de las llantas antes del inicio de la jornada y medir los niveles de aire acorde al terreno que se va a trabajar.

Tabla 13. Resumen de RPN de los modos de falla más críticos

Sistema	Componente y subsistema		Función	Falla funcional	Modo de falla	Gravedad (s)	Ocurrencia	Detectabilidad	RPN	Nivel	Riesgo
Sistema de combustible	bomba de combustible de presión alta	1	Comprime el combustible y lo suministra en la cantidad necesaria de forma continua al acumulador de alta presión gracias al cual consigue mantener la presión del sistema	A La bomba de combustible de alta presión no está suministrado el combustible con la presión requerida	1 La bomba no data pase de combustible por la baja presión	5	7	5	175	alto	Tolerable
NEUMATICOS Y RUEDAS	llanta pos 4	2	Permite el sustente y el desplazamiento de la unidad. Permite el libre manejo del equipo por parte del operador	A Paralización inmediata del camión debido a un repentino ruido de algo que reventó y pérdida de presión del neumático POS 4 (posterior – izquierda parte interna)	1 Debido al efecto de la introducción repentina de una roca puntiaguda en las vías hay una gran corte en la carcasa metálica del neumático, por lo que no permite el libre desplazamiento para seguir en operación, sin embargo, sí podría movilizarse hasta el taller.	7	8	4	224	critico	inaceptable

Tabla 14. Árbol de decisiones

Sistema	Subsistema/Componente	Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1S1O	H2S2O	H3S3O	Acción “a falta de”			Tareas proactivas propuestas	Frecuencia horas
		F	FF	MF	H	S	E	O	1N1	2N2	3N3	H4	H5	S4		
Sistema de combustible	Bomba de combustible de presión alta	1	A	1	N				S						Inspección y limpieza de bomba motor, ver desgaste de componentes	Cuando sea necesario / 500 h
	Bomba de combustible de presión alta	1	A	2	S	S			S						Llevar a cabo la limpieza de los componentes de la bomba de forma regular, así como, realizar una monitorización de las horas de vida de dichos componentes.	Cuando sea necesario / 500 h
	Bomba de combustible de presión alta	1	B	1	S	S			S						Inspección de motor de bomba de combustible	Cuando sea necesario / 500 h
	Regulador de presión	1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambio de reguladores de presión	Cuando sea necesario / 500 h 250 H de servicio o cada mes, 500 h o a los 3 meses
	Regulador de presión	1	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Revisión y cambio de filtros	Cuando sea necesario / 500 h o a los 3 meses
	Filtro de combustible	1	A	1	S	N	N	S	S						Se recomienda realizar el cambio del aceite y el filtro del motor de manera periódica, además de obtener muestras de aceite con el fin de llevar a cabo un monitoreo de su condición.	Cuando sea necesario / 500 h o a los 3 meses 250 h de servicio o cada mes, 500 h o a los 3 meses
	Filtro de combustible	1	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Revisión y cambio de filtros	Cuando sea necesario / 500 h o a los 3 meses
	Sensor de nivel de combustible	1	A	1	S	S			S						Inspección, limpieza y calibración de sensor de tanque de combustible	Cada 10 horas de servicio o cada día
Sistema de Inyectores de combustible	1	A	1	S	N	S		N	N	N			S	Limpieza, inspección, reconstrucción o cambio, instalación de componentes de motor (inyectores)	Cada 1892700 L	

Sistema	Subsistema/Componente	Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1S1O	H2S2O	H3S3O	Acción "a falta de"			Tareas proactivas propuestas	Frecuencia horas
		F	FF	MF	H	S	E	O	1N1	2N2	3N3	H4	H5	S4		
	Sistema de Inyectores de combustible	1	A	2	S	N	S		N	N	N			S	Limpieza, inspección, reconstrucción o cambio, instalación de componentes de motor (inyectores)	de combustible (500 000 gal EE. UU.) o 10000 horas de servicio Cada 3 785 400 L de combustible (1 000 000 gal EE. UU.) o 20000 horas de servicio Cada 3 785 400 L de combustible
	Sistema de Inyectores de combustible	2	A	1	S	N	N	S	N	N	N			S	Limpieza, inspección, reconstrucción o cambio, instalación de componentes de motor (inyectores)	(1 000 000 gal EE. UU.) o 20000 horas de servicio
	Tanque de combustible	1	A	1	S				N	N	N			S	Se sugiere llevar a cabo la sustitución del respiradero del depósito de combustible, así como, realizar el drenaje periódico del agua y los sedimentos acumulados en el tanque de combustible.	500 h
Neumáticos y ruedas	Llanta pos 4	2	A	1	S	S			N	N	N			S	Se recomienda implementar un programa estructurado para determinar la frecuencia óptima de reemplazo de los componentes de los neumáticos, así como, para llevar a cabo mediciones regulares de la presión de estos. Además, se deben realizar ajustes precisos para corregir cualquier desalineamiento y desequilibrio en las ruedas, y se deben realizar inspecciones exhaustivas para verificar el estado de la	Diario / Semanal / Quincenal / Mensual

Sistema	Subsistema/Componente	Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1S1O			H2S2O			H3S3O			Acción "a falta de"			Tareas proactivas propuestas	Frecuencia horas	
		F	FF	MF	H	S	E	O	H4	H5	S4	H4	H5	S4	H4	H5	S4	H4	H5	S4			
																						vulcanización de los neumáticos, así como, el desgaste de su espesor y la profundidad de la cocada.	

4.3. Plan de mantenimiento actual

4.3.1. Actividades

- Inspección alrededor de la máquina

Previo al inicio de las labores con el camión, es fundamental revisar el manual de operación y mantenimiento. Este paso permite obtener información relevante sobre las prácticas de seguridad, procedimientos de mantenimiento y técnicas de operación. El manual también contiene normativas de seguridad y advertencias que son de vital importancia para garantizar un manejo seguro y eficiente del equipo.

- Mantenimiento diario

Verificación de tuercas, acumulación de basura, pérdidas de fluidos; refrigerantes, aceites, combustible, Verificación de rajaduras y verificación de los siguientes componentes:

<u>Mantenimiento Diario</u>
- Condición de los neumáticos y presión.
- Tapones magnéticos de las ruedas delanteras y traseras.
- Tuercas de las ruedas.
- Filtro de combustible primario.
- Respiradores del eje frontal y trasero.
- Aceite del Convertidor / Transmisión.
- Cilindros de freno y respiradores.
- Correas del ventilador.
- Aceite del sistema de dirección.
- Baterías.
- Cilindros de suspensión.
- Nivel de combustible y humedad.
- Aceite para sistema de frenos y levante.
- Refrigerante y radiador.
- Aceite del cárter del cigüeñal del motor.
- Pre depurador y filtros de aire.
- Filtros del aire fresco de la cabina
- Dirección secundaria
- Freno

Figura 34. Mantenimiento diario con base en la investigación realizada

4.3.2. Plan de mantenimiento actual

Mantenimiento Preventivo	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
AT 793 F	350	700	1050	1400	1750	2100
Motor						
Filtro de aceite de motor	X	X	X	X	X	
Aceites y Fluidos						
Aceite transmisión SAE 30W		x		x		X
Aceite hidráulico SAE 10W	X		X		X	
Aceite mandos finales SAE 50W 8gale/u)		X		X		X
Aceite motor SAE 15W 40	X	X	X	X	X	X
Combustible						
Filtro primario de combustible		x		x		x
Filtro secundario de combustible	x	x	x	x	x	x
Filtro ventilación de tanque		x		x		x
Transmisión						
Filtro de transmisión		x		x		x
Filtro de convertidor		x		x		x
Cabina						
Filtros aire		x		x		x
Hidráulico						
Filtro principal		x		x		x
Admisión						
Filtro Primario de aire	x	x	x	x	x	x
Filtro secundario de aire	x		x		x	

Figura 35. La frecuencia del mantenimiento preventivo- 350 h/operación con base en la investigación realizada

4.3.3. Programación de rotación de neumáticos

Tabla 15. Registro de rotaciones de neumáticos 2021

Ítem	Fecha	Camión	Trabajo realizado	Motivo	Tipo de trabajo	1	2	3	4	5	6	Cantidad
1	06/07/2021	CM-03	cambio de neumáticos	rotación	programado	x	x					2
2	08/07/2021	CM-02	desmontaje de neumáticos	apoyo a Manto	programado		x					1
3	08/07/2021	CM-02	montaje de neumáticos	apoyo a Manto	programado		x					1
4	09/07/2021	CM-02	retorqueo de tuercas	ajuste tuercas	no programado		x					1
5	11/07/2021	CM-04	cambio de neumáticos	rotación	programado	x	x					2
6	13/07/2021	CM-03	cambio de neumáticos	desgaste final y rotación	programado			x			x	2
7	13/07/2021	CM-03	cambio de neumáticos	desgaste final	programado			x	x			2
8	21/07/2021	CM-10	giro de neumáticos	desgaste irregular	programado			x		x	x	3
9	22/07/2021	CM-03	cambio de neumáticos	desgaste final	programado						x	1
10	22/07/2021	CM-03	cambio de pitones/manguera	desacople de pitón	no programado						x	1
11	24/07/2021	CM-08	cambio de neumáticos	desgaste final	programado			x	x			2
12	29/07/2021	CM-10	cambio de neumáticos	corte en flanco	no programado			x				1

Según la tabla 15, para la muestra de un mes se observa al menos 03 trabajos no programados, dentro los equipos críticos seleccionados.

