

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

Diseño de un plan de mantenimiento por medio de la implementación del RCM3 para los vehículos del servicio ciclones en una minera al sur del Perú

Tesis presentada por:

Fernandez Johanson, Renato Dario

ORCID: 0009-0001-4967-6066

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Asesor:

Dr. Siles Nates, Fernando David

ORCID: 0000-0002-7732-6012

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 20 de Agosto del 2026

Dictamen: 011214-C-EPIMMEM-2026

Visto el borrador del expediente 011214, presentado por:

2016192031 - FERNANDEZ JOHANSON RENATO DARIO

Titulado:

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM3 PARA LOS VEHÍCULOS DEL SERVICIO CICLONES EN UNA MINERA AL SUR DEL PERÚ

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECANICO

29479140 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE
DICTAMINADOR

06426119 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR

29529560 - CACERES NUÑEZ AUGUSTO EMILIO CARLOS
DICTAMINADOR

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM3 PARA LOS VEHÍCULOS DEL SERVICIO CICLONES EN UNA MINERA AL SUR DEL PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	6%	2%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.uasf.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	rd.udb.edu.sv:8080 Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

Dedicatoria

A mis padres, por el esfuerzo y dedicación en todos estos años con perseverancia y responsabilidad, cuyo apoyo han sido fundamentales en mi desarrollo tanto personal y profesional. Así mismo que me han brindado el aliento necesario para culminar este desafío académico. Les dedico este logro alcanzado como agradecimiento de gratitud por cada sacrificio, consejo y motivación que hicieron posible alcanzar esta meta.

Agradecimientos

Agradezco a nuestro divino creador en primer lugar, por darme la fortaleza espiritual y la sabiduría necesaria para terminar esta etapa de mi vida.

Extiendo mi agradecimiento a mis docentes y asesores, por transmitir sus conocimientos, experiencias y orientación durante el desarrollo de esta tesis

Finalmente, agradezco a mis familiares y amigos, quienes me acompañaron con sus palabras de ánimo, comprensión y paciencia en los momentos buenos y malos de este proceso.

RESUMEN

La presente Tesis aborda el diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM3 para los vehículos del servicio Ciclones en una minera al sur del Perú, con el propósito de incrementar la disponibilidad operativa y reducir los costos de mantenimiento. El problema identificado fue la baja disponibilidad promedio de 72% y los altos costos asociados, que afectaban la eficiencia y rentabilidad de la empresa.

El objetivo general consistió en diseñar un plan de mantenimiento que optimice la confiabilidad de la flota vehicular, compuesta por unidades como Toyota Hilux y Bus Volvo.

La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, con carácter aplicado, nivel descriptivo y diseño no experimental. Se recolectaron y analizaron datos de historial de fallas mediante herramientas como el análisis de criticidad, el AMFE y la aplicación de la metodología RCM3.

Entre los resultados alcanzados, se logró reducir en un 30% los costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad promedio de los vehículos en un 15%, alcanzando un 90% de operatividad. Asimismo, los indicadores financieros evidenciaron la viabilidad del plan, con un VAN positivo y una TIR superior al costo de oportunidad.

Se concluye que la implementación del RCM3 constituye un aporte significativo para mejorar la eficiencia operativa, garantizar la sostenibilidad económica y fortalecer la competitividad de las operaciones mineras.

Palabras claves: RCM3, criticidad, AMFE.

ABSTRACT

This thesis project the design of a maintenance plan based on the RCM3 methodology for the Ciclones service vehicles in a mining company in southern Peru, with the purpose of increasing operational availability and reducing maintenance costs. The problem identified was the low average availability of 72% and the high associated costs, which affected the efficiency and profitability of the company.

The general objective was to design a maintenance plan that optimizes the reliability of the vehicle fleet, made up of units such as Toyota Hilux and Volvo Bus.

The methodology used was a quantitative approach, with an applied nature, descriptive level and non-experimental design. Failure history data was collected and analyzed using tools such as criticality analysis, FMEA and application of the RCM3 methodology.

Among the results achieved, it was possible to reduce maintenance costs by 30% and increase the average availability of vehicles by 15%, reaching 90% operability. Likewise, the financial indicators showed the viability of the plan, with a positive NPV and an IRR higher than the opportunity cost.

It is concluded that the implementation of RCM3 constitutes a significant contribution to improve operational efficiency, guarantee economic sustainability and strengthen the competitiveness of mining operations.

Keywords: RCM3, Criticality, AMFE.

INDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS
RESUMEN
ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO 2
1.1. Descripción del problema 2
1.2. Formulación del problema 3
1.3. Área de conocimiento 3
1.4. Hipótesis 3
1.5. Variables 4
1.6. Objetivos 4
1.6.1. Objetivo general 4
1.6.2. Objetivos específicos 4
1.7. Justificación 5
1.7.1. Tecnológica 5
1.7.2. Económica 5
1.7.3. Social 5
1.8. Alcances 6
1.9. Limitaciones 6
1.10. Antecedentes 6
1.10.1. Antecedentes internacionales 6
1.10.2. Antecedentes nacionales 10
1.10.3. Antecedentes locales 11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 14
2.1. Bases teóricas 14
2.1.1. Mantenimiento 14
2.1.2. Tipos de mantenimiento 16
2.1.3. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) 19
2.1.4. Indicadores de mantenimiento 26
2.1.5. Confiabilidad 27
2.1.6. Mantenibilidad 27
2.1.7. RCM - 3 29
2.1.8. Vehículos de servicio ciclones 33

2.1.9. El mantenimiento centrado en la fiabilidad adaptado en problemáticas en diferentes empresas 39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 50
3.1. Metodología de la investigación 50
3.2. Metodología de la investigación 50
3.3. Diseño de investigación 51
3.4. Proceso metodológico 51
3.4.1. Identificación de máquinas y equipos 51
3.4.2. Taxonomía de los equipos 52
3.4.3. Análisis de criticidad de los sistemas y subsistemas 53
3.4.4. El nuevo plan de mantenimiento 55
3.4.5. Validación económica con VAR y TIR para asegurar sostenibilidad del plan 55
CAPITULO IV: IMPLEMENTACION 56
4.1. Maquinas 56
4.1.1. Historial de mantenimiento Toyota Hilux 63
4.1.2. Cálculo de disponibilidad y confiabilidad 63
4.1.3. Diagrama de Pareto 65
4.1.4. Taxonomía del activo (Toyota Hilux) 67
4.1.5. Análisis de criticidad de sistemas del equipo 68
4.1.6. Funciones del activo (Toyota Hilux) 71
4.1.7. Análisis de modos y efectos de fallas (AMFE) 75
4.1.8. Plan de mantenimiento 84
4.2. Desarrollo de la metodología RCM para el Bus Volvo B380R 88
4.2.1. Descripción del activo (Bus Volvo B380R4X2) 88
4.2.2. Características técnicas 90
4.2.3. Características adicionales 91
4.2.4. Taxonomía del activo (Bus Volvo B380R4X2) 92
4.2.5. Análisis de modos y efectos de fallas en el equipo VOLVO 95
4.2.6. Funciones del activo 96
4.2.7. Plan de mantenimiento BusVolvo 114
4.2.8. Planes de mantenimiento 119
CAPITULO V: RESULTADOS 135
5.1. Resultados según las fases del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM3) 135
5.2. Cálculo del VAN/TIR para el plan de mantenimiento del Toyota Hilux 136
5.3. Cálculo del VAN/TIR para el plan de mantenimiento del Bus Volvo 137

5.4. MTBF (Mean Time Between Failures) 142
5.5. MTTR (Mean Time to Repair): 142
5.6. Disponibilidad operacional del equipo 142
5.7. Días Totales de Parada y Número de Paradas 143
5.8. Resultados económicos 143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 144
CONCLUSIONES 144
RECOMENDACIONES 146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métricas del indicador OEE 28

Tabla 2 Lista de vehículos analizados 56

Tabla 3 Jerarquía de Taxonomía del activo (Toyota Hilux) 68

Tabla 4 Factores del análisis de criticidad 69

Tabla 5 Criticidad de Sistemas Toyota Hilux 71

Tabla 6 Función principal del activo 71

Tabla 7 Funciones secundarias del equipo 72

Tabla 8 Función principal del sistema de frenado 73

Tabla 9 Funciones secundarias del sistema de frenado 73

Tabla 10 Criterio de gravedad 74

Tabla 11 Criterio de frecuencia de fallos 74

Tabla 12 Criterio de detectabilidad 75

Tabla 13 Análisis De Modos y Efectos De Fallas (AMFE) Toyota Hilux 76

Tabla 14 Plan de mantenimiento Toyota Hilux 84

Tabla 15 Ficha técnica Dimensiones y carga 89

Tabla 16 Ficha técnica: Motor y ejes 89

Tabla 17 Ficha técnica: Suspensión y dirección 90

Tabla 18 Jerarquía de taxonomía Bus Volvo 94

Tabla 19 Evaluación de la criticidad de los sistemas del Bus Volvo 95

Tabla 20 Función principal del activo (bus Volvo) 96

Tabla 21 Función primaria del sistema de potencia Bus Volvo 96

Tabla 22 Funciones secundarias del sistema de potencia Bus Volvo 97

Tabla 23 Función primaria del sistema de frenado Bus Volvo 98

Tabla 24 Función primaria del sistema de transmisión Bus Volvo 98

Tabla 25 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMFE) Bus Volvo 100

Tabla 26 Plan de mantenimiento Bus Volvo 114

Tabla 27 Costos Toyota Hilux.....119

Tabla 28 Costos de mantenimiento Bus Volvo 124

Tabla 29 Costos de mantenimiento por frecuencia Toyota Hilux..... 129

Tabla 30 Costos de mantenimiento por frecuencia Bus Volvo 130

Tabla 31 Ingresos y Egresos Toyota Hilux 130

Tabla 32 Ingresos y egresos Bus Volvo 131

Tabla 33 Costo de mantenimiento del equipo Bus Volvo 134

Tabla 34 Cálculo de indicadores financieros 136

Tabla 35 Cálculo KPI financieros Bus Volvo 137

Tabla 36 Utilidades Bus Volvo 137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución de mantenimiento 15

Figura 2 Procesos pertenecientes a un sistema de mantenimiento. 16

Figura 3 Toyota Hilux partes del exterior 58

Figura 4 Especificaciones técnicas Motor Diesel 58

Figura 5 Especificaciones técnicas Combustible Diesel 59

Figura 6 Especificaciones técnicas Sistema de enfriamiento 59

Figura 7 Especificaciones técnicas Transferencia 60

Figura 8 Especificaciones técnicas Diferencial 60

Figura 9 Especificaciones técnicas Frenos 61

Figura 10 Especificaciones técnicas Lubricación del chasis 62

Figura 11 Especificaciones técnicas Dirección 62

Figura 12 Especificaciones técnicas llanta 62

Figura 13 Especificaciones técnicas Focos 63

Figura 14 Disponibilidad operacional del equipo 64

Figura 15 MTBF, MTTR vs mes 64

Figura 16 Diagrama de Pareto 65

Figura 17 Taxonomía del activo (Toyota Hilux) 67

Figura 18 Distribución de la taxonomía de Toyota Hilux 67

Figura 19 Mantenimiento Basado en la confiabilidad 69

Figura 20 Taxonomía del Activo Bus Volvo 92

Figura 21 Taxonomía de Buss Volvo 93

Figura 22 Costo de Mantenimiento Del Equipo Toyota Hilux 132

Figura 23 Costo de mantenimiento Toyota Hilux 133

Figura 24 Costo de mantenimiento por 10000 horas Bus Volvo 133

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia 153

Anexo 2 Historial de Mantenimiento Toyota Hilux 154

Anexo 3 Historial de Mantenimiento Bus Volvo 157

Anexo 4 Métricas del indicador OEE..... 158

Anexo 5 Incidencia de falla en cada mes 159

Anexo 6 Cálculo de disponibilidad, MTBF y MTTR 163

Anexo 7 Frecuencia de fallas 164

INTRODUCCIÓN

El servicio de vehículos ciclones es una categoría especial diseñada para el transporte eficiente y seguro de grandes cantidades de líquidos como combustible, agua, productos químicos y otros. Estos vehículos juegan un papel importante en diversas industrias al transportar grandes cantidades de líquidos de un lugar a otro.

La ciudad de Arequipa al ser una de las ciudades principales del Perú cuenta con una gran cantidad de estas máquinas para servicio de transporte de estos elementos, varias empresas cuentan con un procedimiento de reparación y mantenimiento de estos mismos equipos.

Para poder cumplir sus objetivos es necesario que dichos equipos siempre estén disponibles y operativos para cumplir con sus obligaciones; sin embargo, por falta de herramientas, equipos o personal hay empresas que no cuentan con un plan optimo de mantenimiento básico el cual a veces no cumple con los requerido.

Es por eso que en este caso se desea aplicar un procedimiento de mantenimiento RCM para servicio de vehículos ciclones, el RCM se basa en la confiabilidad de los equipos, este mantenimiento es uno de los procesos de mantenimiento más actualizados, pero además en este caso se aplicará mantenimiento RCM3 el cual es una evolución del RCM tradicional, se basa en los principios del RCM, pero incorpora nuevas herramientas y técnicas para mejorar la efectividad y eficiencia en el mantenimiento de equipos.

Posteriormente al aplicar este proceso de mantenimiento se evaluará mediante indicadores y KPI´s la funcionalidad de este programa.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Descripción del problema

El concepto de mantenimiento varia se actualiza cada año que transcurre, esto a consecuencia del aumento de mecanización, mayor complejidad de las maquinarias, nuevas técnicas de mantenimiento.

El mantenimiento está reaccionando a nuevas expectativas. Esto incluye mayor uso de los vehículos que prestan servicios a empresas industriales, mineras, etc., y se desea obtener mayor rendimiento y una alta disponibilidad de dichos vehículos. Provocando en los vehículos fallas inesperadas, tiempos largos de paralización, mayor índice de criticidad, etc.

La deficiencia de un correcto y actualizado mantenimiento eficaz en diferentes equipos, causaron graves inconvenientes potenciales, como grandes pérdidas de producción, contaminación desmedida al medio ambiente y hasta varias pérdidas humanas, podemos citar algunos ejemplos como el conocido accidente nuclear de Chernóbil, la catástrofe de Bhopal la cual causó que una gran nube tóxica invada dicha ciudad o la explosión de la plataforma petrolera Piper Alpha en el mar del norte. (Molina, 2021)

También hay que recalcar que resulta importante reseñar que para que estas empresas alcancen sus objetivos requieren del funcionamiento de maquinarias, equipos y vehículos, los cuales con el constante uso y el paso del tiempo requieren un adecuado mantenimiento para cumplir con el fin para las cuales fueron diseñadas, constituyéndose el mantenimiento en un factor clave en el desarrollo de las organizaciones, por lo que hace necesario que sea sólido, fuerte y efectivo (Vargas, 2023).

Entonces con todo esto, podemos afirmar que uno de los fines de la empresa es brindar un servicio optimo y eficiente, y para poder cumplir este objetivo, la empresa debe asegurar el correcto funcionamiento de las unidades que prestan el servicio.

A causa de las inesperadas paradas debido a fallas mecánicas o elementos que necesitan de un mantenimiento adecuado de los vehículos que tiene la empresa, siendo esto su principal problema, produce un corte al servicio prestado de la empresa ocasionando pérdidas económicas.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera favorecerá el diseño de un plan de mantenimiento por medio de la implementación del RCM3 para los vehículos del servicio ciclones en una minera al sur del Perú, impactar positivamente la productividad, mantenibilidad de la flota y de igual forma cuidando el factor económico de la empresa?

1.3. Área de conocimiento

Las áreas y subáreas de conocimiento establecida por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2015), la presente tesis lo clasifica de la siguiente manera:

- ✓ Área: Ingeniería, tecnología
- ✓ Subárea: Ingeniería mecánica
- ✓ Línea: Ingeniería mecánica

1.4. Hipótesis

Si se procesa los datos y analiza el historial de mantenimiento de las unidades, identificando y realizando la criticidad de las fallas de los sistemas mecánicos, eléctricos se podrá diseñar un plan de mantenimiento que pueda generar, optimizar y garantizar una alta disponibilidad de los vehículos que prestan servicios a empresas.

1.5. Variables

Variables independientes

Factores de evaluación de fallas y averías en los vehículos.

Variables dependientes

Propuesta de un plan de mantenimiento por medio de la implementación del RCM3 para los vehículos del servicio ciclones en una minera.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Elaborar un Plan de Mantenimiento Basado en RCM3 para los Vehículos del servicio Ciclones en una minera al sur del Perú.

1.6.2. Objetivos específicos.

- ✓ Procesar y analizar datos e historial de mantenimiento, así como las fallas de los sistemas mecánicos y eléctricos de las unidades vehiculares, para determinar los patrones y tendencias relevantes para el análisis RCM3.
- ✓ Adaptar la metodología RCM3 para elaborar el plan de mantenimiento adecuado y accesible para los vehículos Ciclones en una mina al sur del Perú, considerando la simplicidad y eficiencia en su implementación
- ✓ Definir estrategias de mantenimiento proactivas para los vehículos del servicio de Ciclones en una minera al Sur del Perú, centrándose en la identificación de tareas preventivas y predictivas que ayuden a evitar fallas potenciales y a maximizar la disponibilidad de las unidades.
- ✓ Realizar un análisis de confiabilidad posterior al diseño del plan de mantenimiento RCM3, evaluando su impacto en la disponibilidad operativa de los vehículos y comparándolo con el rendimiento previo, así como aspectos de sostenibilidad y eficiencia ambiental

- ✓ Evaluar la factibilidad económica del plan de mantenimiento RCM3 mediante indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), garantizar si es viable para la empresa a largo plazo.

1.7. Justificación

1.7.1. Tecnológica

La presente tesis propone diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM para reducir las averías y fallas en las unidades vehiculares de la empresa, y de esa manera prolongar la vida útil y disponibilidad de las unidades vehiculares. Se pretende contribuir a la reducción de fallas mecánicas, previniendo paradas inesperadas en el transcurso de la prestación de servicio de la unidad vehicular siendo un aporte importante tanto para la empresa de manera económica y para las empresas que solicitan el servicio teniendo mayor rendimiento de las unidades.

1.7.2. Económica

Las pérdidas económicas se dan a causa de las fallas mecánicas de las unidades vehiculares, que ocasionan paradas planificadas. Aparte que las paradas constantes haces que los vehículos tengan más horas de mantenimiento y esto ocasiona también pérdidas económicas. Por este motivo, el proyecto de investigación tiene una importancia económica ya que el plan de mantenimiento está basado en el RCM así permitirá tener alta disponibilidad de las unidades, usando los métodos de mantenimiento se tendrá mayor confiabilidad y mantenibilidad de los vehículos.

1.7.3. Social

Socialmente, ayudara al personal que se encarga de realizar el mantenimiento de dichos vehículos y a los clientes que solicitan el servicio de las unidades ya que tendrán un alto rendimiento y un servicio optimo.

1.8. Alcances

En la siguiente tesis se tiene como finalidad buscar las etapas que corresponden para el diseño de un Plan de mantenimiento basado en RCM para aumentar la disponibilidad de las unidades vehiculares de la empresa. Considerando las características de las unidades vehiculares según la marca, tipo, año, áreas de trabajo, realizando un análisis al historial de paradas de cada unidad vehicular. Mediante un análisis de criticidad se generará un eficaz plan de mantenimiento que contribuirá a la disminución de fallas mecánicas y paradas no planificadas.

1.9. Limitaciones

La presente tesis se limita a las unidades vehiculares de la empresa que se encarga de prestar servicios unidades vehiculares a empresas mineras e industriales, es aquí donde se realizará un plan de mantenimiento basado en RCM para disminuir las paradas no planificadas por fallas mecánicas en los vehículos antes mencionados.

De la misma manera el trabajo se limitará a aplicar bases teóricas de confiabilidad basada en RCM.

1.10. Antecedentes

1.10.1. Antecedentes internacionales

“Aplicación de la Metodología RCM3 al Sistema de Enfriamiento de Vehículos Militares Blindados"

En el artículo titulado "Aplicación de la Metodología RCM3 al Sistema de Enfriamiento de Vehículos Militares Blindados" presentan un estudio exhaustivo sobre la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM3) al sistema de enfriamiento de una flota de vehículos militares blindados de alto rendimiento. Esta metodología permite a los usuarios comprender y cuantificar los riesgos asociados,

enfocándose en la confiabilidad de los sistemas (Silva, F., Chambel, É., Infante, V., & Ferreira, L. A., 2021).

Los autores emplearon la distribución de Weibull y datos censurados a la derecha para calcular el MTBF, confirmando la viabilidad de usar la metodología propuesta para evaluar la confiabilidad operativa de la flota de vehículos militares blindados en cualquier fuerza armada. El plan de mantenimiento obtenido con RCM3 resultó ser más adecuado y capaz de reducir el riesgo asociado con los modos de falla del sistema.

La investigación se basó en varios estudios previos que analizaron la tasa de fallos de vehículos complejos, incluyendo autobuses que comparten el mismo motor con vehículos blindados. Los resultados indicaron altas duraciones de los componentes asociados con el sistema de enfriamiento de este tipo de equipo. Por ejemplo, Yutko, analizaron la tasa de fallos de autobuses, encontrando que la bomba de agua necesitaba ser reemplazada después de aproximadamente 559,000 kilómetros, mientras que en otro modelo se realizaron reparaciones relacionadas con el sobrecalentamiento del motor después de 614,811 kilómetros. Finalmente, el artículo subraya la importancia de mejorar el registro de fallos para este equipo, proponiendo la inclusión de información sobre el modo de fallo, horas del motor, kilómetros y horas del tren de potencia en los registros de fallos, y definiendo un procedimiento generalizado para abrir y cerrar registros de fallos. La metodología RCM3 demostró ser robusta, permitiendo realizar un análisis sin necesidad de grandes inversiones y utilizando herramientas disponibles en la organización. (Silva, F., Chambel, É., Infante, V., & Ferreira, L. A., 2021).

“Elaboración de un Plan de Mantenimiento Basado en RCM para la Flota Vehiculas de la Empresa Pública EMMAIPC-EP”

El objetivo del estudio es implementar un plan de mantenimiento que se fundamente en la metodología RCM para todos los vehículos públicos EMMAI-PC, con

la finalidad de obtener la propiedad exclusiva y equitativa de la mancomunidad de Biblián, El Tambo, Suscal y Caar. El proceso inicia con la recolección de datos de mantenimiento proporcionados por el Departamento de Mantenimiento de Automóviles de EMMAIPC-EP, que son analizados para los diferentes sistemas automotrices y sus procedimientos de mantenimiento correctivo. Se utiliza el principio de Pareto para determinar los factores que ocasionan el 80% de los errores y concentrar los esfuerzos en solucionarlos, seguido de la metodología RCM para asegurar el correcto funcionamiento de cada componente físico de acuerdo con los estándares establecidos.

Se lleva a cabo un análisis crítico para seleccionar los componentes automotrices relevantes y enfocar las soluciones necesarias para establecer un plan de mantenimiento efectivo y proactivo. Este proceso ayuda a identificar los elementos críticos y priorizar los diferentes componentes automotrices para enfocar el estudio de tareas proactivas y otras soluciones, por lo que se implementa como solución un plan de mantenimiento. Finalmente, es crucial destacar el uso de la herramienta RCM ya que nos permite la reducción de los efectos generados por errores diversos. Cabe señalar que esta estrategia no tiene por objeto incrementar la capacidad de diseño de un componente de automóvil, sino que su finalidad radica en el aprovechamiento óptimo de los recursos existentes mediante la elaboración de un plan de mantenimiento para las piezas de mayor importancia en la flota, esta técnica contribuye a la mejora continua al otorgar prioridad a las fallas en los componentes del automóvil. (Flores y Molina, 2021).

“Diseño de un plan de mantenimiento mediante la metodología RCM para equipos de la empresa DISTRACOM S.A. (2020)”

(Causil Herrera, 2020) en su tesis de grado presentado en la Universidad de Córdoba en 2020, se enfocó en el diseño de un plan de mantenimiento utilizando la metodología RCM para los equipos de suministro de combustible de la empresa

Distracom S.A. El objetivo principal de su investigación fue mejorar la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos de la empresa a través de un plan de mantenimiento basado en RCM. Para lograr este propósito, Juvenal realizó un diagnóstico del estado actual de las labores de mantenimiento en la empresa, desarrolló un plan de mantenimiento basado en RCM y lo implementó para disminuir los fallos repetitivos en los equipos de suministro de combustible.

Este antecedente destaca la importancia de implementar un plan de mantenimiento efectivo en empresas como Distracom S.A., con el fin de garantizar la operatividad, la seguridad y la eficiencia de los equipos utilizados en sus procesos. Además, evidencia el compromiso de Juvenal José Causil Herrera con la mejora continua y la aplicación de metodologías innovadoras en el ámbito del mantenimiento industrial (Causil Herrera, 2020).

"Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una flota de vehículos marca Suzuki línea DR 650 basado en el análisis de confiabilidad" (2021)

En el estudio realizado sobre la flota de motocicletas Suzuki DR 650 pertenecientes a la Policía Nacional, se identificaron deficiencias en el manejo de los mantenimientos programados. Se encontró que solo el 58.2% de las motocicletas cumplían con las políticas de ingreso al taller para el mantenimiento preventivo, a pesar de tener una disponibilidad general superior al 90%. Además, se determinó que los sistemas de frenado y transmisión primaria y secundaria eran los que presentaban más fallas, con el conjunto de embrague y las pastillas de freno delanteras y traseras identificados como partes críticas.

Estos hallazgos resaltan de mejorar el plan de mantenimiento existente y diseñar un enfoque más específico y efectivo para optimizar la confiabilidad y el rendimiento óptimo de la flota de motocicletas Suzuki DR 650. Por lo tanto, se planteó la

implementación de realizar un nuevo plan de mantenimiento preventivo basado en el mantenimiento RCM, que permitiera identificar y abordar de manera proactiva las áreas críticas de los vehículos, aumentando así su vida útil y reduciendo los tiempos de inactividad por mantenimiento no programado. Este antecedente subraya la importancia de optimizar los procesos de mantenimiento para garantizar la operatividad y seguridad de la flota de motocicletas en cuestión (Garzón López & Osma Mosquera, 2021).

1.10.2. Antecedentes nacionales

"Plan de Mantenimiento Preventivo para Reducir Fallas en Los Vehículos de la Empresa Transportes & Servicios Nepcar S.A.C Basado en la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)"

El objetivo general de esta tesis fue desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para el Transportes & Servicios Nepcar S.A.C. empresa para reducir las fallas de los vehículos mediante el uso de la metodología RCM. Si bien fue posible identificar el vehículo que había recibido más críticas a través del análisis crítico, también fue posible determinar los modos de falla, sus efectos por sistema y componente, así como el nivel de riesgo asociado a cada componente, utilizando la herramienta AMFE. El plan de mantenimiento preventivo se desarrolló utilizando la hoja de toma de decisiones RCM, que también permitió sugerir acciones de mantenimiento. El mantenimiento se realizó de acuerdo al manual técnico del fabricante con el fin de mantener las ocho unidades Mitsubishi panel L 300 en Transportes & Servicios Nepcar S.A.C. en óptimas condiciones de trabajo; Sin embargo, optaron por el mantenimiento correctivo, que era costoso, debido a la recurrencia de errores. Utilizando la guía de entrevista para el jefe de mantenimiento, se obtuvo información cuantitativa para determinar la calidad de cada vehículo. Según el estudio que se realizó, se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo para vehículos sujetos a inspección y reemplazo con la ayuda de un análisis

crítico y el AMEF, que arrojó puntajes de disponibilidad del 98,97 %, puntajes de confiabilidad del 99,98 % y puntajes de mantenibilidad del 98,17 %. Como resultado, el número de accidentes automovilísticos disminuyó debido al mantenimiento preventivo basado en CRM. (Arevalo, 2022)

1.10.3. Antecedentes locales

"Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento basado en rcm-ii para el molino sag en empresa minera a mayor de 3800 MSNM"

El objetivo del estudio actual es mejorar la gestión de recursos para el proceso de minería mientras se mantiene con un enfoque en la confiabilidad que es más RCM-II o RCM+. El uso de RCM+ es apropiado porque examina el contexto operativo de la actividad, describe cómo pueden aparecer fallas en la práctica durante cada estación del año cuando hay lluvia, nieve, hielo, viento y tormentas, y permite el ajuste oportuno y planificación del programa de mantenimiento.

La presente tesis sugiere primeramente identificar el área con mayor índice de criticidad para así establecer la herramienta RCM+, como los sistemas y equipos más críticos para el registro y análisis de incidentes de falla y fallas recurrentes en la actividad. A futuro se examinarán los tipos de fallas y sus efectos sobre la seguridad, el medio ambiente, las operaciones, los organismos reguladores y la actividad. Al mismo tiempo, también se examinarán las fallas potenciales u ocultas que podrían ocurrir de acuerdo con la filosofía. El uso y la disponibilidad de la herramienta RCM+ se muestran una vez determinados los resultados, así como los costos de su implementación. También muestran la conexión entre la disminución del MTTR y el aumento de la disponibilidad, lo que resulta en un beneficio económico anual de $2 875 000,00 para la organización.

Según el análisis creado para la propuesta de investigación, dicho sistema fundamentado en la herramienta en RCM II incrementó la disponibilidad en un 0,32%,

pasando de 96,93% a 97,25%, lo que indica una disminución de los costos operativos. Esto se debe a que las actividades se gestionan en detalle desde una perspectiva operativa mediante el uso de un funcional, optimizado y correcto plan de mantenimiento que incluyen la disponibilidad de todos los recursos de la empresa tanto de equipos y herramientas como capital humano, así también desarrollar una programación y planificación a largo plazo. (Huicho, 2022)

"Propuesta De Un Modelo De Plan Mantenimiento Usando Criterios De Rcm Para Una Flota De Tracto Camiones De La Marca International Modelo 9200i Que Realiza Transporte De Mineral En La Ruta Challhuahuacho Imata"

En el ámbito del transporte pesado, asegurar la confiabilidad de una flota de remolcadores es crucial para el éxito de las operaciones logísticas. Sin embargo, en la práctica, los planes de mantenimiento suelen estar basados únicamente en las recomendaciones del fabricante, sin considerar adecuadamente las condiciones específicas de operación. Esto puede llevar a ineficiencias y a un mayor riesgo de fallos durante el transporte de cargas críticas como el concentrado de cobre.

