

Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) en Equipos de Carga
(Montacargas) para Edinsa de la Empresa Postobón Gaseosas del Llano (Villavicencio)

Brayan Forero y John Silva

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Carlos Arturo Pérez Paramo

Ingeniero Mecánico especialista en gerencia administrativa y financiera

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá D.C

2025

Dedicatoria

Este trabajo de monografía lo dedicamos a todas las personas que han sido esenciales en nuestra formación profesional durante este proceso de especialización. A nuestras familias, cuyo apoyo constante, comprensión y confianza han sido la base para seguir adelante con determinación y perseverancia.

A nuestros profesores y tutores, quienes con su vasta experiencia y conocimiento nos han guiado, retado e inspirado a alcanzar nuevos niveles de excelencia. Gracias por brindarnos herramientas valiosas que enriquecerán nuestra práctica profesional en el campo de la gerencia de mantenimiento.

Finalmente, dedicamos este trabajo a todos los profesionales del área de mantenimiento, cuyo compromiso, esfuerzo y dedicación diaria permiten optimizar los recursos y procesos, contribuyendo al desarrollo y sostenibilidad de las organizaciones.

A todos ellos, ¡muchas gracias!

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han sido fundamentales en el desarrollo y culminación de esta monografía de especialización en Gerencia de Mantenimiento.

En primer lugar, agradecemos profundamente a nuestros familiares, quienes nos han brindado su apoyo incondicional, comprensión y motivación a lo largo de este proceso académico. Su amor y confianza han sido la base sobre la cual hemos construido este logro.

A nuestros profesores y tutores, quienes nos han guiado con su conocimiento, experiencia y generosidad, compartiendo con nosotros herramientas y perspectivas valiosas que han enriquecido nuestra visión del área de mantenimiento. Su dedicación a nuestra formación ha sido esencial para alcanzar este hito académico.

A nuestros compañeros, por el intercambio de ideas y el aprendizaje mutuo, que enriquecieron esta experiencia académica.

Y a todos los profesionales del área de mantenimiento, cuya dedicación y compromiso nos han inspirado a seguir profundizando en esta disciplina.

Gracias a todos por su apoyo y confianza.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	13
Introducción	15
1. Planteamiento del Problema	17
2. Objetivos.....	18
2.1.Objetivo General.....	18
2.2.Objetivos Específicos.....	18
3.Materiales y Métodos.....	19
3.1.Marco Teórico.....	19
3.1.1.Operacionales Específicas en un Ambiente Operacional Específico (SAE JA1011).....	23
3.1.2.Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF)	23
3.1.3.Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR)	24
3.1.4.Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures MTBF).....	25
3.1.5.Localización de fallas	25
3.2.¿Qué son los Montacargas?	27
3.2.1.Características técnicas de los montacargas	28
3.2.2.Identificación de Funciones en el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM).....	29
3.2.3.Fallas Funcionales.....	30
3.2.4.Modos de Falla.....	30
3.2.5.Efectos de Falla.....	30
3.2.6.Selección de Tareas en el RCM.....	32
4.Metodología AMEF (análisis de modo y efecto de fallo).....	34
4.1.Proceso básico del AMEF:.....	35

4.2.Sistema de evaluación AMEF:.....	36
4.3. Alcance del AMEF	37
4.4. Diligenciamiento del AMEF.....	38
5. Análisis modo de fallos y efectos (AMEF).....	47
5.1. Transmisión en montacargas.....	47
5.1.1 Vástagos controladores de marchas	48
5.2 Sistema hidráulico montacargas.....	52
5.2.1 Mangueras	52
5.3 Motor de montacargas.....	58
5.3.1 Daño en culata por temperatura	58
5.4 Sistema eléctrico de montacargas	64
5.4.1 Motor de Arranque.....	64
5.5 Sistema de dirección	70
5.5.1 Daño en rodamientos de tapacubo	70
5.6 Sistema de refrigeración	76
5.6.1 Daño en el radiador	76
5.7 Sistema de frenos	82
5.7.1 Daño en las bandas de Freno	82
Conclusiones.....	87
Recomendaciones	88
Referencias Bibliográficas	89
Apéndices.....	92

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Valores de criterio de gravedad (Bestratén & Ramos, 2004)</i>	36
Tabla 2 <i>Valores de criterio de frecuencia (Bestratén & Ramos, 2004)</i>	37
Tabla 3 <i>Valores de criterio de detectabilidad (Bestratén & Ramos, 2004)</i>	37
Tabla 4 <i>Estructura AMEF (Fuente Propia)</i>	38
Tabla 5 <i>Fallos en Transmisión en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	41
Tabla 6 <i>Fallos en Sistema Hidráulico en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	42
Tabla 7 <i>Fallos en Motor en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	42
Tabla 8 <i>Fallos en Sistema Eléctrico en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	43
Tabla 9 <i>Fallos en la Dirección en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	43
Tabla 10 <i>Fallos en Sistema de Refrigeración en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i> ...	43
Tabla 11 <i>Fallos en Sistema de Frenos en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	44
Tabla 12 <i>Tipos de Fallos en los Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	45
Tabla 13 <i>Indicadores de los Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	46
Tabla 14 <i>Tabla AMEF Transmisión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	49
Tabla 15 <i>Tabla de Decisión Sistema de Transmisión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	50
Tabla 16 <i>Tabla AMEF Sistema Hidráulico Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	54
Tabla 17 <i>Tabla de Decisión Sistema Hidráulico Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	56
Tabla 18 <i>Tabla AMEF Motor a Combustión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	59
Tabla 19 <i>Tabla de Decisión Motor a Combustión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	62

Tabla 20 <i>Tabla AMEF Sistema Eléctrico Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	65
Tabla 21 <i>Tabla de Decisión Sistema Eléctrico de Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	68
Tabla 22 <i>Tabla AMEF Sistema Dirección Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	72
Tabla 23 <i>Tabla de Decisión Sistema de Dirección Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	74
Tabla 24 <i>Tabla AMEF Sistema Refrigeración Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i> ...	78
Tabla 25 <i>Tabla de Decisión Sistema de Refrigeración Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	80
Tabla 26 <i>Tabla AMEF Sistema Frenos Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	83
Tabla 27 <i>Tabla de decisión Sistema de frenos montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i> ...	85

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Toyota montacargas GLP 3,5 TON (estudio del activo) TOYOTA, 2024.</i>	16
Figura 2 <i>Pasos para realizar un análisis RCM - Admin. 2022.</i>	22
Figura 3 <i>Mantenimiento basado en la Confiabilidad RCM - John D. Campbell. 2019</i>	26
Figura 4 <i>Especificaciones 3,5 kg dimensiones y capacidades-Toyota-8FGDI. 2016.</i>	29
Figura 5 <i>Pareto de fallas por sistemas de montacargas Toyota-8FGDI Indicadores de Mantenimiento</i>	45
Figura 6 <i>Fallas en transmisión de montacargas Toyota-8FGDI</i>	47
Figura 7 <i>Vástagos controladores de marchas Montacargas Toyota-8FGDI</i>	48
Figura 8 <i>Diagrama de decisión RCM sistema de transmisión</i>	51
Figura 8 <i>Fallas en el sistema hidráulico de montacargas Toyota-8FGDI</i>	52
Figura 9 <i>Mangueras del sistema hidráulico Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	53
Figura 10 <i>Diagrama de decisión RCM sistema hidráulico</i>	57
Figura 11 <i>Fallas en el motor de montacargas Toyota-8FGDI</i>	58
Figura 12 <i>Daño en culata por temperatura Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	61
Figura 13 <i>Diagrama de decisión RCM sistema de motor a combustión</i>	63
Figura 14 <i>Fallas en el sistema eléctrico de montacargas Toyota-8FGDI</i>	64
Figura 15 <i>Daño en motor de arranque Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	65
Figura 16 <i>Diagrama de decisión RCM sistema de refrigeración</i>	69
Figura 17 <i>Fallas en el sistema de la dirección de montacargas Toyota-8FGDI</i>	70
Figura 18 <i>Daño en rodamiento de tapacubo Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	71
Figura 19 <i>Diagrama de decisión RCM sistema de dirección</i>	75

Figura 20 <i>Fallas en el sistema de refrigeración del montacargas Toyota-8FGDI</i>	76
Figura 21 <i>Daño en el radiador Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	77
Figura 22 <i>Diagrama de decisión RCM sistema de refrigeración</i>	81
Figura 23 <i>Fallas en las bandas de frenos del montacargas Toyota-8FGDI</i>	82
Figura 23 <i>Daño bandas de freno Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)</i>	83
Figura 25 <i>Diagrama de decisión RCM sistema de frenos</i>	86

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A	92
Apéndice B.....	93

Glosario

Análisis de criticidad: proceso que determina la importancia de un equipo o componente según su impacto en la operación y el riesgo asociado a su falla.