Tabla 16. Consumo anual 2021 de neumáticos de la flota por tipo y marca

Medida	Marca	N.º equipos	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año a la fecha
40.00R57	Michelin														0
	Luan														0
50/80R57	Michelin	23	6	14	12							14			32
46/90R57	Bridgestone		22	16	19	17	11	2	7	7	2				94
	Good Year														0
53.5/85-57	Firestone	1			2										2
58/85-57	Firestone	1					2		2			3		3	
27.00R49	Bridgestone	2					2								2
	Michelin														0
45/65R45	Bridgestone	1													0
	Michelin						4								4
875/65R29	Bridgestone	1													0
	Michelin														0
29.5R29	Bridgestone	2						4				3			4
	Michelin				2								3		2
23.5R25	Bridgestone	1													0
	Michelin			2	4										6

Según la tabla anterior se observa que durante el 2021 se presentaron 09 eventos de observación para el camión con mayor criticidad CM-015.

El tipo de aceite y sus características se presentan en el anexo G.

4.4. Plan de mantenimiento proactivo

4.4.1. Creación del plan de mantenimiento proactivo

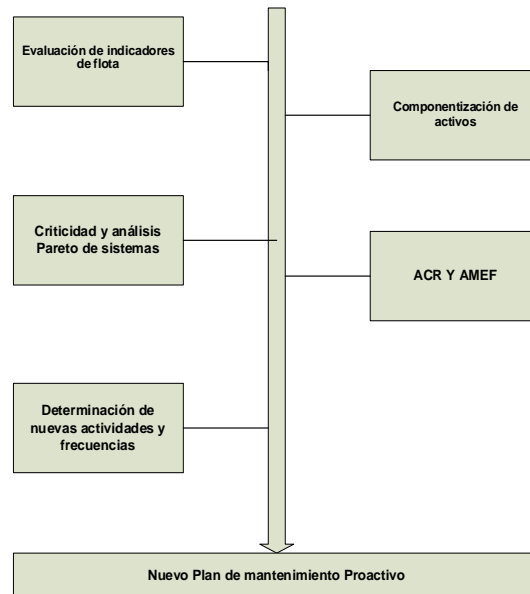


Figura 36. Diagrama de plan de mantenimiento

A continuación, se muestra las frecuencias de mantenimiento para los sistemas sistema de combustible y sistema de neumáticos Según la frecuencia para el sistema de combustible y los modos de fallo encontrados según análisis de causa raíz se encontró que la principal razón de fallos del motor fue por la bomba de alta presión debido a contaminación en la línea de combustible.

4.4.2. Plan de mantenimiento proactivo propuesto

De acuerdo con lo revisado en los capítulos anteriores en el presente capítulo se realiza la propuesta del plan de mantenimiento proactivo para los sistemas de mayor criticidad analizados los cuales son sistema de combustible y neumáticos. Se entiende que para los demás sistemas la programación tiene que ser la programada actualmente con las actividades inicialmente consideradas en el plan original considerando quien supervisará el ciclo de mejora (PHVA), será el comité de mantenimiento proactivo, la programación que se presenta a continuación se enfoca en cumplir el Pareto de sistemas

4.4.2.1. Tareas proactivas recomendadas para el sistema de Neumáticos

A) Consideraciones previas

Tabla 17. Consideraciones previas

Reventón	Explosión
Liberación de la presión del neumático Liberación de presión = 100 a 150 psi Causado por la ruptura de la carcasa debido a cortes, penetraciones, impactos y separaciones	Reacción química de un gas explosivo Presión generada \geq 1000PSI Generalmente causada por calor proveniente de una fuente externa de alta energía

B) Acciones proactivas por considerar

Tabla 18. Explosión de llantas

Cuando	Acción
En el mantenimiento de una llanta se aplica soldadura El camión se ponga en contacto con línea de media tensión	Mantener el camión aislado por 24 horas Mantener el camión aislado por 24 horas
Cuando hay una tormenta eléctrica Se deja inflando una llanta y dejar que llegue a la presión máxima.	Parquearse hasta que se reciba la orden de operar Estar siempre al pendiente en todo el proceso de inflado.

Tabla 19. Reventón de llantas

Cuando	Acción
El camión empieza a manejar a velocidades mayores a las recomendadas y el TKPH excede del diseño.	Ocurre hay una separación térmica entre los cinturones y la carcasa, comienza a fallar el neumático
El conductor u operaciones no reporta en muchos casos material o rocas regadas, ocurre el corte de la banda por rocas filosas.	Limpieza y mantenimiento constante de vías, durante las inspecciones de vías que se realizan.
Durante el traslado la carga vaya cayendo en las vías pudiendo ocasionar cortes o impactos en banda de rodamiento	Realizar un correcto centrado de cargas, pues en muchos casos se han registrado rocas y/o material en la visera o en la coa de la tolva.
El camión opera en épocas de lluvia	Aplicación de manejo defensivo por parte de los operadores ya que tienden a formarse charcos de agua en las vías que por lo general se ocultan condiciones peligrosas para los neumáticos como rocas y/o material anguloso.

Tabla 20. Frecuencias proactivas complementarias para evitar fallas catastróficas

Componentes	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual
Presión del neumático		Medir con frecuencia normal: 2 veces /semana		
		Regular:3 veces/semana y óptima 4 veces /semana		
Bandas laterales de neumáticos (flancos)		Verificar el desgaste y cortes evolutivos de la banda		
Bandas de rodadura de neumáticos	Verificar el cocado y espesor de bandas			

Cuerdas de bandas laterales de flanco en neumáticos		Inspeccionar circunferencialmente los aseguramientos de las cuerdas de bandas laterales
Espesor de rodadura y profundidad de	Medir progreso de desgaste de espesor y determinar profundidad de cocada	
Hombro y banda lateral de neumáticos		Verificar el estado de vulcanizaciones anteriores de los neumáticos y corregir levantamientos laterales de hombro y banda
Ruedas		Comprobar y corregir desbalance de ruedas de las unidades móviles
Neumáticos		
Ruedas		Comprobar y corregir desalineamientos de la dirección
Neumáticos		
Ruedas	Mediciones de temperaturas en operatividad de unidades de acarreo, utilizando el pirómetro	

4.4.2.2. Tareas recomendadas para el sistema de combustible

A) Programación

Tabla 21. Programación de Mantenimiento Proactivo sistema de combustible

SIST.	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	CUANDO SEA NECESARIO	CADA 10 HORAS DE SERVICIO O CADA DIA	A LAS PRIMERAS 250 HORAS DE SERVICIO	CADA 250 DE SERVICIO O CADA MES	CADA 500 HORAS DE SERVICIO	CADA 500 HORAS DE SERVICIO O CADA 3 MESES	CADA 1000 HORAS DE SERVICIO O CADA 6 MESES	CADA 3000 HORAS DE SERVICIO O CADA 2 AÑOS	CADA 4000 HORAS DE SERVICIO	CADA 15000 HORAS DE SERVICIO	Cada 1'892.700 L (500.000 gal EE.UU.) de combustible o 10.000 horas de	Cada 3'785.400 L (1'000.000 gal EE.UU.) de combustible o 20.000 horas de
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Elemento primario del filtro de aire del motor - Limpiar/Reemplazar	X											
	Elemento secundario del filtro de aire del motor - Reemplazar	X											
	Antefiltro de aire del motor - Limpiar	X											
	Sistema de combustible - Llenar	X											
	Sistema de combustible - Cebiar	X											
	Revisión del estado de filtros	X			x								
	Nivel de aceite del motor - Comprobar		X										
	Luz de las válvulas del motor - Comprobar/ Ajustar			X									
	Muestra de aceite del motor - Obtener					X							
	Respiradero (Tanque de combustible) - Reemplazar						X						
	Aceite y filtro del motor - Cambiar						X						
	Filtro primario del sistema de combustible (Separador de agua) - Reemplazar						X						
	Filtro secundario del sistema de combustible - Reemplazar						X						
	Agua y sedimentos del tanque de combustible - Drenar						X						
	Bomba de agua del motor - Inspeccionar								X				
	Luz de las válvulas del motor - Comprobar/ Ajustar									X			
	Componentes del motor - Reconstruir/Instalar remanufacturados											X	
	Componentes del motor - Limpiar/Inspeccionar, Reconstruir/Instalar Remanufacturados, Instalar Nuevos												X

B) Mantenimiento proactivo sistema motor, subsistema de combustible

Se consideran las actividades proactivas con base en frecuencias de mantenimiento orientadas a disminuir la dilución o contaminación del combustible ante la operación o mantenimiento que se consideran en su plan de mantenimiento preventivo añadiendo las siguientes actividades proactivas:

El operador estará encargado de confirmación proactiva documentada mediante un reporte, cuyo documento será anexado al reporte mensual de operador entre las tres áreas.