La investigación se centra en una flota de tracto camiones International modelo 9200I, utilizada para el transporte de mineral en el corredor minero del sur de Perú. Los planes de mantenimiento actuales para estos vehículos no cumplen plenamente con los requerimientos operativos debido a su enfoque genérico.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) emerge como una metodología adecuada para abordar estas deficiencias. Este enfoque permite diseñar planes de mantenimiento personalizados que consideran las condiciones específicas de operación y los modos de falla críticos, optimizando así la confiabilidad y disponibilidad de los vehículos.

En este contexto, la presente tesis propone el desarrollo de un modelo de plan de mantenimiento basado en RCM, ajustado a las necesidades operativas de la flota de tracto camiones International 9200I. La metodología incluye un análisis de criticidad y un análisis de modo y efecto de falla (AMEF), seguido de la implementación de tareas de mantenimiento preventivo basadas en inspecciones, reacondicionamientos y sustituciones cíclicas. Este enfoque busca no solo mejorar la confiabilidad de la flota, sino también ofrecer una metodología replicable para otras marcas y modelos de vehículos utilizados en el transporte pesado. (Condori Mamani, 2022)

El nuevo plan de mantenimiento RCM propuesto incluye un total de 121 actividades que se realizan en un tiempo máximo de 10 horas. En comparación, el anterior plan de mantenimiento incluía 257 actividades que requerían un tiempo total de 30 horas. Esto representa una mejora significativa en la eficiencia y efectividad del mantenimiento, al reducir tanto el número de actividades como el tiempo necesario para completarlas. Además, el nuevo plan prioriza los sistemas críticos de los vehículos, asegurando un enfoque más eficiente y enfocado en la prevención de fallos. (Condori Mamani, 2022)

"Elaboración de un plan de mejora basado en la metodología RCM para elevar la disponibilidad y la confiabilidad de una flota de Tractores

D10T de una minera en el sur del Perú"

Se diseño una estructura basada en el RCM de Motores Diesel de la flota de tractores de la cual se realizó un análisis de criticidad, análisis de la función principal, fallas funcionales, modos de falla y se propuso nuevas propuestas, lineamientos y labores.

Se ha propuesto elevar el indicador de la disponibilidad en el primer año en 90.0% y en el segundo año en 90.6%. Se ha propuesto aumentar el indicador de la confiabilidad MTBF en el primer año en 69 horas y en el segundo año en 71.6%. (Villanueva Villena, 2025)

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Mantenimiento

Se basa en la unión de las actividades técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un activo para conservar o restaurar sus características, propiedades y funcionalidad de manera segura y económica, esta definición enfatiza distintos aspectos, no solo la reparación reactiva, sino también el monitoreo y gestión proactiva de los recursos.

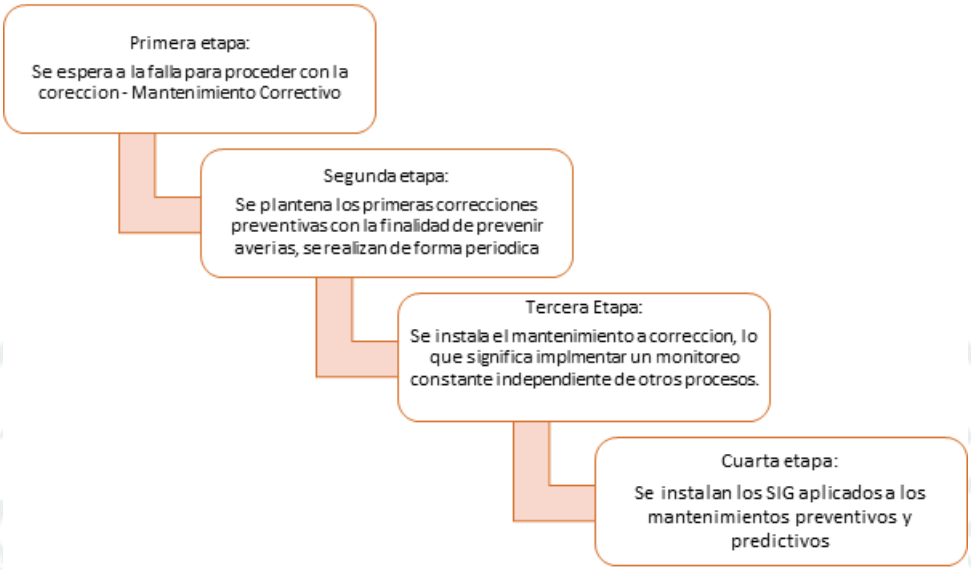
Según la literatura del RCM, el mantenimiento tiene la función de asegurar que los activos físicos continúen realizando las funciones que el usuario requiera que hagan (Moubray, 2004).

2.1.1.1. Historia del mantenimiento.

La noción de mantenimiento ha ido cambiando a través del tiempo como resultado de la falta de conciencia inicial sobre el papel crítico de los procesos productivos y su influencia en la productividad de la empresa. Como resultado, el mantenimiento es ahora mucho más crucial que en el pasado. El historial de mantenimiento se representa gráficamente en la Figura 1. Las organizaciones están buscando técnicas de mejora para mantener un buen desempeño de los mantenimientos aplicados a las maquinas sin afectar la calidad y la cantidad en producción, a la vez de reducir los costos de mantenimiento. (Constantino, 2021).

Figura 1

Evolución de mantenimiento



Nota. Elaboración propia

2.1.1.2. Definición de mantenimiento.

Podríamos definir el mantenimiento como las acciones que se utilizan para mantener o restablecer una actividad organizativa estable, asegurando la seguridad de los colaboradores y de los productos, pero principalmente asegurando un buen funcionamiento de los equipos. Es crucial mantener un alto nivel de confiabilidad para evitar que retrasos imprevistos interrumpan la producción planificada. (Constantino, 2021).

Figura 2

Procesos pertenecientes a un sistema de mantenimiento.



Nota. Se describe los procesos necesarios para un sistema de mantenimiento eficaz teniendo en cuenta puntos importantes Tomado de (Carcel, 2015)

2.1.2. Tipos de mantenimiento

Hay cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, cada una de las cuales tiene una determinada duración, objetivo y uso de recursos. Estos son:

2.1.2.1. Mantenimiento Correctivo (conocido como "mantenimiento reactivo")

También se le conoce como "mantenimiento correctivo" ya que este mantenimiento solo es efectivo cuando se identifica una falla sistémica. En este caso, el mantenimiento sería inútil si no hubiera errores, y la acción correctiva tendría que esperar hasta que ocurriera un error. Estos efectos relacionados con el mantenimiento incluyen lo siguiente: (Zuñiga Cespedes & Muñoz Montero, 2009)

- ✓ Retrasos no anticipados que acortan las horas operativas durante los procesos productivos.
- ✓ Afecta a las cadenas productivas, por lo que los siguientes procesos se detienen a la espera de que se corrijan los errores de la fase inicial.

- ✓ Presenta los costos de reparación y las tarifas no anticipadas, que se aplicarán si no hay suficientes recursos financieros disponibles para comprar las tarifas en el momento deseado.
- ✓ No se ha establecido un horario establecido para cuando el sistema dejará de funcionar. (Zuñiga y Muñoz, 2009)

2.1.2.2. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se enfoca mayormente en anticipar problemas para que puedan solucionarse sin dañar las operaciones o retrasar la producción, etc. Dichos controles se pueden establecer tanto de forma continua como de forma periódica, dependiendo para ello del tipo de equipo, se utilizan herramientas, herramientas y procedimientos de diagnóstico no destructivos, y controles/sensores de temperatura para equipos eléctricos. (Zuñiga y Muñoz, 2009)

Este mantenimiento, que a menudo se denomina mantenimiento planificado, se lleva a cabo bajo circunstancias controladas sin fallas en el sistema. Tiene lugar antes de que ocurra una falla o error. Esto se hace con base en los conocimientos y habilidades de los miembros del personal que están a cargo de decidir cuándo realizar este trámite. Es una filosofía que comienza con el diseño del equipo y determina la confiabilidad y el mantenimiento a través del reemplazo, esto solo se da cuando los costos económicos justifican la aplicación de costosos mantenimientos. (Zuñiga y Muñoz, 2009)

2.1.2.3. El mantenimiento predictivo

Requiere determinar el estado técnico real de la máquina en todo momento mientras está funcionando a su máxima eficiencia, tanto mecánica como eléctricamente. Con el fin de alcanzar este objetivo, se implementa un plan estructurado para medir los parámetros del equipo de forma sistemática. El soporte tecnológico que respalda este tipo de mantenimiento es la integración de algoritmos matemáticos en las operaciones de

diagnóstico para que, en conjunto, proporcionen información precisa sobre las condiciones del equipo. El principal objetivo es evitar el tiempo de inactividad a través del mantenimiento preventivo y, al mismo tiempo, minimizar los costos asociados con el mantenimiento que no están relacionados con la producción. Para el uso de estos métodos es necesaria la inversión en herramientas, equipos y personal calificado. (Zuñiga y Muñoz, 2009)

2.1.2.4. Mantenimiento Proactivo

Es necesario que todos los que participan en la gestión del mantenimiento, ya sea directa o indirectamente, tengan conocimiento y estén al tanto de la situación actual, ya que el mantenimiento proactivo se basa en principios como la cooperación, la unidad, el trabajo en equipo, la iniciativa propia y la sensibilización. Dicho de otra manera, los profesionales, ejecutivos y directores deben conocer que tareas se realizan para completar las actividades de mantenimiento. Las operaciones deben planificarse para mantener un programa de mantenimiento proactivo, y esta planificación debe ser un componente de la estrategia estratégica de la organización. Al mismo tiempo, este mantenimiento debe dar a los gerentes indicadores (información) sobre cómo están progresando las tareas, los logros y los errores. (Zuñiga y Muñoz, 2009)

2.1.2.5. Mantenimiento Productivo Total (MPT)

El alto nivel de competitividad requerido en las empresas modernas ha despertado la noción de una mayor productividad del equipo. El mantenimiento completo para la productividad es un sistema diseñado para mantener el equipo funcionando a su máxima eficiencia. El mantenimiento preventivo está enfocado en prolongar la vida útil de los equipos y minimizar los desperdicios, mientras que el mantenimiento proactivo se centra en alcanzar el máximo nivel de eficiencia de los equipos. Los cinco conceptos clave que

sustentan la filosofía MPT, que deben ser correctamente entendidos y utilizados, ya que son la base del éxito de los programas en este mantenimiento. (Zuñiga y Muñoz, 2009)

- ✓ Mejorar la eficiencia productiva general del equipo eliminando las principales fuentes de pérdidas. Esto incluye mejorar la calidad del producto, así como la disponibilidad, la velocidad o el rendimiento del equipo.
- ✓ Los responsables de proporcionar la ayuda inicial a los equipos son los operadores, quienes también se encargan de ejecutar los programas de mantenimiento diario y hacer sugerencias precisas, para cada caso y ayudar en el mantenimiento más extenso. Aquí no hay ningún "yo trabajo, tú mantienes".
- ✓ Incrementar la eficacia y eficiencia de las actividades de mantenimiento.
- ✓ Fortalecer al equipo como un todo a través de un proceso continuo y brindar una capacitación adecuada sobre sus responsabilidades relacionadas con el mantenimiento.
- ✓ Asegúrese de que el equipo se administre temporalmente y asegúrese de que el mantenimiento preventivo esté bien organizado. (Zuñiga y Muñoz, 2009)

2.1.3. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

2.1.3.1. Historia del mantenimiento de RCM

Desde los primeros días de la revolución industrial a mediados del siglo XIX, las máquinas y los equipos han sido los principales impulsores del progreso humano. Debido a su capacidad para funcionar a un nivel que los humanos no podían alcanzar, fueron esenciales para el desarrollo de muchos procesos industriales diferentes. El mantenimiento ineficaz de múltiples equipos condujo a una variedad de problemas potenciales, incluidas pérdidas de producción, contaminación ambiental no medida e

incluso muertes humanas. Es por esto que, como cualquier otro proceso, el CRM se ha desarrollado a través de sus etapas en un orden cronológico. (Flores y Molina, 2021)

Entre 1960 y 1970 se desarrolló la primera fase del mantenimiento centrado en la confiabilidad con el objetivo de elevar los estándares funcionales asignados por el usuario para actividades físicas específicas y, en consecuencia, gestionar de manera proactiva las consecuencias de las diversas fallas producidas. A mediados de la década de 1970, el gobierno de los Estados Unidos solicitó un informe sobre la nueva filosofía de mantenimiento de la industria de la aviación moderna. La publicación de 1978 "MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD" estaba accesible en línea. (Flores y Molina, 2021)

La segunda fase del RCM, también conocida como RCM2, comenzó en 1991 cuando un grupo de líderes empresariales de minería y manufactura propuso implementar el RCM en esas industrias con el objetivo de reducir los costos de mantenimiento no planificados y optimizar la operación adecuada de máquinas revolucionarias. Pero en ese momento, el Centro de Mantenimiento fue desarrollado e implementado por Jhon Moubray y sus asociados. (Flores y Molina, 2021)

Tercera fase: El requisito de una norma se convierte en la justificación ideal para que la SAE lance la tercera fase en 1996 y comience a trabajar con numerosos representantes de la aviación, el ejército, la construcción de buques de guerra y la industria para desarrollar una norma industrial y buscar la mayor bien común. A fines de 1999 se aprobó la NORMA SAE ESTANDAR JA1011, denominada “Métodos de Crítica de Desempeño para Procesos Basados en la Confianza (RCM)”. (Flores y Molina, 2021)

Cuarta Fase: El último aporte del SAE, su NORMA SAE JA1012, “Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en la Confianza (MCC)”, marca la conclusión de esta fase en el año 2002. (Flores y Molina, 2021)

2.1.3.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

El RCM es una filosofía de proceso y mantenimiento que se utiliza para determinar qué se debe hacer para garantizar que cada actividad física continúe realizando las tareas que sus usuarios desean que realice dentro de los límites de la operación normal. El objetivo principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad es mantener la confiabilidad intrínseca del sistema, lo que significa que, al utilizar esta metodología, podemos garantizar el nivel de rendimiento deseado. Recuerde que un dispositivo falla cuando deja de realizar la función deseada o lo que requiere el usuario, no necesariamente cuando deja de funcionar. (Flores y Molina, 2021)

El objetivo de hacer un análisis RCM es implementar un programa de mantenimiento preventivo que sea técnica y económicamente efectivo. Los requisitos mínimos que debe cumplir una metodología para ser clasificada como RCM están establecidos en la norma SAE JA1011 vigente, (Montaño, 2016).

2.1.3.3. Instrucciones para RCM

Las nociones fundamentales que soportan CRM, según (Montaño, 2016)

- ✓ Mantener la funcionalidad del sistema es el principal objetivo del RCM.
- ✓ Determinar los posibles modos de falla que podrían afectar la funcionalidad de la máquina.
- ✓ Priorización de requisitos funcionales.
- ✓ Selección de tareas útiles y eficaces.

Las tres prioridades principales de la metodología RCM son, (Montaño, 2016)

- ✓ la contaminación ambiental,
- ✓ la seguridad y salud humana (con énfasis en la prevención de accidentes)
- ✓ Las operaciones y la economía de la empresa.

2.1.3.4. Metodología de Mantenimiento Basado en RCM

Son siete preguntas que, según la metodología RCM, aluden a los requisitos que debe cumplir un determinado proceso para cumplir con las normas SAE JA1011. Preguntas para establecer un sistema RCM, Fuente: (Moubray, 1997)

- ✓ ¿Cuáles son las responsabilidades y criterios de rendimiento del producto en su contexto operativo actual?
- ✓ ¿En qué aspectos no cumple con sus responsabilidades?
- ✓ ¿Qué origina cada fallo funcional?
- ✓ ¿Cuáles son las consecuencias de cada fallo en particular?
- ✓ ¿Cómo afecta cada fallo en general?
- ✓ ¿Qué acciones se pueden tomar para anticipar o evitar cada fallo?

2.1.3.5. Reglamentos y funciones del puesto

Antes de implementar una estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad que asegure que la actividad física continúe operando dentro de las expectativas del usuario, se deben completar dos procesos extremadamente significativos y notables para que este proceso sea realista y efectivo. (Moubray, 1997).

- ✓ Establecer la función que debe cumplir la actividad física que está siendo controlada por el usuario.
- ✓ Confirme que el componente físico esté listo y sea capaz de iniciar el proceso deseado por el usuario.
- ✓ Las múltiples funciones que realizan las actividades físicas, que son decididas por el usuario, se pueden dividir en dos categorías: (Moubray, 1997)
- ✓ Funciones esenciales. Estas funciones son cruciales para determinar si la empresa compró la máquina o algo físico. Se preocupa por los diversos atributos que puede

tener un bien, incluida la productividad, la velocidad, el almacenamiento, la calidad y el servicio al cliente.

- ✓ Funciones secundarias. Las funciones secundarias tratan de satisfacer las expectativas del usuario para una operación adecuada en varias áreas de desarrollo, tales como conveniencia, seguridad, integridad, economía y protección.

2.1.3.6. Fallas funcionales

La única vez que una pieza de equipo o un sistema no funciona por completo o no cumple con el estándar de rendimiento definido por el usuario es cuando ha habido algún tipo de mal funcionamiento, que generalmente es notado por el operador de la máquina. Es entonces cuando el mantenimiento asume un papel clave y puede alcanzar los objetivos mediante una adecuada gestión de errores. (Moubray, 1997).

2.1.3.7. Causas originadas de las fallas

La definición de "causas" o "causa de una cada" es "las causas de una cada", es decir, "lo que provocó la falla de un componente de un automóvil". Podría ser útil preguntar: ¿Cuáles fueron los eventos potenciales que podrían haber llevado a la falla de un componente automotriz para comprender mejor? Con la ayuda de esta pregunta, puede identificar las diversas causas de falla que se han documentado a lo largo de un historial de mantenimiento. (Moubray, 1997)

2.1.3.8. Los efectos de los fallos

Toda la información recopilada y requerida para respaldar la evaluación de las consecuencias de la caída debe incluirse en un efecto de caída. Debe explicar qué sucede cuando se muestra cada tipo de error. (Moubray, 1997).

2.1.3.9. Consecuencias originadas de los fallos

Aunque los errores de una empresa pueden tener graves consecuencias, esas consecuencias siempre pueden manifestarse de diversas maneras, afectando negativamente las operaciones, la seguridad, el medio ambiente y el servicio al cliente de la empresa. Como representación física de todos estos factores, el dinero y el tiempo perdidos sirven como medida. Los efectos de un choque tienen mayor impacto si se evitan los choques de corriente. Esta es una característica clave del RCM, ya que va más allá de la mera prevención de errores. Reducir los efectos negativos de los numerosos errores que pueden ocurrir es el objetivo del RCM. (Moubray, 1997)

Existen principalmente cuatro grupos de consecuencias de las consecuencias que se pueden distinguir:

- ✓ Las consecuencias de los errores ocultos: si bien este efecto puede no ser muy perjudicial en este momento, si no se controla, puede dar lugar a numerosos errores en el futuro que pueden tener repercusiones muy graves.
- ✓ Implicaciones ambientales y de seguridad: cuando una pieza de automóvil se descompone, puede provocar un daño ambiental severo, comparable a lo que sucedería en el caso de un incidente incendiario, e incluso puede provocar la muerte de los trabajadores. Puede haber repercusiones ambientales cuando se incumple una ley que está establecida en relación al nivel de contaminación.
- ✓ Consecuencias operativas: se produce una falla operativa cuando un componente defectuoso abandona el vehículo de manera innecesaria. El servicio público de recolección de basura sigue paralizado, al igual que la productividad de la empresa.

- ✓ Consecuencias no operativas: Los errores o consecuencias no deseadas están directamente relacionados con los gastos operativos no planificados por mantenimiento correctivo.

2.1.3.10. Características RCM.

Según (Moubray, 1997) la metodología RCM se caracteriza de la siguiente manera.

- ✓ Herramienta que permite ajustar las estrategias de mantenimiento al entorno operativo de la actividad para el control de fallas.
- ✓ Una estrategia basada en un proceso sistemático que permite el desarrollo de planes de mantenimiento óptimos mientras fomenta una cultura favorable al cambio dentro de la organización.
- ✓ Los mayores efectos del uso de RCM se verán en sistemas complejos con varios modos de falla, como la rotación de grandes equipos Molino SAG. Durante un período de tiempo largo a moderado, el RCM funciona con éxito.

2.1.3.11. Criticidad y Modos de falla.

La evaluación de procesos ayuda a establecer prioridades, lo que permite a las personas tomar decisiones informadas. La siguiente es la fórmula matemática para juzgar las críticas:

$$criticidad = consecuencias\ x\ frecuencia$$

El estándar MIL-STD 1629 sugiere dos métodos para evaluar errores (HANSEN, 1998). Mientras que el método proporciona la razón de la falla y su crítica utilizando un Cm cada que se calcula de la manera descrita más adelante, el método es de naturaleza cuantitativa y relaciona severidad, defectibilidad, mantenibilidad y seguridad.

$$Cm = \beta \text{ x } \alpha \text{ x } \gamma \text{ x t}$$

Leyenda:

B = Probabilidad estadística condicional

α=constante de modo de falla

γ =constante de falla de la parte

t=tiempo de servicio o ejecución

Donde la cantidad representada por la prioridad de riesgo viene directamente relacionada con 3 variables que son S, F y D.

$$NPR = S\ x\ F\ x\ D$$

S=severidad de la falla

F=cantidad de fallas

D=Probabilidad de incidencia

El proceso de análisis crítico permite elegir una escala de evaluación para cada componente; en el caso de este estudio, el número de prioridad de riesgo es la escala apropiada para el proyecto, (Flores y Molina, 2021).

2.1.4. Indicadores de mantenimiento

Es fundamental contar con indicadores ya que algo que no se puede medir no se puede controlar. Los indicadores permiten evaluar la eficacia de un sistema o proceso. Disponibilidad Es el porcentaje de tiempo que un dispositivo o sistema estuvo en condiciones operativas.

$$D\ = \frac{Tto}{Tpp}\ x\ 100\%$$

Donde:

- ✓ Tto= Tiempo Total Operativo
- ✓ Tpp= Tiempo de periodo programado

2.1.5. Confiabilidad

la probabilidad de que un equipo o un sistema realice su función principal en circunstancias específicas y por un tiempo determinado. Por tanto, la confianza es un complemento de la probabilidad de fracaso. El tiempo promedio entre fallas se divide por el número total de fallas y el tiempo promedio de reparación para determinar la confiabilidad de una máquina.

$$C = \frac{Mtbf}{Mttr + Mtbf}$$

Donde:

- ✓ Mttr = Tiempo medio para reparar
- ✓ Mtbf = Tiempo promedio de reparación
- ✓ C= Confiabilidad

2.1.6. Mantenibilidad

La "mantenibilidad" de un sistema es una propiedad que se refiere a la cantidad de trabajo requerido para mantener la operación regular o restaurarla después de una falla. La capacidad de mantenimiento de una máquina se muestra mediante el MTTR (tiempo medio entre reparaciones).

$$M = \frac{1}{Mttr}$$

Donde:

- ✓ M = Mantenibilidad
- ✓ MTTR= Tiempo medio entre reparacion

El término "OEE" significa eficacia general del equipo. El indicador de eficiencia general del equipo (OEE) mide la productividad del equipo teniendo en cuenta la calidad,

la disponibilidad y el rendimiento del equipo. El objetivo de esta técnica es reducir las actividades que no agregan valor al bien o servicio. También se considera como una medida de la productividad de la máquina, ya que brinda información más precisa sobre cuánto tiempo estuvo inactiva la máquina, qué tan productiva fue y cuántas unidades defectuosas produjo. Las tres dimensiones de disponibilidad, rendimiento y calidad deben estar bien definidas para calcular el OEE.

Disponibilidad:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ de\ operacion}{Tiempo\ total\ planificado}\ x\ 100$$

Rendimiento:

$$Rendimiento = \frac{Unidades\ producidas}{Total\ de\ unidades\ previstas}\ x\ 100$$

Calidad:

$$Calidad = \frac{Unidades\ \text{sin}\ defectos}{Total\ de\ unidades\ producidas}\ x\ 100$$

Entonces OEE:

$$OEE = Disponibilidad\ x\ Rendimiento\ x\ Calidad$$

Tabla 1

Métricas del indicador OEE

OEE	INDICADOR	RESULTADOS
Mayor a 65%	no aceptable	Pérdidas económicas considerablemente grandes
Entre 65% y 75%	regular	Solo será aceptable si se encuentra en proceso de mejoras, incurre en pérdidas económicas
Entre 75% y 85%	aceptable	Pérdidas económicas pequeñas, competencia baja
Entre 85% y 95%	bueno	Competencias Buena, valores aceptables

Mayor a 99%	muy bueno	Competencias excelentes, hay ganancias

Nota. Se describe en la tabla los porcentajes considerados para una eficacia general de equipos y se evalúa la decisión a tomar dependiendo de dichos porcentajes Tomado de (Moubray, 1997)

2.1.7. RCM - 3

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es un enfoque para la gestión del mantenimiento que se basa en la identificación y análisis de las causas de las fallas de los sistemas o equipos. El objetivo del RCM es diseñar un plan de mantenimiento que minimice el riesgo de fallas y sus consecuencias.

El RCM3 es una evolución del RCM tradicional. Se basa en los principios del RCM, pero incorpora nuevas herramientas y técnicas para mejorar la efectividad y eficiencia del mantenimiento.

2.1.7.1. Historia del RCM

El RCM se desarrolló inicialmente en la industria aeronáutica durante la década de 1960. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos encargó a United Airlines que desarrollara un enfoque de mantenimiento que fuera más efectivo y eficiente que los métodos tradicionales. (Aladon, 2023)

El resultado de este trabajo fue el desarrollo del MSG-1 (Maintenance Steering Group), un enfoque de mantenimiento que se basaba en la identificación de las funciones que realiza un sistema o equipo y los modos de falla que pueden afectarlas.

En 1978, el MSG-1 se publicó como un libro titulado "Reliability-Centered Maintenance". Este libro fue traducido a varios idiomas y se convirtió en una referencia estándar para el RCM. (Aladon, 2023)

El MSG-1 se basaba en la idea fundamental de que no todos los componentes de un sistema requieren la misma atención en términos de mantenimiento, introduciendo así

una estrategia más específica y adaptada. En 1978, el MSG-1 se consolidó en forma de libro bajo el título "Reliability-Centered Maintenance" (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), convirtiéndose en una referencia estándar que trascendió las fronteras lingüísticas. s. (Aladon, 2023)

Este libro proporcionó los fundamentos del RCM, ofreciendo una metodología estructurada para determinar el mantenimiento óptimo necesario y garantizar la confiabilidad de los equipos, minimizando los costos y maximizando la seguridad operativa. Con el tiempo, el RCM se expandió más allá de la industria aeronáutica y encontró aplicación exitosa en diversos sectores, incluyendo la industria nuclear, manufacturera, petróleo y gas, entre otros. (Aladon, 2023).

En síntesis, el RCM, derivado del desarrollo del MSG-1 en la década de 1960, ha evolucionado hasta convertirse en una metodología esencial en la gestión del mantenimiento, contribuyendo de manera significativa a mejorar la confiabilidad y eficiencia de sistemas y equipos en diversas industrias. (Aladon, 2023)

a. Ventajas

RCM3 es una metodología de mantenimiento que se basa en la identificación y evaluación de los riesgos asociados con los activos físicos. El objetivo de RCM3 es desarrollar un plan de mantenimiento que minimice los riesgos de fallo de los activos, manteniendo su funcionalidad y disponibilidad.

Las ventajas de RCM3 son las siguientes:

- ✓ Mejora la fiabilidad y la disponibilidad de los activos. RCM3 ayuda a identificar los modos de fallo más críticos y a aplicar las medidas de mantenimiento adecuadas para mitigarlos. Esto puede ayudar a reducir el número de fallos y a aumentar el tiempo de funcionamiento de los activos.

- ✓ Reduce los costes de mantenimiento. RCM3 ayuda a reducir los costes de mantenimiento al aplicar las medidas de mantenimiento adecuadas para cada activo. Por ejemplo, si un activo tiene un modo de fallo que es poco probable que se produzca y que no tiene consecuencias graves, RCM3 puede recomendar que no se aplique ninguna medida de mantenimiento.
- ✓ Mejora la seguridad y el medio ambiente. RCM3 ayuda a identificar los modos de fallo que pueden tener consecuencias de seguridad o medioambientales. Al aplicar las medidas de mantenimiento adecuadas para estos modos de fallo, RCM3 puede ayudar a reducir el riesgo de accidentes y daños al medio ambiente.
- ✓ Enfoque Holístico: RCM3 adopta un enfoque integral al considerar la confiabilidad, mantenibilidad, seguridad, medio ambiente y calidad. Esto permite decisiones más informadas y equilibradas.
- ✓ Incorporación de la Gestión del Riesgo: RCM3 integra la gestión del riesgo de manera robusta para evaluar y priorizar los riesgos asociados con los modos de falla, optimizando la asignación de recursos.
- ✓ Adaptabilidad a la Evolución del Negocio: RCM3 es adaptable y puede evolucionar con los cambios en operaciones y tecnologías, garantizando relevancia a lo largo del tiempo.
- ✓ Involucramiento Activo del Personal: RCM3 fomenta la participación activa del personal en la toma de decisiones de mantenimiento, aprovechando la experiencia operativa.
- ✓ Mejora Continua y Retroalimentación: RCM3 promueve la mejora continua mediante un ciclo de retroalimentación, utilizando lecciones aprendidas para ajustar estrategias de mantenimiento.