Activos: elementos físicos o sistemas que tienen valor para una organización y requieren mantenimiento para su funcionamiento óptimo.

Ciclo de vida: período completo de funcionamiento de un equipo, desde su adquisición e instalación hasta su retiro definitivo.

Confiabilidad: capacidad de un equipo para desempeñar su función sin fallas durante un período determinado bajo condiciones operativas normales.

Disponibilidad: porcentaje de tiempo en que un equipo está en condiciones operativas y listo para su uso.

Falla potencial: indicios o señales que advierten sobre una posible falla futura en un componente o sistema.

Fallas funcionales: situaciones en las que un equipo no cumple con su función esperada dentro de los parámetros establecidos.

Mantenimiento predictivo: estrategia de mantenimiento basada en la supervisión y análisis de parámetros operacionales para anticipar fallas antes de que ocurran.

Mantenimiento preventivo: conjunto de actividades programadas para reducir la probabilidad de fallas y extender la vida útil de los equipos.

Modo de falla: forma específica en la que un componente deja de cumplir su función, afectando la operación del sistema.

MTTR (Mean Time To Repair): tiempo promedio requerido para reparar un equipo tras una falla y devolverlo a su estado operativo.

NPR (Número Prioritario de Riesgo): indicador que evalúa la criticidad de una falla combinando su gravedad, ocurrencia y capacidad de detección.

RCM (Reliable Centered Maintenance): metodología de mantenimiento que busca optimizar la confiabilidad de los equipos mediante estrategias basadas en análisis de fallas y criticidad.

Redundancia: incorporación de elementos adicionales en un sistema para garantizar su funcionamiento en caso de fallas.

Tasa de falla: medida de la frecuencia con la que un equipo o componente experimenta fallas dentro de un período específico.

Resumen

Título: Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) en Equipos de Carga (Montacargas) para Edinsa de la Empresa Postobón Gaseosas del Llano (Villavicencio)**

Autor: Brayan Gerónimo Forero Serrano, John Fredy Silva García^{††}

Palabras Clave: RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), AMEF (Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad), Disponibilidad, Confiabilidad, MTTR (Mean Time To Repair), NPR (Número Prioritario de Riesgo), Análisis de Criticidad, Mantenimiento Preventivo.

Descripción: Este trabajo de grado propone un Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) para los montacargas Toyota-8FGDI de Edinsa - Postobón Gaseosas del Llano en Villavicencio, Meta, con el objetivo de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. A través del Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMEF) y el Número Prioritario de Riesgo (NPR), se identificaron fallas críticas en transmisión, hidráulico, motor, eléctrico, dirección, refrigeración y frenos, siendo las más comunes el desgaste de controladores de marchas, fugas en mangueras hidráulicas y sobrecalentamiento del motor, lo que ha generado altos tiempos de inactividad. El estudio muestra que el mantenimiento correctivo ha demandado una alta inversión de horas, por lo que se recomienda implementar monitoreo continuo y estrategias de intervención temprana. La aplicación del RCM optimizará la planificación del mantenimiento, reducirá costos y garantizará la operatividad de la flota, asegurando eficiencia y seguridad en la operación logística de la empresa.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Carlos Arturo Pérez Paramo. Ingeniero mecánico Especialista en gerencia administrativa y financiera.

Abstract

Title: Reliability-Based Maintenance (RCM) Plan for Loading Equipment (Forklifts) for Edinsa of the Postobón Gaseosas del Llano Company (Villavicencio)*

Author: Brayan Gerónimo Forero Serrano, John Fredy Silva García††**

Keywords: RCM (Reliability-Centered Maintenance), FMEA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), Availability, Reliability, MTTR (Mean Time To Repair), NPR (Priority Risk Number), Criticality Analysis, Preventive Maintenance.

Description: This thesis proposes a Reliability-Based Maintenance (RCM) Plan for the Toyota-8FGDI forklifts of Edinsa - Postobón Gaseosas del Llano in Villavicencio, Meta, with the aim of improving the reliability and availability of the equipment. Through the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and the Priority Risk Number (PRN), critical failures were identified in transmission, hydraulic, motor, electrical, steering, cooling and brakes, the most common being wear of gear controllers, leaks in hydraulic hoses and engine overheating, which has generated high downtime. The study shows that corrective maintenance has demanded a high investment of hours, so it is recommended to implement continuous monitoring and early intervention strategies. The application of RCM will optimize maintenance planning, reduce costs and guarantee the operation of the fleet, ensuring efficiency and safety in the company's logistics operation.

* Thesis

†Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Carlos Arturo Pérez Paramo. Mechanical engineer Specialist in administrative and financial management.

Introducción

En una época de intensa competencia en el ámbito empresarial, es común que las compañías de diversos sectores busquen constantemente la innovación. En última instancia, es fundamental destacar y avanzar en la utilización de tecnologías. En este contexto, el tipo de mantenimiento de activos debe seleccionarse y aplicarse con cuidado para mantener una alta productividad dentro de las empresas. Aunque a simple vista puede parecer complicado, lo mencionado anteriormente es crucial para cualquier organización que busque lograr buenos resultados y sostener su competitividad. La clave está en contar con una metodología estructurada que facilite el desarrollo de la mejor estrategia de mantenimiento para sistemas o equipos específicos, asegurando confiabilidad, seguridad y reducción de costos: el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). El RCM es una estrategia de mantenimiento que se orienta en implementar los métodos más efectivos para garantizar el correcto funcionamiento del equipo. Esta metodología requiere un análisis exhaustivo de los elementos necesarios para que los activos de la empresa operen de manera confiable, al tiempo que se controlan los costos. Este análisis incluye evaluar los factores que contribuyen a las fallas del equipo, identificar los componentes necesarios y considerar la importancia de cada activo, entre otros aspectos. Por esta razón, este documento propone un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para los montacargas de la Empresa Postobón Gaseosas del Llano en Villavicencio y EDINSA (transportadoras) dentro de su planta. Postobón es una empresa líder en el mercado de bebidas no alcohólicas en Colombia y se distingue como la compañía con capital 100% colombiano que genera mayores ingresos en este sector. Con 66 sedes, que incluyen plantas de producción y centros de distribución, Postobón abarca el 90% del territorio nacional. Sus productos son de fácil acceso

en tiendas, supermercados, grandes superficies, restaurantes y hogares colombianos, gracias a sus efectivas estrategias de venta y distribución. Por lo tanto, al proponer un plan de RCM, se busca que Postobón, a través de EDINSA y su patio en el Llano, especialmente en la planta de Montacargas a nivel nacional, asegure que todas las actividades de mantenimiento se enfoquen en mantener los equipos en condiciones de funcionamiento seguras y confiables. Este método, basado en datos, permite determinar las estrategias de mantenimiento más efectivas para cada activo, utilizando el historial del equipo, la experiencia operativa y el conocimiento técnico en ingeniería. El RCM no solo previene fallas, sino que también optimiza el uso de recursos, garantizando que las inversiones en mantenimiento sean efectivas. Al implementar este plan, EDINSA podrá mejorar la confiabilidad de sus sistemas, reducir costos operativos y prolongar la vida útil de los equipos, asegurando una operación eficiente y competitiva.

Figura 1

Toyota montacargas GLP 3,5 TON (estudio del activo) TOYOTA, 2024.



1. Planteamiento del Problema

EDINSA es una empresa de transporte de carga terrestre de servicio público que opera a nivel nacional. Su objetivo es controlar y equilibrar los costos de transporte de materias primas, empaques y productos terminados que se requieren y producen por las diversas empresas que componen la OAL. Opera y administra la flota de vehículos de Postobón S.A, entre otras actividades. En los últimos años, la forma de entender el mantenimiento ha evolucionado de manera continua, especialmente debido al aumento de la mecanización, la creciente complejidad de los equipos, activos e infraestructuras, así como la incorporación de nuevas técnicas de mantenimiento. Todo esto refleja un cambio en la perspectiva de las organizaciones y sus responsabilidades.