Confirmación documentada proactiva -sistema de combustible			
Nombre del operador		firma	
Fecha		Hora	
Turno			
Actividad a confirmar	SI	No	En caso que la respuesta sea NO indicar la razón
¿Se realizó la Inspección de estado de filtros cada 250h o cuando sea necesario por parte del área de mantenimiento?			
¿se realizó Cambio de filtros 500h?			
¿Se comunicó por parte del operador a logística del tiempo de 5000h de operación de la bomba de baja presión de combustible para la adquisición del repuesto?			
¿Se comunicó por parte del operador a logística del tiempo de 5000h de operación de la bomba de baja presión de combustible para la adquisición del repuesto?			
Condiciones de almacenamiento de combustible	Buena	regular	mala
Calidad del combustible	Buena	regular	mala
* con fines de crear una cultura proactiva entre las áreas, se elaboró el siguiente documento			
donde el operador tendrá comunicación directa con las áreas de Logística y mantenimiento			

Figura 37. Documento de Confirmación documentada proactiva

4.5. Cuadro comparativo

Tabla 22. Mantenimiento actual y propuesto – Sistema de combustible

Plan de mantenimiento actual – Sistema de combustible	Plan de mantenimiento propuesto – Sistema de combustible
<p>La disponibilidad mínima de los equipos es 79 %.</p> <p>En el plan actual no se considera el seguimiento semanal para ver el tiempo de vida de los componentes como la bomba de combustible de presión alta.</p> <p>El combustible, un recurso vital para los equipos, no se realiza un adecuado almacenamiento ni cuenta con la mejor calidad, que acelera el tiempo de vida de los componentes.</p>	<p>La disponibilidad de los equipos se espera aumentar al 88 % como mínimo requerido correspondiente a equipos maduros.</p> <p>Se propone mejorar el seguimiento de tiempo de vida de los componentes como la bomba de combustible, a la vez verificar las condiciones almacenamiento del combustible para lo cual se propuso un documento proactivo.</p>

Tabla 23. Cuadro comparativo de mantenimiento actual y propuesto – Sistema de Neumáticos

Plan de mantenimiento actual – Neumáticos	Plan de mantenimiento propuesto - Neumáticos
<p>En el plan de mantenimiento actual, si bien es cierto existe muchas tareas para mantener las llantas en buenas condiciones; sin embargo, se deja pasar algunas actividades haciendo que algunas situaciones como el desprendimiento de la banda se convierta en algún momento crítico. El reventón de una llanta sucede con una frecuencia de 3 meses.</p>	<p>Se propone eliminar la frecuencia de 3 meses, ya que son elementos muy costosos, y a la vez peligrosos ya que pone en riesgo al personal cercano. Por lo tanto, se realizará un seguimiento más riguroso, inspeccionando diaria, semanal y quincenal los neumáticos proponiendo nuevas tareas de inspección.</p>

CONCLUSIONES

1. Se propuso un plan de mantenimiento proactivo para la flota se estableció frecuencias diarias, semanales, quincenal y mensuales de intervenciones, inspecciones, verificaciones y mediciones progresivas para el sistema combustible y neumáticos y como eliminar de manera proactiva la causa raíz de estos, y así eliminar el 40 % de inoperatividades, a fin de mejorar los tiempos de paralizaciones de maquinaria por efecto de fallas en las ruedas y subsistema de combustible. Y preservar en el tiempo la disponibilidad adecuada para la flota.
2. El levantamiento de la información se efectuó mediante un proceso minucioso que involucró la revisión exhaustiva del historial de incidencias documentadas a lo largo del año 2020. Este procedimiento permitió la obtención de indicadores clave, incluyendo el análisis de la disponibilidad de la flota compuesta por 19 camiones CAT 793F durante dicho periodo. Además, se realizó una consulta exhaustiva del manual de operación y mantenimiento de estos equipos, y se llevaron a cabo entrevistas con el personal especializado en mantenimiento. No obstante, es esencial hacer hincapié en que se identificaron ciertas limitaciones en el proceso de adquisición de datos adicionales, especialmente en lo que respecta a la obtención de información más detallada y la disponibilidad de recursos visuales, como fotografías y otros documentos de relevancia.
3. La evaluación de los datos se realizó obteniendo la disponibilidad de la flota obtenida de la empresa con la cual se pudo sacar la muestra de activos críticos de acuerdo con el *benchmark*, que como mínimo debe tener el 88 % de disponibilidad.

Equipo	% Dispo.
TR-002	80.3
TR-003	80.2
TR-004	79.7
TR-008	80.9
TR-010	80.7

4. Al evaluar las condiciones iniciales de los equipos caterpillar 793F de la empresa minera, se ha determinado que los indicadores de mantenimiento según el *benchmark*, 32.02 h de tiempo promedio entre fallas se considera un esfuerzo mínimo por el mantenimiento y 8.16h tiempo para reparar de la muestra de máquinas que prestan servicios en mina se considera fuera del tiempo promedio que debe estar parada la máquina.

CAMIÓN	MTTR	MTBF
TR-008	4.76	20.15
TR-010	4.97	20.77
TR-002	5.95	24.24
TR-003	6.58	26.64
TR-004	8.16	32.02
Promedio	6.08	24.764

Se dividió cada unidad del camión de acarreo en sistemas y subsistemas para dar una mayor prioridad a los componentes que más pueden fallar según el análisis de criticidad y se consideraron las fallas triviales seleccionadas con Pareto. Sacando un promedio de los indicadores MTBF y MTTR, podemos interpretar que el tiempo promedio de fallas que se suscitan en la flota de camiones es igual a 6.08 horas, y nuestro tiempo de reparación de fallas en promedio equivale a 24.76 horas.

5. Según las entrevistas realizadas se pudo profundizar la falla hasta llegar a la causa raíz, las cuales eran para el sistema de combustible fue que el componente de combustible superaba el tiempo de vida, para el sistema de neumático existía reventones, cortes, llegando a la carcasa metálica debido trabajan con los neumáticos rajados y en la estado, las causas fueron por el personal y condiciones de carretera, y luego se utilizó el método del Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF), se trabajaron las fallas más críticas.
6. En base a la información encontrada y su diagnóstico, se estableció un plan de mantenimiento proactivo para controlar la causa raíz de los sistemas de combustible y neumáticos. Durante este primer diagnóstico, se espera obtener una disponibilidad flota antigua del 88 % y flota nueva mayor a 88 %.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar, con las áreas de monitoreo y mantenimiento, la adopción de un plan de mantenimiento basado en una metodología tales como el RCM y, si continúa dando resultados favorables, recomendar su adopción en equipos y/o sistemas siguientes más críticos.
2. Anualmente, es necesario llevar a cabo una evaluación del estado de los equipos, con el fin de contar con una base de datos precisa y útil para la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento interno y externo, así como, la gestión de repuestos. En este sentido, se recomienda la implementación de un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) para mejorar la gestión del mantenimiento y los activos. Este enfoque implica la integración de datos y procesos empresariales, la automatización de actividades, el seguimiento eficiente del cumplimiento de tareas y una planificación estratégica en el ámbito del mantenimiento.
3. Es fundamental implementar un sistema de gestión de información que abarque las disponibilidades en los ámbitos de mantenimiento y operaciones. Esto incluye la clasificación de disponibilidades tanto por equipo como por flota, considerando categorías para flotas antiguas y nuevas. Esta categorización permitirá realizar un análisis de monitoreo más exhaustivo de cada equipo de la flota, así como, de sus sistemas, subsistemas y componentes.
4. Es esencial implementar un sistema de gestión de información que abarque los indicadores de tiempo medio de reparación (MTTR) y tiempo medio entre fallas (MTBF) tanto para el área de mantenimiento como para operaciones. Estos indicadores deben ser clasificados por equipo y por flota, considerando categorías para flotas antiguas y nuevas. Esta categorización permitirá realizar un análisis de monitoreo más detallado por equipo.
5. Para el análisis de modos y efectos de fallo se recomienda mantener un registro detallado de todas las etapas del AMEF, incluyendo los modos de falla identificados, los valores para el RPN, las acciones de mitigación y los resultados de las revisiones posteriores, esto debido a que el AMEF no es un proceso único. Debe de ser revisado y actualizado periódicamente a medida que cambian las circunstancias, se introducen nuevos procesos productos o procesos, o se identifican nuevos.
6. El plan de mantenimiento establecido para la flota solo aborda a los sistemas con mayor criticidad, se recomienda establecer un plan para todos los sistemas que componen la flota de equipos.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **ALTMANN, Carolina.** Las técnicas de monitoreo de condición, como herramienta del mantenimiento proactivo. . 2008. P. 9.
2. **SAAVEDRA, G. Pedro.** IMPACTO DEL MANTENIMIENTO PROACTIVO EN LA PRODUCTIVIDAD. *Universidad de Concepción - CHILE.* 2021. P. 10.
3. **Redacción IMG.** Cómo lograr una empresa efectiva con planes de Mantenimiento. *Revista IMG.* Online. 2020. Available from: <https://www.revistaimg.com/como-lograr-una-empresa-efectiva-con-planes-de-mantenimiento/>
4. **GARRIDO Roberto.** *Artículo - ACR - La metodología del Análisis Causa Raíz (ACR) - La metodología del Análisis Causa.* . Colombia : Universidad del Magdalena, facultad de ingeniería ambiental y sanitaria., 2018.
5. **CÁCERES MARCHENA, Reynaldo Lisandro; LEÓN YATACO, Alex Lester.** Aplicación de la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la flota de camiones de acarreo caterpillar 793f de una compañía minera para el mejoramiento de la confiabilidad operacional. *Universidad Nacional del Santa.* Online. 2017. [Accessed 20 June 2022]. Available from: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2803>Accepted: 2017-09-21T16:06:27Z
6. **JIMÉNEZ RUIZ, Roger Humberto; GAMARRA GUARNIZO, Luis Alberto; MENDOZA CAMACHO, Marlon Enrique.** *Análisis de criticidad y disponibilidad de equipos para planta filtros nueva Shougang Hierro Perú tomando como referencia las normas SAE JA1011 y JA1012.* . Piura, Perú. : Universidad Nacional de Piura., 2020.
7. **ZEBALLOS BENAVIDES, Alonso Mauricio.** *Plan de mantenimiento proactivo centrado principalmente en el análisis de aceites en los reductores de velocidad utilizados para calentamiento y enfriamiento uniforme en turbinas de gas de la Central Termoeléctrica Puerto Bravo, Mollendo - Arequipa.* . Arequipa, Perú. : Universidad Católica De Santa María, 2021.
8. **MOSCOSO JACOME, Ronal Elicio.** Programa de control del mantenimiento proactivo y correctivo en equipos mecánicos del transporte de hidrocarburos en el Ecuador. *Repositorio de Tesis - UNMSM.* Online. 2017. [Accessed 14 June 2022]. Available from: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6877>Accepted: 2018-01-04T16:43:38Z
9. **MOGROVEJO PASATO, Christian Santiago; SIGÜENZA CABRERA, Luis Miguel.** Propuesta de un plan de mantenimiento proactivo para la flota de vehículos del GAD municipal del cantón Girón con base en el análisis de aceites. Online. June 2020. [Accessed 15 June 2022]. Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19398>Accepted: 2020-11-04T17:40:36Z