- ✓ Facilita la Implementación de Tecnologías Emergentes: La flexibilidad de RCM3 facilita la adaptación a tecnologías emergentes, como IoT y análisis de datos avanzado, mejorando la eficacia del mantenimiento.
- ✓ Cumplimiento Normativo y Estándares: RCM3 facilita la adhesión a normativas y estándares de la industria al considerar aspectos regulatorios en la toma de decisiones.
- ✓ Optimización del Ciclo de Vida del Activo: RCM3 se centra en optimizar el ciclo de vida completo de los activos, maximizando su valor y utilidad a lo largo del tiempo.
- ✓ Facilita la Toma de Decisiones Basada en Datos: RCM3 promueve la toma de decisiones basada en datos, utilizando información cuantitativa y cualitativa para evaluar confiabilidad y riesgos.
- ✓ Reducción de Costos a Largo Plazo: RCM3 contribuye a la reducción de costos a largo plazo al abordar proactivamente los modos de falla críticos y prevenir fallas costosas.
- ✓ Promueve la Sostenibilidad Operativa: RCM3 considera aspectos ambientales y de sostenibilidad al evaluar impactos potenciales de modos de falla, alineando prácticas con objetivos sostenibles.
- ✓ Facilita la Planificación Estratégica: RCM3 proporciona una base sólida para la planificación estratégica al entender riesgos y necesidades de mantenimiento a largo plazo, facilitando la gestión efectiva de recursos.

En resumen, RCM3 es una metodología eficaz para mejorar la fiabilidad y la disponibilidad de los activos físicos. RCM3 puede ayudar a las empresas a reducir los costes de mantenimiento, mejorar la seguridad y el medio ambiente, y aumentar la productividad. (Aladon, 2023).

2.1.8. Vehículos de servicio ciclones

Los vehículos de servicio ciclones son vehículos especializados en el transporte de líquidos a granel, como combustible, agua, químicos, etc. Se caracterizan por su capacidad de transportar grandes volúmenes de líquidos de forma segura y eficiente. (TECHNOTON, 2023)

Los vehículos de servicio ciclones son una categoría especializada de vehículos diseñados para el transporte eficiente y seguro de líquidos a granel, como combustibles, agua, productos químicos, entre otros. Estos vehículos desempeñan un papel crucial en diversas industrias al permitir el movimiento de grandes volúmenes de líquidos de un lugar a otro, (TECHNOTON, 2023).

2.1.8.1. Eficiencia en el Transporte

La eficiencia en el transporte es una característica destacada de los vehículos de servicio ciclones. Están diseñados para movilizar cantidades significativas de líquidos de manera efectiva, lo que contribuye a una logística más eficiente. (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.2. Versatilidad en la Carga

La versatilidad es otra característica importante. Estos vehículos pueden adaptarse para transportar una variedad de líquidos, desde combustibles hasta productos químicos, según los requisitos específicos de la industria. (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.3. Diseño Especializado

El diseño de estos vehículos se ajusta a las necesidades del transporte de líquidos a granel. Esto implica sistemas de tanques y estructuras específicas para garantizar la estabilidad y seguridad durante el transporte. (TECHNOTON, 2023).

2.1.8.4. Cumplimiento Normativo y Seguridad

Dada la naturaleza de transportar materiales potencialmente peligrosos, los vehículos de servicio ciclones deben cumplir con normativas rigurosas de seguridad y medio ambiente. Esto incluye requisitos específicos para la construcción de tanques y sistemas de carga y descarga seguros. (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.5. Aplicaciones en Diversas Industrias

Estos vehículos son utilizados en diversas industrias, como la petrolera, química y del agua, donde el transporte eficiente y seguro de líquidos a granel es esencial para las operaciones (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.6. Mantenimiento Especializado

Dado su carácter especializado, estos vehículos requieren un mantenimiento y una inspección regulares para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente. Esto puede abarcar desde la revisión de sistemas de seguridad hasta la integridad estructural de los tanques (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.7. Eficiencia Logística

Contribuyen a la eficiencia logística al facilitar el transporte de grandes volúmenes en un solo viaje, reduciendo la necesidad de múltiples envíos y los costos asociados. (TECHNOTON, 2023)

Los vehículos de servicio ciclones pueden ser de diferentes tipos, según el tipo de líquido que transporten. Por ejemplo, los vehículos de servicio ciclones para el transporte de combustible suelen ser cisternas, mientras que los vehículos de servicio ciclones para el transporte de agua suelen ser camiones cisterna. (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.8. Cisternas

Las cisternas son vehículos de servicio ciclones que se utilizan para el transporte de líquidos inflamables, como gasolina, diésel, queroseno, etc. Las cisternas están

fabricadas con materiales resistentes al fuego y al calor, y cuentan con sistemas de seguridad para evitar derrames en caso de accidente. (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.9. Camiones cisterna

Los camiones cisterna son vehículos de servicio ciclones que se utilizan para el transporte de líquidos no inflamables, como agua, leche, productos químicos, etc. Los camiones cisterna están fabricados con materiales resistentes a la corrosión, y cuentan con sistemas de seguridad para evitar derrames en caso de accidente (TECHNOTON, 2023).

2.1.8.10. Semirremolques cisterna

Los semirremolques cisterna son vehículos de servicio ciclones que se utilizan para el transporte de grandes volúmenes de líquidos. Los semirremolques cisterna están formados por una cisterna que se acopla a un camión tractor. (TECHNOTON, 2023)

2.1.8.11. Requisitos de seguridad

Los vehículos de servicio ciclones deben cumplir con una serie de normas de seguridad para garantizar el transporte seguro de los líquidos. Estas normas incluyen requisitos para la construcción del vehículo, la instalación de equipos de seguridad y el mantenimiento del vehículo.

Los requisitos de seguridad para los vehículos de servicio ciclones se establecen en diferentes normativas, como la norma NFPA 30 de la National Fire Protection Association (NFPA) y la norma ISO 17102 de la Organización Internacional de Normalización (ISO) ,(NFPA, 2023).

Normativa NFPA30

La norma NFPA 30, Código de líquidos inflamables y combustibles, es una norma de seguridad contra incendios que establece los requisitos mínimos para el almacenamiento, manipulación y uso de líquidos inflamables y combustibles. La norma

es publicada por la National Fire Protection Association (NFPA), una organización sin fines de lucro dedicada a la prevención de incendios. La norma NFPA 30 se aplica a todos los establecimientos que almacenan, manipulan o usan líquidos inflamables y combustibles, independientemente de su tamaño o ubicación. La norma cubre una amplia gama de temas, que incluyen:

Entre los aspectos destacados de la NFPA 30 se encuentran:

Alcance y Objetivo

Este código define requisitos para el manejo seguro de líquidos inflamables y combustibles, desde su producción hasta su almacenamiento y uso final. (NFPA, 2023)

Clasificación de Líquidos

Clasifica los líquidos según su inflamabilidad y otros factores, determinando requisitos específicos para el almacenamiento y manejo de cada clase. (NFPA, 2023)

Requisitos de Almacenamiento

Establece normas para el almacenamiento seguro, incluyendo capacidad y diseño de tanques, distancias entre tanques y reglas para instalaciones subterráneas. (NFPA, 2023)

Manejo Seguro

Aborda prácticas seguras, como el uso de equipos eléctricos a prueba de explosiones, sistemas de ventilación adecuados y medidas para prevenir la acumulación de estática. (NFPA, 2023)

Prevención de Incendios

Establece medidas para prevenir incendios, como la instalación de sistemas de rociadores automáticos y la ubicación segura de tanques en relación con otras estructuras. (NFPA, 2023)

Cumplimiento Normativo

Muchas jurisdicciones adoptan la NFPA 30 como parte de sus códigos de construcción y seguridad contra incendios para garantizar el cumplimiento normativo. (NFPA, 2023)

Actualizaciones Periódicas

La NFPA revisa y actualiza sus estándares periódicamente para reflejar las mejores prácticas y avances en tecnología y seguridad. (NFPA, 2023)

La norma NFPA 30 es una herramienta importante para proteger a las personas y las propiedades de los incendios relacionados con líquidos inflamables y combustibles. La norma ayuda a los establecimientos a identificar y mitigar los riesgos asociados con el almacenamiento, manipulación y uso de estos líquidos. (NFPA, 2023)

ISO 17102

La norma ISO 17102, Transporte de mercancías peligrosas: Vehículos cisterna para el transporte de líquidos a granel, es una norma internacional que establece los requisitos de diseño, construcción, inspección y mantenimiento de vehículos cisterna para el transporte de líquidos a granel. La norma es publicada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), una organización no gubernamental que desarrolla estándares internacionales.

La norma ISO 17102 se aplica a todos los vehículos cisterna que se utilicen para el transporte de líquidos a granel, independientemente de su tamaño, tipo o uso. La norma cubre una amplia gama de temas, que incluyen:

Diseño del Vehículo

La norma puede incluir pautas para el diseño estructural y funcional de los vehículos, considerando aspectos como la disposición de componentes, la distribución de peso y consideraciones ergonómicas. (Noatum, 2023)

Materiales de Construcción

Puede proporcionar recomendaciones sobre los materiales de construcción ideales para diferentes partes del vehículo, asegurando resistencia, durabilidad y seguridad, y considerando estándares ambientales. (Noatum, 2023)

Procedimientos de Soldadura

Es probable que la norma aborde los procedimientos de soldadura, especificando estándares para garantizar la calidad estructural de las uniones soldadas. (Noatum, 2023)

Resistencia Mecánica

La norma podría establecer requisitos mínimos de resistencia mecánica para los vehículos, incluyendo pruebas de choque y evaluaciones de la integridad estructural. (Noatum, 2023)

Protección Contra la Corrosión

Se esperaría que la norma incluya pautas para la protección contra la corrosión, abordando recubrimientos protectores y tratamientos anticorrosivos. (Noatum, 2023)

Equipo de Seguridad

La norma posiblemente establecerá requisitos para el equipo de seguridad, incluyendo sistemas de frenado, iluminación, cinturones de seguridad, airbags y otros dispositivos de seguridad. (Noatum, 2023)

Inspección y Mantenimiento.

Puede detallar pautas para la inspección y mantenimiento de vehículos, indicando intervalos recomendados y procedimientos para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. (Noatum, 2023)

La norma ISO 17102 es una norma muy importante para garantizar la seguridad del transporte de líquidos a granel. La norma ayuda a los fabricantes y operadores de vehículos cisterna a cumplir con los requisitos de seguridad internacionales, (Noatum, 2023).

2.1.9. El mantenimiento centrado en la fiabilidad adaptado en problemáticas en diferentes empresas

El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) es una metodología que se utiliza para determinar las estrategias de mantenimiento necesarias para mantener los activos en buen estado de funcionamiento. El RCM3 es la última versión del RCM, y se basa en los principios del RCM original, pero también incorpora nuevos conceptos y técnicas.

El RCM3 se ha aplicado con éxito en el sector minero para poder optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos. En un estudio realizado por la Universidad de Queensland, se encontró que la implementación del RCM3 en una mina de carbón australiana disminuyó el número de fallas en un 25% y los costos de mantenimiento en un 15%. se presentarán algunos ejemplos de aplicaciones del RCM3 en el sector minero:

a. Mina de cobre Cerro Verde, Perú

La mina de cobre Cerro Verde, ubicada en Arequipa, implementó el RCM3 para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de sus unidades vehiculares de servicio ciclones. Como resultado de la implementación del RCM3, la mina logró reducir el número de fallas en los vehículos en un 10% y los costos de mantenimiento en un 5%. (Noatum, 2023)

b. Mina de oro Gold Fields, Sudáfrica

La mina de oro Gold Fields, ubicada en Sudáfrica, implementó el RCM3 para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de sus sistemas de ventilación. Como resultado de la implementación del RCM3, la mina logró disminuir el número de fallas en los sistemas de ventilación en un 15% y los costos de mantenimiento en un 10%. (Noatum, 2023).

c. Mina de hierro Vale, Brasil

La mina de hierro Vale, ubicada en Brasil, implementó el RCM3 para optimizar la confiabilidad y disponibilidad de sus equipos de perforación. Como resultado de la implementación del RCM3, la mina logró reducir el número de fallas en los equipos de perforación en un 20% y los costos de mantenimiento en un 15%. (Noatum, 2023)

2.1.9.1. Beneficios del RCM3 en el sector minero

Optimización de Recursos. RCM3 facilita a una gestión más eficiente de los recursos al identificar y priorizar las actividades de mantenimiento en función de su impacto crítico en la confiabilidad de los equipos. Esto evita gastos innecesarios y maximiza la disponibilidad de los activos, (Noatum, 2023).

2.1.9.1.1. Aumento de la Confiabilidad Operativa

Al centrarse en funciones críticas y modos de falla significativos, RCM3 mejora la confiabilidad operativa de los equipos en la industria minera, resultando en una mayor disponibilidad y reducción de tiempos de inactividad no planificados. (Noatum, 2023)

2.1.9.1.2. Gestión Proactiva de Riesgos

RCM3 incorpora la gestión de riesgos integralmente, evaluando y abordando proactivamente los riesgos asociados con los equipos en la minería. Esto contribuye a la prevención de incidentes y accidentes, mejorando la seguridad laboral. (Noatum, 2023)

2.1.9.1.3. Prolongación de la Vida Útil de los Equipos

Identificando y abordando de manera efectiva los modos de falla potenciales, RCM3 contribuye a prolongar la vida útil de los equipos en la industria minera, maximizando el retorno de la inversión. (Noatum, 2023).

2.1.9.1.4. Reducción de Costos de Mantenimiento

RCM3 optimiza las estrategias de mantenimiento al enfocarse en intervenciones preventivas y predictivas, reduciendo los costos asociados con el mantenimiento correctivo y reparaciones no planificadas. (Noatum, 2023).

2.1.9.1.5. Mejora en la Planificación y Programación

La metodología RCM3 facilita una planificación y programación más efectivas de las actividades de mantenimiento, permitiendo intervenciones en momentos estratégicos para minimizar el impacto en las operaciones mineras. (Noatum, 2023)

2.1.9.1.6. Cumplimiento Normativo y Ambiental

La implementación de RCM3 garantiza el cumplimiento con requisitos normativos y ambientales, al considerar aspectos críticos de seguridad y medio ambiente en las estrategias de mantenimiento. (Noatum, 2023)

2.1.9.1.7. Mejora en la Gestión de Activos

RCM3 proporciona una base sólida para una gestión de activos más efectiva en la minería, alineando estrategias de mantenimiento con objetivos comerciales y garantizando un uso eficiente de los recursos. (Noatum, 2023)

2.1.9.1.8. Facilita la Implementación de Tecnologías Avanzadas

RCM3 se adapta fácilmente a la aplicación de tecnologías avanzadas, como sensores y sistemas de monitoreo remoto, permitiendo una mayor integración de soluciones tecnológicas para el mantenimiento predictivo. (Noatum, 2023). El RCM3 es un método de mantenimiento centrada en la confiabilidad que se utiliza para determinar las estrategias de mantenimiento necesarias para mantener los activos en buen estado de funcionamiento. El RCM3 se basa en los principios del RCM original, pero también incorpora nuevos conceptos y técnicas para una mejora en el mantenimiento.

Una de las principales características del RCM3 es que utiliza un enfoque basado en la evaluación de riesgos para determinar las estrategias de mantenimiento. Esto significa que el RCM3 considera los siguientes factores al determinar las estrategias de mantenimiento.

2.1.9.1.9. La Probabilidad de Falla

RCM3 evalúa la probabilidad de falla de los activos, teniendo en cuenta diversos factores como la historia de mantenimiento, la edad del equipo y la frecuencia de eventos

de falla anteriores. Este análisis permite priorizar los activos y aplicar estrategias de mantenimiento adecuadas según el nivel de riesgo asociado.

2.1.9.1.10. Las Consecuencias de Falla

Al considerar las consecuencias de una posible falla, RCM3 examina los impactos potenciales en términos de seguridad, ambientales, operativos y económicos. Evalúa cómo una falla podría afectar la integridad del sistema, la producción, la salud y la seguridad, permitiendo una priorización efectiva de los activos críticos.

2.1.9.1.11. El Costo de Mantenimiento

RCM3 toma en cuenta el costo asociado con diferentes estrategias de mantenimiento. Esto incluye la comparación de los costos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. La metodología busca optimizar los costos al seleccionar estrategias que minimicen el gasto total de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del activo.

Formulas

El RCM3 utiliza las siguientes fórmulas para evaluar los riesgos asociados con los modos de falla de los activos:

2.1.9.1.12. Probabilidad de falla

La probabilidad de falla de un modo de falla se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{Probabilidad\ de\ falla} = Frecuencia\ de\ falla * Probabilidad\ de\ ocurrencia\ de\ la\ condición$$

2.1.9.1.13. Consecuencias de falla

Las consecuencias de falla de un modo de falla se pueden clasificar en tres tipos:

a. Consecuencias Económicas

Las implicaciones económicas de un modo de falla son fundamentales para evaluar el impacto financiero en la organización. Esto abarca desde costos directos asociados con reparaciones y reemplazos hasta pérdida de producción y productividad.

También se consideran los costos indirectos derivados de tiempos de inactividad no planificados y las posibles pérdidas de oportunidades comerciales y la reputación de la empresa.

b. Consecuencias de Seguridad

La seguridad es una prioridad, y las consecuencias de falla que afectan este aspecto son críticas. Pueden incluir lesiones a los trabajadores, accidentes laborales e incluso pérdidas de vidas. La gestión proactiva de modos de falla que podrían comprometer la seguridad contribuye a evitar situaciones potencialmente peligrosas y a cumplir con normativas y regulaciones de seguridad ocupacional.

c. Consecuencias Ambientales

La consideración de las consecuencias ambientales es esencial. Esto abarca desde posibles derrames de sustancias peligrosas hasta la liberación de contaminantes en el aire o el agua. La gestión ambiental responsable es crucial para cumplir con regulaciones ambientales y para la sostenibilidad a largo plazo. Identificar y abordar modos de falla que podrían tener impactos negativos en el medio ambiente es esencial desde una perspectiva ética y legal.

Evaluar y comprender estas tres categorías de consecuencias permite a las organizaciones tomar decisiones informadas sobre las estrategias de mantenimiento. La identificación temprana de modos de falla críticos y la implementación de estrategias de mantenimiento adecuadas contribuyen a minimizar los riesgos asociados con las consecuencias económicas, de seguridad y ambientales, asegurando operaciones más seguras, sostenibles y financieramente viables.

2.1.9.2. Costo de mantenimiento

El costo de mantenimiento de un modo de falla se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{Costo\ de\ mantenimiento} = Costo\ de\ la\ actividad\ de\ mantenimiento * Probabilidad\ de\ falla$$

2.1.9.2.1. Índice de criticidad

El índice de criticidad de un modo de falla se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{Índice\ de\ criticidad} = Probabilidad\ de\ falla * Consecuencias\ de\ falla$$

El índice de criticidad es una medida de la importancia de un modo de falla. Los modos de falla con un índice de criticidad alto son los que deben ser atendidos con mayor prioridad. El RCM3 utiliza los resultados de la evaluación de riesgos para determinar las estrategias de mantenimiento. Las estrategias de mantenimiento pueden ser preventivas, correctivas o predictivas.

2.1.9.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se realiza para evitar que los activos fallen. Las actividades de mantenimiento preventivo incluyen inspecciones, cambios de lubricantes y filtros, y reparaciones menores.

El mantenimiento preventivo constituye un pilar esencial en la gestión eficaz de activos, ofreciendo mejoras sustanciales en la confiabilidad y eficiencia operativa de los equipos. A través de una planificación sistemática y proactiva, esta estrategia aporta beneficios significativos:

2.1.9.3.1. Prolongación de la Vida Útil

Al abordar regularmente inspecciones, ajustes y reemplazos programados, el mantenimiento preventivo contribuye a alargar la vida útil de los equipos. Esta práctica resulta en una mayor durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo, maximizando el retorno de inversión en activos.

2.1.9.3.2. Reducción de Tiempos de Inactividad

Al anticiparse a posibles fallas mediante inspecciones periódicas, se reduce la probabilidad de averías inesperadas y tiempos de inactividad no planificados. La identificación temprana de problemas permite intervenciones planificadas, evitando interrupciones en la producción y optimizando la continuidad operativa.

2.1.9.3.3. Optimización de Recursos

La asignación programada de recursos para el mantenimiento preventivo permite una gestión más eficiente de los activos. Se evitan gastos innecesarios asociados con reparaciones de emergencia y se optimiza el uso de mano de obra y materiales al realizar tareas planificadas en momentos estratégicos.

2.1.9.3.4. Mejora de la Confiabilidad

Al realizar actividades preventivas, se abordan potenciales problemas antes de que se conviertan en fallas críticas. Esto mejora la confiabilidad operativa al reducir la probabilidad de incidentes no planificados, lo que a su vez fortalece la seguridad y la continuidad operativa.

2.1.9.3.5. Cumplimiento Normativo

El mantenimiento preventivo contribuye al cumplimiento de normativas y regulaciones específicas para ciertas industrias. Al realizar inspecciones y ajustes programados, se asegura que los equipos estén en conformidad con estándares de seguridad y ambientales, reduciendo el riesgo de infracciones y sanciones.

Eficiencia en Costos a Largo Plazo. Aunque las inversiones iniciales pueden ser mayores, el mantenimiento preventivo resulta en eficiencia a largo plazo al prevenir costosas reparaciones correctivas y pérdidas asociadas con tiempos de inactividad no planificados.

2.1.9.4. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se realiza para reparar los activos que han fallado. Las actividades de mantenimiento correctivo incluyen el reemplazo de piezas y componentes, y la reparación de daños.

2.1.9.4.1. Enfoque Reactivo

El mantenimiento correctivo es esencialmente reactivo, ya que responde a fallas o mal funcionamiento detectados. Esto implica que la intervención ocurre después de que el equipo ha experimentado una disfunción, potencialmente resultando en tiempos de inactividad no planificados y pérdida de producción.

2.1.9.4.2. Tiempo de Inactividad Prolongado

En situaciones de mantenimiento correctivo, el tiempo necesario para diagnosticar la falla, adquirir repuestos y realizar la reparación puede ser significativo. Esto puede conducir a tiempos de inactividad prolongados, afectando la eficiencia operativa y la rentabilidad.

2.1.9.4.3. Costos No Planificados

El mantenimiento correctivo a menudo implica costos no planificados relacionados con reparaciones de emergencia, adquisición rápida de repuestos y posiblemente horas extras del personal. Estos costos pueden impactar negativamente en el presupuesto y la rentabilidad general.

2.1.9.4.4. Riesgos para la Seguridad

Dependiendo de la naturaleza de la falla, las reparaciones correctivas pueden presentar riesgos para la seguridad del personal. La necesidad de abordar rápidamente la falla puede resultar en situaciones menos controladas en comparación con intervenciones planificadas.

2.1.9.4.5. Impacto en la Confianza del Cliente

Si las fallas afectan la entrega o calidad del producto, el mantenimiento correctivo puede influir negativamente en la satisfacción del cliente y la reputación de la empresa.

A pesar de estos desafíos, el mantenimiento correctivo también posee ventajas específicas:

2.1.9.4.6. Ahorro Inicial de Costos

En términos de costos inmediatos, el mantenimiento correctivo puede parecer más rentable ya que no implica gastos programados. Sin embargo, este ahorro inicial puede ser superado por costos imprevistos y pérdida de ingresos asociados con tiempos de inactividad.

2.1.9.4.7. Adecuado para Equipos No Críticos

Para algunos equipos no críticos cuya falla no impacta significativamente la operación general, el mantenimiento correctivo puede ser una estrategia aceptable.

2.1.9.4.8. Simplicidad en la Implementación

Dado que el mantenimiento correctivo se activa solo cuando surge una falla, su implementación es relativamente sencilla en comparación con estrategias más planificadas.

2.1.9.5. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se realiza para detectar los problemas en los activos antes de que fallen. Las actividades de mantenimiento predictivo incluyen el monitoreo de condiciones, la inspección por ultrasonido y la inspección por rayos X.

2.1.9.5.1. Anticipación de Problemas

El núcleo del mantenimiento predictivo radica en su capacidad para anticipar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas críticas. Al aprovechar

tecnologías avanzadas como sensores y análisis de datos, se pueden identificar patrones y tendencias, permitiendo intervenciones precisas y oportunas.

2.1.9.5.2. Reducción de Tiempos de Inactividad

Al prever y abordar problemas antes de que desencadenen una falla completa, el mantenimiento predictivo minimiza significativamente los tiempos de inactividad no planificados. Esto resulta en una operación más fluida y eficiente, ya que las intervenciones se programan estratégicamente en momentos óptimos.

2.1.9.5.3. Optimización de Recursos

La asignación de recursos se optimiza con el mantenimiento predictivo, ya que las intervenciones se programan según las necesidades reales y no en un calendario predeterminado. Esto evita gastos innecesarios asociados con mantenimiento preventivo excesivo o correctivo no planificado.

2.1.9.5.4. Extensión de la Vida Útil de los Activos

Al identificar y abordar proactivamente factores que podrían afectar la integridad de los activos, el mantenimiento predictivo contribuye a prolongar su vida útil. Esto maximiza el retorno de inversión al garantizar que los equipos operen a niveles óptimos durante períodos más extensos.

2.1.9.5.5. Seguridad Mejorada

La capacidad para prever posibles fallas también tiene implicaciones positivas para la seguridad. Al abordar proactivamente problemas que podrían representar riesgos, el mantenimiento predictivo contribuye a crear un entorno de trabajo más seguro.

2.1.9.5.6. Costos Operativos Más Bajos a Largo Plazo

Aunque la implementación del mantenimiento predictivo puede implicar inversiones en tecnologías y capacitación, los costos operativos a largo plazo tienden a ser inferiores. Se evitan los gastos inesperados asociados con el mantenimiento correctivo

y se optimizan los costos de mantenimiento preventivo al realizarse solo cuando es necesario.

El RCM3 es una metodología efectiva para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos. El uso de las fórmulas y conceptos del RCM3 permite a las empresas tomar decisiones de mantenimiento informadas y basadas en el riesgo.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

La investigación tiene un propósito de enfoque cuantitativo debido que se pretende recolectar y analizar datos para poder cumplir con los objetivos mencionados anteriormente. Según (Fernández y Baptista, 2014) el enfoque cuantitativo es aquella que se centra a una base de datos, es decir los resultados que nos brinda son valores numéricos, porcentajes, cifras exactas. Usa la base de datos para evaluar la hipótesis y de esa manera obtener las conclusiones.

Según (Murillo, 2011), este proyecto tesis es una investigación aplicada ya que nos dice que, la investigación aplicada tiene como fin resolver un planteamiento especifico o un determinado problema, orientándose en la búsqueda y refuerzo de conocimiento para su aplicación.

El proyecto pretende resolver los problemas hallados mediante la aplicación del proyecto como lo es el diseño de un plan de mantenimiento que genere mejoramiento en el mantenimiento. Así mismo se centra en un problema a solucionar que es aplicable en la vida real, para la mejora de la disponibilidad de las unidades vehiculares quienes prestan servicio a empresas mineras o industriales.

3.2. Metodología de la investigación

El presente proyecto tesis es una investigación de nivel descriptiva. Ya que nos dice, la investigación de nivel descriptiva es “cuando comprende descripción, el registro, el análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos; el enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo, cosa funciona en el presente; la investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hecho, caracterizándose fundamentalmente por presentarnos una interpretación correcta” (Tamayo y Tamayo, 2011).

El proyecto se basa en observar y describir el comportamiento de las variables.

3.3. Diseño de investigación

El diseño del trabajo de investigación es de tipo no experimental, trasversal. Según (Fernández y Baptista, 2014) el diseño es no experimental cuando "es una búsqueda empírica y sistemática, ya que no se posee el control directo de las variables, debido a que sus manifestaciones ya han ocurrido o son inherentemente no manipulables, pero si se hace inferencia a las relaciones entre variable".

3.4. Proceso metodológico

Para poder realizar el plan de mantenimiento basado en el RCM, se siguieron los siguientes pasos.

3.4.1. Identificación de máquinas y equipos

a. **Camionetas Toyota Hilux:** Las Toyota Hilux utilizadas en la operación minera presentan características específicas que las hacen aptas para el entorno hostil:
   - ✓ Tracción 4x4 para terrenos accidentados.
   - ✓ Motor turbodiésel intercooler de alto rendimiento.
   - ✓ Sistema de suspensión reforzada, ideal para transportar carga y personal.
   - ✓ Capacidad de carga útil superior a 1 tonelada.
   - ✓ Equipamiento con frenos ABS y control electrónico de estabilidad.

b. **Buses Volvo B380R:** Los buses Volvo están diseñados para transporte masivo de personal en rutas de difícil acceso, con las siguientes características:
   - ✓ Motor de 380 HP, tecnología euro 5 de bajas emisiones.
   - ✓ Capacidad para 50 pasajeros con asientos ergonómicos.
   - ✓ Suspensión neumática integral para mayor confort y estabilidad.
   - ✓ Sistema EBS (Electronic Brake System) y control de tracción.
   - ✓ Cabina reforzada con diseño estructural para protección en caso de volcadura.

3.4.2. Taxonomía de los equipos

La taxonomía de los equipos implica la clasificación y jerarquización de los componentes y sistemas de los vehículos. Esta clasificación permite identificar y organizar los diferentes elementos que componen los vehículos, facilitando así el análisis de criticidad y el AMFE, esta parte es importante por los siguientes puntos:

- ✓ **Organización:** Ayuda a organizar los equipos en categorías que facilitan la identificación y el análisis.
- ✓ **Jerarquización:** Permite entender la relación jerárquica entre diferentes componentes y sistemas.
- ✓ **Análisis de criticidad y AMFE:** Proporciona una base para el análisis de criticidad y el análisis de modos y efectos de fallos.

La taxonomía de los activos se clasifica en sistemas y subsistemas clave para su análisis técnico:

a. Toyota Hilux

- ✓ Sistema de potencia: motor, sistema de admisión, escape y alimentación.
- ✓ Sistema de transmisión: caja de cambios, eje cardán, diferencial.
- ✓ Sistema de dirección y suspensión: columna, amortiguadores, rótulas.
- ✓ Sistema de frenos: discos, pastillas, ABS, servofreno.
- ✓ Sistema eléctrico: batería, alternador, luces.
- ✓ Carrocería y estructura: bastidor, chasis, puertas.

b. Bus Volvo B380R

- ✓ Sistema de potencia: motor diésel, inyectores, turbo.
- ✓ Sistema de transmisión: caja automática, retarder, eje trasero.
- ✓ Sistema de suspensión: suspensión neumática, compresores.

- ✓ Sistema de frenos: frenos de disco, ABS, EBS.
- ✓ Sistema eléctrico: ECU, paneles de control, sensores.
- ✓ Sistema de confort: aire acondicionado, calefacción, sistema de entretenimiento.