Debido al crecimiento continuo de la industrialización y la automatización, los períodos de inactividad tienen un impacto cada vez más significativo en la producción, el costo total y el servicio al cliente. La importancia de la gestión del mantenimiento se hace evidente en la tendencia global hacia sistemas de producción sincronizada, donde las fallas recurrentes pueden provocar la detención completa de las operaciones incluso por pequeñas averías. En este contexto, es crucial implementar estrategias de mantenimiento efectivas que minimicen el riesgo de fallas y optimicen la disponibilidad de los equipos, garantizando así la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Esto no solo ayuda a reducir costos, sino que también fortalece la competitividad de las empresas en un mercado cada vez más exigente. Al crear un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, podemos garantizar que las fallas tienen que disminuir y al mismo tiempo aumentar la disponibilidad de los montacargas para la operación de transporte de Postobón a través de Edinsa, además de extender la vida útil de los equipos.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Proponer un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) en equipos de carga (Montacargas) de Edinsa, para la empresa Postobón gaseosas del llano en la ciudad de Villavicencio.)

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el estado de los equipos de carga (montacargas) de Edinsa para la empresa de Postobón en el patio de Villavicencio con el fin de validar modos y fallas en los mismos.
- Definir el contexto operacional del RCM (mantenimiento basado en confiabilidad) para los equipos de montacargas en términos de temperatura y horas de operación.
- Diseñar un modelo de mantenimiento basado en confiabilidad para los equipos de montacargas identificados previamente.
- Planificar las actividades de mantenimiento basándose en diagramas de decisión del RCM focalizado a los equipos de montacargas

3. Materiales y Métodos

3.1. Marco Teórico

La confiabilidad, según Smith (2009), es la capacidad de un equipo o sistema para desempeñar su función deseada sin fallos durante un periodo de tiempo específico, bajo condiciones operativas determinadas. Se refiere a la probabilidad de que un equipo opere sin interrupciones y de acuerdo con los estándares previstos, minimizando el riesgo de fallos inesperados. La confiabilidad no solo está vinculada a la calidad de la fabricación del equipo, sino también a cómo se mantiene y gestiona a lo largo de su vida útil. En el contexto de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), la confiabilidad es un concepto fundamental que guía las estrategias de mantenimiento para garantizar que los equipos funcionen eficientemente, con un enfoque en la prevención de fallos. Esto implica evaluar las funciones críticas de un equipo, identificar sus modos de fallo y determinar las acciones necesarias para evitar o mitigar esos fallos. El objetivo es maximizar el tiempo de operación del equipo mientras se minimizan los costos operativos y de mantenimiento, asegurando que los equipos mantengan su rendimiento a lo largo del tiempo.

La confiabilidad, según el enfoque del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), se refiere a la capacidad de un equipo o sistema para desempeñar su función requerida sin fallas durante un período de tiempo especificado, bajo condiciones normales de operación. En el contexto de RCM, la confiabilidad no solo se mide por la frecuencia de fallas, sino por la capacidad del sistema para continuar funcionando eficazmente en los niveles deseados, minimizando los riesgos de fallos inesperados que puedan afectar su rendimiento o seguridad. Este concepto está

estrechamente ligado a un enfoque proactivo que busca identificar, prevenir y gestionar los riesgos asociados con los equipos antes de que ocurran fallas, a través de un análisis exhaustivo de las posibles formas de fallar, sus causas y las consecuencias de no abordarlas. El mantenimiento basado en la confiabilidad enfatiza el uso de estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo para maximizar el tiempo de funcionamiento de los equipos, asegurando que estén disponibles cuando se necesiten y operen con la mayor eficiencia posible. Este enfoque es crucial para mejorar la confiabilidad y la disponibilidad operativa de los activos industriales, reduciendo costos innecesarios y mejorando la seguridad en el lugar de trabajo.

La importancia de adaptar los programas de mantenimiento al contexto específico de cada organización. Según Soriano (2003), una correcta gestión del mantenimiento no solo depende de aplicar técnicas estándar, sino de comprender profundamente las características particulares de la empresa, sus procesos productivos, los equipos involucrados y las condiciones operativas.

Soriano destaca que un enfoque contextualizado permite identificar las necesidades reales de mantenimiento, optimizando los recursos disponibles y garantizando la eficiencia operativa. Al adaptar las estrategias, se busca no solo reducir costos, sino también mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, alineando el mantenimiento con los objetivos estratégicos de la empresa.

Además, el autor señala que, para implementar un programa de mantenimiento eficaz, es fundamental involucrar a todo el personal de la organización, desde los operadores hasta la alta dirección, y fomentar una cultura de mantenimiento preventivo y predictivo. La gestión debe estar centrada en la planificación a largo plazo, utilizando herramientas tecnológicas y metodologías adecuadas para el contexto particular de cada planta o instalación. Finalmente, Soriano enfatiza que una gestión del mantenimiento exitosa requiere de una evaluación continua, para ajustar las

estrategias según los cambios en el entorno y los avances tecnológicos, lo que permite mantener la competitividad y asegurar la continuidad de la operación.

El RCM, o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, es una metodología de gestión que organiza las actividades necesarias para establecer programas centrados en la confiabilidad de los equipos. Esta técnica no solo garantiza un programa de mantenimiento eficiente, sino que también se enfoca en mantener la confiabilidad original del equipo a lo largo del tiempo. Según John Moubray, el RCM es un proceso que determina las acciones necesarias para asegurar que cualquier activo continúe satisfaciendo las expectativas de sus usuarios en su contexto operativo.

Según Moubray (1991), este enfoque se emplea para identificar las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico a lo largo de su ciclo de vida. En este contexto, el término "mantenimiento" abarca todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión que se llevan a cabo durante el ciclo de vida de un activo, con el objetivo de mantenerlo en condiciones óptimas o restaurarlo a un estado que le permita cumplir eficazmente su función.

Este enfoque sistemático permite a las organizaciones analizar de manera profunda los modos de falla y sus efectos, optimizando así las estrategias de mantenimiento para maximizar la disponibilidad y eficiencia de los activos. Al implementar el RCM, las empresas pueden mejorar significativamente su capacidad para prevenir fallos, reducir costos operativos y aumentar la satisfacción del cliente, asegurando que los equipos estén siempre listos para operar según las expectativas.

Parra (1996) define el RCM como un proceso de gestión del mantenimiento en el que un grupo de especialistas se dedica a mejorar la confiabilidad operativa de un sistema que opera en condiciones específicas. Este enfoque consiste en identificar las intervenciones de mantenimiento más efectivas, basándose en la relevancia de los activos dentro del sistema y teniendo en cuenta

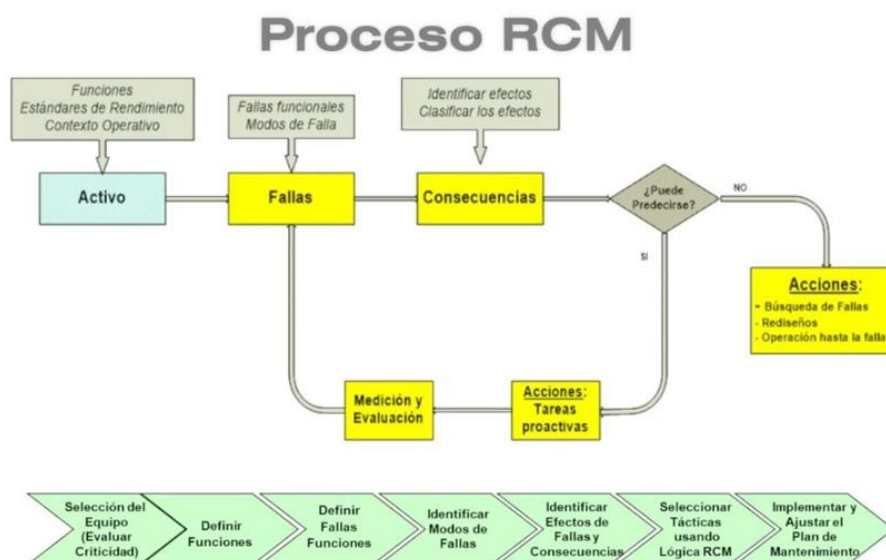
los posibles efectos de los diferentes modos de falla. Además, se busca garantizar que cada acción se alinee con los objetivos operativos, lo que permite una gestión más eficaz y un mejor rendimiento general.