10. **MORALES, Hernández; ALBERTO, Hugo.** Planeación del mantenimiento de la maquinaria pesada en proyecto: modificación por fallas geológicas del camino de Amojileca-Omiltemi. Online. 2016. Available from:
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/16175>Accepted: 2016-02-10T19:34:41Z
11. **LEON TORRES, Johan Sebastian.** Desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para equipos de pavimentación y movimiento de tierra pertenecientes a la Empresa JMS Ingeniería SAS. Online. 30 May 2018. [Accessed 27 February 2024]. Available from:
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13411>Accepted: 2018-07-31T21:10:16Z
12. **FERNÁNDEZ CHÁVEZ, Patricio Renato.** *Estrategias de gestión de mantenimiento basado en indicadores a la flota de camiones fábrica de voladura de la empresa Orica Mining Service Perú s.a. en operaciones en Sociedad Minera Cerro Verde en el año 2018.* . Arequipa, Perú. : Universidad Católica de Santa María, 2019.
13. **ROBLES CUADROS, Jorge Renato.** Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para incrementar la vida útil del tren de fuerza de camiones de acarreo marca caterpillar modelo 793d en sociedad Minera Cerro Verde. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.* Online. 2018. [Accessed 15 June 2022]. Available from:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7747>Accepted: 2019-01-18T13:07:59Z
14. **VELASQUEZ LIMACHI, Wilder Braulio.** Comparación del mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la efectividad en volquetes FMX en la Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA, 2020. *Universidad Nacional del Altiplano.* Online. 24 June 2021. [Accessed 10 June 2022]. Available from:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16085>Accepted: 2021-06-23T16:00:44Z
15. **SALAS, Pierre.** *Plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores de orugas Caterpillar d11t en una empresa minera de Tacna.* Online. Tesis Maestría. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín, 2021. Available from: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f4d9f3f9-42aa-447b-9c20-443fa6ffcbab/content>
16. **CARRASCO, Javier.** *La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial.* . España. : OmniaScience, 2014. ISBN 978-84-941872-7-8.
17. **MEDRANO MÁRQUEZ, José; GONZÁLEZ AJUECH, Víctor; DÍAZ DE LEÓN Santiago Vicente.** *Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales.* México : Grupo Editorial Patria, 2017. ISBN 978-607-744-709-2.
18. **GARCÍA PALENCIA, Oliverio.** El Mantenimiento General Administración de Empresas. *Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia.* 2006. P. 85.
19. **MCCAHERTY, James W.; FLORES ABELARDO, A.** Metrics (KPI) to Assess Process Performance - CAT. *CAT Global Mining.* 2007. P. 47.

20. **MENDOZA, R. H.** El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional // Criticality analysis, a methodology to improve the operational reliability. *Ingeniería Mecánica*. Online. 2000. Vol. 3, no. 4, p. 13–19. [Accessed 4 July 2023]. Available from:
<https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364>
21. **MONCADA, Davian; RODRÍGUEZ, Edder; QUIÑONES, Jelder; SARMIENTO, Juan.** *Seminario de investigación en metodologías de análisis de fallas*. Online. Bucaramanga, Colombia. : Universidad industrial de Santander, 2009. Available from:
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/132378.pdf>
22. **Caterpillar.** Camión Minero 793F Cat | Caterpillar.
https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/18092621.html. 2012.
23. **LIVIAS, Herbert.** *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80r63 Michelin en camiones komatsu 930e, en la empresa minera "Las Bambas"*. Trujillo, Perú. Universidad César Vallejo, 2020.
24. **CRUZ RAMOS, Luis Clemente.** Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad y confiabilidad en máquinas circulares en la empresa textil WG. SAC – Lima. *Innovación en Ingeniería*. Online. 30 December 2016. Vol. 2, no. 1. [Accessed 6 June 2022]. Available from:
<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/innovacion/article/view/1744>
25. **ARIAS GONZALES, José Luis.** *Proyecto de tesis - Guía para la elaboración*. . Primera. 2020. ISBN 978-612-00-5416-1.