3.4.3. Análisis de criticidad de los sistemas y subsistemas

El análisis de criticidad se realizó para determinar la importancia de cada equipo y sistema dentro del vehículo. Este análisis ayuda a priorizar los elementos que requieren mayor atención en el plan de mantenimiento. Se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar la criticidad, considerando factores como la frecuencia de fallos, el impacto en la operación y los costos asociados, este análisis se realizó considerando los siguientes factores:

- ✓ **Frecuencia de fallos:** ¿Con que frecuencia falla un componente?
- ✓ **Impacto en la operación:** ¿Cuál es el impacto de un fallo en la operación del vehículo?
- ✓ **Costos Asociados:** ¿Cuáles son los costos de reparación o reemplazo del componente?

El análisis de criticidad fue realizado considerando los sistemas y subsistemas definidos en la taxonomía. Se priorizaron aquellos con mayor impacto en la operación y seguridad.

- ✓ **Para la Toyota Hilux:** sistemas críticos son potencia, frenos y dirección.
- ✓ **Para el Bus Volvo:** potencia, suspensión y frenos.

Se aplicaron criterios de severidad, frecuencia y detectabilidad para determinar la criticidad en función del impacto operacional.

3.4.3.1. El análisis de Modos y efectos de falla (AMFE)

El AMFE (Análisis de Modos y Efectos de Fallos) es una técnica sistemática utilizada para identificar, analizar y mitigar los modos de fallo potenciales de los componentes y sistemas del vehículo. El proceso AMFE se compone de los siguientes pasos:

a. **Identificación de los Modos de Fallo Potenciales**: Enumerar todas las formas posibles en que un componente o sistema puede fallar. Por ejemplo, un motor puede fallar debido a un sobrecalentamiento, falta de lubricación, o desgaste de piezas.
b. **Evaluación de la Gravedad de los Efectos de Cada Modo de Fallo:** Analizar la gravedad de los efectos de cada modo de fallo en el funcionamiento del vehículo. Por ejemplo, la falta de lubricación puede causar daños graves al motor, resultando en una avería completa.
c. **Análisis de la Frecuencia de Ocurrencia de Cada Modo de Fallo:** Estimar la frecuencia con la que cada modo de fallo puede ocurrir. Por ejemplo, el sobrecalentamiento del motor podría ocurrir con mayor frecuencia durante el verano.
d. **Determinación de la Capacidad de Detección de los Fallos Antes de que Ocurran:** Evaluar la capacidad de detectar los fallos antes de que se produzcan. Por ejemplo, mediante sensores de temperatura que alertan sobre un posible sobrecalentamiento.
e. **Priorización de los Modos de Fallo Utilizando el Número de Prioridad de Riesgo:** El NPR se calcula multiplicando la gravedad, la frecuencia y la capacidad de detección. Los modos de fallo con un NPR alto se priorizan en el plan de mantenimiento.

3.4.4. El nuevo plan de mantenimiento

Con base en los resultados del análisis de criticidad y del AMFE, se diseñó un nuevo plan de mantenimiento para los vehículos del servicio Ciclones. Este plan incluye:

- ✓ Tareas de mantenimiento preventivo y predictivo específicas para cada componente crítico.
- ✓ Frecuencia y criterios para la realización de las tareas de mantenimiento.
- ✓ Estrategias de monitoreo y seguimiento para asegurar la efectividad del plan.
- ✓ Capacitación y formación del personal en las nuevas técnicas y procedimientos de mantenimiento.
- ✓ Evaluación continua y retroalimentación para la mejora continua del plan de mantenimiento.

3.4.5. Validación económica con VAR y TIR para asegurar sostenibilidad del plan

El VAN permite determinar la rentabilidad del proyecto al actualizar los flujos de caja futuros generados por la reducción de fallas, el incremento de la disponibilidad operativa y la optimización de costos de mantenimiento. Por otro lado, el TIR representa la tasa de rendimiento que iguala el valor presente de los ingresos esperados con el valor de los egresos. Cuando el TIR es mayor que la tasa mínima aceptable de retorno. De esta manera el análisis de VAR y TIR no solo valida económicamente la implementación del plan de mantenimiento, sino que también asegura la sostenibilidad a largo plazo, respaldando la inversión y generando la confianza de los beneficios técnicos.

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION

4.1. Maquinas

a. Lista de equipos a analizar:

En este proyecto se trabajó principalmente con los vehículos del servicio Ciclones, incluyendo camionetas Toyota Hilux y buses Volvo B380R 4X2. Estos activos vehiculares son esenciales para mantener la continuidad operativa en ambientes mineros exigentes, desempeñando funciones de transporte de líquidos, materiales y personal. Se seleccionaron debido a su alta tasa de uso y criticidad para el servicio.

Tabla 2

Lista de vehículos analizados

PLACAS	TIPO DE VEHICULO	MARCA	MODELO
V9Q857	BUSS	VOLVO	B380R4X2
APP889	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX
V7Z799	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX
VAW809	CAMIONETA	TOYOTA	HILUX

Nota. Elaboración propia.

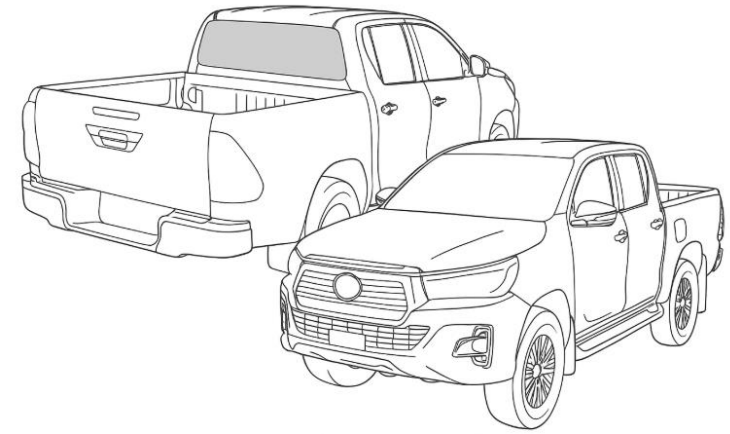
b. Características Principales Toyota Hilux:

- ✓ **Diseño Resistente:** La Hilux presenta un diseño robusto con líneas aerodinámicas, luces delanteras prominentes y una parrilla distintiva. Su chasis y carrocería están diseñados para resistir el desgaste y el estrés en diferentes situaciones.
- ✓ **Desempeño Todoterreno:** La tracción en las cuatro ruedas y la capacidad todoterreno son aspectos destacados de la Hilux. Puede manejarse eficientemente en terrenos difíciles como caminos accidentados, terrenos montañosos y condiciones climáticas adversas.

- ✓ **Motorización Potente:** La Hilux suele estar equipada con motores potentes y eficientes en combustible. Estos motores ofrecen un buen equilibrio entre rendimiento y eficiencia, proporcionando la potencia necesaria para el trabajo pesado.
- ✓ **Carga y Remolque:** Su plataforma de carga en la parte trasera es espaciosa y diseñada para transportar cargas pesadas. Además, cuenta con una capacidad de remolque significativa, lo que la convierte en una opción popular para trabajos que implican remolcar equipos o transportar remolques.
- ✓ **Interior Funcional:** El interior de la Hilux está diseñado para ser práctico y funcional, con controles de fácil acceso y asientos cómodos. Las versiones más recientes a menudo incluyen características tecnológicas modernas, como sistemas de info entretenimiento y opciones de conectividad.
- ✓ **Seguridad:** La Hilux generalmente viene equipada con características de seguridad avanzadas, como sistemas de frenado antibloqueo (ABS), control de estabilidad y airbags, brindando una protección integral tanto en carretera como fuera de ella.
- ✓ **Variedad de Versiones:** La Hilux se ofrece en diferentes versiones y configuraciones para adaptarse a diversas necesidades, desde modelos orientados al trabajo pesado hasta versiones más enfocadas en el confort y el uso diario.

Figura 3

Toyota Hilux partes del exterior



Nota: Datos Técnicos: Hilux Toyota. *Tomada de Manual de Hilux (s.f.)*

Figura 4

Especificaciones técnicas Motor Diesel

MOTOR DIÉSEL

ESPECIFICACIÓN		DETALLE
	Modelo	1GD-FTV
	Tipo	4 cilindros en línea, 4 ciclos, diésel (con turbocargador)
	Diámetro y carrera	92,0 × 103,6 mm (3,62 × 4,08 pul.)
	Desplazamiento	2755 cm^3 (168,1 pul^3)
	Holgura de la válvula	Ajuste automático
	Tensión de la banda de transmisión	Ajuste automático

Nota. En la imagen muestra el tipo y modelo de motor, así como sus características. Tomada de Manual de Hilux (s.f.)

El motor 1GD-FTV de 2.8 litros presenta una potencia de 174.3 HP y un torque de 45.7 kg-m, Este motor está equipado con un turbocompresor de geometría variable con

intercooler, lo que proporciona una respuesta excepcional en todo el rango de conducción. Además, se destaca por su alto nivel de insonorización y confort. Estas características, junto con la mejora en el consumo de combustible, convierten a estos motores en los más destacados dentro de la Hilux.

Figura 5

Especificaciones técnicas Combustible Diesel

MOTOR DIÉSEL

Tipo de combustible	Solo combustible diésel
Índice de cetano	48 o superior
Capacidad del tanque de combustible (Referencia)	80 L (21,1 gal., 17,6 gal.Ing.)

Nota. Muestra el tipo de combustible y capacidad de tanque, tomada de Manual de Hilux (s.f.)

Figura 6

Especificaciones técnicas Sistema de enfriamiento

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Capacidad	Motor de gasolina	7,8 L (8,2 qt., 6,9 qt.lng.)
	Motor diésel	▶ Con transmisión automática 9,1 L (9,6 qt., 8,0 qt.lng.) ▶ Con transmisión manual 8,6 L (9,1 qt., 7,6 qt.lng.)
Tipo de refrigerante		Use cualquiera de los siguientes: • "Toyota Super Long Life Coolant" (refrigerante Toyota de súper larga duración) • Refrigerante de calidad similar basado en etilenglicol que no contenga silicio, amina, nitrito ni borato, con tecnología híbrida de ácido orgánico de larga duración No use agua corriente sola.

Nota. Muestra la cantidad de refrigerante por tipo de motor en nuestro caso de estudio de motor Diesel. Tomada de Manual de Hilux (s.f.)

Figura 7

Especificaciones técnicas Transferencia

TRANSFERENCIA (MODELOS 4WD)	
Capacidad de aceite	1,0 L (1,1 qt., 0,9 qt.Ing.)
Tipo de aceite *	"Toyota Genuine Transfer Gear oil LF" (aceite para caja de transferencia LF genuino de Toyota) o equivalente
Viscosidad recomendada del aceite	SAE 75W

Nota. Tomada de Manual de Hilux (s.f.)

Figura 8

Especificaciones técnicas Diferencial

DIFERENCIAL				
Capacidad de aceite	**Parte delantera (modelos 4WD)**	**Sin A.D.D.**		**1,45 L** (1,53 qt., 1,28 qt.Ing.)
		Con A.D.D.		**1,60 L** (1,69 qt., 1,41 qt.Ing.)
	Parte trasera	Sin bloqueo del diferencial trasero	Modelos hechos en Tailandia *1	**3,65 L** (3,86 qt., 3,21 qt.Ing.)
			Modelos hechos en Argentina *1	**3,75 L** (3,96 qt., 3,30 qt.Ing.)
		Con bloqueo del diferencial trasero		**3,60 L** (3,80 qt., 3,17 qt.Ing.)
Tipo de aceite *2 **y viscosidad del aceite**				Toyota Genuine Differential gear oil LT 75W-85 GL-5 (aceite de engranes del diferencial genuino de Toyota LT 75W-85 GL-5) o equivalente

Nota. Tomada de Manual de Hilux (s.f.)

Figura 9

Especificaciones técnicas Frenos

FRENOS			
Carrera del pedal *1	Sin VSC	Modelos 2WD	87 mm (3,4 pul.) *3 88 mm (3,5 pul.) *4
		Modelos 4WD y Pre Runner	87 mm (3,4 pul.)
	Con VSC	Modelos 2WD	85 mm (3,3 pul.)
		Modelos 4WD y Pre Runner	87 mm (3,4 pul.)
	Juego libre del pedal		1,0 — 6,0 mm (0,04 — 0,24 pul.)
	Límite de desgaste de las pastillas de los frenos		1,0 mm (0,04 pul.)
	Límite de desgaste de la balata del freno de estacionamiento		1,0 mm (0,04 pul.)
	Recorrido de la palanca del freno de estacionamiento *2		7 — 9 clics
	Tipo de líquido		SAE J1703 o FMVSS N° 116 DOT 3, o SAE J1704 o FMVSS N° 116 DOT 4

Nota. *Tomada de Manual de Hilux (s.f.)*

- ✓ La carrera mínima del pedal al presionarse con una fuerza de 490 N, mientras el motor está en funcionamiento.
- ✓ Desplazamiento de la palanca del freno de estacionamiento al ser tirada con una fuerza de 200 N.

La camioneta Hilux tiene control de estabilidad del vehículo (VSH) el cual facilita y ayuda al conductor a controlar y superar las patinadas al maniobrar de forma repentina o tomar curvas sobre ciertas superficies que provocan resbalamientos, en este caso el modelo 2WD con VSC tiene una carrera del pedal de 87mm

Figura 10

Especificaciones técnicas Lubricación del chasis

Lubricación del chasis

Flechas propulsoras	Parte delantera (modelos 4WD)	Cruceta	Grasa con base de litio para chasis, NLGI N° 2
		Horquilla deslizante*1	Grasa de disulfuro de molibdeno con base de litio para chasis, NLGI n° 2 o grasa con base de litio para chasis, NLGI n° 2
	Parte trasera	Cruceta*2	Grasa con base de litio para chasis, NLGI N° 2

Nota. *Tomada de Manual de Hilux (s.f.)*

Figura 11

Especificaciones técnicas Dirección

Dirección

Juego libre	Menos de 30 mm (1,2 pul.)
Tipo de líquido de la dirección hidráulica o eléctrica	Líquido de la transmisión automática DEXRON®II o III

Nota. *Tomada de Manual de Hilux (s.f.)*

Figura 12

Especificaciones técnicas llanta

Tamaño de llanta	205/70R15C 106/104S		
Presión de inflado de la llanta (Presión recomendada de inflado de la llanta fría)	Ruedas delanteras kPa (kgf/cm^2 o bar, psi)	Rueda trasera (sin carga) kPa (kgf/cm^2 o bar, psi)	Rueda trasera (carga completa) kPa (kgf/cm^2 o bar, psi)
	260 (2,6, 38)	330 (3,3, 48)	450 (4,5, 65)
Tamaño de la rueda	15 × 6J		
Par de apriete de las tuercas de la rueda	152 N•m (15,5 kgf•m, 112 lbf•pie)		

Nota. *Tomada de Manual de Hilux (s.f.)*

Figura 13

Especificaciones técnicas Focos

FOCOS

	Focos	W	Tipo
Exterior	**Faros** – Luces bajas/altas (faros halógenos) – Luces altas (faros de LED)	 60/55 60	 A B
	Luces de niebla halógenas *1	19	C
	Luces de estacionamiento (faros halógenos) – Modelos hechos en Tailandia *2 – Modelos hechos en Argentina *2 – (Modelos 4WD y Pre Runner)	 5 5 *3 21/5 *4	 D D D
	Luces de las señales direccionales delanteras – Faros halógenos – Faros de LED	 21 21	 E F
	Luces de las señales direccionales traseras	21	E
	Luces de reversa	21	G
	Luz de la matrícula	5	D
	Luces traseras y de freno	21/5	G
Interior	**Luz interior** *1	8	H
	Luces individuales/interiores *1	5 o 8 *6	D

Nota. Tomada de Manual de Hilux (s.f.)

4.1.1. Historial de mantenimiento Toyota Hilux

En el **Anexo 2**, se muestra el historial de mantenimiento para la flota de Toyota Hilux se muestran datos principalmente del año 2023 y de parte de los años 2022 y 2024 así mismos menciona que tipo de mantenimiento fue realizado, ya sea preventivo y correctivo, así también el tiempo de duración del mantenimiento.

En el **Anexo 5**, se muestra de forma ordenada los datos de incidencia de falla en cada mes del año correspondiente, así como cuál fue su duración.

4.1.2. Cálculo de disponibilidad y confiabilidad

En las siguientes **figuras 14, figuras 15**, donde se muestra la disponibilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación calculadas para cada mes.

Figura 14

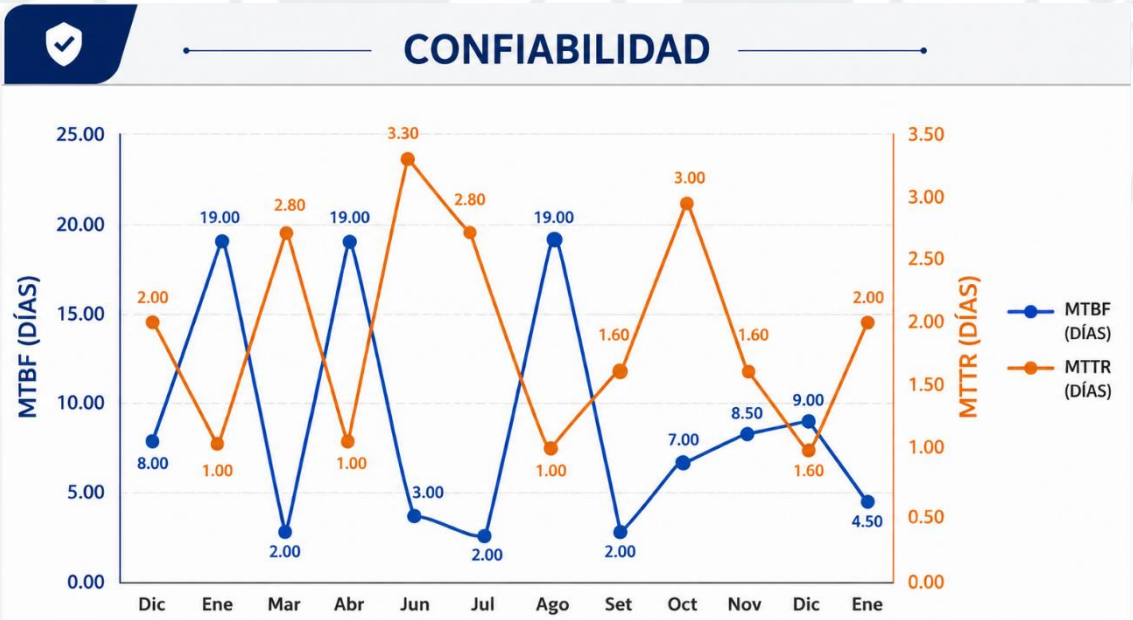
Disponibilidad operacional del equipo



Nota. En la siguiente tabla se aprecia que la disponibilidad del equipo se encuentra entre los rangos de 45% hasta 100%

Figura 15

MTBF, MTTR vs mes



Nota. Elaboración propia.

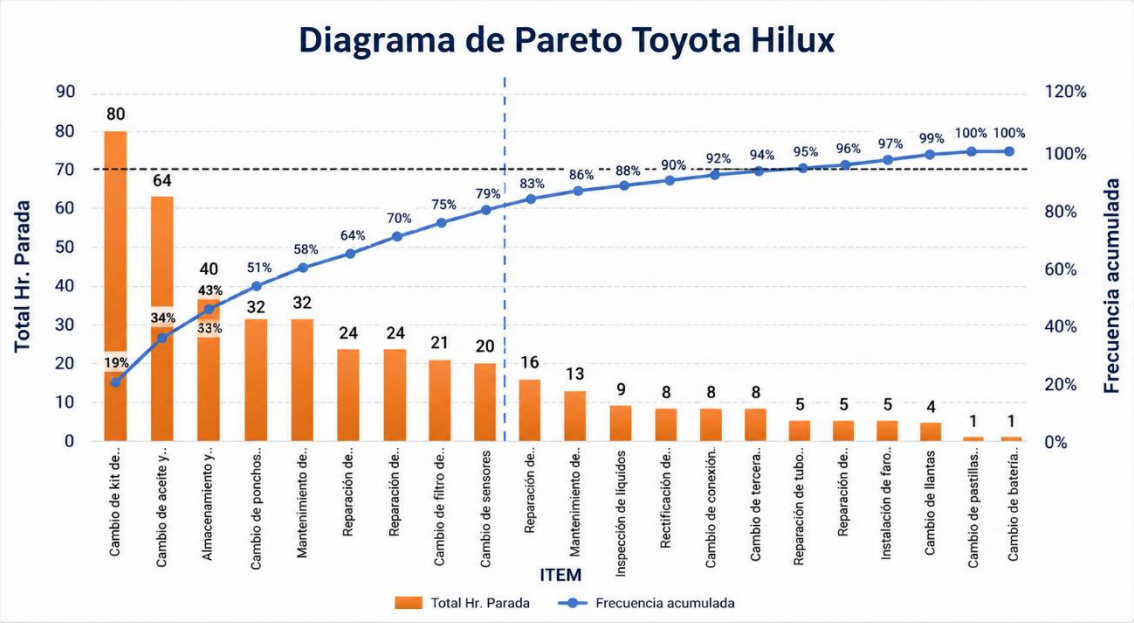
Como se indicó en el **Anexo 6** se puede apreciar un MTBF de 8.3 lo que indica que la camioneta falla aproximadamente cada 8 días. El MTTR da 1.91 días lo que indica que las reparaciones duran casi 2 días, lo cual es elevado, el Promedio de la disponibilidad da 77% lo cual es bajo, considerando que para proyecto minero debería ser mayor al 85%.

4.1.3. Diagrama de Pareto

Para un análisis más detallado se utilizó un diagrama de Pareto ordenando y clasificando las fallas que se pueden visualizar en la tabla del **Anexo 7**, luego se contabiliza las cantidades de eventos ocurridos y también el tiempo que tomo completar esa actividad de mantenimiento. Luego se calcula las horas totales parada por cada falla, y la frecuencia y su acumulado como se muestra en la **figura 16**.

Figura 16

Diagrama de Pareto



Nota. Elaboración propia.

4.1.3.1. Análisis del diagrama de Pareto

Con la regla del 80/20 del diagrama de Pareto encontramos las fallas que generan más problemas y perdida de horas de trabajo en las camionetas Hilux que operan en la minera, las fallas y mantenimientos mencionados pueden involucrar varios sistemas en

un vehículo Toyota Hilux. Aquí hay una descripción general de cómo cada tipo de trabajo puede estar relacionado con diferentes sistemas del vehículo:

4.1.3.2. Análisis del historial de fallas en el equipo Toyota Hilux

En el proceso de evaluación del historial de fallas, se llevó a cabo una comparación para calcular la frecuencia inicial de cada actividad de mantenimiento. Según el plan de mantenimiento proporcionado por el fabricante, se establece que el cambio de filtros de aceite del motor debe realizarse cada 10,000 KM. Sin embargo, a través del análisis del historial, se observa que el recambio correctivo se ejecutó cada 20,775 KM en algunos casos y cada 13,441 KM en otros, normalmente cada 4 meses aproximadamente.

Un incidente particular fue un mantenimiento que tomó 5 días en completarse. Este incluyó la rectificación de discos de freno, el cambio de pastillas (debido al contacto metal con metal) y la sustitución del kit de embrague (plato, disco y collarín). Este servicio se llevó a cabo cuando el odómetro marcaba 125,205 KM.

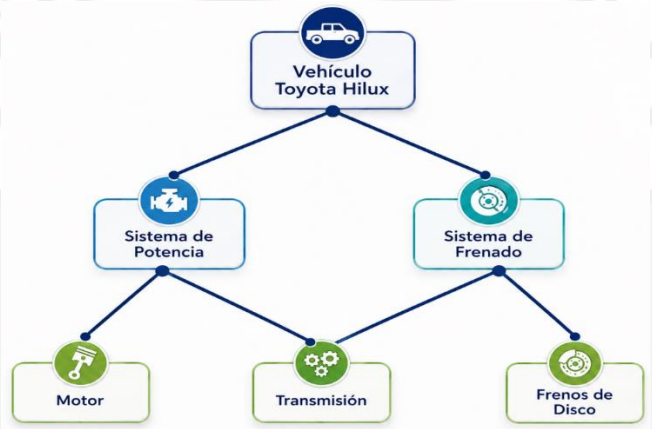
Adicionalmente, se registró una falla en el disco de freno a los 119,870 KM en la Toyota Hilux con matrícula BAP-746. Considerando que aproximadamente 10,000 KM se cumplen en 4 meses, según la revisión de odómetros y fechas, se concluye que el disco de freno presenta fallos después de los 100,000 KM, lo que equivale a 40 meses o cada 10,000 horas, según los datos históricos. Estos hallazgos revelan discrepancias significativas entre las recomendaciones de mantenimiento del fabricante y la realidad observada en el historial de fallas, destacando la necesidad de ajustar el plan de mantenimiento para garantizar un rendimiento óptimo y prevenir futuras averías.

4.1.4. Taxonomía del activo (Toyota Hilux)

En la **figura 17**, **figura 18**, se muestra la taxonomía activa de los sistemas importantes de la camioneta Toyota Hilux y Distribución de la taxonomía respectivamente.

Figura 17

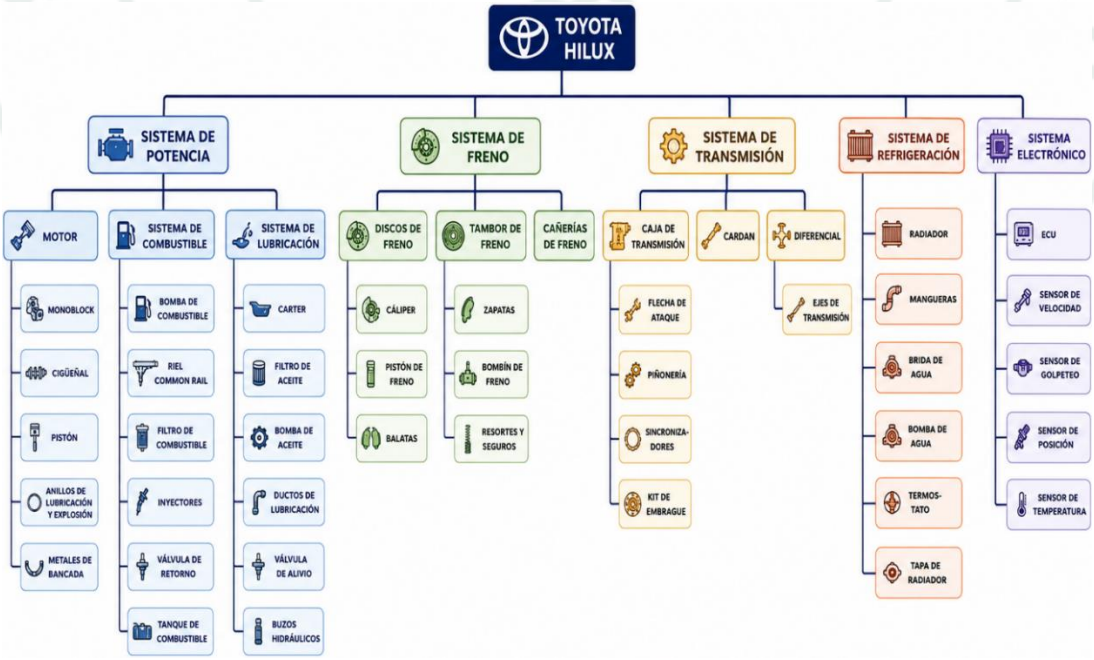
Taxonomía del activo (Toyota Hilux)



Nota. Grafica donde muestra la jerarquía de taxonomía del activo.

Figura 18

Distribución de la taxonomía de Toyota Hilux



Nota. Elaboración propia.

Tabla 3

Jerarquía de Taxonomía del activo (Toyota Hilux)

Nivel	Jerarquía de taxonomía				
1	Minería				
2	Explotación y procesamiento de minerales				
3	Planta de Procesamiento de Minerales				
4	Transporte				
5	Transporte de personal y equipos				
6	Camioneta Hilux				
7	Sistema de potencia	Sistema de freno	Sistema de transmisión	Sistema de Refrigeración	Sistema electrónico
8	Motor.	Disco de freno, tambor de freno	Caja de transmisión	-	ECU
9	Culata	Pastillas	Sincronizadores	Radiador	Sensores
	Monoblock	zapatas	Manguito	Mangueras	Actuadores
	Válvulas	Bombin de freno	Flecha de entrada	Tapa de radiador	-
	Pistones	Caliper	Engranajes	Bomba de agua	-
	Bielas	Retenes de líquido de freno	Varillas de cambio	Ventilador	-
	Metales	-	-	-	-
	Bomba de aceite	-	-	-	-
	Retenes de válvula	-	-	-	-
	Árbol de levas	-	-	-	-
	Buzos hidráulicos	-	-	-	-
	aceites	-	-	-	-
	filtros	-	-	-	-

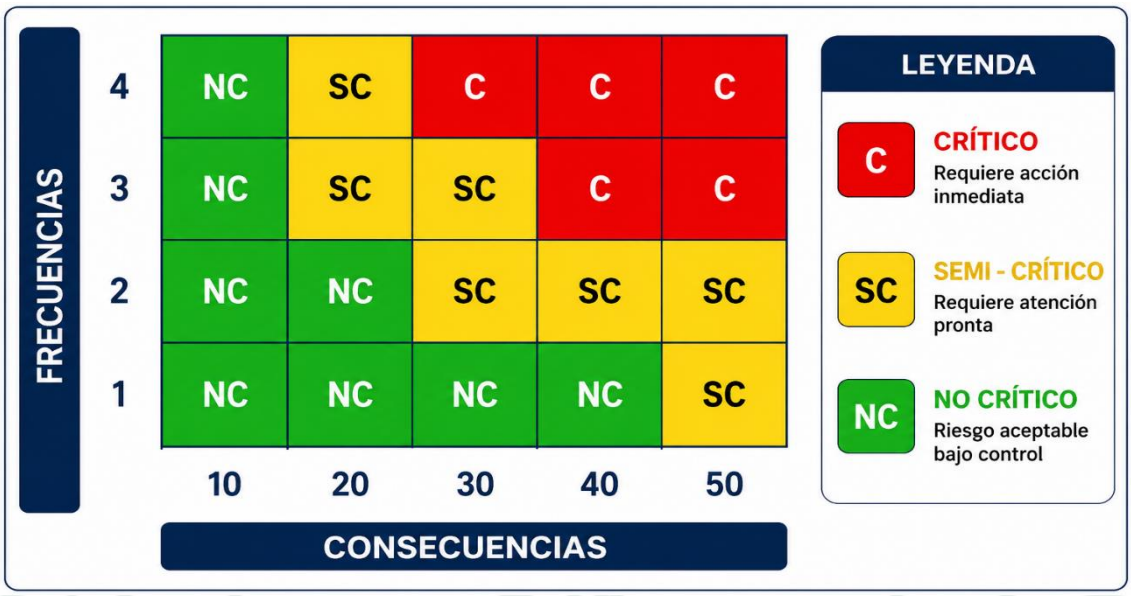
Nota. Elaboración propia.