Antes de la especialización y la globalización de la cadena de suministro, los fabricantes de equipos solían ser también sus usuarios finales, lo que les daba un conocimiento innato de las partes de sus productos. Sin embargo, con el aumento de la especialización, los creadores de productos y los clientes de activos físicos se separaron, lo que llevó a estos últimos a requerir una metodología más completa y estratégica para comprender y gestionar las partes de su maquinaria.

Durante la década de 1960, la tasa de accidentes aéreos aumentó, lo que obligó a la industria a modificar su enfoque hacia el mantenimiento, que no se estaba realizando con la frecuencia necesaria para evitar esos accidentes graves. La industria necesitaba ayuda para identificar posibles fallas y, como resultado, adoptó un nuevo enfoque, especialmente en el ámbito de la aviación, donde surgió el RCM.

Figura 2

Pasos para realizar un análisis RCM - Admin. 2022



3.1.1. Operacionales Específicas en un Ambiente Operacional Específico (SAE JA1011)

El "Criterio para la Evaluación de los Procesos de Mantenimiento Basados en la Confiabilidad (RCM)", recientemente establecido como el estándar SAE JA1011, presenta un conjunto de criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser calificado como RCM. Aunque el objetivo de este estándar es determinar la idoneidad de un proceso como RCM, no detalla el proceso en sí. Este debe responder a siete preguntas planteadas por el estándar.

En general, los manuales técnicos sugieren programas de mantenimiento para equipos y sistemas, considerando en ocasiones diferentes condiciones operativas. Por ejemplo, un manual de automóvil especificará distintas densidades de lubricantes y anticongelantes según la temperatura del entorno. Sin embargo, estos manuales no consideran las acciones de mantenimiento en función del estilo de conducción, ya sea intenso o moderado, ni del uso del vehículo, como en el caso de una flota de taxis en comparación con viajes ocasionales. Además, es raro que se ajusten específicamente a las operaciones en entornos industriales. Por ejemplo, si un compresor de aire de instrumentación está ubicado en una región fría, las especificaciones del manual podrían ser las mismas que las de un compresor en un clima tropical húmedo, lo que podría resultar inapropiado para las condiciones reales de operación.

Indicadores de Confiabilidad Propulsores en la Gestión del Mantenimiento

3.1.2. Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF)

El tiempo promedio que el equipo puede funcionar a plena capacidad dentro del período considerado se mide con este indicador, que sirve como un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El "Tiempo promedio hasta la falla" o el "tiempo promedio operativo" son otros nombres para el tiempo promedio para fallar.

3.1.3. Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR)

Es una medida de la distribución del tiempo necesario para reparar un sistema o equipo. Este indicador evalúa la capacidad de una unidad para restaurar sus condiciones operativas ideales después de haber estado fuera de servicio debido a una falla, dentro de un período de tiempo específico.

Disponibilidad: La función de disponibilidad permite calcular el porcentaje del tiempo total en que se prevé que un equipo esté listo para realizar la tarea para la que fue diseñado. La dirección puede considerar diferentes acciones para mejorar la disponibilidad al analizar factores que la afectan, como el Tiempo Promedio entre Fallas (TPPF) y el Tiempo Promedio de Reparación (TPPR).

Utilización: La utilización, también conocida como factor de servicio, se refiere a la medición del tiempo efectivo que un activo opera dentro de un período determinado. Este indicador es fundamental para evaluar la eficiencia operativa de un equipo, ya que permite entender cuánto tiempo está realmente en uso en comparación con el tiempo total disponible. Al analizar la utilización, las organizaciones pueden identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y maximizar el rendimiento de sus activos.

Confiabilidad: Se refiere a la probabilidad de que un equipo realice una tarea específica dentro de un período determinado y bajo condiciones de uso específicas. El análisis de confiabilidad se concentra en identificar las fallas de un componente o equipo. Cuando un equipo funciona sin presentar fallas, se le considera completamente confiable, lo que implica una probabilidad de supervivencia igual a uno. Esta evaluación es fundamental para entender el rendimiento del equipo y garantizar su funcionamiento continuo, lo que a su vez permite tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la gestión de activos.

Al realizar un análisis de confiabilidad de un sistema o equipo, se pueden obtener datos importantes sobre su estado, tales como la probabilidad de que ocurra una falla, el tiempo promedio que transcurre antes de que suceda y la fase actual del ciclo de vida del equipo.

3.1.4. Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures MTBF).

El tiempo promedio que transcurre entre un arranque y la aparición de una falla se conoce como "tiempo entre fallas" (MTBF). La confiabilidad de un componente o equipo depende de este valor. El MTBF es uno de los parámetros clave en el análisis de confiabilidad y debe interpretarse como un indicador, más que como una representación del comportamiento de un equipo específico. Además, es crucial utilizar la información histórica almacenada en los sistemas de gestión para determinar el valor de este indicador.

3.1.5. Localización de fallas

En general, en la etapa de producción, se experimentan fallas en los equipos, especialmente en las compañías en las que el departamento de mantenimiento no tiene mucho interés. Durante estos fallos, se llevan a cabo actividades correctivas; en la mayoría de los casos, estos "arreglos" se originan por la pérdida de tiempo y, en la mayoría de las situaciones inciertas de la acción ejecutada. Por el contrario, cuando las reparaciones se llevan a cabo de acuerdo con planes de mantenimiento o en el tiempo adecuado, los desaciertos son mínimos y el tiempo de ejecución se reduce significativamente. Como resultado, las labores de mantenimiento son más eficientes, lo que permite realizar investigaciones más exhaustivas de las causas de las fallas y realizar las reparaciones.

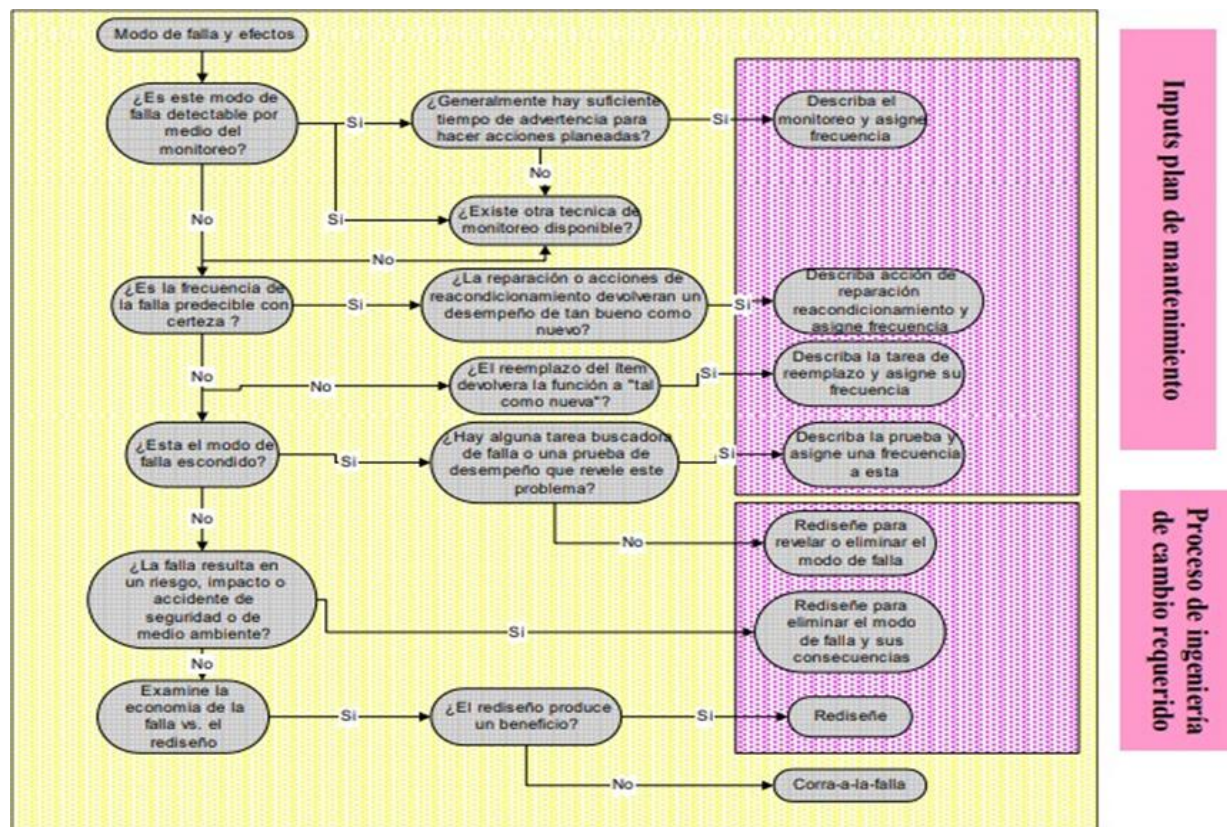
Las condiciones de los equipos deben estar relacionadas con los diferentes tipos de localización de fallas que pueden identificarse de varias maneras. Lo ideal es analizar el tipo de

falla para seleccionar el método más adecuado según la situación actual. Algunas de estas opciones incluyen:

1. Lógica secuencial
2. Sentido común
3. Resolución sistemática de fallos
4. Análisis de falla de causa raíz (RCA)
5. Análisis de modo y efecto de fallos (AMEF)
6. Análisis TPEF y TMEF
7. Sistemas de diagnóstico predictivo (CBM).

Figura 3

Mantenimiento basado en la Confiabilidad RCM - John D. Campbell. 2019



3.2. ¿Qué son los Montacargas?

Para Leach (2002) los montacargas se definen como vehículos motorizados diseñados para el manejo y transporte de materiales dentro de espacios reducidos, principalmente en entornos industriales como almacenes, fábricas y centros de distribución. Estos equipos son cruciales para mover cargas pesadas y voluminosas, permitiendo una manipulación eficiente y rápida de los materiales, lo que optimiza los procesos logísticos en diversos sectores.

Los montacargas están compuestos por varios sistemas interrelacionados que incluyen el motor, el sistema hidráulico, la transmisión y el sistema de elevación. El motor puede ser de combustión interna, alimentado por gasolina, diésel o gas, o eléctrico, dependiendo del entorno y los requerimientos específicos de la operación. El sistema hidráulico juega un papel fundamental en el funcionamiento del equipo, ya que permite levantar, bajar y estabilizar la carga con precisión. Además, el mástil del montacargas puede tener diferentes configuraciones de altura y alcance, adaptándose a las necesidades de manipulación en distintos tipos de instalaciones.

La seguridad es una preocupación esencial en el diseño y operación de los montacargas. Leach enfatiza la importancia de contar con características de seguridad como la estabilización del equipo, sistemas de protección para el operador y controles adecuados para evitar accidentes. También es crucial la capacitación de los operadores, ya que un manejo adecuado es vital para minimizar riesgos, especialmente en entornos con espacio limitado. Además, el diseño de los montacargas debe garantizar una buena visibilidad del área de trabajo, reduciendo el riesgo de colisiones y asegurando una operación eficiente. En resumen, los montacargas son herramientas esenciales que requieren una atención especial tanto a nivel técnico como de seguridad.

3.2.1. Características técnicas de los montacargas

En el libro "Operación y Mantenimiento de Montacargas" de Carlos García, se describen las características técnicas esenciales de los montacargas, destacando su función como equipos diseñados para levantar, mover y apilar cargas pesadas en espacios reducidos. Estos vehículos motorizados son fundamentales en entornos industriales como almacenes, fábricas y centros de distribución, ya que optimizan el manejo de materiales pesados en distancias cortas.

Los montacargas están compuestos por varios componentes clave que garantizan su operación eficiente. Uno de los elementos más importantes es el motor, que puede ser de combustión interna (gasolina, diésel o gas) o eléctrico. La elección del tipo de motor depende del entorno en el que se utilice el montacargas. Los modelos eléctricos son ideales para espacios cerrados, mientras que los de combustión interna son más adecuados para el trabajo en exteriores, debido a su mayor potencia y autonomía.

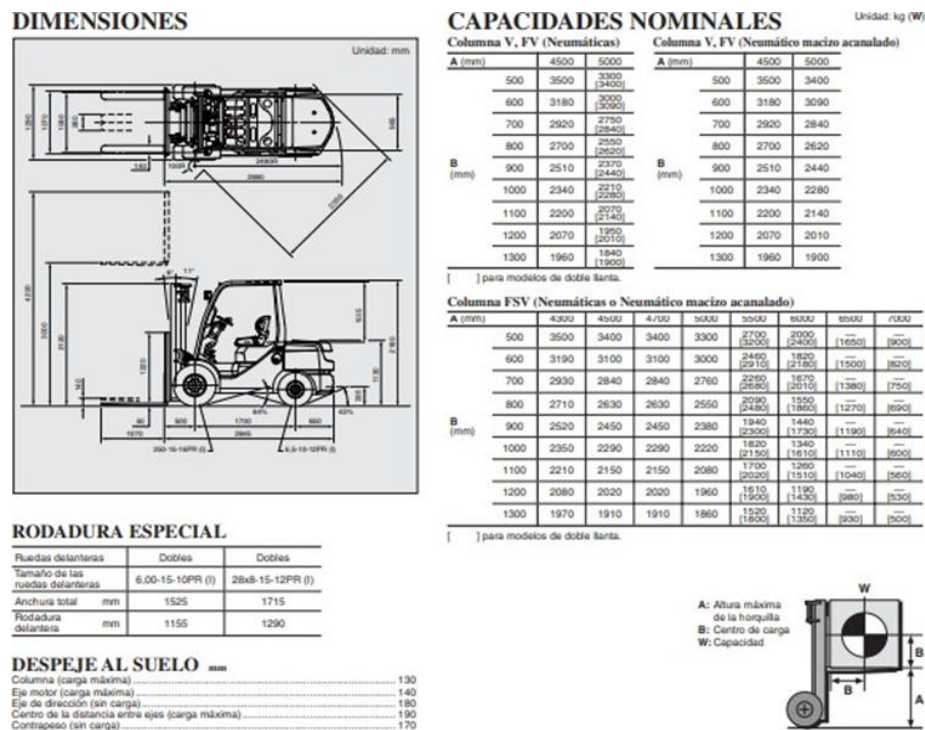
El sistema hidráulico es crucial en el funcionamiento de estos equipos, ya que permite levantar y bajar la carga de manera precisa. El mástil del montacargas, que puede variar en altura y diseño, está compuesto por varias secciones que permiten al operador ajustar la carga a diferentes alturas y niveles de apilamiento. Los sistemas de frenos y la transmisión también son componentes esenciales, asegurando un control adecuado en la operación y garantizando la seguridad del operador y de la carga.

El diseño de los montacargas está orientado a garantizar una buena estabilidad y una alta capacidad de carga, lo que les permite operar de manera eficiente en diferentes condiciones. Además, los montacargas están equipados con dispositivos de seguridad como protecciones para el operador y sistemas de control de sobrecarga, lo que asegura una operación más segura y

confiable. En resumen, las características técnicas de los montacargas permiten que sean equipos versátiles y eficientes para el manejo de materiales en diversas industrias.

Figura 4

Especificaciones 3,5 kg dimensiones y capacidades-Toyota-8FGDL. 2016



3.2.2. Identificación de Funciones en el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM)

El primer paso del proceso de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) es definir las funciones de cada recurso dentro de su contexto operacional, así como los parámetros de desempeño deseados. Estas funciones se pueden clasificar en dos tipos:

1. **Funciones primarias:** Son las razones fundamentales por las que se adquirió el recurso, tales como la velocidad, la capacidad de producción, el almacenamiento, la calidad del producto o el servicio al cliente.
2. **Funciones secundarias:** Estas se refieren a las expectativas adicionales que no están directamente relacionadas con la función principal del recurso, pero que son igualmente

importantes, como la seguridad, el confort, el control, la eficiencia operativa, el cumplimiento de normativas ambientales y la apariencia del activo.

Es fundamental que los usuarios de los recursos, quienes comprenden mejor las contribuciones físicas y financieras que estos hacen al bienestar organizacional, participen en el proceso de RCM desde el inicio.