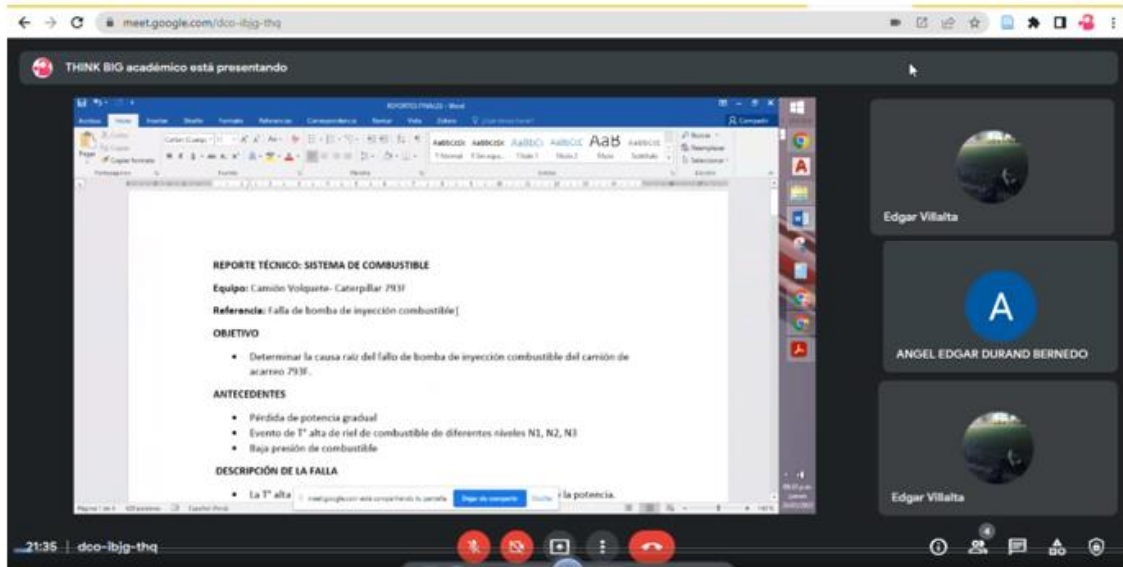
ANEXOS

Anexo A. Disponibilidad de flotas de camiones de acarreo

Month		Jan_20	Feb_20	Mar_20	Apr_20	May_20	Jun_20	Jul_20	Aug_20	Sep_20	Oct_20	Nov_20	Dec_20	Actual
Days		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366
TR-001	Cat 793F	68.9%	87.8%	89.5%	88.6%	89.6%	87.3%	89.5%	88.1%	88.0%	89.5%	89.5%	89.5%	87.1%
TR-002	Cat 793F	89.1%	89.3%	89.6%	88.0%	46.5%	29.2%	89.5%	86.3%	89.4%	89.6%	89.4%	87.3%	80.3%
TR-003	Cat 793F	89.1%	89.3%	89.6%	80.4%	89.5%	45.8%	31.4%	89.5%	89.5%	89.5%	89.5%	89.5%	80.2%
TR-004	Cat 793F	30.0%	46.2%	88.1%	86.3%	89.5%	89.5%	87.6%	89.8%	89.4%	79.7%	89.5%	89.7%	79.7%
TR-005	Cat 793F	89.6%	89.3%	86.5%	89.4%	89.6%	89.4%	61.4%	89.7%	89.4%	88.1%	89.4%	89.6%	86.8%
TR-006	Cat 793F	89.6%	89.3%	89.6%	88.3%	89.5%	89.4%	89.5%	89.7%	78.8%	88.1%	86.3%	89.5%	88.2%
TR-007	Cat 793F	88.8%	87.1%	89.5%	87.2%	89.5%	89.4%	89.6%	89.5%	89.1%	89.5%	89.4%	89.4%	88.1%
TR-008	Cat 793F	87.7%	43.3%	33.2%	89.4%	89.5%	89.5%	89.5%	89.5%	89.5%	89.5%	89.4%	89.6%	80.9%
TR-009	Cat 793F	89.1%	89.3%	88.7%	89.5%	88.1%	79.6%	89.5%	89.5%	89.4%	88.9%	89.4%	89.5%	88.4%
TR-010	Cat 793F	88.2%	86.4%	47.3%	30.3%	89.5%	89.4%	89.5%	89.0%	89.4%	89.6%	89.4%	89.5%	80.7%
TR-011	Cat 793F	87.7%	89.3%	89.5%	89.5%	89.5%	89.4%	89.6%	88.4%	87.2%	86.5%	89.1%	89.5%	88.8%
TR-012	Cat 793F	89.6%	87.1%	86.0%	89.4%	89.5%	89.4%	89.5%	86.7%	89.4%	89.6%	87.2%	79.2%	87.7%
TR-013	Cat 793F	86.1%	87.0%	88.7%	89.4%	89.5%	89.5%	89.5%	88.3%	89.5%	88.4%	89.4%	89.5%	88.7%
TR-014	Cat 793F	81.2%	88.3%	86.5%	89.5%	87.3%	89.4%	89.5%	89.6%	89.4%	89.5%	89.5%	89.5%	88.3%
TR-015	Cat 793F	87.7%	78.5%	89.5%	89.5%	89.5%	86.6%	89.5%	89.5%	89.4%	89.5%	89.5%	89.5%	88.2%
TR-016	Cat 793F	88.2%	89.3%	89.6%	89.4%	89.5%	88.6%	79.1%	89.5%	89.4%	89.6%	89.4%	88.3%	88.3%
TR-017	Cat 793F	85.5%	86.2%	88.1%	89.4%	89.5%	85.8%	89.5%	89.5%	89.4%	89.6%	86.3%	89.6%	88.2%
TR-018	Cat 793F	86.1%	89.3%	89.5%	88.7%	89.6%	89.4%	89.6%	88.6%	89.4%	89.6%	89.4%	89.6%	89.1%
TR-019	Cat 793F	88.8%	87.8%	89.5%	89.4%	89.6%	88.4%	89.5%	89.5%	89.4%	89.0%	89.5%	89.5%	89.2%
Total Haul CAT 793F		83.7%	83.2%	83.6%	85.3%	87.1%	82.9%	84.3%	89.0%	88.6%	88.6%	89.0%	88.3%	86.1%

Fuente: Reportes de minera

Anexo B. Reuniones mediante MEET



Anexo C. Formato de la entrevista personal

ENTREVISTAS AL PERSONAL

FECHA:

1.- ¿Cuáles consideras que son las fallas de funcionamiento más comunes que presenta la flota vehicular?

2.- ¿Cuáles consideras que son las causas de dichas fallas?

Anexo D. Formato de encuesta de causas de fallas

ENCUESTA DE CAUSAS DE FALLA

FECHA

Para la realización de esta encuesta, se le pide responder de manera sincera, la siguiente valoración

Califique de 0-10) donde 10 significa muy importante y 0 nada importante) a las que tu consideras las causas más importantes o relevantes de las fallas

Desgaste y envejecimiento	
Mala aplicación del plan de mantenimiento	
Mano de obra no calificada	
Operación deficiente del conductor	
Diagnóstico erróneo	
Falta de lubricación	
Repuestos de mala calidad	
Desabastecimiento de repuestos en almacén	

Anexo E. Especificaciones del camión minero CAT 793F - A

Especificaciones del Camión Minero 793F

Motor		
Modelo del motor	Cat C175-16	
Potencia bruta: SAE J1995	1.976 kW	2.650 hp
Potencia neta: SAE J1349	1.848 kW	2.478 hp
Reserva de par	20 %	
Calibre	175 mm	6,9"
Carrera	220 mm	8,7"
Cilindrada	85 L	5.187 pulg ³

- Las clasificaciones de potencia se aplican a 1.750 rpm cuando se prueban según las condiciones indicadas para la norma especificada.
- Las clasificaciones están basadas en la norma SAE J1995 sobre las condiciones del aire a 25 °C (77 °F) y 99 kPa (29,61 Hg) de presión barométrica en seco. La potencia está basada en el combustible con una densidad API de 35 a 16 °C (60 °F) y un poder calorífico de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) con el motor a 30 °C (86 °F).
- No hay reducción de potencia del motor hasta los 3.353 metros (11.000') de altitud.
- Cumple con los requisitos de la EPA. Según corresponda, el Motor Cat C175-16 cumple con los requisitos sobre emisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Pesos: aproximados		
Peso del chasis	122.300 kg	270.000 lb
Gama de los pesos de las cajas	26.862 - 47.627 kg	59.220 - 105.000 lb

- Peso del chasis con el tanque lleno, grupo de montaje y elevación de la caja, llantas y neumáticos 40.00R57.
- El peso de la caja varía dependiendo de cómo esté equipada.

Especificaciones de operación		
Capacidad de carga útil nominal	226,8 tons métricas	250 tons EE.UU.
Velocidad máxima: cargado	60 km/h	37,3 mph
Ángulo de dirección	36 grados	
Diámetro de giro: delantero	28 m	93'
Diámetro de giro de espacio libre	33 m	107'
Peso bruto de la máquina en orden de trabajo	386.007 o 390.089 kg	851.000 o 860.000 lb

- Consulte la política de sobrecarga 10/10/20 del camión minero Cat para obtener información sobre las limitaciones de peso bruto máximo de la máquina.

Mandos finales	
Relación diferencial	1,8:1
Relación planetaria	16:1
Relación de reducción total	28,8:1

Transmisión		
Avance 1	12,9 km/h	8 mph
Avance 2	17,4 km/h	10,8 mph
Avance 3	23,8 km/h	14,8 mph
Avance 4	32,1 km/h	19,9 mph
Avance 5	43,6 km/h	27,1 mph
Avance 6	60 km/h	37,3 mph
Retroceso	11,8 km/h	7,3 mph

Suspensión		
Carrera efectiva del cilindro: delantera	130,5 mm	5,1"
Carrera efectiva del cilindro: trasera	105,5 mm	4,2"
Oscilación del eje trasero	±4,9 grados	

Dispositivos de levantamiento de cajas		
Flujo de la bomba: velocidad alta en vacío	846 L/min	224 gal EE.UU./min
Configuración de la válvula de alivio: levantamiento	20.370 kPa	2.955 lb/pulg ²
Tiempo de levantamiento de la caja: velocidad alta en vacío	19 segundos	
Tiempo de bajada de la caja: posición libre	20 segundos	
Disminución de la potencia de la caja: velocidad alta en vacío	17,5 segundos	

- Dos cilindros hidráulicos idénticos de dos etapas montados fuera del bastidor principal, cilindros de doble efecto en la segunda etapa.
- Elevación de la potencia en ambas etapas, disminución de la potencia en la segunda etapa.
- La baja modulación de la caja automática reduce el impacto en el bastidor.