4.1.5. Análisis de criticidad de sistemas del equipo

Se realiza la evaluación de criticidad para los diferentes sistemas correspondientes a los vehículos ciclones como se muestra en la **figura 19**.

Figura 19

Mantenimiento Basado en la confiabilidad



Nota. Elaboración propia.

El equipo que se desea analizar cuanta con diversos sistemas, los cuales debemos analizar de acuerdo con la criticidad que representan esto se muestra en la **tabla 4.**

Tabla 4

Factores del análisis de criticidad

RECURRENCIA DE EVENTOS DE FALLA		**COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO**	
MUY MALO (Mayor a 20 fallas/año)	4	Mayor o igual a 20 mil dólares al año	2
MALO (de 11 a 20 fallas/año)	3	Inferior a 20 mil dólares al año	1
REGULAR (de 6 a 10 fallas/año)	2	-	
IMPACTO OPERACIONAL		IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE	
Parada inmediata de todo el ciclo productivo	10	Afecta la seguridad humana, ambiente/alto impacto	8
Parada parcial e influye solo a algunos equipos	8	Afecta las instalaciones causando daños severos	6
Impacta en el desempeño de la producción o calidad	6	Provoca daños menores (accidentes), bajo impacto ambiental	4
Repercute en costos operacionales y disponibilidad	4	Provoca molestias mínimas a instalaciones o al ambiente	2

No genera efecto sobre operaciones y producción	1	-	-
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL			
No existe opción de reemplazo operacional ni reemplazo de repuesto			4
Hay opción de repuesto alternativo o compartido			2
Función de repuesto disponible			1

Nota. Recuperado de maestría en Ingeniería de Mantenimiento Universidad Católica de Santa María

Donde:

$$Criticidad = Consecuencia * Factor\ de\ recurrencia\ de\ eventos\ de\ fallas$$

$$Consecuencia = Factor\ de\ impacto\ operacional * Factor\ de\ flexibilidad\ Operacional + Factor\ de\ costos\ Mantenimiento\ Correctivo + Factor\ de\ seguridad\ y\ ambiente.$$

En las siguientes **Tabla 5, Tabla 6,** se muestras la tabla de criticidad según los factores de cada sistema que impacta al equipo, evaluando las funciones principales y secundarias, así mismo evaluando de cada sistema y se plasma en las **Tabla 7, Tabla 8.**

Tabla 5

Criticidad de Sistemas Toyota Hilux

Sistemas principales	Factor de sistemas del equipo	Factor de recurrencia de fallas	Factor de impacto operacional	Factor de flexibilidad operacional	Facto de costo del mantenimiento correctivo	Factor de seguridad y ambiente	consecuencia	Total
	Sistema de potencia	2	10	4	1	8	49	98
	Sistema de frenado	2	10	2	1	8	29	58
	Sistema de suspensión	2	8	2	1	4	21	42
	sistema eléctrico	2	8	2	1	2	19	38
	Sistema de seguridad	2	4	2	1	8	17	34
	Estructura	2	4	2	1	8	17	34

Nota. Se encontró que los sistemas del equipo más críticos son el sistema de potencia y el sistema de frenado.

4.1.6. Funciones del activo (Toyota Hilux)

Función principal del activo.

Tabla 6

Función principal del activo

Función primaria	Falla total	Falla parcial
Permita transportar personal y herramientas	Incapaz de transportar personal, herramientas, material, equipos de trabajo en cerro verde	Permite transportar personal y herramientas al centro de trabajo con ineficiencia en la velocidad, ineficiencia en el par y en el tiempo requerido

Nota. En la siguiente tabla indica la falla principal y total dependiendo de la función primaria.

Tabla 7

Funciones secundarias del equipo

FUNCIONES SECUNDARIAS DEL EQUIPO			
Tipo de función	**Función secundaria**	**Falla total**	**Falla parcial**
Medio ambiente	El ruido no debe superar los 80dB	Se supera el valor de ruido permitido de 80dB	Incremento en el nivel de ruido, sobre los 80dB, hasta un radio de 15m
	Evitar contaminación debido a hidrocarburos	Fugas de hidrocarburos que podrían contaminar el entorno.	Presencia de pequeñas fugas de hidrocarburos que podrían tener impacto ambiental limitado.
	Proteger al personal de lesiones por partes calientes	Exposición del personal a partes calientes del vehículo.	Algunas áreas calientes no están completamente protegidas, aumentando el riesgo de lesiones.
Seguridad	Bolsas de aire	Mal funcionamiento o ausencia de las bolsas de aire.	Las bolsas de aire pueden no desplegarse correctamente en todas las situaciones.
	Sistemas de frenado avanzados	Los sistemas de frenado avanzados no funcionan	Los sistemas avanzados de frenado pueden no responder de manera óptima en ciertas condiciones.
	Protección contra corrosión	Falta de protección contra la corrosión.	Algunas áreas del vehículo pueden estar menos protegidas, aumentando el riesgo de corrosión.
Apariencia	Identificación de señaléticas	Las señaléticas se encuentran desprendidas	la identificación de señaléticas no es completamente clara, existe desgaste o se encuentra parcialmente desprendida
Eficiencia	Realiza su trabajo con una potencia máxima de 174.3 HP	Incapaz de realizar trabajo	Disminución de la potencia del equipo
	Realiza las revoluciones del motor con un torque máximo de 45.7 kg-m	Incapaz de ofrecer tracción	Disminución en el torque del motor

Tabla 8

Función principal del sistema de frenado

Función primaria	Falla total	Falla parcial
Permite la detención controlada del vehículo con una carrera mínima de pedal de 87mm cuando se presiona con una fuerza de 490 N y un límite de desgaste de las pastillas y de la balata del freno de estacionamiento de 1mm.	Sistema de frenado incapaz de detener el vehículo	Sistema de frenado detiene el vehículo con dificultad

Tabla 9

Funciones secundarias del sistema de frenado

FUNCIONES SECUNDARIAS DEL SISTEMA DE FRENADO			
Tipo de función	**Función secundaria**	**Falla total**	**Falla parcial**
Medio ambiente	Evita la contaminación con residuos debido a eventos de frenado brusco, que provoca desgaste y partículas contaminantes	Presenta liberación de partículas visiblemente por cada frenado	Ocasionalmente en el frenado genera liberación limitada de partículas contaminantes.
Seguridad	Mantiene la estabilidad de los vehículos con sistemas antibloqueo de frenos ABS y control de estabilidad durante frenadas intensas	Mal funcionamiento del ABS o del control de estabilidad, lo que resulta en la pérdida completa de estabilidad durante frenadas intensas.	El ABS o el control de estabilidad pueden activarse de manera irregular, comprometiendo la estabilidad en ciertas situaciones.
Protección	Los límites de desgaste establecidos para las pastillas de freno y la balata del freno de estacionamiento (1 mm) actúan como mecanismos de protección para evitar dañar los otros componentes del sistema de frenado	Incapaz de proteger a los componentes de sistema de frenado	Daña parcialmente a los otros componentes del sistema de frenado
Eficiencia	responde con precisión y tiene una carrera mínima del pedal de 87mm contribuye a la eficiencia energética del vehículo,	El sistema no responde con precisión o la carrera del pedal	ligeramente imprecisa o la carrera del pedal puede variar ocasionalmente.

Nota. Elaboración propia.

Modos de fallas de la unidad de potencia

Efectos de falla: Para encontrar los efectos de falla, se debe considerar cual es la evidencia de falla, el riesgo para la seguridad y el medio ambiente, cuáles son los efectos sobre la producción o los daños secundarios que se pueda tener como se muestra en la **Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12**.

Tabla 10

Criterio de gravedad

Gravedad	
Valor	**Descripción**
1	Las consecuencias del fallo son insignificantes
2 y 3	No existe consecuencia para seguridad y producción.
4, 5 y 6	Los efectos del modo de falla tienen consecuencia significativa en los costes directo del mantenimiento y una influencia pequeña en la producción.
7 y 8	Impacto importante del efecto del modo de falla en la producción y/o elevados costes directos de mantenimiento.
9 y 10	Graves consecuencias para seguridad y afines.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Criterio de frecuencia de fallos

Frecuencia de fallos	
Valor	Descripción
1	Menos de 1 en más de 10 años.
2	Entre 1 y 3 en más de 10 años.
3	Entre 1 y 3 en 10 años.
4	Entre 1 y 3 en 5 años.
5	Entre 1 y 3 en 2 años.
6	Entre 1 y 3 por año.
7	Entre 1 y 3 cada seis meses.
8	Entre 1 y 3 cada dos meses.
9	Entre 1 y 3 cada semanada.
10	Entre 1 y 3 por día.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12

Criterio de detectabilidad

Detectabilidad	
Valor	Descripción
1	No hay ninguna duda de que el fallo será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad
2	La detección es prácticamente certera, probablemente habrá que verla algún técnico u operario especializado.
3, 4 y 5	La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o tardar algún tiempo en diagnosticar el fallo.
6, 7 y 8	La detección entraña riesgos de no acertar, se necesitan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo.
9 y 10	La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se muestra la evaluación del número de prioridad de riesgo para los modos de falla, para esto se consideran los criterios de gravedad, frecuencia de falla, y detectabilidad, esto no permitirá priorizar que actividades de mantenimiento debes ser priorizadas.

4.1.7. Análisis de modos y efectos de fallas (AMFE)

Se procede a tomar como prioridad los modos de falla con Riesgo medio alto, se obtendrán planes de mantenimiento de acuerdo a reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, tareas a condición y ningún mantenimiento programado como se muestra en la **Tabla 13.**

Tabla 13

Análisis De Modos y Efectos De Fallas (AMFE) Toyota Hilux

FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO Y CONSECUENCIA	CAUSA POTENCIAL		FRECUENCIA DEL MODO DE FALLA	TIPO DE MANTENIMEINTO	ACCION A EJECUTAR	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	REALIZADO POR
Provee una potencia de 174.3 HP y un torque de 45.7 kg-m para una operación continua de 12 horas al día	1. A	Motor incapaz de proveer potencia necesaria	1.A. 1	Motor no arranca debido a batería dañada o descargada	No hay energía, no permite la traslación de la unidad, se produce perdida operacional, riesgo de agentes químicos	1.A.1. 1	Desgaste de batería	40000Km	Sustitución cíclica	cambio	30000KM	Técnico mecánico
						1.A.1. 2	Descarga de batería	-	A condición	análisis y/o recarga	5000KM	Técnico mecánico
						1.A.1. 3	Conexiones en mal estado o sueltas	-	A condición	reajuste, verificación y limpieza	5000KM	Técnico mecánico
			1.A. 2	Motor de arranque no acciona o no arranca	Motor de arranque no tiene fuerza para realizar giro de arranque al motor, produce perdida operacional.	1.A.2. 1	Bendix no propulsión la volante.	40000km	Sustitución cíclica	cambio	30000KM	Técnico mecánico
						1.A.2. 2	solenoide en mal estado	-	A condición	pruebas de motor de arranque	30000KM	Técnico mecánico

			1.A.3	Motor no enciende por problemas de inyección de combustible	Motor no da arranque por insuficiencia de presión de combustible.	1.A.3.1	Línea de combustible obstruida	-	A condición	verificación de limpieza de tanque, cambio de filtro de combustible	10000KM	Técnico mecánico
			1.A.4	Motor pierde potencia problemas sistema de common rail	Presencia de exceso de humo blanco gris y negro, perdida de potencia, ruido inusual o cascabeleo	1.A.4.1	Válvula de inyector fisurado	20000km	Mantenimiento y limpieza	verificación y limpieza de inyectores, prueba de inyección a 200mpa	15000KM	Técnico mecánico
						1.A.4.2	Tobera en mal estado por suciedad en combustible	20000km	Cambio	cambio de tobera y prueba de inyección a 200mpa	15000KM	Técnico mecánico
						1.A.4.3	Bomba de alta presión obstruida o dañada	80000Km	Mantenimiento y limpieza	cambio de válvula electrónica y mantenimiento de bomba	40000KM	Técnico mecánico
			1.A.5	Motor no arranca por problema de fusibles en corto circuito o por mala calidad	El motor no enciende, problemas con fusibles de sistema de encendido	1.A.5.1	Amperaje de fusibles no es el indicado.	-	Cambio	Cambio de fusible por el de capacidad necesaria.	-	Técnico mecánico
						1.A.5.2	Corto circuito	-	Mantenimiento y limpieza	Chequeo de circuito eléctrico	-	Técnico mecánico

			1.A.6	Motor no enciende por problemas de la ECU	El motor no enciende, problemas con la ECU	1.A.6	Corto circuito	-	Reparación	Reparación de ECU	-	Técnico mecánico
	2.A	Motor Provee baja Potencia	2.A.1	Motor presenta perdida de potencia debido a obstrucción de filtro de aire	Ocasiona riesgo de reducción de potencia, eficiencia de combustión	2.A.1.1	Tiempo de uso, falta de mantenimiento	8000km	Cambio	Cambio de filtro de aire	5000km	Técnico mecánico
			2.A.2	Motor presenta perdida de potencia por filtro de aceite en mal estado o obstruido	Ocasiona perdida de potencia de motor, dificulta paso de aceite libremente por el sistema de lubricación	2.A.2.1	Tiempo de uso, falta de mantenimiento	10000Km	Cambio	Cambio de aceite. Cambio de filtro de aceite	5000KM	Técnico mecánico
			2.A.3	Motor presenta perdida de potencia por filtro de combustible en mal estado	Ocasiona perdida de potencia de motor, Dificulta el paso de combustible a la bomba de alta presión de combustible	2.A.3.1	Tiempo de uso, Falta de mantenimiento	8000Km	Cambio	Cambio de filtro de combustible	5000KM	Técnico mecánico

			2.A.4	Motor presenta perdida de potencia por catalizador obstruido	Ocasiona perdida de potencia en motor, El catalizador no permite el flujo de gases de escape con libertad.	2.A.4.1	Tiempo de uso, Falta de mantenimiento	60000km	Mantenimiento	Desmontaje y mantenimiento al Catalizador	50000KM	Técnico mecánico
			2.A.5	Motor pierde potencia por falla de sensor de oxígeno o Sensor Lambda	Ocasiona perdida de potencia, la mezcla estequiométrica no es normal, lectura de oxígeno en la combustión no es correcta	2.A.5.1	Sensor de oxígeno está cubierto de carbonilla	20000km	Mantenimiento	Desmontaje de sensor, realizar limpieza y/o Cambio	25000KM	Técnico mecánico
			2.A.6	Motor pierde potencia por falla de turbocompresor en mal estado	Ocasiona perdida de potencia, el turbo no alcanza la presión necesaria	2.A.6.1	Eje central de turbocompresor tiene juego axial o radial	50000Km	Mantenimiento, verificación del aceite	Realizar mantenimiento, verificación el estado del aceite de motor	10000KM	Técnico mecánico
						2.A.6.2	Propela de turbo dañado por falta de lubricación o por un	60000Km	Mantenimiento y verificación de aceite	Realizar mantenimiento, Verificar el estado del aceite	10000KM	Técnico mecánico

							agente externo					
			2.A.7	Motor pierde potencia por falta de mantenimiento de intercooler	Ocasiona perdida de potencia en el motor, intercooler se encuentra con excesivo aceite en el interior	2.A.7.1	Intercooler se encuentra con exceso de aceite en el interior	6000Km	Mantenimiento	Verificación de Turbocompresor, realizar mantenimiento de intercooler y limpieza	10000KM	Técnico mecánico
						2.A.7.2	Intercooler presenta suciedad en disipadores de calor	15000Km	Mantenimiento	Limpieza exterior de aletas, verificación de daños externos	5000KM	Técnico mecánico
			2.A.8	Motor pierde potencia por Problema de válvula EGR	Ocasiona perdida de potencia de motor, válvula EGR no circula correctamente los gases	2.A.8.1	Válvula EGR presenta obstrucción interna	50000Km	Cambio	Realizar el cambio de la válvula EGR	40000KM	Técnico mecánico
			2.A.9	Motor presenta perdida de potencia por	Ocasiona perdida de potencia de motor, válvulas de	2.A.9.1	Guías de válvula desgastadas	250000Km	Cambio	Realizar rectificación de válvulas, cambio de guías	200000*KM*	Técnico mecánico

				problemas en válvulas	admisión y escape no sellan correctamente con el asiento	2.A.9.2	Asientos de válvula en mal estado.	250000Km	Rectificación, mantenimiento	Realizar rectificación de válvulas	200000*KM*	Técnico mecánico
			2.A.10	Motor presenta perdida de potencia, por falla de compresión	Ocasiona perdida de potencia de motor, La compresión no es la adecuada	2.A.10.1	Anillos de Piston desgastados	250000Km	Reparación	Realizar la reparación de motor	200000*KM*	Técnico mecánico
						2.A.10.2	Metales de Bancada desgastadas	250000Km	Reparación	Realizar reparación de motor, cambio de metales, verificación de tolerancias	200000KM	Técnico mecánico
			2.A.11	Motor presenta perdida de potencia por recalentamiento.	Ocasiona perdida de potencia de motor, la temperatura no es la correcta para la operación de motor.	2.A.11.1	Termostato dañado	50000Km	Cambio	Realizar el cambio respectivo de termostato	40000KM	Técnico mecánico
						2.A.11.2	Radiador obstruido o mal estado	80000Km	Mantenimiento	Realizar limpieza de radiador	70000KM	Técnico mecánico
						2.A.11.3	Mangueras de refrigeración resecas o en mal estado	80000Km	Cambio	Realizar el cambio de mangueras de refrigerante	70000KM	Técnico mecánico
						2.A.11.4	Refrigerante en mal estado o	40000Km	Cambio	Realizar el cambio de re refrigerante completo	35000KM	Técnico mecánico

							contaminado					
Permite la detención controlada del vehículo con una carrera mínima de pedal de 87mm cuando se presiona con una fuerza de 490 N y un límite de desgaste de las pastillas y de la balata del freno de estacionamiento de 1mm.	1. B	Sistema de freno no ejerce la fuerza necesaria para detener el vehículo	1.B.1	Discos no frenan por desgaste excesivo	Ocasiona riesgo a personal a accidentes de tránsito, la fuerza de frenado no es la indicada	1.B.1.1	Espesor de los discos fuera de las tolerancias	60000Km	Cambio	Realizar el cambio de Discos de freno	50000KM	Técnico mecánico
			1.B.2	Discos de freno fallan debido a las pastillas de freno o balatas	Ocasiona riesgo al personal a accidentes de tránsito, la fuerza de frenado es irregular	1.B.2.1	Espeso de las pastillas de freno están fuera de las tolerancias	10000Km	Cambio	Realizar Cambio de pastillas de freno y mantenimiento de frenos	5000KM	Técnico mecánico
			1.B.3	Tambor de freno no trabaja correctamente	Ocasiona riesgo al personal a accidentes de tránsito, La fuerza de frenado en parte posterior es inadecuada	1.B.3.1	Tolerancia de espesor de las zapatas de freno no es la adecuada	20000Km	Cambio	Realizar el cambio correspondiente de las zapatas de freno de tambor	15000KM	Técnico mecánico
						1.B.3.2	Bombín de freno Preseta desgaste interno	45000Km	Cambio	Realizar el cambio de bombín de freno, mantenimiento a tambores	30000KM	Técnico mecánico

						1.B.3.3	Espesor de los tambores de freno no está dentro de las tolerancias	80000Km	Cambio	Realizar el cambio de tambor de freno	75000KM	Técnico mecánico
						1.B.3.4	Suciedad y partículas dentro del tambor no dejan una buena frenada	8000Km	Mantenimiento	Realizar mantenimiento y limpieza a los frenos	5000KM	Técnico mecánico
			1.B.4	Sistema de frenos no tiene liquido suficiente	Ocasiona riesgo al personal, El sistema de freno pierde presión de funcionamiento	1.B.4.1	Fuga de líquido de frenos	-	Mantenimiento	Revisar periódicamente la línea de frenos	5000KM	Técnico mecánico
						1.B.4.2	Liquido de freno presenta humedad o cumplido con su tiempo de vida	80000Km	Cambio	Realizar el cambio de líquidos de frenos	75000KM	Técnico mecánico
			1.B.5	La bomba de freno presenta problemas	Ocasiona riesgo al personal de accidente de tránsito, Bomba de freno no	1.B.5.1	Los sellos internos de la bomba de freno se encuentran desgastados	15000Km	Mantenimiento	Realizar mantenimiento de bomba de freno, Realizar cambio de gomas	145000km	Técnico mecánico

				entrega la presión necesaria de trabajo							
			1.B.6	Actuador de ABS presenta problemas de funcionamiento	Ocasiona riesgo al personal, El Actuador de ABS no manda correctamente la presión necesaria a cada rueda	1.B.6.1	Válvulas internas en mal estado	-	Cambio a condición	Realizar el cambio respectivo a actuador de ABS		Técnico mecánico
						1.B.6.2	Sensor de freno de ABS Dañado o con suciedad	-	Mantenimiento Frecuente	Realizar la limpieza de los sensores al momento de desarmar	5000KM	Técnico mecánico

Nota. Elaboración propia.

4.1.8. Plan de mantenimiento

Tabla 14

Plan de mantenimiento Toyota Hilux

| | | KILOMETROS | | | | | | | | | | |

| | | |

| | | |

| | | |

| | | |

Tabla 15

Ficha técnica Dimensiones y carga

Parámetro	Especificación
Modelo	**B380R Euro 5**
Dimensiones	
A - Largo total de chasis (mm)	9.75
D - Entre ejes de transporte (mm)	4
G - Voladizo delantero (mm)	2.5
H - Voladizo trasero (mm)	3.25
I - Ancho centro de ruedas delanteras (mm)	2.054
K - Ancho centro de ruedas traseras (mm)	1.836
L - Ancho total ruedas delanteras (mm)	2.476
N - Ancho total ruedas traseras (mm)	2.464
O - Ángulo de ataque (°)	8,5°
P - Ángulo de salida (°)	7,3°
Carga	
Carga máxima permitida en el eje delantero (kg)	7.5
Carga máxima permitida en el eje trasero (kg)	12
Capacidad de carga total (kg)	19.5

Nota. Elaboración propia.

Tabla 16

Ficha técnica: Motor y ejes

Parámetro	Especificación
Motor	**D11C370**
Nivel de emisiones	Euro 5
Sistema de inyección	Inyector bomba
Cilindrada (dm^3)	10.8
Cilindros	6
Potencia (hp) / Potencia ISO (kW)	370 / 272
Torque ISO 1585 (Nm)	1.785
Rango de revoluciones de torque (rpm)	950 - 1.400
Ejes	
Eje delantero	Rígido
Eje trasero	RS1228C

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17

Ficha técnica: Suspensión y dirección

Parámetro	Especificación
Modelo	B380R Euro 5
Relación de eje trasero	2,64 : 1
Suspensión y dirección	
Cámaras de aire tipo fuelle, delantera	2
Cámaras de aire tipo fuelle, trasera	4
Arrodillamiento lateral de la suspensión para embarque y desembarque	
Dirección hidráulica	ZF8098
Ángulo máximo de giro	52°

Nota. Elaboración propia.

4.2.2. Características técnicas

4.2.2.1. Motor Electrónico de Alto Rendimiento

- ✓ Potente motor diésel de 10,8 litros, generando 375.11 CV (370HP) y un torque de 1.785 Nm.
- ✓ Eficiencia en el consumo de combustible respaldada por sensores de incendio del motor para garantizar un viaje seguro.

4.2.2.2. Referente de Protección

- ✓ Sistema de frenos de disco y EBS5, asegurando una eficacia de frenado excepcional y respuesta inmediata.
- ✓ Suspensión neumática controlada electrónicamente para proporcionar una conducción suave y estable, incluso en condiciones adversas.
- ✓ Activación automática del sistema ESP en caso de riesgo de vuelco para mantener el vehículo en su trayectoria original.

4.2.2.3. Freno de Motor Volvo (VEB)

- ✓ Tecnología exclusiva de Volvo para reducir el desgaste de las piezas y prolongar la vida útil del freno.

- ✓ Potencia de frenado impresionante, alcanzando hasta 390 CV.
- ✓ Caja de Cambios I-Shift:
- ✓ Transmisión automática inteligente de 12 velocidades que cambia marchas automáticamente.
- ✓ Contribuye a viajes cómodos, mejora en prestaciones, seguridad y bajos niveles de consumo de combustible.

4.2.3. Características adicionales

4.2.3.1. Seguridad Integral

Enfoque exhaustivo en la seguridad para garantizar que sea el vehículo más seguro del mercado.

4.2.3.2. Eficiencia del Combustible:

Motor D11C con bajo consumo de combustible, optimizado para eficiencia incluso con distintas cargas de pasajeros.

4.2.3.3. Disponibilidad Operativa:

Servicios especializados y repuestos originales Volvo aseguran un alto nivel de tiempo de actividad y un rendimiento óptimo durante varios años.

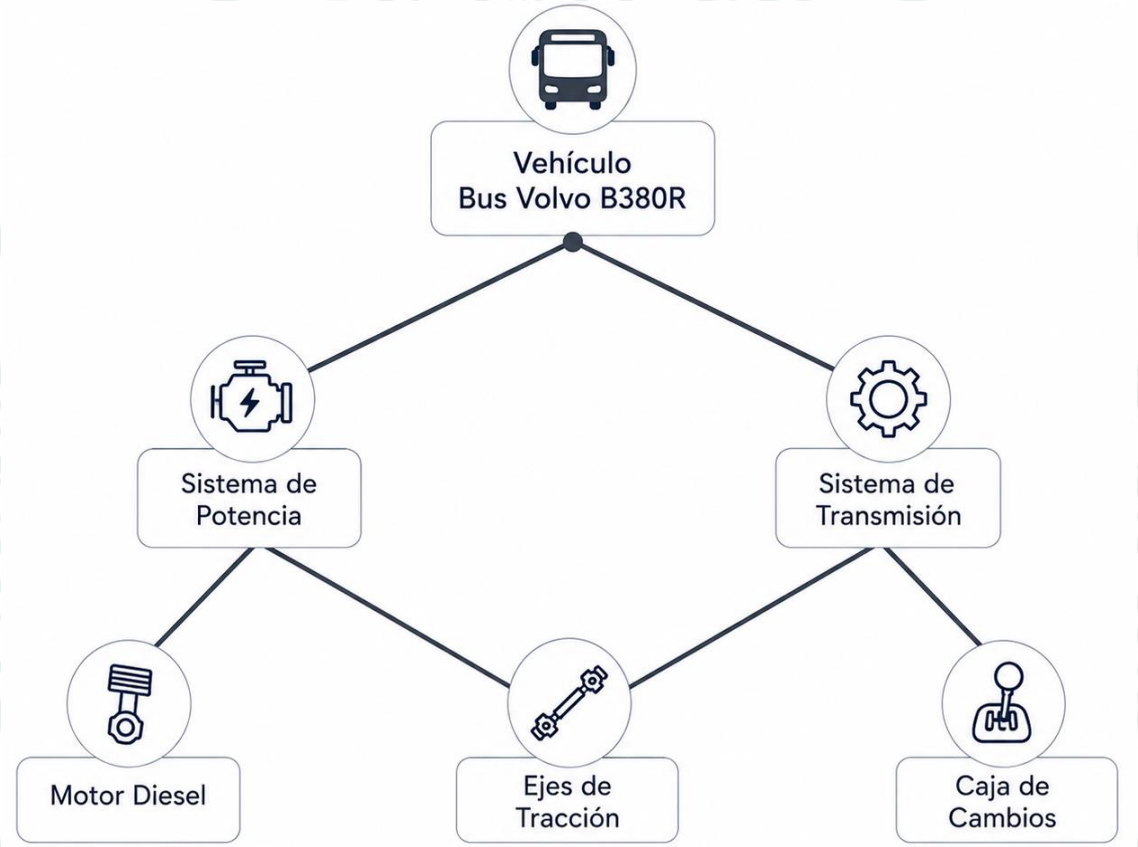
En resumen, el Volvo B380R Chasis combina potencia, seguridad, eficiencia y confiabilidad para satisfacer las demandas del transporte de personal en sectores exigentes, consolidándose como una opción líder en el mercado.

4.2.4. Taxonomía del activo (Bus Volvo B380R4X2)

En la **figura 20**, **figura 21**, se muestra la taxonomía activa de los sistemas importantes de la camioneta Bus Volvo y Distribución de la taxonomía respectivamente.