3.2.3. Fallas Funcionales

Las funciones y expectativas asociadas a un recurso determinan los objetivos del mantenimiento. Si un recurso no cumple con los parámetros definidos, se considera que ha fallado de alguna manera. Para gestionar estas fallas, es necesario primero identificar qué tipos de fallas pueden ocurrir. En RCM, esto se aborda en dos niveles:

- Identificando las condiciones que conducen a una falla.
- Analizando qué eventos pueden desencadenar una falla en el recurso.

3.2.4. Modos de Falla

Una vez que se identifican las fallas funcionales, se deben reconocer los eventos o condiciones que pueden haber causado esos estados de falla, conocidos como **modos de falla**. Estos modos son aquellos que, basándose en experiencias previas o en la operación de equipos similares, son razonablemente posibles. Incluyen fallas prevenidas por mantenimiento, fallas no ocurridas aún, pero consideradas, y fallas típicas de desgaste o deterioro. También es crucial incluir fallas derivadas de errores humanos y de diseño, clasificando cada causa de manera detallada para evitar la pérdida de tiempo buscando causas erróneas.

3.2.5. Efectos de Falla

El siguiente paso es entender los efectos cuando un modo de falla ocurre. Es necesario describir las consecuencias de la falla de manera completa, abarcando aspectos como:

- Evidencias de la falla.
- Impacto en la seguridad y el medio ambiente.
- Efectos sobre la producción y las operaciones. (Ramírez, 2020)
- Daños físicos causados por la falla.
- Qué acciones correctivas son necesarias para reparar el daño.

Consecuencias de las Fallas

Cada tipo de falla afecta a la organización de distintas maneras, por lo que es necesario tomar medidas según la magnitud de estas consecuencias. El **RCM** reconoce que la finalidad del mantenimiento no es solo prevenir fallas, sino también reducir o mitigar sus efectos. Las consecuencias de las fallas se pueden clasificar en cuatro tipos:

1. **Fallas ocultas:** No tienen un impacto directo, pero pueden generar problemas graves más adelante.
2. **Fallas de seguridad y medio ambiente:** Causan daño a personas o violan normativas ambientales.
3. **Fallas operacionales:** Afectan directamente la producción.
4. **Fallas no-operacionales:** Solo implican costos de reparación, sin afectar la producción ni la seguridad.

Tareas Proactivas

Las tareas proactivas se realizan antes de que ocurra una falla, con el fin de prevenir que un componente llegue a un estado de falla. Estas incluyen lo que comúnmente se conoce como mantenimiento preventivo y predictivo, y en el contexto del RCM se dividen en tres tipos:

1. **Reacondicionamiento cíclico:** Consiste en realizar reparaciones o reconstrucciones significativas de componentes o equipos antes de que alcancen su límite de vida útil, independientemente de su estado.

2. **Sustitución cíclica:** Se refiere a reemplazar componentes antes de que lleguen al final de su vida útil, con el objetivo de mantener el equipo en su estado óptimo de funcionamiento.

3. **Mantenimiento a condición:** También conocido como mantenimiento predictivo, consiste en monitorear el estado del equipo y realizar acciones correctivas basadas en la condición real del componente. Las tareas a condición deben cumplir ciertos criterios:

- Si una falla es oculta, la tarea a condición debe reducir el riesgo de falla a niveles bajos y aceptables.

- Si la falla afecta la seguridad o el medio ambiente, la tarea debe dar suficiente advertencia para actuar a tiempo y evitar consecuencias graves.

- Si no hay impacto en la seguridad, la tarea debe ser rentable en comparación con los costos de no realizarla.

3.2.6. Selección de Tareas en el RCM

El proceso de selección de tareas en el **RCM** depende de la naturaleza de las fallas y sus consecuencias:

- **Fallas ocultas:** Se debe seleccionar una tarea proactiva si reduce el riesgo de falla a un nivel aceptablemente bajo. Si no es posible determinar una tarea adecuada, se pueden realizar búsquedas de fallas programadas o, en su defecto, rediseñar el equipo.

- **Fallas de seguridad y medio ambiente:** Deben ser atendidas con tareas que reduzcan el riesgo de falla a niveles muy bajos. Si esto no es posible, se debe rediseñar el equipo o cambiar el proceso.

- **Fallas operacionales y no-operacionales:** Las tareas proactivas son justificadas si su costo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y de reparación. Si no se justifica el costo, no se deben programar tareas de mantenimiento, y si las consecuencias operacionales son inaceptables, se opta por un rediseño.

En conclusión, el **RCM** se enfoca en realizar solo aquellas tareas proactivas que realmente son necesarias, lo cual ayuda a reducir la sobrecarga de trabajo rutinaria y mejora la eficiencia operativa al no interrumpir innecesariamente la producción. Además, al no centrarse únicamente en las características técnicas del equipo, sino también en las consecuencias de las fallas, el **RCM** optimiza los programas de mantenimiento y evita intervenciones no productivas.

4. Metodología AMEF (análisis de modo y efecto de fallo)

El Análisis de Modo y Efecto de Fallo (AMEF) es una herramienta que permite identificar posibles fallos dentro de un sistema o conjunto de componentes, con el objetivo de desarrollar planes de acción correctiva o preventiva que aseguren el correcto funcionamiento del equipo. Esto se logra mediante la evaluación de la probabilidad, la severidad y la capacidad de detección de los fallos en cada pieza o parte del sistema. Inicialmente desarrollado en la década de 1940 por ingenieros de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos para prevenir fallos en aviones militares, el AMEF se expandió en la década de 1950 a sectores como la industria automotriz, electrónica y médica. En 1970, el American Institute of Industrial Engineers (AIIE) estableció formalmente los estándares y parámetros para su implementación, y en 1993, el Automotive Industry Action Group (AIAG) publicó un manual para la aprobación de piezas de producción (APQP), incorporando el AMEF como una herramienta esencial en la gestión de calidad en la industria automotriz.

Definiciones claves:

- Subsistema: El sistema al que pertenece el componente que presenta fallos.
- Elemento: Parte o conjunto de partes que será evaluado en el AMEF.
- Función: La tarea o propósito que cumple el componente dentro del sistema.
- Modo de falla: Descripción del tipo de fallo que afecta la disponibilidad del equipo.
- Efectos: Consecuencias derivadas de la falla de un componente.
- Causas reales o potenciales: Factores que pueden originar el fallo.
- Controles actuales: Métodos existentes para detectar fallos y evitar paradas no programadas.

4.1. Proceso básico del AMEF:

Para llevar a cabo un análisis AMEF de manera eficiente, es necesario organizar adecuadamente la información sobre el producto, sistema o proceso a evaluar, además de contar con una base de datos histórica. Los pasos fundamentales para realizar un AMEF son los siguientes:

- Establecer claramente el alcance del análisis, definiendo el producto, los elementos o el proceso a estudiar.
- Formar un equipo multidisciplinario que aporte conocimientos desde diversas áreas de especialización.
- Identificar los posibles modos de fallo de los componentes, evaluando todos los escenarios posibles.
- Analizar la gravedad de los fallos, considerando el impacto en términos de seguridad, calidad, desempeño, costos y otros requisitos del cliente.
- Calcular la probabilidad de que ocurran los fallos, utilizando información histórica disponible.
- Estimar la capacidad de detección de los fallos, considerando métodos y herramientas de prueba previas.
- Determinar el índice de riesgo de cada modo de fallo para priorizar los componentes de mayor impacto.
- Tomar medidas correctivas o preventivas para mitigar o eliminar los riesgos, como mejoras en el diseño, procesos de fabricación, pruebas de calidad y capacitación del personal.
- Implementar un sistema de seguimiento para evaluar periódicamente los avances y efectividad de las acciones tomadas.

4.2.Sistema de evaluación AMEF:

La prioridad de los fallos se evalúa mediante el Número Prioritario de Riesgo (NPR), que se calcula considerando la frecuencia, gravedad y detectabilidad de cada fallo. La fórmula para determinar el NPR es la siguiente:

$$NPR = \text{Gravedad} \times \text{Frecuencia} \times \text{Detectabilidad}$$

Para la evaluación de estos criterios, se utilizan ciertos lineamientos:

- **Gravedad:** Este criterio analiza las consecuencias de un fallo para el cliente, tomando en cuenta tanto la posible insatisfacción del cliente como los gastos asociados a la reparación.