Frenos		
Diámetro exterior	874,5 mm	34,5 pulg
Superficie de freno: delantera	89.817 cm ²	13.921 pulg ²
Superficie de freno: trasera	34.500 cm ²	20.847 pulg ²
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450:1996	

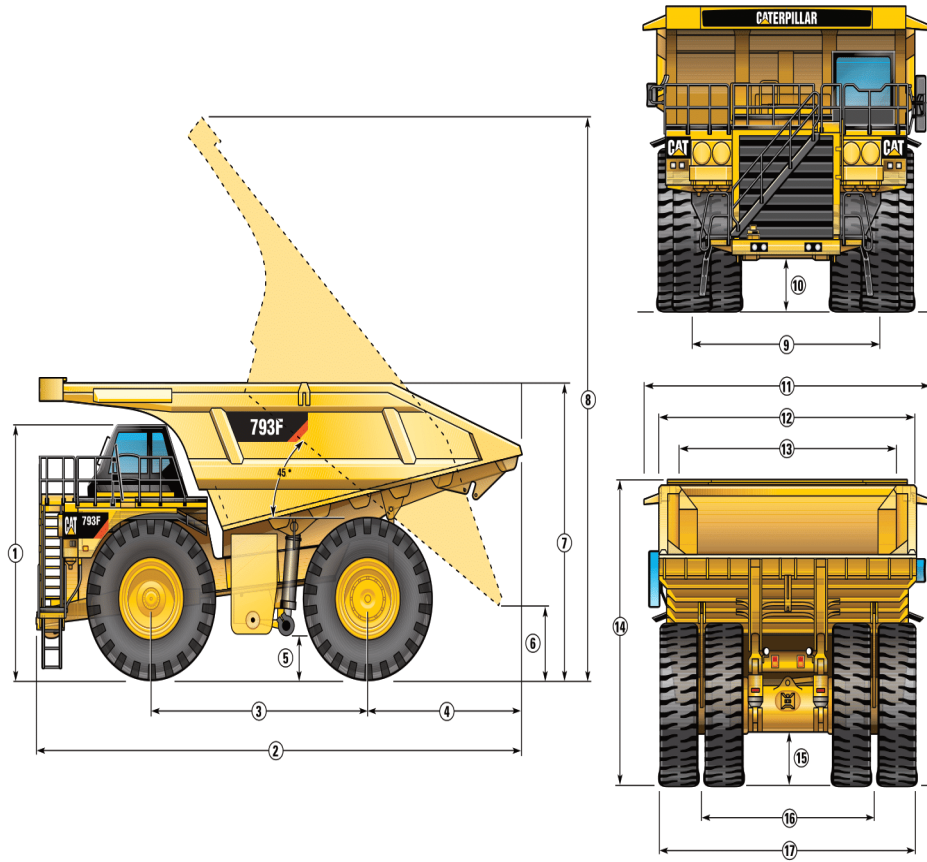
Distribuciones del peso: aproximadas	
Eje delantero: vacío	48 %
Eje trasero: vacío	52 %
Eje delantero: cargado	33 %
Eje trasero: cargado	67 %

Capacidad – MSD II – factor de llenado del 100 %		
A ras	112-142 m ³	146-186 yd ³
Colmada (SAE 2:1)	159-190 m ³	209-250 yd ³

- Comuníquese con su distribuidor Cat local para obtener recomendaciones acerca de la caja.

Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.
Se muestra con Caja MSD II de 176 m³ (230 yd³).



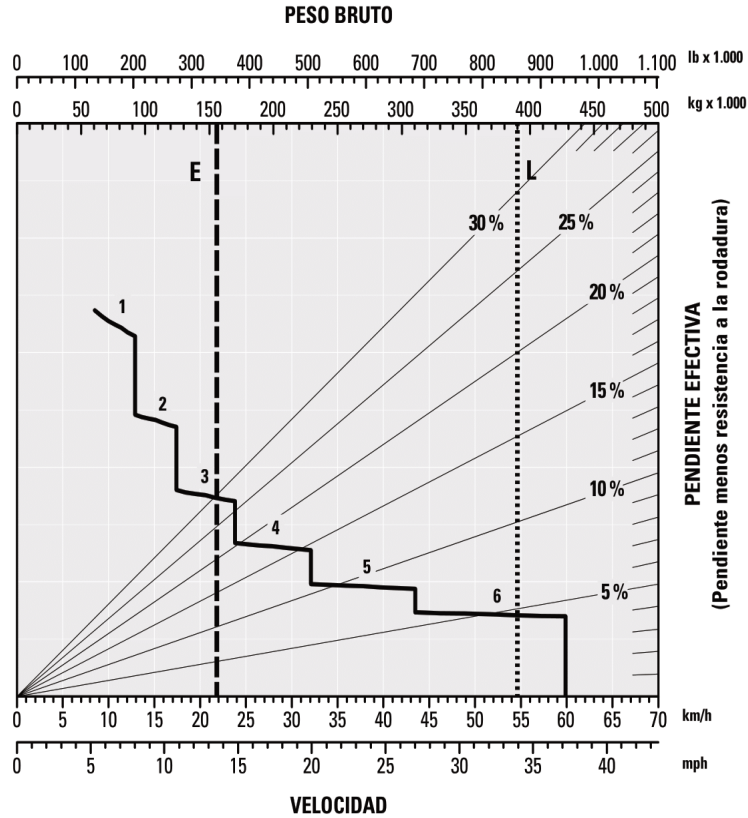
1	Altura hasta la parte superior de la ROPS	5.597 mm	18' 4"
2	Longitud total	13.702 mm	44' 11"
3	Distancia entre ejes	5.905 mm	19' 5"
4	Eje trasero a la cola	4.257 mm	13' 11"
5	Espacio libre sobre el suelo	990 mm	3' 3"
6	Espacio libre de descarga	1.301 mm	4' 3"
7	Altura de carga: vacío	6.533 mm	21' 5"
8	Altura total: caja levantada	13.878 mm	45' 6"
9	Ancho del neumático delantero de la línea de centro	5.630 mm	18' 6"
10	Espacio libre del protector del motor	1.217 mm	4' 0"
11	Ancho total del techo	8.295 mm	27' 3"
12	Ancho exterior de la caja	7.626 mm	25' 0"
13	Ancho interior de la caja	6.946 mm	22' 9"
14	Altura del techo delantero	6.603 mm	21' 8"
15	Espacio libre en el eje trasero	1.006 mm	3' 4"
16	Ancho del neumático doble trasero de la línea de centro	4.963 mm	16' 3"
17	Ancho total entre neumáticos	7.605 mm	24' 11"

Retardo adicional de 793F: continuo*

Para determinar el rendimiento del retardo: agregue las longitudes de todos los segmentos en pendientes cuesta abajo y, utilizando este total, consulte la tabla de retardo correspondiente. Lea desde el peso bruto hacia abajo hasta el porcentaje de la pendiente efectiva. La pendiente efectiva es igual al porcentaje real de la pendiente menos el 1 % por cada 10 kg/t (20 lb/ton EE.UU.) de resistencia a la rodadura. A partir de este punto de la pendiente efectiva de peso, lea horizontalmente hasta la curva con la marcha más elevada que se pueda obtener, luego hacia abajo hasta el descenso máximo que los frenos de velocidad puedan manejar correctamente sin exceder la capacidad de enfriamiento. Las tablas siguientes se basan en estas condiciones: temperatura ambiente de 32 °C (90 °F), al nivel del mar, con neumáticos 46/90R-57.

NOTA: seleccione la marcha adecuada para mantener las rpm del motor al máximo nivel posible, sin provocar exceso de velocidad al motor. Si se recalienta el aceite de enfriamiento, reduzca la velocidad de desplazamiento para permitir que la transmisión cambie a la siguiente gama de velocidades más baja.

- Peso vacío típico en la obra
- Peso bruto de la máquina en orden de trabajo
390.089 kg (860.000 lb)



- 1 - 1ª marcha
- 2 - 2ª marcha
- 3 - 3ª marcha
- 4 - 4ª marcha
- 5 - 5ª marcha
- 6 - 6ª marcha

- E - Vacío
- L - Cargado
- * A nivel del mar

Capacidades de llenado de servicio

Tanque de combustible	2.839 L	750 gal EE.UU.
Tanque de combustible (optativo)	4.922 L	1.300 gal EE.UU.
Sistema de enfriamiento	1.074 L	284 gal EE.UU.
Cárter	312 L	82 gal EE.UU.
Caja del eje trasero	984 L	260 gal EE.UU.
Sistema de dirección (incluye tanque)	290 L	77 gal EE.UU.
Sistema de frenos/dispositivo de levantamiento (incluye tanque)	1.315 L	347 gal EE.UU.
Convertidor de par/sumidero de transmisión	102 L	27 gal EE.UU.
Convertidor de par/sistema de transmisión (incluye sumidero)	209 L	55 gal EE.UU.

ROPS

Normas de ROPS

- La ROPS (Rollover Protective Structure, Estructura de protección en caso de vuelcos) para la cabina ofrecida por Caterpillar cumple los criterios ISO 3471:1994 de la ROPS.
- La FOPS (Falling Objects Protective Structure, Estructura de protección contra la caída de objetos) cumple con las normas ISO 3449:1992 Nivel II FOPS.