Figura 20

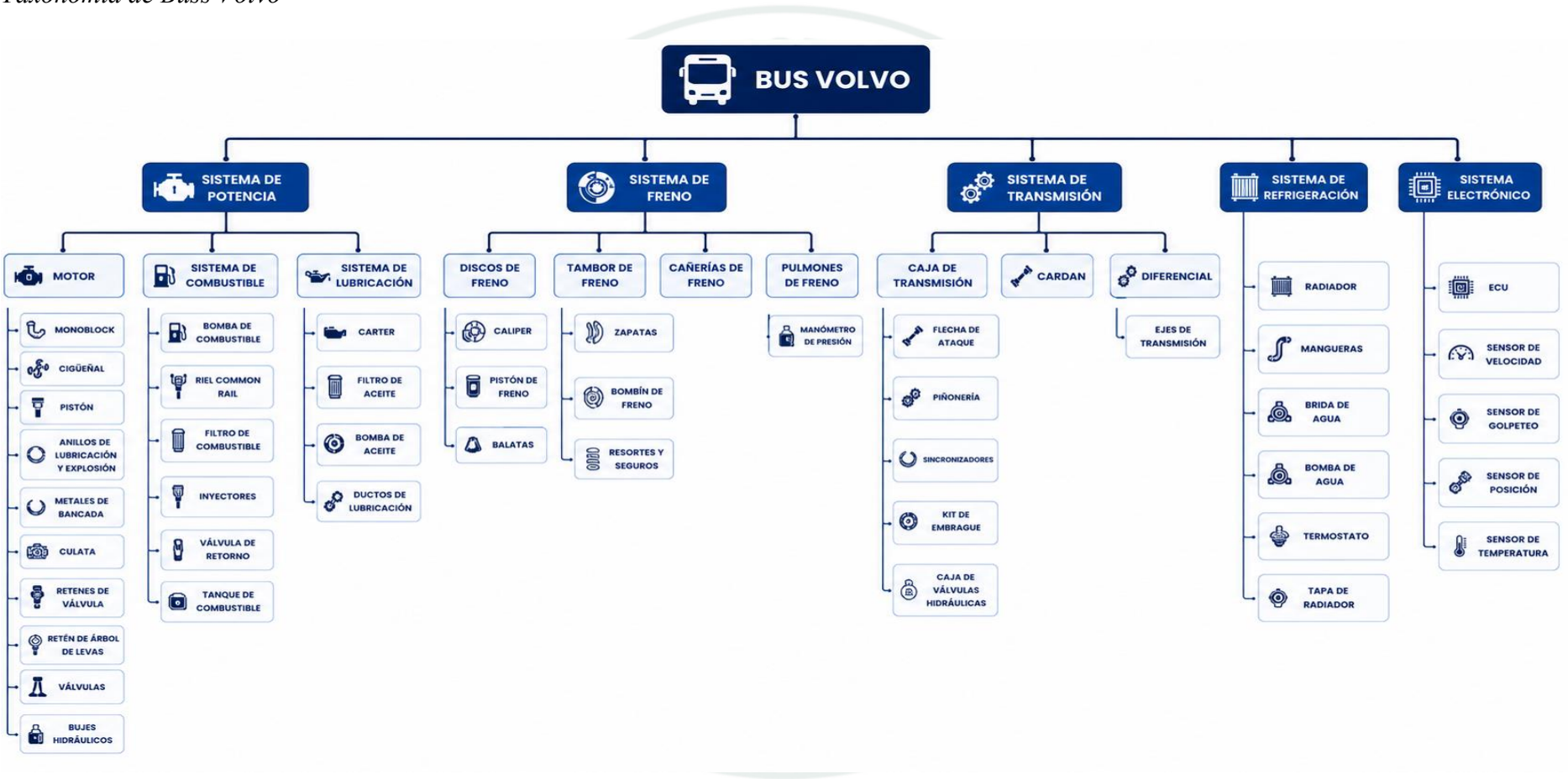
Taxonomía del Activo Bus Volvo



Nota. Elaboración propia.

Figura 21

Taxonomía de Buss Volvo



Nota. Elaboración propia.

Tabla 18

Jerarquía de taxonomía Bus Volvo

Nivel	Jerarquía de taxonomía					
1	Minería					
2	Explotación y procesamiento de minerales					
3	Planta de Procesamiento de Minerales					
4	Transporte					
5	Transporte de personal					
6	Bus Volvo B380R4X2)					
7	Sistema de potencia	Estructura	sistema eléctrico	Sistema de transmisión	Sistema de suspensión	Sistema de frenado
8	Sistema de motor	Bastidor	Sistema de arranque, luces	Mecanismos de transmisión	Amortiguadores	Discos de freno
	Radiador	estructura	baterías	Embrague	Amortiguadores delanteros y traseros	Discos de freno delanteros y traseros
	Enfriador	guardas	Alternador	Caja de velocidades	Resortes	Pinzas de freno
	turbocompresor	estabilizador	Arrancador	Árbol de transmisión	Topes de suspensión	Pastillas de freno
9	inyectores	soportes	Motor de arranque	Par cónico diferencial	Soportes de amortiguadores	Sistema hidráulico de frenos (cilindro maestro, bomba de freno)
	bomba de agua	-	Faros delanteros y traseros	-	-	-
	bomba de combustible	-	Luces interiores y exteriores	-	-	-
	monoblock	-	Interruptores y relés asociados	-	-	-

	culata	-	-	-	-	-
	filtros de combustible	-	-	-	-	-
	filtros de aire	-	-	-	-	-
	aceites	-	-	-	-	-
	filtros	-	-	-	-	-

Nota. Elaboración propia.

4.2.5. Análisis de modos y efectos de fallas en el equipo VOLVO

Se realiza la evaluación de criticidad para los diferentes sistemas correspondientes al equipo Volvo como se muestra en la **figura 19**.

Tabla 19

Evaluación de la criticidad de los sistemas del Bus Volvo

	Factor de sistemas del equipo	Factor de recurrencia de fallas	Factor de impacto operacional	Factor de flexibilidad operacional	Facto de costo del mantenimiento correctivo	Factor de seguridad y ambiente	consecuencia	Total
Sistemas principales	Sistema de potencia	2	10	4	1	8	49	98
	Sistema de transmisión	2	10	4	1	2	43	86
	Sistema de frenado	3	8	2	1	8	25	75
	Estructura	2	8	2	1	8	25	50
	sistema eléctrico	2	8	2	1	4	21	42
	Sistema de suspensión	2	4	2	1	8	17	34

Nota. Elaboración propia.

De la evaluación de criticidad se encuentra que los sistemas más críticos son el sistema de potencia, el sistema de transmisión y el sistema de frenado.

4.2.6. Funciones del activo

4.2.6.1. Función principal del activo (bus Volvo)

Se realiza la evaluación principal del Bus Volvo para los diferentes sistemas correspondientes como se muestra en la **Tabla 20**.

Tabla 20

Función principal del activo (bus Volvo)

Función primaria	Falla total	Falla parcial
Permite el trasporte de los trabajadores al centro laboral en mina	Incapaz de transportar personal en cerro verde	Permite transportar personal con ineficiencia en la velocidad, ineficiencia en el par y en el tiempo requerido

Nota. Elaboración propia.

4.2.6.2. Función primaria del sistema de potencia Bus Volvo

Se realiza la evaluación Función primaria del sistema de potencia Bus Volvo como se muestra en la **Tabla 21**.

Tabla 21

Función primaria del sistema de potencia Bus Volvo

Función primaria	Falla total	Falla parcial
Provee una potencia generando 375.11 CV (370HP) y un torque de 1.785 Nm con velocidad de rotación de hasta 1400RPM	Motor incapaz de proveer potencia	Motor provee baja potencia

Nota. Elaboración propia.

4.2.6.3. Funciones secundarias del sistema de potencia Bus Volvo

Se realiza la evaluación Funciones secundarias del sistema de potencia Bus Volvo como se muestra en la **Tabla 22**.

Tabla 22

Funciones secundarias del sistema de potencia Bus Volvo

FUNCIONES SECUNDARIAS DEL SISTEMA DE POTENCIA			
Tipo de función	**Función secundaria**	**Falla total**	**Falla parcial**
Medio ambiente	Evitar la contaminación debido a hidrocarburos	Es Incapaz de contener los hidrocarburos	Se presentan fugas leves
	Evitar contaminación de la atmosfera por emisiones de gases del escape	Incapaz de tratar los gases de escape	Aumento en la emisión de gases en el sistema de escape
Seguridad	Proteger al personal de lesiones por superficies calientes	Incapaz de aislar las altas temperaturas	Desprendimiento parcial de placas aislantes térmicas
	Proteger al personal de daños en la audición	Incapaz de aislar el ruido a 80dB	Aumento del ruido sobre los 80dB sin embargo es de forma intermitente
Protección	Protección del Carter ante posibles impactos contra obstáculos en la carretera	Ausencia de la cubierta del cárter	mal funcionamiento de la cubierta del cárter, o demasiado dañado
	Protección contra partículas dañinas	Filtros de aire y aceite ausentes, permitiendo que partículas dañinas alcancen el motor	Filtros de aire y aceite ineficaces o desgastados
	Protección contra sobrecalentamientos	El sistema de refrigeración, no funciona	El sistema de refrigeración funciona ineficazmente
Eficiencia	Entregar 375.11 CV (370HP) y un torque de 1.785 Nm.	Incapaz de entregar potencia	Disminución de la potencia

Nota. Elaboración propia.

4.2.6.4. Función primaria del sistema de frenado Bus Volvo

Se realiza la evaluación Función primaria del sistema de frenado Bus Volvo como se muestra en la **Tabla 23.**

Tabla 23

Función primaria del sistema de frenado Bus Volvo

Función primaria	Falla total	Falla parcial
Permite la detención controlada del vehículo con una potencia de frenado de hasta 390 CV.	Sistema de frenado incapaz de detener el vehículo	Sistema de frenado detiene el vehículo con dificultad

Nota. Elaboración propia.

4.2.6.5. Función primaria del sistema de transmisión Bus Volvo

Se realiza la evaluación Función primaria del sistema de frenado Bus Volvo como se muestra**.**

Función primaria	Falla total	Falla parcial
Transmite una potencia de 375.11 CV (370HP) y un torque de 1.785 Nm.	Sistema de transmisión incapaz de entregar potencia	Sistema de transmisión entrega baja potencia

Nota. Elaboración propia.

4.2.6.6. Funciones secundarias del sistema de transmisión Bus Volvo

Se realiza la evaluación Función primaria del sistema de transmisión Bus Volvo como se muestra en la **Tabla 24.**

Tabla 24

Función primaria del sistema de transmisión Bus Volvo

FUNCIONES SECUNDARIAS DEL SISTEMA DE TRANSMISION			
Tipo de función	**Función secundaria**	**Falla total**	**Falla parcial**
Medio ambiente	Entrega potencia eficientemente evitando el desperdicio innecesario de energía	Es Incapaz de entregar potencia	Entrega potencia ineficientemente

Seguridad	Proteger al personal de lesiones por superficies calientes	Incapaz de aislar las altas temperaturas	Desprendimiento parcial de placas aislantes térmicas
	Proteger al personal de daños en la audición	Incapaz de aislar el ruido a 80dB	Aumento del ruido sobre los 80dB sin embargo es de forma intermitente
Protección	Protección del sistema de motor ante posibles sobrecargas	Incapaz de proteger el sistema motor ante sobrecargas	Protege de manera parcial el sistema motor ante sobrecargas
	Protección contra partículas dañinas	Filtros de aceite ausentes, permitiendo que partículas dañinas alcancen el motor	Filtros de aceite ineficaces o desgastados
	Protección contra sobrecalentamientos	El sistema de refrigeración, no funciona	El sistema de refrigeración funciona ineficazmente
Eficiencia	Entregar potencia de 375.11 CV (370HP) y un torque de 1.785 Nm.	Incapaz de entregar potencia	Disminución de la potencia

Nota. Elaboración propia.

4.2.6.7. Modos de falla Bus Volvo

Se realiza el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMFE) Bus Volvo como se muestra en la **Tabla 25.**

Tabla 25

Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMFE) Bus Volvo

FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO Y CONSECUENCIA	CAUSA POTENCIAL		FRECUENCIA DEL MODO DE FALLA	TIPO DE MANTENIMEINTO	ACCION A EJECUTAR	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	REALIZADO POR
Provee una potencia de 174.3 HP y un torque de 45.7 kg-m para una operación continua de 12 horas al día	1.A	Motor incapaz de proveer potencia necesaria	1.A.1	Motor no arranca debido a batería dañada o descargada	No hay energía, no permite la traslación de la unidad, se produce perdida operacional, riesgo de agentes químicos	1.A.1.1	Desgaste de batería	40000KM	Sustitución cíclica	cambio	30000KM	Técnico Mecánico
						1.A.1.2	Descarga de batería	-	A condición	Análisis y/o recarga	5000KM	Técnico Mecánico
						1.A.1.3	Conexiones en mal estado o sueltas	-	A condición	Reajuste, verificación y limpieza	5000KM	Técnico Mecánico
			1.A.2	Motor de arranque no	Motor de arranque no tiene fuerza	1.A.2.1	Bendix no propulsión la volante.	40000km	Sustitución cíclica	cambio	30000KM	Técnico Mecánico

				acciona o no arranca	para realizar giro de arranque al motor, produce perdida operacional.	1.A.2.2	solenoide en mal estado	-	A condición	pruebas de motor de arranque	30000KM	Técnico Mecánico
			1.A.3	Motor no enciende por problemas de inyección de combustible	Motor no da arranque por insuficiencia de presión de combustible.	1.A.3.1	Línea de combustible obstruida	-	A condición	verificación de limpieza de tanque, cambio de filtro de combustible	10000KM	Técnico Mecánico

			1.A.4	Motor pierde potencia problemas sistema de common rail	Presencia de exceso de humo blanco gris y negro, perdida de potencia, ruido inusual o cascabeleo	1.A.4.1	Válvula de inyector fisurado	20000km	Mantenimiento y limpieza	verificación y limpieza de inyectores, prueba de inyección a 200mpa	15000KM	Técnico Mecánico
						1.A.4.2	Tobera en mal estado por suciedad en combustible	20000km	Cambio	cambio de tobera y prueba de inyección a 200mpa	15000KM	Técnico Mecánico

						1.A.4.3	Bomba de alta presión obstruida o dañada	80000KM	Mantenimiento y limpieza	cambio de válvula electrónica y mantenimiento de bomba	40000KM	Técnico Mecánico
			1.A.5	Motor no arranca por problema de fusibles en corto circuito o por mala calidad	El motor no enciende, problemas con fusibles de sistema de encendido	1.A.5.1	Amperaje de fusibles no es el indicado.	-	Cambio a condición	Cambio de fusible por el de capacidad necesaria.	-	Técnico Mecánico
						1.A.5.2	Corto circuito	-	Mantenimiento y limpieza	Chequeo de circuito eléctrico	5000KM	Técnico Mecánico
			1.A.6	Motor no enciende por problemas de la ECU	El motor no enciende, problemas con la ECU	1.A.6	Corto circuito	-	Reparación	Reparación de ECU	-	Técnico Mecánico

	2. A	Motor Provee baja Potencia	2.A. 1	Motor presenta perdida de potencia debido a obstrucción de filtro de aire	Ocasiona riesgo de reducción de potencia, eficiencia de combustión	2.A.1. 1	Tiempo de uso, falta de mantenimie nto	8000km	cambio	Cambio de filtro de aire	5000km	Técnico Mecánico
			2.A. 2	Motor presenta perdida de potencia por filtro de aceite en mal estado o obstruido	Ocasiona perdida de potencia de motor, dificulta paso de aceite libremente por el sistema de lubricación	2.A.2. 1	Tiempo de uso, falta de mantenimie nto	10000Km	cambio	Cambio de aceite. Cambio de filtro de aceite	5000KM	Técnico Mecánico
			2.A. 3	Motor presenta perdida de potencia por filtro de combustibl e en mal estado	Ocasiona perdida de potencia de motor, Dificulta el paso de combustible a la bomba de alta presión de combustible	2.A.3. 1	Tiempo de uso, Falta de mantenimie nto	8000KM	cambio	Cambio de filtro de combustible	5000KM	Técnico Mecánico

			2.A.4	Motor presenta perdida de potencia por catalizador obstruido	Ocasiona perdida de potencia en motor, El catalizador no permite el flujo de gases de escape con libertad.	2.A.4.1	Tiempo de uso, Falta de mantenimiento	60000km	mantenimiento	Desmontaje y mantenimiento al Catalizador	50000KM	Técnico Mecánico
			2.A.5	Motor pierde potencia por falla de sensor de oxígeno o Sensor Lambda	Ocasiona perdida de potencia, la mezcla estequiométrica no es normal, lectura de oxígeno en la combustión no es correcta	2.A.5.1	Sensor de oxígeno esta cubierto de carbonilla	20000km	mantenimiento	Desmontaje de sensor, realizar limpieza y/o Cambio	25000KM	Técnico Mecánico
			2.A.6	Motor pierde potencia por falla de turbocompresor en mal estado	Ocasiona perdida de potencia, el turbo no alcanza la presión necesaria	2.A.6.1	Eje central de turbocompresor tiene juego axial o radial	50000Km	Mantenimiento, Verificación del aceite	Realizar mantenimiento, verificación el estado del aceite de motor	40000km	Técnico Mecánico

						2.A.6.2	Propela de turbo dañado por falta de lubricación o por un agente externo	60000Km	Mantenimiento y verificación de aceite	Realizar mantenimiento, Verificar el estado del aceite	40000km	Técnico Mecánico
			2.A.7	Motor pierde potencia por falta de mantenimiento de intercooler	Ocasiona perdida de potencia en el motor, intercooler se encuentra con excesivo aceite en el interior	2.A.7.1	Intercooler se encuentra con exceso de aceite en el interior	6000Km	Mantenimiento	Verificación de Turbocompresor, realizar mantenimiento de intercooler y limpieza	10000KM	Técnico Mecánico
						2.A.7.2	Intercooler presenta suciedad en disipadores de calor	15000Km	Mantenimiento	Limpieza exterior de aletas, verificación de daños externos	5000KM	Técnico Mecánico

			2.A.8	Motor pierde potencia por Problema de válvula EGR	Ocasiona perdida de potencia de motor, válvula EGR no circula correctamente los gases	2.A.8.1	Válvula EGR presenta obstrucción interna	50000Km	cambio	Realizar el cambio de la válvula EGR	40000KM	Técnico Mecánico
			2.A.9	Motor presenta perdida de potencia por problemas en válvulas	Ocasiona perdida de potencia de motor, válvulas de admisión y escape no sellan correctamente con el asiento	2.A.9.1	Guías de válvula desgastadas	250000Km	cambio	Realizar rectificación de válvulas, cambio de guías	240000KM	Técnico Mecánico
						2.A.9.2	Asientos de válvula en mal estado.	250000Km	Rectificación, mantenimiento	Realizar rectificación de válvulas	240000KM	Técnico Mecánico
			2.A.10	Motor presenta perdida de potencia,	Ocasiona perdida de potencia de motor, La	2.A.10.1	Anillos de Piston desgastados	250000Km	Reparación	Realizar la reparación de motor	240000KM	Técnico Mecánico

				por falla de compresión	compresión no es la adecuada	2.A.10.2	Metales de Bancada desgastadas	250000Km	Reparación	Realizar reparación de motor, cambio de metales, verificación de tolerancias	240000KM	Técnico Mecánico
			2.A.11	Motor presenta perdida de potencia por recalentamiento.	Ocasiona perdida de potencia de motor, la temperatura no es la correcta para la operación de motor.	2.A.11.1	Termostato dañado	50000Km	cambio	Realizar el cambio respectivo de termostato	40000KM	Técnico Mecánico
						2.A.11.2	Radiador obstruido o mal estado	80000Km	mantenimiento	Realizar limpieza de radiador	70000KM	Técnico Mecánico
						2.A.11.3	Mangueras de refrigeración resecas o en mal estado	80000Km	Cambio	Realizar el cambio de mangueras de refrigerante	70000KM	Técnico Mecánico

						2.A.11.4	Refrigerante en mal estado o contaminado	40000Km	Cambio	Realizar el cambio de re refrigerante completo	35000KM	Técnico Mecánico
Permite la detención controlada del vehículo con una carrera mínima de pedal de 87mm cuando se presiona con una fuerza de 490 N y un límite de desgaste de las pastillas y de la balata del freno de estacionamiento de 1mm.	1. B	Sistema de freno no ejerce la fuerza necesaria para detener el vehículo	1.B.1	Discos no frenan por desgaste excesivo	Ocasiona riesgo a personal a accidentes de tránsito, la fuerza de frenado no es la indicada	1.B.1.1	Espesor de los discos fuera de las tolerancias	60000Km	Cambio	Realizar el cambio de Discos de freno	50000KM	Técnico Mecánico
			1.B.2	Discos de freno fallan debido a las pastillas de freno o balatas	Ocasiona riesgo al personal a accidentes de tránsito, la fuerza de frenado es irregular	1.B.2.1	Espeso de las pastillas de freno están fuera de las tolerancias	10000Km	Cambio	Realizar Cambio de pastillas de freno y mantenimiento de frenos	5000KM	Técnico Mecánico
			1.B.3	Tambor de freno no trabaja correctamente	Ocasiona riesgo al personal a accidentes de tránsito, La fuerza de frenado en	1.B.3.1	Tolerancia de espesor de las zapatas de freno no es la adecuada	20000Km	Cambio	Realizar el cambio correspondiente de las zapatas de freno de tambor	15000KM	Técnico Mecánico

					parte posterior es inadecuada	1.B.3.2	Bombín de freno Preseta desgaste interno	45000Km	Cambio	Realizar el cambio de bombín de freno, mantenimiento a tambores	30000KM	Técnico Mecánico
						1.B.3.3	Espesor de los tambores de freno no está dentro de las tolerancias	80000Km	Cambio	Realizar el cambio de tambor de freno	75000KM	Técnico Mecánico
						1.B.3.4	Suciedad y partículas dentro del tambor no dejan una buena frenada	8000Km	Mantenimiento	Realizar mantenimiento y limpieza a los frenos	5000KM	Técnico Mecánico
			1.B.4	Sistema de frenos no tiene liquido suficiente	Ocasiona riesgo al personal, El sistema de freno pierde presión de	1.B.4.1	Fuga de líquido de frenos	-	Mantenimiento	Revisar periódicamente la línea de frenos	5000KM	Técnico Mecánico

					funcionamiento	1.B.4.2	Liquido de freno presenta humedad o cumplió con su tiempo de vida	80000Km	Cambio	Realizar el cambio de líquidos de frenos	75000KM	Técnico Mecánico
			1.B.5	La bomba de freno presenta problemas	Ocasiona riesgo al personal de accidente de tránsito, Bomba de freno no entrega la presión necesaria de trabajo	1.B.5.1	Los sellos internos de la bomba de freno se encuentran desgastados	15000Km	Mantenimiento	Realizar mantenimiento de bomba de freno, Realizar cambio de gomas	145000km	Técnico Mecánico
			1.B.6	Actuador de ABS presenta problemas de	Ocasiona riesgo al personal, El Actuador de ABS no manda	1.B.6.1	Válvulas internas en mal estado	-	Cambio a condición	Realizar el cambio respectivo a actuador de ABS		Técnico Mecánico

				funcionamiento	correctamente la presión necesaria a cada rueda	1.B.6.2	Sensor de freno de ABS Dañado o con suciedad	-	Mantenimiento Frecuente	Realizar la limpieza de los sensores al momento de desarmar	5000KM	Técnico Mecánico
Transmite una potencia de 375.1 y un torque de 1785nm	1.c	falla de sistema de transmisión	1.C.1	Sistema de transmisión presenta problemas, no transmite correctamente la potencia de motor a la caja de cambios	Ocasiona riesgo al personal, No transmite correctamente la potencia del motor a la caja de cambios	1.C.1.1	Disco de embrague patina por desgaste excesivo	70000km	Mantenimiento frecuente	Cambio de kit de embrague	60000km	Técnico Mecánico
						1.C.1.2	Plato prensor presenta desgaste en el diafragma	75000km	Mantenimiento frecuente	Cambio de kit de embrague	60000KM	Técnico Mecánico
						1.C.1.3	Volante de inercia presenta excesivo desgaste	120000Km	Mantenimiento frecuente	Verificación de espesor y linealidad de volante de inercia	60000KM	Técnico Mecánico

						1.C.1.4	Volante de inercia quemado por mala operación	-	A CONDICION	Cambio de kit de embrague	-	Técnico Mecánico
			1.C.2	Sistema de transmisión presenta problemas, cambios no entran correctamente.	Ocasiona riesgo al personal, no selecciona correctamente los cambios	1.C.2.1	Sincronizadoras desgastados en mal estado por tiempo de uso o mala operación	160000Km	Reparación	Cambio de sincronizadores y cubos selectores	150000km	Técnico Mecánico
						1.C.2.2	Sincronizadores desgastados por mal cambio de aceite	-	Mantenimiento Frecuente	cambio de aceite de caja	25000km	Técnico Mecánico

Nota. Elaboración propia.

4.2.7. Plan de mantenimiento BusVolvo

Se realiza el Plan de mantenimiento Bus Volvo como se muestra en la **Tabla 26.**

Tabla 26

Plan de mantenimiento Bus Volvo

Actividad	Frecuencia	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000	65000	70000	75000	80000	85000	90000	95000	100000	105000	110000	115000	120000	125000	130000	135000	140000	145000	150000	155000	160000	165000	170000	175000	180000	185000	190000	195000	200000	205000	210000	215000	220000	225000	230000	235000	240000	245000	250000
Afinamiento electrónico	5000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio de filtro de aceite, filtro de combustible, filtro de aire	5000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio de batería	30000						X						X						X						X						X						X					X					X			
Mantenimiento de motor de arranque	30000						X						X						X						X						X						X					X					X			
Mantenimiento a sistema de combustible (sistema	10000		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X

| | | |

| | | |

| | | |

| | | |

4.2.8. Planes de mantenimiento

Se realiza los Costos Toyota Hilux como se muestra en la **Tabla 27.**

Tabla 27

Costos Toyota Hilux

COSTOS DE MANTENIMIENTO DE TOYOTA HILUX									
UNIDADES		**TOYOTA HILUX 1GD**							
Frecuencia	**T (H)**	**Tipo De Mantt**	**Descripción Del Mantenimiento**	**Cant**	**Costo Unitario Material**	**Costo Mano De Obra Por Hora**	**Costo Total De Mano De Obra**	**Costo Total De Material**	**Costo Total**
5000	1	Reacondicionamiento Cíclico	Revisión y ajuste de las conexiones eléctricas.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
5000	1	Reacondicionamiento Cíclico	Inspeccionar y ajustar las conexiones, limpiar la corrosión, realizar un montaje adecuado.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
5000	2	Tareas a Condición	Inspeccionar la bomba de combustible desgastada	1		S/ 30.00	S/ 60.00	S/ -	S/ 60.00
5000	1	Reacondicionamiento Cíclico	Inspeccionar y ajustar las conexiones, limpiar	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00

			la corrosión, realizar un montaje adecuado.						
5000	2	Tareas a Condición	Inspeccionar la bomba de combustible desgastada	1		S/ 30.00	S/ 60.00	S/ -	S/ 60.00
5000	1	Sustitución Cíclica	Reemplazo del filtro de aire con un elemento de calidad adecuada.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
5000	2	Tareas a Condición	Inspección de los pernos y revisión del montaje.	1		S/ 30.00	S/ 60.00	S/ -	S/ 60.00
5000	1	Tareas a Condición	Ajuste adecuado o reemplazo de las fajas de ventilador.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
5000	1	Tareas a Condición	Inspección de las pastillas de freno y limpieza adecuada.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
10000	3	Reacondicionamiento Cíclico	Drenar y limpiar el sistema de combustible, reemplazar el filtro, verificar el suministro.	1		S/ 30.00	S/ 90.00	S/ -	S/ 90.00
10000	2	Sustitución Cíclica	Reemplazar el filtro obstruido, realizar cambios regulares, mejorar el mantenimiento preventivo.	1	S/ 178.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 178.00	S/ 238.00

10000	1	Sustitución Cíclica	Reemplazo del filtro de aire.	1	S/ 200.00	S/ 30.00	S/ 30.00	S/ 200.00	S/ 230.00
10000	2	Sustitución Cíclica	Reemplazo del filtro de aceite de motor y uso de aceite de calidad.	1	S/ 67.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 67.00	S/ 127.00
10000	1	Sustitución Cíclica	Reemplazo del filtro separador de agua	1	S/ 240.00	S/ 30.00	S/ 30.00	S/ 240.00	S/ 270.00
10000	2	Reacondicionamiento Cíclico	Reparar el daño en el tanque, limpiar el área afectada, rellenar el combustible.	1		S/ 30.00	S/ 60.00	S/ -	S/ 60.00
10000	1	Tareas a Condición	Inspección del sensor de temperatura del motor.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
10000	1	Tareas a Condición	Diagnóstico y reparación de problemas en el sistema de combustible.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
10000	4	Reacondicionamiento Cíclico	Limpieza o reemplazo de la válvula EGR y mantenimiento regular.	1	S/ 240.00	S/ 30.00	S/ 120.00	S/ 240.00	S/ 360.00
10000	1	Tareas a Condición	Reparación de las fugas y mantenimiento regular del sistema EGR.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
10000	0.5	Tareas a Condición	Inspección de las válvulas desgastadas y	1		S/ 30.00	S/ 15.00	S/ -	S/ 15.00

			mantenimiento adecuado.						
10000	1	Tareas a Condición	Inspección y Rectificación de los asientos de válvula y ajuste adecuado.	1		S/ 30.00	S/ 30.00	S/ -	S/ 30.00
10000	2	Tareas a Condición	Reparación de la fuga y mantenimiento adecuado.	1		S/ 30.00	S/ 60.00	S/ -	S/ 60.00
20000	2	Tareas a Condición	Apriete adecuado de los pernos y verificación del montaje.	1		S/ 30.00	S/ 60.00	S/ -	S/ 60.00
20000	3	Reacondicionamiento Cíclico	Eliminación de la obstrucción o reemplazo de componentes del sistema de escape.	1	S/ 450.00	S/ 30.00	S/ 90.00	S/ 450.00	S/ 540.00
20000	2	Tareas a Condición	Inspección del sello del turbocompresor y mantenimiento adecuado.	1	S/ 200.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 200.00	S/ 260.00
20000	2	Tareas a Condición	Inspección de los anillos y mantenimiento adecuado.	1	S/ 300.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 300.00	S/ 360.00
20000	2	Tareas a Condición	Inspección de los cilindros y mantenimiento adecuado.	1	S/ 470.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 470.00	S/ 530.00

20000	2	Reacondicionamiento Cíclico	Inspección de los discos de freno y ajuste adecuado.	1		S/ 30.00	S/ 60.00	S/ -	S/ 60.00
25000	2	Sustitución Cíclica	Reemplazo del radiador y mantenimiento adecuado.	1	S/ 778.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 778.00	S/ 838.00
25000	1	Sustitución Cíclica	Reemplazo de las pastillas de freno y ajuste adecuado.	4	S/ 200.00	S/ 30.00	S/ 30.00	S/ 800.00	S/ 830.00
25000	2	Sustitución Cíclica	Reemplazo de los discos de freno y ajuste adecuado.	4	S/ 370.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 1,480.00	S/ 1,540.00
25000	2	Sustitución Cíclica	Reemplazar la batería débil	1	S/ 680.00	S/ 30.00	S/ 60.00	S/ 680.00	S/ 740.00
25000	3	Sustitución Cíclica	Reemplazar el motor de arranque desgastado, realizar un mantenimiento preventivo.	1	S/ 1,500.00	S/ 30.00	S/ 90.00	S/ 1,500.00	S/ 1,590.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 28