Tabla 1

Valores de criterio de gravedad (Bestratén & Ramos, 2004)

Gravedad	Criterio	Valor
Muy alta	Modo de fallo potencial extremadamente grave que compromete la seguridad del producto y/o puede ocasionar el incumplimiento significativo de normativas regulatorias.	9 – 10
Alta	El fallo puede ser grave, causando que el equipo quede inoperativo y generando un alto nivel de insatisfacción.	7 – 8
Moderada	El fallo genera cierto malestar e insatisfacción en el cliente, quien notará una disminución en el rendimiento del equipo.	4 – 6
Baja	El fallo causa un leve inconveniente al cliente, quien probablemente notará una pequeña disminución en el rendimiento del equipo, la cual no tiene mayor impacto y puede ser fácilmente corregida.	2 – 3
Muy baja	Este fallo de mínima relevancia no debería afectar de manera significativa el rendimiento del equipo.	1

Frecuencia: Es el análisis de la frecuencia con la que ocurren los fallos (probabilidad de que el fallo suceda).

Tabla 2

Valores de criterio de frecuencia (Bestratén & Ramos, 2004)

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy alta	Fallo prácticamente seguro, es muy probable que ocurra con frecuencia.	9 – 10
Alta	El fallo ha ocurrido en varias ocasiones en procesos similares o en procesos anteriores que ya presentaron fallos.	6 – 8
Moderada	El defecto ha surgido de manera esporádica en procesos previos o similares al actual. Es probable que se presente en algunas ocasiones a lo largo de la vida útil del componente o sistema.	4 – 5
Baja	El fallo ha ocurrido con regularidad en procesos anteriores o en situaciones similares.	2 – 3
Muy baja	No se ha registrado ningún fallo en procesos prácticamente idénticos en el pasado, aunque es una posibilidad que podría ocurrir.	1

Detectabilidad: Es la probabilidad de detectar cada modo de fallo antes de que impacte al cliente.

Tabla 3

Valores de criterio de detectabilidad (Bestratén & Ramos, 2004)

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy alta	El fallo es evidente y es sumamente improbable que los controles actuales no lo detecten.	9 – 10
Alta	El fallo, aunque evidente y fácil de detectar, podría pasar desapercibido en el primer control, pero sería identificado en una revisión posterior.	6 – 8
Mediana	El fallo puede ser identificado y es probable que no llegue al cliente.	4 – 5
Pequeña	El fallo tiene características que dificultan su detección con los procedimientos actuales.	2 – 3
Improbable	El fallo es indetectable.	1

4.3. Alcance del AMEF

Como se ha mencionado, el AMEF es una herramienta clave para la gestión de calidad. Con este análisis, se espera alcanzar los siguientes beneficios:

- **Mejora en la calidad del producto:** Se genera un plan de acción para prevenir los fallos identificados, lo que mejora la calidad del producto.

- **Reducción de costos de producción:** Al identificar y prevenir fallos potenciales en el proceso, la máquina o el producto, se minimizan o eliminan reparaciones y devoluciones, lo que disminuye los costos y mejorar la rentabilidad.

- **Cumplimiento de normas y regulaciones:** AMEF está alineado con las normativas de calidad, como la ISO 9001, asegurando que se cumplan los estándares requeridos.

- **Incremento de la eficiencia:** Los planes de mejora derivados del análisis de fallos permiten reducir tiempos de inactividad y mejorar el rendimiento del equipo, optimizando la eficiencia general del proceso.

4.4. Diligenciamiento del AMEF

Al completar el formato AMEF, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones.

Tabla 4

Estructura AMEF (Fuente Propia)

Subsistema	Componente	Función	Posibles Fallos	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	RPN (S × O × D)
------------	------------	---------	-----------------	--------------------	-------------------	---------------	----------------	---------------	-----------------

- **Subsistema:** Al definir el componente a analizar, se establece a qué sistema pertenece, lo que facilita la creación de especificaciones más amplias.

- **Elemento o pieza:** Se debe especificar el componente que será objeto del análisis, incluyendo los posibles fallos que puede presentar.

- **Función:** Se debe detallar la función que desempeña el componente que se va a evaluar.

- **Modo de fallo:** Se detalla el defecto del componente, el cual disminuye su rendimiento y le impide cumplir con las especificaciones para las que fue concebido.

- **Efecto:** Se describen los efectos que se generan cuando ocurre el modo de fallo en la pieza.

- **Gravedad:** Este índice mide el impacto que tiene la degradación de las prestaciones del equipo. Para determinarlo, se debe basar en la **Tabla 1**.

- **Causas reales o potenciales:** Se deben registrar las razones que provocan que la pieza experimente el modo de fallo.

- **Frecuencia:** La evaluación de este criterio debe basarse en la **Tabla 2**, que clasifica la criticidad de la frecuencia.

- **Controles actuales:** Es necesario registrar las acciones llevadas a cabo para identificar los modos de fallo en cada componente.

- **Detectabilidad:** Para la toma de decisiones, se debe referir a la **Tabla 3**, que indica la facilidad con la que se puede evidenciar el modo de fallo.

- **NPR:** Es el producto de los valores asignados a la gravedad, la frecuencia y la detectabilidad.

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es un mecanismo visual que organiza las fallas de acuerdo con su gravedad, de mayor a menor, con el fin de identificar las que requieren mayor atención en las estrategias de mantenimiento y optimizar los costos. Se basa en el principio 80/20, el cual sugiere que el 80% de los problemas o costos provienen del 20% de las causas. Esta técnica permite identificar los problemas más significativos y concentrar los esfuerzos en ellos. En el diagrama, el eje Y izquierdo muestra la frecuencia de las fallas, el eje Y derecho indica el porcentaje acumulado de las ocurrencias, y el eje X inferior representa las fallas.

Indicadores de gestión de mantenimiento

Los KPI de mantenimiento son métricas que se emplean para evaluar, de manera cuantitativa, el desempeño de un equipo en función de los objetivos de mantenimiento. Estos indicadores permiten identificar oportunidades de mejora y supervisar la implementación de la estrategia del departamento de mantenimiento. Es fundamental que los datos sean recolectados con precisión para representar adecuadamente el rendimiento de las operaciones.

Disponibilidad

Este indicador evalúa si un equipo está operando correctamente y si es capaz de cumplir con los objetivos de productividad. Se considera tanto el tiempo dedicado al mantenimiento como el tiempo de funcionamiento del equipo.

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Horas totales} - \textit{Horas parada por mantenimiento}}{\textit{Horas totales}}$$

Confiabilidad: Hace referencia a la probabilidad de que un equipo cumpla su función habitual en condiciones específicas durante un período determinado. Este indicador considera tanto el tiempo de inactividad por mantenimiento no planificado como las horas totales de operación.

$$\textit{Confiabilidad} = \frac{\textit{Horas totales} - \textit{Horas parada por mantenimiento no programado}}{\textit{Horas totales}}$$

Tiempo Medio de Reparación (MTTR): Este indicador calcula el tiempo promedio necesario para reparar las fallas de un equipo, considerando las horas de inactividad por cada avería y la cantidad de fallos ocurridos en el equipo

Contexto operacional montacargas Toyota – 8fgdi

$$\textit{MTTR} = \frac{\textit{Suma de los tiempos de reparacion}}{\textit{Numero de intervenciones realizadas}}$$

Los montacargas Toyota-8FGDI de Edinsa - Postobón Gaseosas del Llano, ubicados en Villavicencio, operan en condiciones exigentes que afectan su desempeño y vida útil. El principal desafío identificado es el sobrecalentamiento, el cual ha generado múltiples fallas en componentes clave como la culata del motor y el sistema de refrigeración. Dichas fallas han ocasionado periodos prolongados de inactividad, afectando la disponibilidad de los equipos.

En términos de uso, la flota registra 113.616 horas operativas acumuladas, con un MTTR (Tiempo Medio de Reparación) de 130,79 horas, evidenciando tiempos de recuperación prolongados. Además, el mantenimiento correctivo ha representado 28.761 horas, lo que sugiere una fuerte dependencia de reparaciones no planificadas. Para mejorar la eficiencia del mantenimiento, se recomienda la implementación de estrategias predictivas y preventivas enfocadas en la regulación térmica del motor y la optimización del sistema de frenos. Además, la implementación de tareas basadas en condición y búsqueda de fallas para el monitoreo continuo de temperatura y desgaste permitirá reducir tiempos de inactividad. El enfoque de RCM garantizará que las intervenciones de mantenimiento sean oportunas, minimizando riesgos y mejorando la disponibilidad de los equipos, lo que impactará positivamente la productividad y confiabilidad operativa.