Sonido

Normas de sonido

- El nivel de presión de sonido del operador medido de acuerdo con los procedimientos del ciclo de trabajo especificados en las normas ISO 6394 y 6396 es de 76 dB(A) para la cabina que ofrece Caterpillar, cuando esta se instala y mantiene correctamente, y se prueba con puertas y ventanas cerradas.
- Es posible que se necesite protección auditiva cuando se trabaje durante mucho tiempo en una estación del operador y una cabina abierta (si no cuentan con el mantenimiento correcto o tienen las puertas/ventanas abiertas), o en un entorno ruidoso.

Dirección

Normas de dirección

SAE J1511 OCT90,
ISO 5010:1992

Cálculo de peso/carga útil

(Ejemplo)

	793F, SLWS, 29", 40R57*		793F, XLWS, 29", 40R57		793F, XLWS, 32", 50/80R57**	
	Caja MSD		Caja MSD		Caja MSD	
Caja de camión MSD II (209 yd ³ /160 m ³)	kg	lb	kg	lb	kg	lb
Peso bruto de la máquina en orden de trabajo	386.008	851.000	386.008	851.000	390.090	860.000
Peso ¹ básico de la máquina	42.638	94.001	42.638	94.001	42.638	94.001
Accesorios	78.956	174.068	81.463	179.595	85.145	187.712
Peso de la caja: MSD II (230 yd ³ /160 m ³) completamente revestida	33.102	72.977	33.102	72.977	33.102	72.977
Peso en orden de trabajo de la máquina	154.766	341.200	157.273	346.727	165.783	365.489
Concesión de basura de 3 % ²	4.643	10.238	4.718	10.404	4.829	10.647
Peso de la máquina en orden de trabajo sin carga (Empty Operating Machine Weight, EOMW) ¹	159.409	351.436	161.991	357.129	165.783	365.489
	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Carga útil ideal potencial ³	227	250	224	247	225	247

*El modelo 793F estándar incluye: configuración común, 100 % de combustible (2.840 L/750 gal EE.UU.), dispositivo de levantamiento, grupo de montaje de la caja, accesorios obligatorios, tambor de ruedas estándar, llantas de 29" y neumáticos 40.00R57.

**El modelo 793F XLWS incluye: configuración común, 100 % de combustible (2.840 L/750 gal EE.UU.), dispositivo de levantamiento, grupo de montaje de la caja, accesorios obligatorios, tambor de la rueda de larga duración, llantas de cambio rápido de 32" y neumáticos 50/80R57.

¹ Los pesos variarán según la configuración y pueden incluir una variación de $\pm 2\%$ debido a tolerancias de material estándar.

² Los cálculos incluyen una concesión de basura (3 % OMW). Sin embargo, la concesión de basura se debe considerar según las condiciones conocidas del lugar.

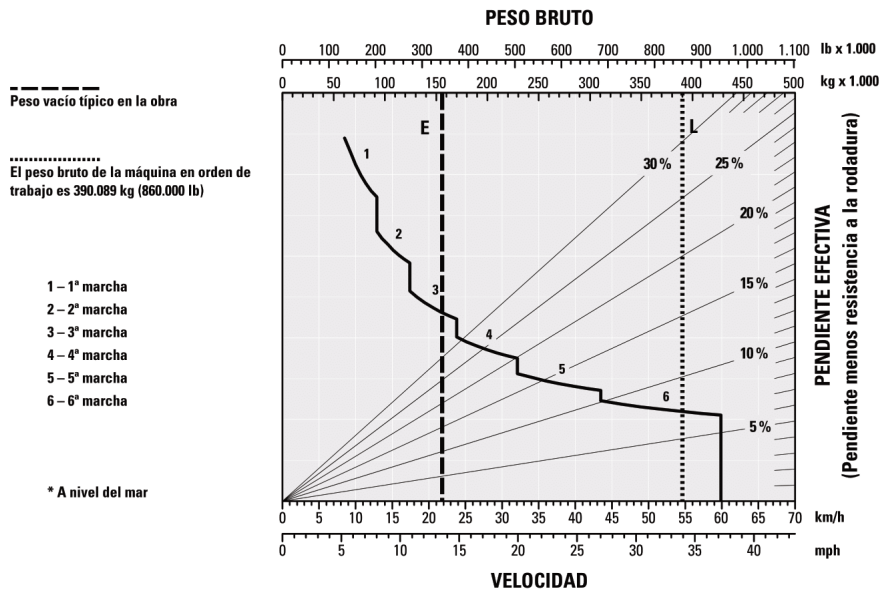
³ Se recomienda trabajar con su representante de Global Mining para calcular la carga útil de objetivo según el lugar específico.

Caterpillar recomienda que el cliente analice todas las condiciones de trabajo y consulte al distribuidor Cat y al fabricante de neumáticos para que lo ayuden a elegir los más adecuados.

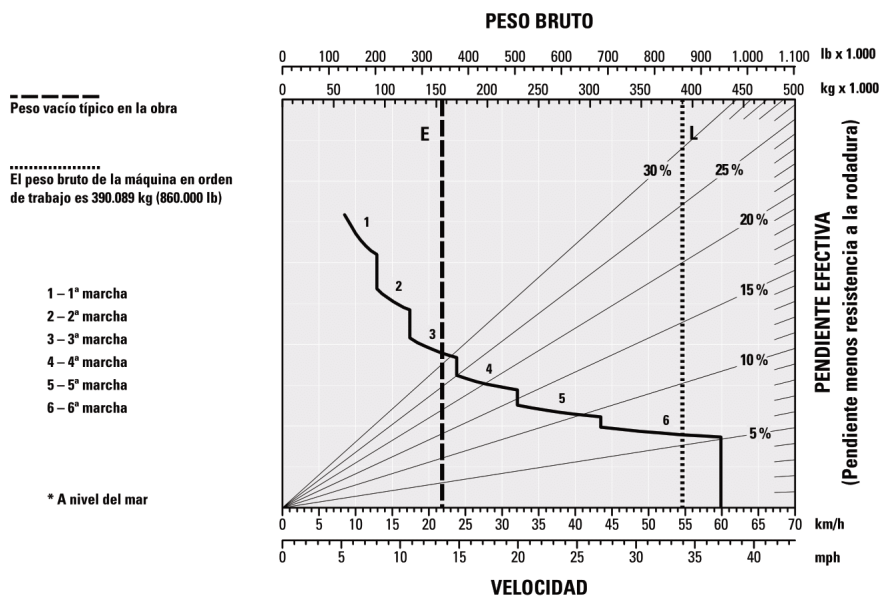
Consulte las limitaciones de los neumáticos con el distribuidor local respecto a los detalles relacionados con los neumáticos que está considerando.

La capacidad de producción del 793F es tal que, en determinadas condiciones de trabajo, podría exceder la capacidad de los neumáticos estándar u optativos en TKPH (TMPH) y, por lo tanto, limitaría la producción.

Retardo adicional de 793F: 450 m (1.475')*



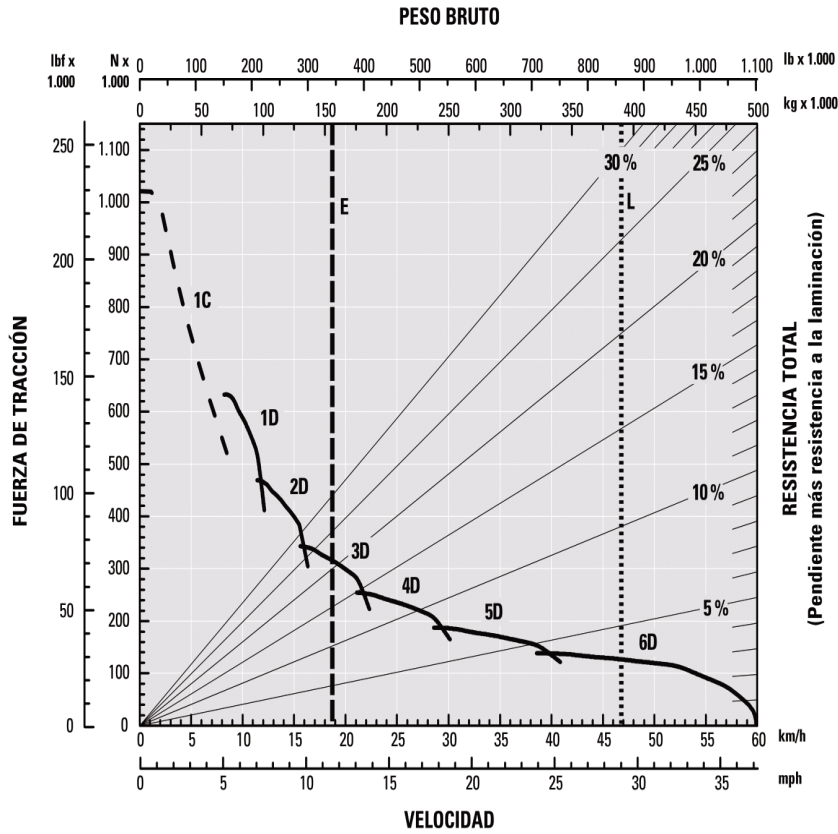
Retardo adicional de 793F: 1.500 m (4.900')*



793F Rendimiento en pendientes/velocidad/fuerza de tracción*

Para determinar el rendimiento en subida de pendientes: lea desde el peso bruto hacia abajo hasta el porcentaje de la resistencia total. La resistencia total es igual al porcentaje real de la pendiente más el 1 % por cada 10 kg/t (20 lb/ton EE.UU.) de resistencia a la rodadura. Desde el punto donde se encuentran la resistencia y el peso, desplácese horizontalmente hasta la curva con la marcha más elevada que se pueda obtener, luego hacia abajo hasta la velocidad máxima. La fuerza de tracción utilizable dependerá de la tracción disponible y del peso sobre las ruedas de tracción.