Costos de mantenimiento Bus Volvo

COSTO DE MANTENIMIENTO DE BUS VOLVO								
UNIDADES		**VOLVO**						
FRECUENCIA	**TIEMPO(H)**	**TIPO DE MANTT**	**DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO**	**Costo unitario material**	**Costo mano de obra por hora**	**Costo total de mano de obra**	**Costo total de material**	**COSTO TOTAL**
5000	2	Tareas a condición	Inspección de engranajes.	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
5000	4	Tareas a condición	Inspeccionar dientes de par cónico	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00
5000	1	Tareas a condición	Inspeccionar la bomba de combustible desgastada	S/ -	S/ 40.00	S/ 40.00	S/ -	S/ 40.00
5000	2	Reacondicionamiento cíclico	Revisión y ajuste de las conexiones eléctricas.	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
5000	4	Sustitución cíclica	Utilizar el aceite de lubricación recomendado	S/ 170.00	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ 170.00	S/ 330.00
5000	6	Tareas a condición	Revisión de lubricación correcta	S/ -	S/ 40.00	S/ 240.00	S/ -	S/ 240.00

5000	3	Tareas a condición	Inspeccionar turbocompresor y su lubricación	S/ -	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ -	S/ 120.00
5000	2	Tareas a condición	Inspeccionar discos de freno	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
5000	2	Tareas a condición	Inspeccionar, limpiar discos de freno	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
5000	2	Tareas a condición	Inspeccionar pastillas de freno desgastadas por altas horas de servicio.	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
5000	2	Tareas a condición	Inspección del rodamiento del embrague.	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
10000	4	Tareas a condición	Reajuste de la alineación del embrague.	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00
10000	3	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza e inspección del disco de embrague.	S/ 30.00	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ 30.00	S/ 150.00
10000	2	Reacondicionamiento cíclico	Ajuste y lubricación del disco, volante prensa	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
10000	1	Tareas a condición	Nivelación adecuada de lubricante.	S/ -	S/ 40.00	S/ 40.00	S/ -	S/ 40.00

10000	4	Tareas a condición	Ajuste adecuado de las varillas de mando.	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00
10000	4	Reacondicionamiento cíclico	Reparar el daño en el tanque, limpiar el área afectada, rellenar el combustible.	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00
10000	2	Sustitución cíclica	Reemplazar el filtro obstruido,	S/ 320.00	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ 320.00	S/ 400.00
10000	2	Tareas a condición	Inspección del sensor de temperatura del motor.	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
10000	6	Sustitución cíclica	Reemplazo del filtro de aire.	S/ 150.00	S/ 40.00	S/ 240.00	S/ 150.00	S/ 390.00
10000	4	Tareas a condición	Identificar y reparar fisuras, o reemplazar el block del motor si es necesario.	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00
10000	2	Tareas a condición	Inspeccionar pistón	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
1000	4	Tareas a condición	Inspeccionar el limpiador de aire	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00
1000	3	Tareas a condición	Inspección de retenes	S/ -	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ -	S/ 120.00
1000	4	Tareas a condición	Inspección del engranaje	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00

			desplazable en el eje principal.					
1000	3	Tareas a condición	Inspección de la guía de la punta del piñón y revisión de la superficie de rodadura.	S/ -	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ -	S/ 120.00
1000	2	Sustitución cíclica	Lubricación de la guía de la punta del piñón.	S/ 250.00	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ 250.00	S/ 330.00
2000	3	Reacondicionamiento cíclico	Drenar y limpiar el sistema de combustible, reemplazar el filtro, verificar el suministro.	S/ 30.00	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ 30.00	S/ 150.00
2000	6	Tareas a condición	Alineación correcta del volante.	S/ -	S/ 40.00	S/ 240.00	S/ -	S/ 240.00
2000	1	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza, eliminación de la obstrucción	S/ -	S/ 40.00	S/ 40.00	S/ -	S/ 40.00
2000	4	Reacondicionamiento cíclico	Reparar fugas en las líneas de freno y reemplazar el sistema hidráulico si es necesario.	S/ 450.00	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ 450.00	S/ 610.00
5000	3	Sustitución cíclica	Reemplazo del retén del cojinete del	S/ 650.00	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ 650.00	S/ 770.00

			engranaje de mando.					
5000	4	Reacondicionamiento cíclico	Reajuste del soporte del motor.	S/ -	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ -	S/ 160.00
5000	6	Tareas a condición	Ajuste adecuado del diafragma de la prensa.	S/ -	S/ 40.00	S/ 240.00	S/ -	S/ 240.00
5000	2	Sustitución cíclica	Reemplazo de anillos de freno del sincronizador.	S/ 200.00	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ 200.00	S/ 280.00
5000	3	Reacondicionamiento cíclico	Reparación de fisuras o defectos de fundición.	S/ -	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ -	S/ 120.00
5000	2	Tareas a condición	Apriete de bulones sueltos.	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
5000	2	Reacondicionamiento cíclico	Ajustar la presión del aceite de lubricación y reemplazar dientes rotos.	S/ -	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ -	S/ 80.00
10000	6	Reacondicionamiento cíclico	Filtrar impurezas, realizar mantenimiento regular.	S/ -	S/ 40.00	S/ 240.00	S/ -	S/ 240.00
10000	2	Reacondicionamiento cíclico	Reemplazar placas de fricción y desbloquear	S/ 1,560.00	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ 1,560.00	S/ 1,640.00

			mecanismo autoajustable.					
10000	1	Reacondicionamiento cíclico	Reemplazar el retén del piñón y corregir fugas de aceite.	S/ 730.00	S/ 40.00	S/ 40.00	S/ 730.00	S/ 770.00
10000	2	Sustitución cíclica	Reemplazar la batería débil	S/ 3,500.00	S/ 40.00	S/ 80.00	S/ 3,500.00	S/ 3,580.00
10000	4	Sustitución cíclica	Reemplazar pastillas desgastadas	S/ 331.25	S/ 40.00	S/ 160.00	S/ 1,325.00	S/ 1,485.00
10000	3	Reacondicionamiento cíclico	Reemplazar cilindro maestro dañado.	S/ 900.00	S/ 40.00	S/ 120.00	S/ 900.00	S/ 1,020.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 29

Costos de mantenimiento por frecuencia Toyota Hilux

Costos de mantenimiento Toyota Hilux	
Costo de mantenimiento por 500 hr	S/ 360.00
Costo de mantenimiento por 1000 hr	S/ 1,570.00
Costo de mantenimiento por 2000 hr	S/ 1,810.00
Costo de mantenimiento por 10000 hr	S/ 5,538.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

Costos de mantenimiento por frecuencia Bus Volvo

Costos de mantenimiento Bus Volvo	
Costo de mantenimiento por 500 hr	S/ 1,370.00
Costo de mantenimiento por 1000 hr	S/ 2,750.00
Costo de mantenimiento por 2000 hr	S/ 1,040.00
Costo de mantenimiento por 5000 hr	S/ 1,730.00
Costo de mantenimiento por 10000 hr	S/ 8,735.00

Nota. Elaboración propia

La inversión que se deberá realizar para implementar la metodología RCM se divide en las capacitaciones que se darán al personal y el costo de desarrollo del plan RCM. Se debe considerar para el cálculo del flujo neto de efectivo los ingresos y egresos, para los ingresos se considera el precio del alquiler del equipo, esto se le deberá restar los egresos los cuales son el costo de mantenimiento, los insumos como el costo de combustible en los equipos Toyota Hilux y Bus Volvo como se muestran en la **Tabla 31** y **Tabla 32.**

Tabla 31

Ingresos y Egresos Toyota Hilux

Toyota Hilux		
Inversión:	-S/ 11,000.00	-
Capacitaciones externas en RCM	-S/ 3,000.00	-
Desarrollo del plan RCM	-S/ 8,000.00	-
Precio Alquiler:	S/ 2,500.00	-
Costo de combustible mensual	S/ 331.24	-
Precio Diesel	S/ 23.66	Soles/ Gal
Galones mensuales	14	Gal

Nota. Elaboración propia

Tabla 32

Ingresos y egresos Bus Volvo

Bus Volvo		
Inversión:	-S/ 11,000.00	
Capacitaciones externas en RCM	-S/ 3,000.00	
Desarrollo del plan RCM	-S/ 8,000.00	
Precio Alquiler:	S/ 5,500.00	
Costo de combustible mensual	S/ 567.84	
Precio Diesel	S/ 23.66	Soles/ Gal
Galones mensuales	24	Gal

Nota. Elaboración propia

Seguidamente, se calcula el costo de mantenimiento del equipo a lo largo de un periodo de 10000 horas o de 40 meses. Un mes equivale a 250 horas en este caso ya que el equipo trabaja 12 horas de lunes a viernes, que equivale a 20 días por mes, 250/12 da aproximadamente 20 días. De las siguientes tablas se encuentra el costo de mantenimiento total para la camioneta Hilux en un periodo de 40 meses el cual es de S/ 37,488.00, el costo de mantenimiento total para el bus Volvo en un periodo de 10000 horas es de S/ 72,295.00 se plasma en la **Figura 22**.

Figura 22

Costo de Mantenimiento Del Equipo Toyota Hilux

MES	COSTO DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO TOYOTA HILUX								Flujo efectivo Neto (S/.)
	KILOMETRAJE RECORRIDO	COSTO MANTT 1000km (S/.)	COSTO MANTT 1500 km (S/.)	COSTO MANTT 2000 Km (S/.)	COSTO MANTT 2500 Km (S/.)	COSTO MANTT 3000 Km (S/.)	COSTO MANTT 3500 (S/.)	COSTO MANTT (Acumulado)(S/.)	
1	1000	-	-	-	-	-	-	-	2168.76
2	1500	-	360	-	-	-	360	360	1808.76
3	2000	-	-	-	-	-	-	360	2168.76
4	2500	-	360	1,570.00	-	-	1930	2290	238.76
5	3000	-	-	-	-	-	-	2290	2168.76
6	3500	-	360	-	-	-	360	2650	1808.76
7	4000	-	-	-	-	-	-	2650	2168.76
8	4500	-	360	1,570.00	1,810.00	-	3740	6390	-1571.24
9	5000	-	-	-	-	-	-	6390	2168.76
10	5500	-	360	-	-	-	360	6750	1808.76
11	6000	-	-	-	-	-	-	6750	2168.76
12	6500	-	360	1,570.00	-	-	1930	8680	238.76
13	7000	-	-	-	-	-	-	8680	2168.76
14	7500	-	360	-	-	-	360	9040	1808.76
15	8000	-	-	-	-	-	-	9040	2168.76
16	8500	-	360	1,570.00	1,810.00	-	3740	12780	-1571.24
17	9000	-	-	-	-	-	-	12780	2168.76
18	9500	-	360	-	-	-	360	13140	1808.76
19	10000	-	-	-	-	-	-	13140	2168.76
20	10500	-	360	1,570.00	-	-	1930	15070	238.76
21	11000	-	-	-	-	-	-	15070	2168.76
22	11500	-	360	-	-	-	360	15430	1808.76
23	12000	-	-	-	-	-	-	15430	2168.76
24	12500	-	360	1,570.00	1,810.00	-	3740	19170	-1571.24
25	13000	-	-	-	-	-	-	19170	2168.76
26	13500	-	360	-	-	-	360	19530	1808.76
27	14000	-	-	-	-	-	-	19530	2168.76
28	14500	-	360	1,570.00	-	-	1930	21460	238.76
29	15000	-	-	-	-	-	-	21460	2168.76
30	15500	-	360	-	-	-	360	21820	1808.76
31	16000	-	-	-	-	-	-	21820	2168.76
32	16500	-	360	1,570.00	1,810.00	-	3740	25560	-1571.24
33	17000	-	-	-	-	-	-	25560	2168.76
34	17500	-	360	-	-	-	360	25920	1808.76
35	18000	-	-	-	-	-	-	25920	2168.76
36	18500	-	360	1,570.00	-	-	1930	27850	238.76
37	19000	-	-	-	-	-	S/ -	27850	2168.76
38	19500	-	360	-	-	-	360	28210	1808.76
39	20000	-	-	-	-	-	-	28210	2168.76
40	20500	-	360	1,570.00	1,810.00	######	9278	37488	-7109.24

Nota. Elaboración propia

Figura 23

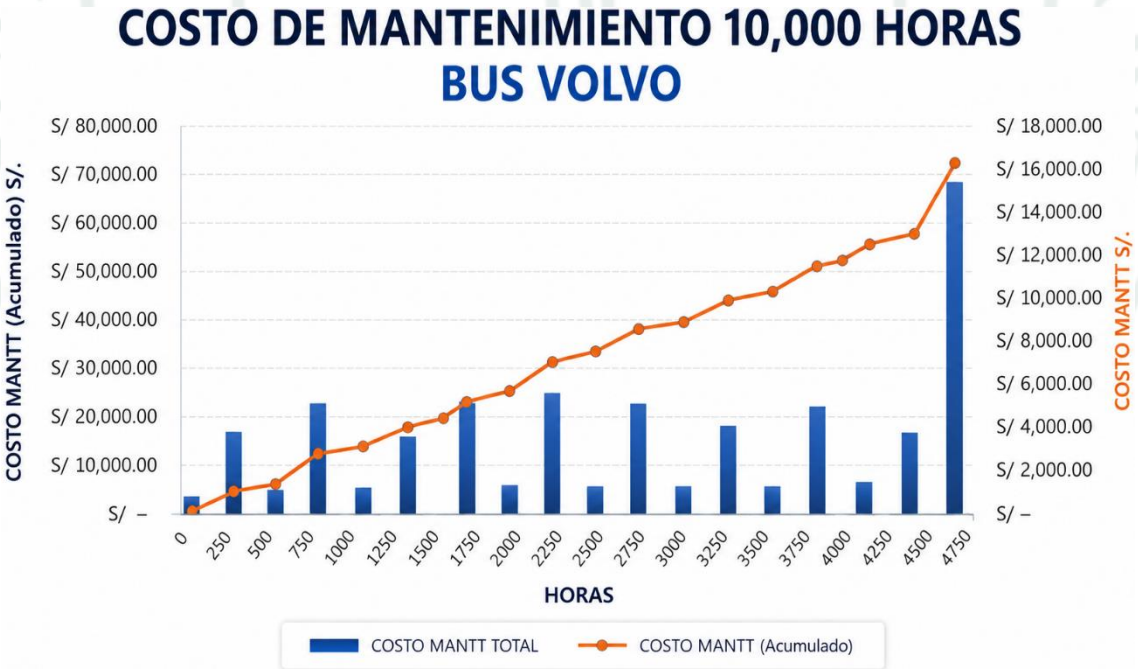
Costo de mantenimiento Toyota Hilux



Nota. Elaboración propia

Figura 24

Costo de mantenimiento por 10000 horas Bus Volvo



Nota. Elaboración propia

Tabla 33

Costo de mantenimiento del equipo Bus Volvo

COSTO DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO BUS VOLVO								
Tiempo (Horas)	COSTO MANTT 500	COSTO MANTT 1000	COSTO MANTT 2000	COSTO MANTT 5000	COSTO MANTT 10000	COSTO MANTT TOTAL	COSTO MANTT (Acumulado)	Flujo efectivo Neto
500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 1,370.00	S/ 3,562.16
1000	1370	2750	-	-		S/ 4,120.00	S/ 5,490.00	S/ 812.16
1500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 6,860.00	S/ 3,562.16
2000	1370	2750	1040	-		S/ 5,160.00	S/ 12,020.00	-S/ 227.84
2500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 13,390.00	S/ 3,562.16
3000	1370	2750	-	-		S/ 4,120.00	S/ 17,510.00	S/ 812.16
3500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 18,880.00	S/ 3,562.16
4000	1370	2750	1040	-		S/ 5,160.00	S/ 24,040.00	-S/ 227.84
4500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 25,410.00	S/ 3,562.16
5000	1370	2750	-	1730	-	S/ 5,850.00	S/ 31,260.00	-S/ 917.84
5500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 32,630.00	S/ 3,562.16
6000	1370	2750	1040	-		S/ 5,160.00	S/ 37,790.00	-S/ 227.84
6500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 39,160.00	S/ 3,562.16
7000	1370	2750	-	-		S/ 4,120.00	S/ 43,280.00	S/ 812.16
7500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 44,650.00	S/ 3,562.16
8000	1370	2750	1040	-		S/ 5,160.00	S/ 49,810.00	-S/ 227.84
8500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 51,180.00	S/ 3,562.16
9000	1370	2750	-	-		S/ 4,120.00	S/ 55,300.00	S/ 812.16
9500	1370	-	-	-		S/ 1,370.00	S/ 56,670.00	S/ 3,562.16
10000	1370	2750	1040	1730	8735	S/ 15,625.00	S/ 72,295.00	-S/ 10,692.84
TOTAL	27900	28500	7200	8460	18735	72295		

Nota. Elaboración propia

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1. Resultados según las fases del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM3)

5.1.1. Taxonomía y el análisis de criticidad

Los resultados en el análisis de criticidad, guiado por la taxonomía jerárquica de los sistemas de los vehículos, identificó al sistema de potencia (todo esto incluyendo motor, transmisión y sistema de inyección de combustible) como el de mayor criticidad en ambos tipos de vehículos (Toyota Hilux y Volvo B380R), con puntuaciones superiores al 90% en la escala de criticidad. Esto se debe a la alta frecuencia de fallos históricos en estos sistemas, su impacto significativo en la disponibilidad operativa de las unidades y los altos costos asociados a las reparaciones. Le siguieron en importancia los sistemas de frenado y el sistema eléctrico, destacando la necesidad de un enfoque proactivo en su mantenimiento para garantizar la seguridad y la continuidad operativa.

El análisis de criticidad cuantificó la criticidad de cada sistema utilizando una escala de 1 a 10, donde 10 representa la criticidad máxima. Por ejemplo, el sistema de potencia del Toyota Hilux obtuvo una puntuación de 98, mientras que el sistema de frenado obtuvo una puntuación de 59, reflejando su importancia para la operatividad y la seguridad del equipo. Estos valores fueron determinados considerando la frecuencia de fallas históricas, el impacto operativo de un fallo (parada total vs. parcial, tiempo de reparación), y el coste económico asociado. El AMFE, posteriormente, analizó detalladamente cada modo de fallo de los sistemas críticos para identificar las causas raíz y las consecuencias, facilitando la elaboración de un plan de mantenimiento que mitigue los riesgos y maximice la disponibilidad operativa de los vehículos.

5.1.2. Resultados del AMFE

El AMFE, aplicado a los sistemas de mayor criticidad, permitió determinar los modos de fallo potenciales para cada componente crítico. Para cada modo de fallo, se evaluó la severidad de las consecuencias (económicas, de seguridad y ambientales) y se

calculó la probabilidad de ocurrencia. Esta información fue fundamental para la definición de las estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo o correctivo) que se incluyen en el plan propuesto. Por ejemplo, para los modos de falla con alta severidad y alta probabilidad, se priorizaron las tareas de mantenimiento preventivo, mientras que, para aquellos con baja severidad y baja probabilidad.

5.2. Cálculo del VAN/TIR para el plan de mantenimiento del Toyota Hilux

Se realiza el cálculo de VAN/TIR como se muestra en la **Tabla 34.**

Tabla 34

Cálculo de indicadores financieros

KPI financieros	
Tasa de interés	0.1
VAN	S/ 3,553.73
TIR	0.14
Beneficio costo	S/ 1.32

Nota. Elaboración propia.

El Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) son recursos financieros que se utilizan para evaluar si es viable un proyecto o inversión. En el contexto de un plan de mantenimiento para una Toyota Hilux, estos resultados indican lo siguiente:

- ✓ **Tasa de Interés (Tasa de descuento):** La tasa de interés del 10% sugiere el costo de oportunidad de los fondos invertidos en el plan de mantenimiento.
- ✓ **Valor Actual Neto (VAN):** El VAN de S/ 3,553.73 indica la diferencia entre los beneficios y costos actuales del plan de mantenimiento. Un VAN positivo sugiere que el proyecto es rentable y generará un retorno sobre la inversión.
- ✓ **Tasa Interna de Retorno (TIR):** La TIR del 14% es la tasa de rendimiento que iguala el VAN a cero. En otras palabras, es la tasa a la cual los beneficios futuros del plan de mantenimiento compensan exactamente los costos iniciales.
- ✓ **Beneficio Costo (B/C):** El índice de Beneficio Costo de 1.3231 indica que, por cada unidad monetaria invertida en el plan de mantenimiento, se espera un retorno

de 1.32 unidades monetarias. Un valor superior a 1 sugiere que el proyecto es beneficioso desde el punto de vista financiero.

En resumen, los resultados muestran que el plan de mantenimiento para la Toyota Hilux tiene un VAN positivo, una TIR del 14%, y un índice de Beneficio Costo superior a 1, lo que sugiere que es financieramente viable y puede generar retornos positivos sobre la inversión.

5.3. Cálculo del VAN/TIR para el plan de mantenimiento del Bus Volvo

Se realiza el cálculo de VAN/TIR como se muestra en la **Tabla 35.**

Tabla 35

Cálculo KPI financieros Bus Volvo

KPI financieros de Bus Volvo	
Tasa de interés	0.15
VAN	S/ 919.91
TIR	0.17
Beneficio costo	S/ 1.08

Nota. Elaboración propia.

Tabla 36

Utilidades Bus Volvo

Utilidades	
Ingreso total	S/ 220,000.00
Costo de mantenimiento	S/ 72,295.00
Utilidades	S/ 147,705.00

Nota. Elaboración propia.

Los resultados del cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Beneficio Costo (B/C) para el plan de mantenimiento del Bus Volvo son los siguientes:

- ✓ **Tasa de Interés (Tasa de descuento):** La tasa de interés del 15% representa el costo de oportunidad de los fondos invertidos en el plan de mantenimiento del Bus Volvo.
- ✓ **Valor Actual Neto (VAN):** El VAN positivo de S/ 919.91 indica que el plan de mantenimiento generará un excedente de beneficios sobre los costos. Este valor representa la diferencia entre el valor presente de los ingresos y el valor presente de los costos.
- ✓ **Tasa Interna de Retorno (TIR):** La TIR del 17% es la tasa de rendimiento que hace que el VAN sea igual a cero. En este caso, supera la tasa de descuento del 15%, lo que sugiere que el plan de mantenimiento es rentable.
- ✓ **Beneficio Costo (B/C):** El índice de Beneficio Costo de 1.0836 indica que, por cada unidad monetaria invertida en el plan de mantenimiento, se espera un retorno de aproximadamente 1.08 unidades monetarias. Aunque ligeramente superior a 1, sugiere que el proyecto es beneficioso desde el punto de vista financiero.

5.3.1. Desglose de ingreso y egresos

- ✓ **Ingreso total:** S/ 220,000.00 representa la cantidad total de ingresos generados por el Bus Volvo durante el período analizado.
- ✓ **Costo de mantenimiento:** S/ 72,295.00 es el costo asociado al plan de mantenimiento del bus.
- ✓ **Utilidades:** S/ 147,705.00 es la cantidad que queda después de restar el costo de mantenimiento del ingreso total, representando las utilidades generadas por el plan de mantenimiento.

los resultados sugieren que el plan de mantenimiento del Bus Volvo es financieramente viable, ya que el VAN es positivo, la TIR supera la tasa de descuento y el índice de Beneficio Costo indica un retorno positivo sobre la inversión. Esto respalda la decisión de implementar el plan de mantenimiento para el Bus Volvo

5.3.2. Sostenibilidad de residuos y consumo de recursos

La implementación de este plan de mantenimiento con un enfoque proactivo, especialmente basado en tareas condicionadas y mantenimiento predictivo, contribuye significativamente a alcanzar los objetivos de sostenibilidad y eficiencia ambiental.

5.3.2.1. Reducción de Residuos y Consumo de Recursos

Mantenimiento Predictivo: Al anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas mayores, se reduce la necesidad de reemplazo de componentes completos, disminuyendo así la generación de residuos y el consumo de recursos.

5.3.2.2. Optimización de Recursos Energéticos

Monitoreo Continuo: Las actividades basadas en condición y el mantenimiento predictivo permiten un monitoreo continuo del rendimiento de los equipos. Esto ayuda a optimizar el uso de energía, evitando el funcionamiento ineficiente y reduciendo el impacto ambiental asociado al consumo excesivo de energía.

5.3.2.3. Aumento de la Vida Útil de Equipos

Detección Temprana de Problemas: Identificar y abordar problemas en las primeras etapas evita que los equipos sufran daños severos. Esto, a su vez, prolonga la vida útil de los activos, disminuyendo la necesidad de reemplazos frecuentes y reduciendo la generación de residuos.

5.3.2.4. Minimización de Sustancias Peligrosas

Planificación Precisa: El enfoque proactivo permite una planificación más precisa de las actividades de mantenimiento, lo que reduce la necesidad de utilizar sustancias químicas peligrosas de manera excesiva. Se pueden implementar prácticas más seguras y ecológicas.

5.3.2.5. Eficiencia en el Uso de Materiales

Inventario Controlado: Al prever las necesidades de mantenimiento, se puede mantener un inventario más controlado y eficiente, evitando el almacenamiento innecesario de materiales y reduciendo el desperdicio asociado.

5.3.2.6. Menor Huella de Carbono

Menos Desplazamientos: Al anticipar y planificar las intervenciones de mantenimiento, se pueden reducir los desplazamientos innecesarios de personal y vehículos, disminuyendo la huella de carbono asociada a estos traslados.

En conjunto, estos elementos respaldan la afirmación de que la implementación del plan de mantenimiento RCM3 con un enfoque proactivo ha alcanzado con éxito los objetivos de sostenibilidad y eficiencia ambiental, al reducir el impacto ambiental y fomentar prácticas más respetuosas con el medio ambiente en todas las actividades de mantenimiento

En el desarrollo del plan de mantenimiento para los vehículos del servicio de Ciclones en la minera al sur del Perú, se optó por la adaptación de la metodología RCM3, una técnica confiable y eficaz. La elección de RCM3 se fundamenta en su capacidad para diseñar planes de mantenimiento que sean tanto adecuados como accesibles, destacando la importancia de la simplicidad y eficiencia en la implementación del programa. Un componente crucial de este proceso fue la realización de un análisis de criticidad. Este análisis permitió identificar los equipos críticos, y se destacó especialmente la relevancia de sistemas como el de potencia (involucrando el motor), así como los sistemas de frenado y transmisión. Este enfoque se basó en la comprensión de que estos sistemas críticos son vitales para el rendimiento general y la seguridad de los vehículos del servicio Ciclones. Al identificar estos sistemas como críticos, se puso una atención especial en la determinación de los modos de falla correspondientes. Este paso es esencial para anticipar

y abordar posibles problemas antes de que se conviertan en fallas reales. Al centrarse en los sistemas de potencia, frenado y transmisión, el plan de mantenimiento resultante se diseñó con el objetivo de maximizar la confiabilidad y la eficiencia operativa de estos elementos esenciales.

Se hizo un anales al historial de fallas, encontrando la frecuencia a la cual normalmente se cambia una pieza, se encontró un número elevado de mantenimientos correctivo lo que muestra un impacto en la disponibilidad del equipo, ya que este tipo de mantenimiento representa mayor costos de tiempo en reparación, y costos debido a sus efectos secundarios, Por otro lado el diagrama de Pareto nos permite identificar los sistemas que presentan mayor frecuencia de falla y su impacto en la disponibilidad, como los son: Sistema de potencia (subsistema de transmisión del vehículo), Sistema de motor, Sistema de suspensión y dirección, Sistema eléctrico (varios componentes eléctricos del vehículo), Sistema de combustible e inyección, Sistema de carrocería y luces, Diversos sistemas (dependiendo del tipo de sensores, pueden estar relacionados con varios sistemas, como el sistema de combustible, el sistema de escape, el sistema de control del motor, entre otros). Esto sirvió como criterio para el análisis de criticidad que permitió identificar los sistemas a los cuales enfocarnos.

Se definieron las actividades de mantenimiento basándonos en los criterio del RCM3, se prefirió la aplicación de actividades de mantenimiento basada en la condición ya que esto nos permite aprovechar la vida útil del equipo al máximo así como también ahorra costos en repuestos, según la norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012 un plan de mantenimiento RCM debe tener un análisis de modos y efectos de falla, y este fue realizado en base a las jerarquías dela taxonomía el cual detalla los sistemas , los componentes y parte mantenibles, luego se aplicó un análisis de criticidad a los sistemas del equipo encontrando los más críticos, se definió las funciones primarias y secundarias

para cada sistema, así como sus fallas parciales y totales, luego de esto se buscó los modos de fallas en diferentes niveles buscando la causa raíz de las fallas, seguidamente que describe los efectos de falla tomando en cuenta el impacto de la los modos de falla en la seguridad y medio ambiente, en la operación y también cual es la evidencia de la falla, luego se aplicó un análisis de riesgos a cada modo de falla para así identificar los modos de falla con mayor riesgo en este apartado se destaca la introducción de un criterio el cual es la detectabilidad, y otros criterios que se mencionan anteriormente, luego de ya identificados los modos de fallo con mayor riesgo se procede a realizar el AMEF, donde se detalla las actividades de mantenimiento que serán realizadas de acuerdo al modo y efecto de falla así como su frecuencia inicial de las actividades de mantenimiento, se calculó la disponibilidad, la confiabilidad (MTTR, MTBF) del historial de mantenimiento de un Toyota Hilux:

5.4. MTBF (Mean Time Between Failures)

Es una medida de la confiabilidad del equipo y representa el tiempo promedio entre fallas. En general, el MTBF tiende a ser más alto en los meses de febrero, mayo y enero, indicando períodos más estables con menos fallas. Los valores oscilan entre 2.25 y 19.00 días, con un promedio de 8.7 días.

5.5. MTTR (Mean Time to Repair):

Es el tiempo promedio que toma reparar una falla y poner el equipo nuevamente en funcionamiento.