- Peso vacío típico en la obra
- Peso bruto de la máquina en orden de trabajo
390.089 kg (860.000 lb)



- 1 - 1ª marcha
- 2 - 2ª marcha
- 3 - 3ª marcha
- 4 - 4ª marcha
- 5 - 5ª marcha
- 6 - 6ª marcha

- E - Vacío
- L - Cargado
- * A nivel del mar

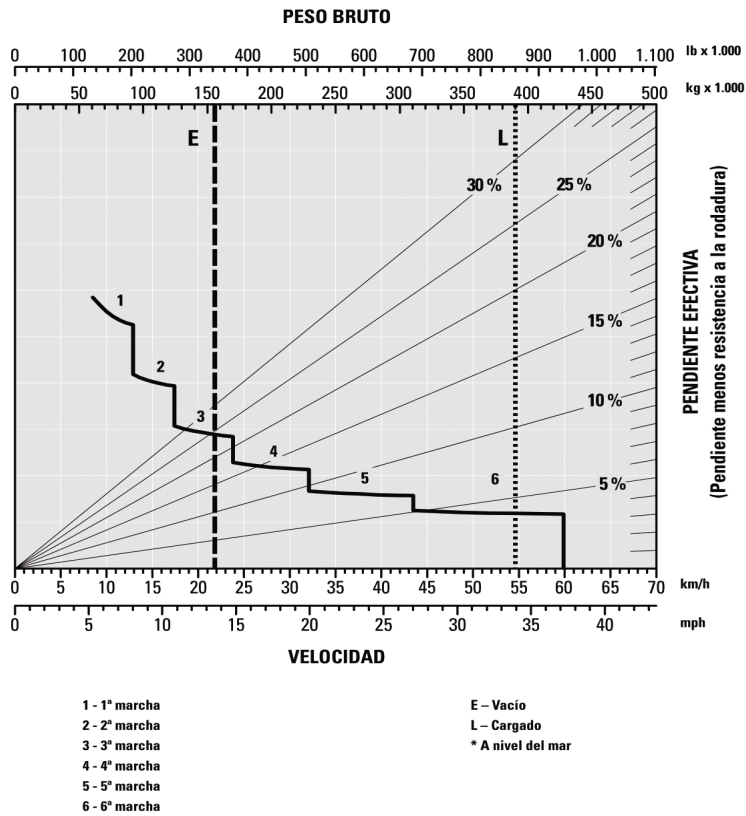
- Impulsor del convertidor de par
- Mando directo

Retardo estándar de 793F: continuo*

Para determinar el rendimiento del retardo: agregue las longitudes de todos los segmentos en pendientes cuesta abajo y, utilizando este total, consulte la tabla de retardo correspondiente. Lea desde el peso bruto hacia abajo hasta el porcentaje de la pendiente efectiva. La pendiente efectiva es igual al porcentaje real de la pendiente menos el 1 % por cada 10 kg/t (20 lb/ton EE.UU.) de resistencia a la rodadura. A partir de este punto de la pendiente efectiva de peso, lea horizontalmente hasta la curva con la marcha más elevada que se pueda obtener, luego hacia abajo hasta el descenso máximo que los frenos de velocidad puedan manejar correctamente sin exceder la capacidad de enfriamiento. Las tablas siguientes se basan en estas condiciones: temperatura ambiente de 32 °C (90 °F), al nivel del mar, con neumáticos 46/90R-57.

NOTA: seleccione la marcha adecuada para mantener las rpm del motor al máximo nivel posible, sin provocar exceso de velocidad al motor. Si se recalienta el aceite de enfriamiento, reduzca la velocidad de desplazamiento para permitir que la transmisión cambie a la siguiente gama de velocidades más baja.

----- **Peso vacío típico en la obra**
 **Peso bruto de la máquina en orden de trabajo**
 390.089 kg (860.000 lb)



Fuente: Ficha técnica de camión minero 793F, (p.25);(22)

Anexo F. Panel fotográfico











Anexo G. Historial de fallas de muestra de camiones de acarreo

CM-15 POS.5		INFORME 0-2021
1. DATOS GENERALES		
REENCAUCHADA / ORIGINAL	ORIGINAL	
HORA DE INSPECCION	23:50:00	
LUGAR DE INSPECCION	LAVADERO ROMPAD	
MEDIDA	46/90R57	
LUGAR DEL ACCIDENTE	OPERACIONES MINA	
MARCA	BRIDGESTONE	
MODELO	VREV E2A	
SERIE / COD. INTERNO	153322033/S1BQH0057	
POSICIÓN	5	
PARTE AFECTADA	BANDA DE RODAMIENTO - HOMBRO	
RTD DE NEUMATICO INICIAL	97/97	
RTD DE SALIDA	49/47	
RTD CONSUMIDO	49	
HORAS TRABAJADAS	3,250	
TIPO DE FALLA	CORTE PASANTE POR ROCA	
DISPOSICION	SCRAP	
2. FOTO Y DESCRIPCION DE DANO		
		
<p>En la imagen izquierda se observa corte en banda de rodamiento zona de hombro.</p>		<p>En la imagen derecha se observa en butilo: Corte pasante de 28 cm de longitud.</p>
3. CAUSAS :		
- Corte por roca.		
4. ACCIONES Y RECOMENDACIONES		
4.1. ACCIONES INMEDIATAS :		
Se evaluó daños y se envió equipo a talleres para cambio de neumático.		
RECOMENDACIONES:		
*- Mantener las vías en buen estado, para evitar cortes e impactos en los neumáticos.		
*- Constante limpieza en las zonas de carga, descarga y vías de los camiones.		
*- No trabajar con el neumático con baja presión.		
5. OBSERVACIONES		
Se realizó el cambio del neumático (Por magnitud de daño se dispone como SCRAP).		

Anexo H. Características y marca de aceite

ExxonMobil

Nombre del producto: MOBIL DELVAC 1 5W-40
Fecha de Revisión: 27 Ago 2018
Página 1 de 10

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL

SECCIÓN 1 IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTO Y COMPAÑÍA

De acuerdo a la fecha de revisión arriba indicada, esta (M)SDS cumple con las regulaciones en Perú

PRODUCTO
Nombre del producto: MOBIL DELVAC 1 5W-40
Descripción del producto: Bases y aditivos sintéticos
Código del producto: 201520101005, 441113-00
Uso previsto: Aceite para motor

IDENTIFICACION DE LA COMPAÑÍA
Proveedor: Terpel Comercial del Perú S.R.L.
Av. Camino Real 456,
Torre Real Piso 14 San Isidro
Lima Perú
24 Horas Emergencia en Salud 511- 222 0284
Información técnica del producto 0800-10710

SECCIÓN 2 COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Sustancia(s) peligrosas reportables ó sustancia(s) compleja(s).

Nombre	CAS#	Concentración*
DESTILADO PARAFINICO LIVIANO REFINADO CON SOLVENTE (PETRÓLEO)	6471-89-5	1 - < 5%
TETRAPROPENIL FENOL	74499-35-7	0.1 - < 0.25%
ALQUIL DITIOFOSFATO DE ZINC	113706-19-3	1 - < 2.5%

* Todas las concentraciones están en porcentaje en peso a menos que el ingrediente sea un gas. Las concentraciones de gases están en porcentaje por volumen.

SECCIÓN 3 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Este material no es considerado como peligroso de acuerdo con las guías reguladoras (ver la Sección 15 del (M)SDS).

EFFECTOS POTENCIALES EN LA SALUD
Exposición excesiva puede ocasionar irritación a los ojos, a la piel o irritación respiratoria. La inyección a alta presión bajo la piel puede causar daños graves.

NFPA ID de Peligro: Salud: 0 Inflamabilidad: 1 Reactividad: 0

NOTA: Este material no se debería usar para ningún otro propósito que el uso previsto en la Sección 1 sin la asesoría de un experto. Los estudios sobre salud han mostrado que la exposición a productos químicos puede causar

Anexo I. Historial de fallas de muestra de camiones de acarreo