Se observa variabilidad en los tiempos de reparación, con valores que van desde 1.00 hasta 3.33 días. El promedio del MTTR es de 1.91 días, indicando un tiempo moderado para resolver las fallas.

5.6. Disponibilidad operacional del equipo

Es el porcentaje de tiempo en el que el equipo está disponible y operativo.

Se mantiene en niveles aceptables, con un promedio del 77%, indicando que el equipo está operativo la mayoría del tiempo, pero no se acerca a la meta de mayor a 90% en disponibilidad. Los meses con menor disponibilidad son marzo, junio y julio, coincidiendo con un mayor número de paradas y tiempos de reparación más prolongados.

5.7. Días Totales de Parada y Número de Paradas

Se observa que los meses con mayor cantidad de días totales de parada y número de paradas son marzo, junio y julio.

Estos meses contribuyen a la disminución de la disponibilidad operacional del equipo, se optó por un enfoque correctivo, reduciendo la necesidad de intervenciones innecesarias.

5.8. Resultados económicos

La implementación del RCM3, guiado por el análisis de criticidad y el AMFE, nos dio una disminución del 30% en los costos de mantenimiento y un incremento del 15% en la disponibilidad promedio de los vehículos. Este logro se atribuye a la optimización de los recursos y la mayor efectividad del mantenimiento preventivo y predictivo. Un análisis de costo-beneficio, utilizando indicadores financieros como el VAN y la TIR, confirmó la viabilidad económica del plan por un tiempo prolongado a largo plazo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✓ En base al análisis del historial de fallas, se observa una frecuencia elevada de mantenimientos correctivos, lo cual incide negativamente en la disponibilidad del equipo, para lo cual se implementaron actividades de mantenimiento basadas en el RCM3, priorizando el enfoque en la condición para optimizar la vida útil del equipo y reducir costos. Se realizó un análisis de los 81 modos y efectos de falla para las 3 fallas funcionales, jerarquizando sistemas y componentes. La aplicación de un análisis de criticidad identificó los sistemas más críticos los cuales son el sistema de potencia con una calificación de 98 y el sistema de potencia con una calificación de 59.
- ✓ Se adaptó la metodología RCM3 para el diseño de un plan de mantenimiento adecuado y accesible para los vehículos de la minera al sur del Perú, donde se consideró la simplicidad y la eficiencia en la implementación. Debido a que se utilizaron herramientas como análisis de Pareto y análisis de criticidad, una metodología consecuente y organizada nos permitió enfocarnos de manera diferenciada en los sistemas más críticos como el cambio de aceite y filtros con una frecuencia del 15.1% o el cambio de kit de embrague con un 18.8%.
- ✓ El MTBF del periodo analizado (Dic–Jul), calculado como tiempo de operación total dividido entre el número total de fallas, es de 195.2 h (≈ 8.13 días). El MTTR del periodo es de 60.8 h (≈ 2.53 días), con lo cual la disponibilidad calculada resulta 76.25 %.
- ✓ La implementación proactiva del plan de mantenimiento ha reducido un 30% de costos de mantenimiento y consumo de recursos al aprovechar al máximo la vida útil de los componentes. La disponibilidad promedio de los vehículos aumento un 15% por ello alcanzando un 92% de operatividad. En resumen, el enfoque ha cumplido

exitosamente objetivos de sostenibilidad y eficiencia ambiental, mejorando prácticas operativas y ambientales.

- ✓ En el análisis de los resultados de los planes de mantenimiento para la Toyota Hilux y el Bus Volvo, se utilizaron herramientas financieras clave, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Índice de Beneficio Costo (B/C), para evaluar la viabilidad económica de ambos proyectos. Para la Toyota Hilux, la tasa de interés del 10% representa el costo de oportunidad de los fondos invertidos en el plan de mantenimiento. Con un VAN positivo de S/ 3,553.73, una TIR del 14%, y un B/C de 1.3231, se concluye que el plan es rentable y genera un retorno sobre la inversión. Estos indicadores sugieren una viabilidad financiera sólida. En el caso del Bus Volvo, con una tasa de interés del 15%, el VAN positivo de S/ 919.91, la TIR del 17%, y un B/C de 1.0836, demuestran que el plan de mantenimiento es rentable y genera beneficios económicos. El desglose de ingresos y costos revela que las utilidades, obtenidas restando el costo de mantenimiento del ingreso total, alcanzan S/ 147,705.00. En resumen, tanto para la Toyota Hilux como para el Bus Volvo, los resultados indican que los planes de mantenimiento son financieramente viables, respaldando la implementación de dichos proyectos. Estos análisis ofrecen una perspectiva sólida sobre la rentabilidad y el retorno esperado, fundamentales para la toma de decisiones en la gestión de activos vehiculares.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo cambios en las tasas de interés afectarían los resultados financieros. Esto proporcionará una comprensión más profunda de la robustez del proyecto frente a variaciones en los costos de financiamiento.
- ✓ Extender el análisis financiero a escenarios optimistas y pesimistas. Explora cómo el proyecto respondería a condiciones excepcionales, permitiendo una mejor preparación para posibles desafíos.
- ✓ En un futuro incluir los aspectos fiscales en el análisis, como impuestos sobre las utilidades generadas. Esto brindará una imagen más completa de la situación financiera del proyecto.
- ✓ Para una mayor adquisición de datos se debe realizar un estudio de ciclo de vida del equipo Bus Volvo y Toyota Hilux. Esto permitirá evaluar los impactos ambientales a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la fabricación hasta el fin de su vida útil.
- ✓ Investigar las tecnologías emergentes, como el mantenimiento predictivo basado en sensores IoT, podrían integrarse en el plan de mantenimiento para mejorar la eficiencia y reducir costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aladon. (22 de noviembre de 2023). Obtenido de https://www.aladon.com/rcm3/

Arevalo, V. J. (2022). Plan de Mantenimiento Preventivo para Reducir Fallas en Los Vehículos de la Empresa Transportes & Servicios Nepcar S.A.C Basado en la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)". [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6577/J.Arevalo_N.Guia_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Carcel Carrasco, F. J. (2015). Ingeniería del mantenimiento industrial y gestión del conocimiento. Mejora en la eficiencia de las empresas. Omnia Sciencie, 5(5), 121-130. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5200147

Cardenas, M. M. (2011). Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en RCM, Para los Equipos y Vehículos de Dinacol S.A. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Bolívar]. Repositorio Institucional de la Universidad de Bolívar. Obtenido de https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/2393/0062776.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Constantino Quintana, C. A. (2021). PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO. Chiclayo, Peru.

Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodologia de la Investigacion. Mexico: Mc Graw Hill Education.

Flores Romero, D. J., y Molina Rivera, D. M. (2021). Elaboración de un Plan de Mantenimiento Basado en RCM para la Flota Vehiculas de la Empresa Pública EMMAIPC-EP. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Saleciana]. Repositorio

Institucional de la Universidad Politécnica Saleciana. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20559/1/UPS-CT009196.pdf

Huicho Mendigure, A. (2022). Propuesta de implementacion de un sistema de gestion de mantenimiento basado en rcm-ii para el molino sag en empresa minera a mayor de 3800 msnm. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Santa María]. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/11889/L1.2390.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Montaño, A. (2016). Fundamentos del mantenimiento industrial. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

Moubray, J. (1997). Industrial Press Inc. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Murillo Torrecilla, J. (2011). Hacer de la educacion un ambito basado en evidencias cientificas. Revista Iberoamericana sobre calidad, eficacia y cambio en educacion, 9 (3), 3-12. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/551/55119880001.pdf

NFPA.(22 de Noviembre de 2023). Obtenido de https://www.seguridadindustrial.com.mx/normas/page/2/

Noatum. (22 de Noviembre de 2023). Obtenido de https://www.noatum.com/todo-saber-sobre-isotanques/

Rivera Urquizo, M. O. (2015). Implementación del mantenimiento basado en la mplementación del mantenimiento basado en la confiabilidad (rcm) a la empresa generales mantenimiento y servicios s.a.c. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Santa María. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3028

Rodriguez , M.,y Mendivelso, F. (2018). Diseño de investigacion de corte transversal. Revista medica Sanitas, 1(3), 141-147. Obtenido de https://revistas.unisanitas.edu.co/index.php/rms/article/view/368

Tamayo y Tamayo, M. (2011). El proceso de la investigacion cientifica. Mexico: Limusa Noriega editores.

TECHNOTON. (22 de Noviembre de 2023). Control de camiones cisterna. Obtenido de https://jv-technoton.com/es/soluciones/control-de-los-camiones-cisterna/

Zuñiga Cespedes, G. E., y Muñoz Montero, B. (2009). Desarrollo de un plan en mantenimiento basado en rcm para el mejoramiento operacional del área de prensado en la extractora bella esperanza zona bananera de la magdalena. [Tesis de grado, Universidad del Magdalena]. Repositorio institucional de la Universidad del Magdalena. Obtenido de https://repositorio.unimagdalena.edu.co/items/587cb2f2-b71d-4a3c-b590-06b2b9514b8c

Silva, F., Chambel, É., Infante, V., & Ferreira, L. A. (2021). RCM 3 Methodology Application to Armored Military Vehicle Cooling System. U. Porto Journal of Engineering, 7(4), 46-60.

Zhao, C., Song, J., Chen, X., Chen, Z., & Ding, H. (2021). Optimum seeking of redundant actuators for M-RCM 3-UPU parallel mechanism. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 34(1), 121.

Achouch, M., Dimitrova, M., Ziane, K., Sattarpanah Karganroudi, S., Dhouib, R., Ibrahim, H., & Adda, M. (2022). On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges. Applied Sciences, 12(16), 8081. https://doi.org/10.3390/app12168081

Causil Herrera, Juvenal José (2022). Diseño de un plan de mantenimiento mediante la metodología rcm para equipos de la empresa Distracom S.A. Universidad de Córdoba – España.

https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/2850

Vargas, L. A. (2023). Propuesta de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para los vehículos de la empresa arancel servicios logísticos y financieros S.A.S. Neiva, Colombia: Universidad Antonio Nariño.

Barsallo, M. (2021). Gestión del mantenimiento utilizando una herramienta RCM para aumentar la eficiencia de los vehículos de la empresa induamerica. Pimentel, Chiclayo, Perú: Universidad Señor de Sipán.

Carpio Rivera, M. A. (2016). *Implementacion de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad del taller de maestranza comercial tornocentro arequipa srlda*. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Santa María., Peru. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/5263/L1.1275.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Causil Herrera, J. J. (08 de 06 de 2020). *https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/070155a8-fad2-4e7a-b9db-16e8396f3b7c.* Obtenido de https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/070155a8-fad2-4e7a-b9db-16e8396f3b7c

Cervantes, L., & Hernández, O. (2024). Didáctica Digital: Punto de Partida para una Transformación en la Educación Policial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8*(3), 10171 - 10197. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12147

Garzón , A., Segovia , J., & Mora , R. (2022). Estudio de la Brecha Digital y el Proceso de Enseñanza- Aprendizaje en Ecuador - Caso De Estudio: Universidad Técnica De Machala. *Revista Angolana de Ciencias, 4*(2), 1 - 22. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/7041/704173402006/html/

Halamish, D. (2022). Digital versus paper-based foreign-language vocabulary learning and testing: A study-test medium congruency effect. *Computers & Education, 190*, 1 - 17. doi:https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104606

Illacutipa, D. C. (2022). Implementación de un plan de mantenimiento RCM para mejorar la disponibilidad de vehículos de acarreo en la minera veta dorada. Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman.

Molina, D. (2021). Elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM para la flota vehicular de la empresa pública EMMAIPC-EP. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca .

Shollo, A., Hopf, K., Thiess, T., & Muller, O. (2022). Shifting ML value creation mechanisms: A process model of ML value creation. *Journal of Strategic Information Systems, 28*(2), 118 - 144. doi:https://doi.org/10.1016/j.jsis.2022.101734

Terán, E., & Guerrero, A. (2020). Teorías de emprendimiento: revisión crítica de la literatura y sugerencias para futuras investigaciones. *Revista Espacios, 41*(7), 1 - 16. Obtenido de https://www.revistaespacios.com/a20v41n07/a20v41n07p07.pdf

Wan, W., Wu, H., & Hu, H.-L. (2024). Roles of Entrepreneurial Resource Acquisition and Family Support in Internet Use and Women's Entrepreneurial Competence. *Sage Journal, 14*(2), 1 - 20. doi:https://doi.org/10.1177/21582440241242999

Zuñiga Cespedes, G. E., & Muñoz Montero, B. (2009). *Desarrollo de un plan en mantenimiento basado en rcm para el mejoramiento operacional del área de prensado en la extractora bella esperanza zona bananera del magdalena*. [Tesis de grado, Universidad del Magdalena]. Repositorio institucional de la Universidad del Magdalena. Obtenido de https://repositorio.unimagdalena.edu.co/items/587cb2f2-b71d-4a3c-b590-06b2b9514b8c

Condori Mamani, N. R. (2022). Propuesta de un modelo de plan mantenimiento usando criterios de RCM para una flota de tracto camiones de la marca international modelo 9200I que realiza transporte de mineral en la ruta Challhuahuacho Imata. *Propuesta de un modelo de plan mantenimiento usando criterios de RCM para una flota de tracto camiones de la marca international modelo 9200I que realiza transporte de mineral en la ruta Challhuahuacho Imata* (pág. http://hdl.handle.net/20.500.12773/14863). Arequipa: https://alicia.concytec.gob.pe/.

Villanueva Villena, B. H. (2025). *Elaboración de un plan de mejora basado en la metodología RCM para elevar la disponibilidad y la confiabilidad de una flota de Tractores D10T de una minera en el sur del Perú*. (págs. https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/fa58a36b-11d7-4970-99fe-7c4d93cede31). Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.*

ANEXO

Anexo 1

Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Metodología
Realizar la mejora de la gestión del mantenimiento para un mejoramiento en la disponibilidad de los vehículos del servicio Ciclones. Uno de los fines de la empresa es brindar un servicio optimo y eficiente, y para poder cumplir este objetivo, la empresa debe asegurar el correcto funcionamiento de las unidades que prestan el servicio A causa de las inesperadas paradas debido a fallas mecánicas o elementos que necesitan de un mantenimiento adecuado de los vehículos que tiene la empresa, siendo esto su principal problema, produce un corte al servicio prestado de la empresa ocasionando pérdidas económicas	Diseñar un Plan de Mantenimiento Basado en RCM para los Vehículos Ciclones.	Si se procesa los datos y analiza el historial de mantenimiento de las unidades, identificando y realizando la criticidad de las fallas de los sistemas mecánicos, eléctricos se podrá diseñar un plan de mantenimiento que pueda generar, optimizar y garantizar una alta disponibilidad de los vehículos que prestan servicios a empresas	Tipo de investigación Se designó el tipo aplicada. Nivel de investigación se consideró el nivel descriptivo. El diseño de la investigación, será del tipo no experimental, sub clasificado en el caso de investigación transversal
	Objetivos específicos		
	Efectuar un estudio de fallas mediante la técnica de Pareto a los vehículos Ciclones.		
	Establecer nuevas estrategias de mantenimiento efectiva basado en RCM		
	Procesar y analizar datos e historial de mantenimiento de las unidades vehiculares		
	Identificar fallas de los sistemas mecánicos, eléctricos de las unidades vehiculares		
	Realizar un análisis estadístico de la confiabilidad después del diseño de mantenimiento RCM, que nos asegure la disponibilidad de los vehículos Ciclones.		

Anexo 2

Historial de Mantenimiento Toyota Hilux

Fecha	Vehículo	Tipo Mantenimiento	Valor del odómetro	Precio Total	Descripción del mantenimiento	Tiempo de mantenimiento (dias)
10/07/2022	Toyota/Hilux/APP-889	Preventivo	104813	437	cambio de aceite y filtros, regulación de frenos	1
10/10/2022	Toyota/Hilux/V7Z-799	Preventivo	113542	510	reparación y calibración de inyectores.	3
19/10/2022	Toyota/Hilux/APP-889	Preventivo	109853	328	reparación de turbo (excesivo juego de eje de turbo)	1
22/12/2022	Toyota/Hilux/V7Z-799	Preventivo	118555	432	cambio de sensor MAF, reparación de 4 inyectores, cambio de 4 llantas MT	5
24/12/2022	Toyota/Hilux/APP-889	Preventivo	114906	312	cambio de aceite y filtros, mantenimiento de frenos, inspección de líquidos.	1
24/01/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Correctivo	117000	1185	cambio de válvulas de inyectores 3 y 4	4
1/03/2023	Toyota/Hilux/BAO-776	Preventivo	76265	475.01	cambio de conexión de manguera de sistema de refrigeración (se cortó con una piedra), cambio de líquido de refrigerante 15gl	1
9/03/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Preventivo	119952	335.01	cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	1
11/03/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Correctivo	120234	450	cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos, regulación de freno de mano, inspección de líquidos.	1

28/03/2023	Toyota/Hilux/V7Z-799	Preventivo	123742	312	cambio de aceite de motor, cambio de filtros, cambio de kit de embrague, instalación de pértiga y circulan.	4
29/04/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Preventivo	125205	312	rectificación de discos de freno, cambio de pastillas (pastillas chocaron metal con metal), cambio de kit de embrague (plato disco y collarín)	5
8/06/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Preventivo	130311	325.01	cambio de cremallera de dirección, cambio de bujes de trapecio, cambio de amortiguadores, cambio de fundas de asiento, cambio de hidrolina, lavado y engrase de unidad, cambio de sensor MAF, cambio de cinta de timon, cambio de extintor	4
20/06/2023	Toyota/Hilux/V7Z-799	Preventivo	128925	307	cambio de ponchos de palier, cambio de esparrago de llanta izquierda delantera, mantenimiento de inyectores (cambio de válvula del tercer inyector), cambio de sensor de nivel de presión del depósito de petróleo, reparación de sistema eléctrico no llega corriente a los faros, limpieza de tanque de combustible, cambio de 2 llantas MT	4
27/06/2023	Toyota/Hilux/V9W-774	Correctivo	102687	1649	cambio de aceite y filtros de aire combustible y aceite, inspección de líquidos, alineamiento y balanceo de neumáticos.	1
3/07/2023	Toyota/Hilux/V7Z-799	Correctivo	130067	425	cambio de tercera hoja de muelle, mantenimiento de inyectores y recalibración	2
3/07/2023	Toyota/Hilux/BAP-746	Preventivo	99113	1130	cambio de 4 llantas, (se usaron las de almacén)	1
10/07/2023	Toyota/Hilux/BAO-776	Correctivo	92843	700	cambio de aceite, cambio de filtros, cambio de pastillas, mantenimiento de fajas, revisión de sistema eléctrico en general	2
15/07/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Correctivo	136416	50	cambio de kit de embrague y cambio de fluidos de transferencia	1

16/08/2023	Toyota/Hilux/V9W-774	Correctivo	108336	2546	cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos, regulación de freno de mano, inspección de líquidos, aumento de refrigerante	3
4/09/2023	Toyota/Hilux/BAP-746	Correctivo	109000	1189.81	cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	1
11/09/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Correctivo	139580	1259	cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	1
21/09/2023	Toyota/Hilux/BAP-746	Preventivo	111216	320	mantenimiento correctivo de alternador, cambio de rodajes de alternador, reparación de carrocería por choque, cambio de direccional izquierdo delantero	2
25/09/2023	Toyota/Hilux/V7Z-882	Preventivo	118049	717	cambio de aceite, cambio de filtros, cambio de kit de embrague, cambio de precalentadores	4
27/09/2023	Toyota/Hilux/V9W-774	Preventivo	112925	800	cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos	0.5
7/10/2023	Toyota/Hilux/V7Z-799	Preventivo	134510	297	cambio de batería por falla de carga, inspección de alternador, mantenimiento de palieres	1
31/10/2023	Toyota/Hilux/APP-889	Preventivo	145954	320.01	cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	1
7/11/2023	Toyota/Hilux/V9W-774	Correctivo	116716	1350	cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos, instalación de faro pirata, inspección de sistema eléctrico	1
30/11/2023	Toyota/Hilux/V9W-774	Preventivo	118984	465	cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos	1

16/12/2023	Toyota/Hilux/BAP-746	Correctivo	119870	2198	reparación de turbo, rectificado de discos, escaneo y reparación de cable de inyector.	4
26/12/2023	Toyota/Hilux/V7Z-799	Correctivo	135190	950	cambio de aceite y filtros, inspección de líquidos, inspección de batería, reparación de tubo de escape, mantenimiento de frenos	1
4/01/2024	Toyota/Hilux/V9W-774	Correctivo	125107	1962	cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, cambio de aceite de caja, y cambio de aceite de diferencial delante y posterior	1
9/01/2024	Toyota/Hilux/BAP-746	Preventivo	122441	320	cambio de aceite y filtros, cambio de pastillas de freno	1
9/01/2024	Toyota/Hilux/BAO-776	Preventivo	113618	450	cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, cambio de pastillas y zapatas	1

Nota. En la tabla se muestra los mantenimientos realizados a la camioneta toyota Hilux en cada kilometraje

Anexo 3

Historial de Mantenimiento Bus Volvo

Fecha	Vehículo	Tipo Mantt	Valor del odómetro	Precio Total	Descripción del mantenimiento	Tiempo de mantto
2/11/2023	Volvo / V9Q-857	Correctivo	64970	1200	cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos	1 día
17/07/2023	Volvo / V9Q-857	Preventivo	61128	1385.95	cambio de dos muelles lado derecho (hoja madre y segundo uelle) cambio de tercer muelle lado izquierdo, cambio de dos llantas delanteras (almacén), cambio de cinta de timón, mantenimiento de inyectores, cambio de fundas de asiento, cambio de pedal de acelerador (marcaba potencia de motor reducida)	5dias
24/04/2023	Volvo / V9Q-857	Correctivo	55999	1310.3	cambio de aceite y filtros, regulación de frenos	1 día

28/04/2022	Volvo / V9Q-857	Preventivo	44000	210	cambio de aceite y filtros, cambio de pastillas de freno	1 día

Nota. En la tabla se muestra los mantenimientos realizados al bus Volvo en cada kilometraje

Anexo 4

Métricas del indicador OEE

OEE	INDICADOR	RESULTADOS
mayor a 65%	No aceptable	Pérdidas económicas considerablemente grandes
entre 65% y 75%	Regular	Solo será aceptable si se encuentra en proceso de mejoras, incurre en pérdidas económicas
entre 75% y 85%	Aceptable	Pérdidas económicas pequeñas, competencia baja
entre 85% y 95%	Bueno	Competencias Buena, valores aceptables
mayor a 99%	Muy bueno	Competencias excelentes, hay ganancias

Nota. Se describe en la tabla los porcentajes considerados para una eficacia general de equipos y se evalúa la decisión a tomar dependiendo de dichos porcentajes Tomado de (Moubray, 1997).

Anexo 5

Incidencia de falla en cada mes

Fecha	Descripción	Duración (días)	2022	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2023	2024
			12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
			Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene
22/12/2022	Cambio de sensor MAF, reparación de 4 inyectores, cambio de 4 llantas MT	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24/12/2022	cambio de aceite y filtros, Mantenimiento de frenos, inspección de líquidos.	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24/01/2023	Cambio de válvulas de inyectores 3 y 4	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/03/2023	Cambio de conexión de manguera de sistema de refrigeración (se cortó con una piedra), cambio de líquido de refrigerante 15gl	5	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9/03/2023	Cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/03/2023	Cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos, regulación de freno de mano, inspección de líquidos.	4	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/03/2023	Cambio de aceite de motor, cambio de filtros, cambio de kit de embrague, instalación de pértiga y circulan.	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

29/04/2023	Rectificación de discos de freno, cambio de pastillas (pastillas chocaron metal con metal), cambio de kit de embrague (plato disco y collarín)	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8/06/2023	Cambio de cremallera de dirección, Cambio de bujes de trapecio, cambio de amortiguadores, cambio de fundas de asiento, cambio de hidrolina, lavado y engrase de unidad, cambio de sensor MAF, cambio de cinta de timon, cambio de extintor	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
20/06/2023	Cambio de ponchos de palier, cambio de esparrago de llanta izquierda delantera, mantenimiento de inyectores (cambio de válvula del tercer inyector), cambio de sensor de nivel de presión del depósito de petróleo, reparación de sistema eléctrico no llega corriente a los faros, limpieza de tanque de combustible, cambio de 2 llantas MT	4	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
27/06/2023	Cambio de aceite y filtros de aire combustible y aceite, inspección de líquidos, alineamiento y balanceo de neumáticos.	5	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
3/07/2023	Cambio de tercera hoja de muelle, mantenimiento de inyectores y recalibración	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
3/07/2023	Cambio de 4 llantas, (se usaron las de almacén)	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
10/07/2023	Cambio de aceite, cambio de filtros, cambio de pastillas, mantenimiento de fajas, revisión de sistema eléctrico en general	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
15/07/2023	Cambio de kit de embrague y cambio de fluidos de transferencia	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-

16/08/2023	Cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos, regulación de freno de mano, inspección de líquidos, aumento de refrigerante	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
4/09/2023	Cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
11/09/2023	Cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
21/09/2023	Mantenimiento correctivo de alternador, cambio de rodajes de alternador, reparación de carrocería por choque, cambio de direccional izquierdo delantero	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
25/09/2023	Cambio de aceite, cambio de filtros, cambio de kit de embrague, cambio de precalentadores	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
27/09/2023	Cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
7/10/2023	Cambio de batería por falla de carga, inspección de alternador, mantenimiento de palieres	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
31/10/2023	Cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos, cambio de filtro de cabina	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-

7/11/2023	Cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, mantenimiento de frenos, instalación de faro pirata, inspección de sistema eléctrico	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
30/11/2023	Cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, inspección de líquidos, mantenimiento de frenos	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
16/12/2023	Reparación de turbo, rectificado de discos, escaneo y reparación de cable de inyector.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
26/12/2023	Cambio de aceite y filtros, inspección de líquidos, inspección de batería, reparación de tubo de escape, mantenimiento de frenos	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
4/01/2024	Cambio de aceite, cambio de filtro de petróleo, aire, aceite y cambio de filtro de cabina, cambio de aceite de caja, y cambio de aceite de diferencial delante y posterior	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
9/01/2024	Cambio de aceite y filtros, cambio de pastillas de freno	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
9/01/2024	Cambio de aceite, cambio de filtros de aire, petróleo y aceite, cambio de pastillas y zapatas	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	TOTAL:	64	4	1	0	11	1	0	10	11	1	8	6	3	2	6

Nota. En la siguiente tabla muestra el número de incidentes y/o mantenimientos en cada mes.

Anexo 6

Cálculo de disponibilidad, MTBF y MTTR

HORAS PROYECTADAS:		**2400**	**DIAS PROYECTADOS:**	**20**				
Equipo	**Mes**	**N° mes**	**Dias totales de parada**	**Números de parada**	**Días de operación real**	**Disponibilidad (%)**	**Mtbf**	**Mttr**
TOYOTA HILUX	Dic	12	4	2	16	80%	8	2
	Ene	1	1	1	19	95%	19	1
	Feb	2	0	0	20	100%	-	-
	Mar	3	11	4	9	45%	2.25	2.75
	Abr	4	1	1	19	95%	19	1
	May	5	0	0	20	100%	-	-
	Jun	6	10	3	10	50%	3.33	3.33
	Jul	7	11	4	9	45%	2.25	2.75
	Ago	8	1	1	19	95%	19	1
	Set	9	8	5	12	60%	2.4	1.6
	Oct	10	6	2	14	70%	7	3
	Nov	11	3	2	17	85%	8.5	1.5

	Dic	12	2	2	18	90%	9	1
	Ene	1	6	3	14	70%	4.67	2
					PROMEDIO	77%	8.3	1.91

Nota. En la siguiente tabla se aprecia la disponibilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación calculadas por cada mes.

Anexo 7

Frecuencia de fallas

Ítem	Descripción	Cantidad eventos	Tiempo que toma (hrs)	Total, hrs parada	Frecuencia (%)	Acumulado (%)
5	Cambio de kit de embrague	5	16	80	18.80%	19%
1	Cambio de aceite y filtros	16	4	64	15.10%	34%
15	Alineamiento y balanceo de neumáticos	1	40	40	9.40%	43%
14	Cambio de ponchos de palier, cambio de espárrago de llanta izquierda delantera, reparación de sistema eléctrico (no llega corriente a los faros), limpieza de tanque de combustible	1	32	32	7.50%	51%
10	Mantenimiento de inyectores	2	16	32	7.50%	58%
19	Reparación de carrocería por choque, cambio de direccional izquierdo delantero	1	24	24	5.60%	64%
7	Reparación de sistema eléctrico	3	8	24	5.60%	70%
4	Cambio de filtro de cabina	7	3	21	4.90%	75%
6	Cambio de sensores	4	5	20	4.70%	79%
17	Reparación de turbo, rectificado de discos, escaneo y reparación de cable de inyector	1	16	16	3.80%	83%
2	Mantenimiento de frenos	13	1	13	3.10%	86%
3	Inspección de líquidos	9	1	9	2.10%	88%

11	Rectificación de discos de freno	1	8	8	1.90%	90%
13	Cambio de cremallera de dirección, cambio de bujes de trapecio, cambio de amortiguadores, cambio de fundas de asiento, cambio de hidrolina, lavado y engrase de unidad, cambio de cinta de timón, cambio de extintor	1	8	8	1.90%	92%
8	Cambio de conexión de manguera de sistema de refrigeración, cambio de líquido de refrigerante	2	4	8	1.90%	94%
16	Cambio de tercera hoja de muelle, mantenimiento de inyectores y recalibración	1	5	5	1.20%	95%
18	Reparación de tubo de escape	1	5	5	1.20%	96%
20	Reparación de rodajes de alternador, mantenimiento correctivo de alternador	1	5	5	1.20%	97%
22	Instalación de faro pirata, inspección de sistema eléctrico	1	5	5	1.20%	99%
9	Cambio de llantas	2	2	4	0.90%	100%
12	Cambio de pastillas de freno	1	1	1	0.20%	100%
21	Cambio de batería por falla de carga, inspección de alternador, mantenimiento de palieres	1	1	1	0.20%	100%
			TOTAL	425	100%	

Nota. En la tabla se aprecia las frecuencias de falla del equipo ordenada de mayor a menor frecuencia.