Pareto de fallas

Tabla 5

Fallos en Transmisión en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Sistema	N° Eventos	% Frecuencia
Transmisión	61	100%
Fallos Componente	N° Eventos	% Frecuencia
Vástagos controladores de marchas	31	50,8%
Fuga de sellos	12	19,7%
Desgaste discos de fricción	9	14,8%
Daño carcasa	3	4,9%

Retenedor diferencial	1	1,6%
Daño convertidor	1	1,6%
Tapa diferencial	1	1,6%
Bomba transferencia	1	1,6%
Sellos divisores de flujo	1	1,6%
Daño eléctrico	1	1,6%

Tabla 6

Fallos en Sistema Hidráulico en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Sistema	N° Eventos	% Frecuencia
hidráulico	38	100%
Fallos Componente	N° Eventos	% Frecuencia
Mangueras	16	42,1%
Cambio empaquetadura	9	23,7%
Fuga hidráulica	7	18,4%
Daño cilindro	3	7,9%
Bomba hidráulica	2	5,3%
válvula de control	1	2,6%

Tabla 7

Fallos en Motor en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Sistema	N° Eventos	% Frecuencia
Motor	34	100%
Fallos Componente	N° Eventos	% Frecuencia
Daño culata temperatura	8	23,5%
Daño volante motor	5	14,7%
Reparación motor	5	14,7%
Empaquetadura carburador	3	8,8%
Kit distribución	2	5,9%
Correas distribución	2	5,9%
Daño impulsadores	2	5,9%
Falla rutina mantenimiento	2	5,9%
Baja presión aceite	2	5,9%
Cambio bujías	1	2,9%
Sensor presión aceite	1	2,9%
Material externo distribución	1	2,9%

Tabla 8*Fallos en Sistema Eléctrico en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)*

Sistema	N° Eventos	% Frecuencia
Eléctrico	23	100%
Fallos Componente	N° Eventos	% Frecuencia
Motor de arranque	6	26,1%
Switch de encendido	4	17,4%
Sistema GLP	4	17,4%
Mando marchas	3	13,0%
Daño alternador	2	8,7%
Kit de distribución	1	4,3%
Sistema identificación	1	4,3%
Luces	1	4,3%
Daños fusibles	1	4,3%

Tabla 9*Fallos en la Dirección en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)*

Sistema	N° Eventos	% Frecuencia
Dirección	12	100%
Fallos Componente	N° Eventos	% Frecuencia
Daño Rodamientos tapa cubo	3	25,0%
Ajuste splinder dirección	3	25,0%
Kit Sellos Cilindro dirección	2	16,7%
Daño Cubo dirección	2	16,7%
Daño Orbitrol	1	8,3%
Casquillo Pivote	1	8,3%

Tabla 10*Fallos en Sistema de Refrigeración en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)*

Sistema	N° Eventos	% Frecuencia
Refrigeración	12	100%
Fallos Componente	N° Eventos	% Frecuencia

Daño radiador	8	66,7%
Cambio manguera	3	25,0%
Daño ventilador	1	8,3%

Tabla 11

Fallos en Sistema de Frenos en Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Sistema	N° Eventos	% Frecuencia
Frenos	12	100%
Fallos Componente	N° Eventos	% Frecuencia
Bandas freno	6	50,0%
Cilindros de rueda	2	16,7%
Retenedor rueda	2	16,7%
Graduación frenos	1	8,3%
Cambio bomba freno	1	8,3%

Se evidencia que las fallas que afectan la disponibilidad de los equipos son transmisión (Tabla 5), sistema hidráulico (Tabla 6), Motor (Tabla 7), Sistema eléctrico (Tabla 8), Dirección (Tabla 9), Sistema de refrigeración (Tabla 10) y frenos (Tabla 11) sin embargo, las fallas presentadas en el mástil, estructura, sistema de alimentación, chasis, llantas, lubricación, ruedas y suspensión, no se tienen en cuenta para el cálculo derivado de su porcentaje de frecuencia de fallas del equipo. El 85,3 % de los fallos se presentan por 7 causas, fallas en los controladores de marcha del sistema de transmisión con una frecuencia del 27,1 %, Fugas en las mangueras del sistema hidráulico con una frecuencia de 16,9 %, Daño en culata por temperatura alta en el motor con una frecuencia del 15,1 %, falla en el motor de arranqué del sistema eléctrico con un frecuencia del 10,2 %, daño en los rodamientos tapa cubo de la dirección con una frecuencia del 5,3 %, daño en el radiador en el sistema de refrigeración con una frecuencia del 5,3 %, desgaste en las bandas de freno del sistema de frenos con una frecuencia de 5,3 %, A continuación, se presenta el Pareto de fallo.

Tabla 12

Tipos de Fallos en los Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Sistemas	N° Eventos	% Frecuencia
Transmisión	61	27,1%
hidráulico	38	16,9%
Motor	34	15,1%
Eléctrico	23	10,2%
Dirección	12	5,3%
Refrigeración	12	5,3%
Frenos	12	5,3%
Mástil	9	4,0%
Estructural	5	2,2%
Alimentación	4	1,8%
Chasis	4	1,8%
Llantas	4	1,8%
Lubricación	2	0,9%
Ruedas	2	0,9%
Combustible	1	0,4%
Reglamentarios	1	0,4%
Suspensión	1	0,4%
Total, general	225	100%

Figura 5

Pareto de fallas por sistemas de montacargas Toyota-8FGDI Indicadores de Mantenimiento

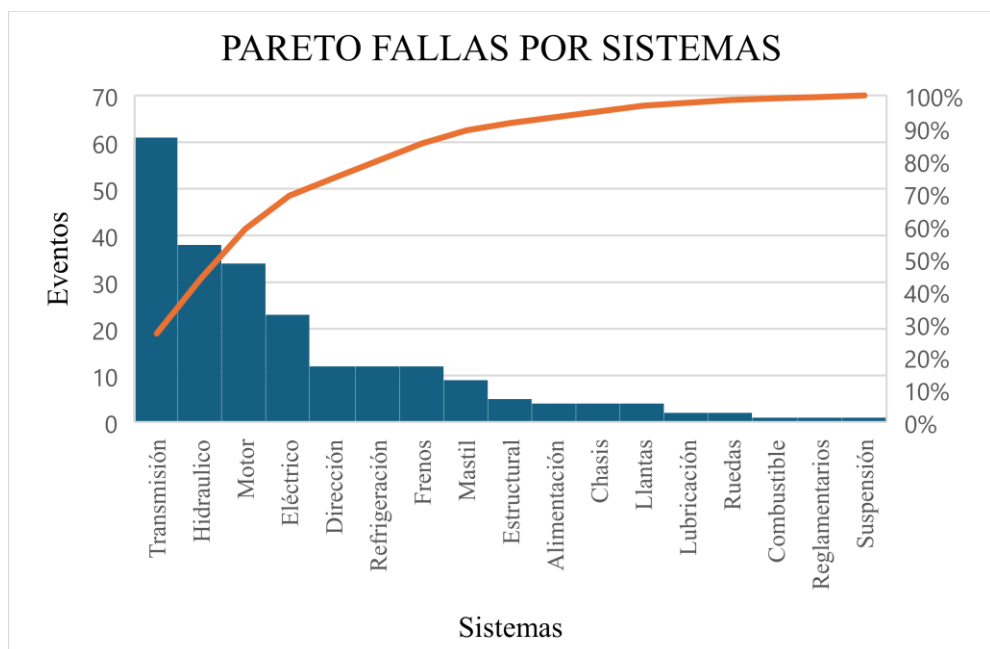


Tabla 13*Indicadores de los Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)*

Total, Correctivos	Horas Correctivas
225	28761,63333
Total, Overhaul	Horas Overhaul
1	1281,5
Total, Preventivos	Horas Preventivos
16	1607,5

Horas operativas	Total, Horas Mtto	Disponibilidad	Confiabilidad	MTTR (Horas)
113616	31650,63333	72,1%	73,6%	130,79

5. Análisis modo de fallos y efectos (AMEF)

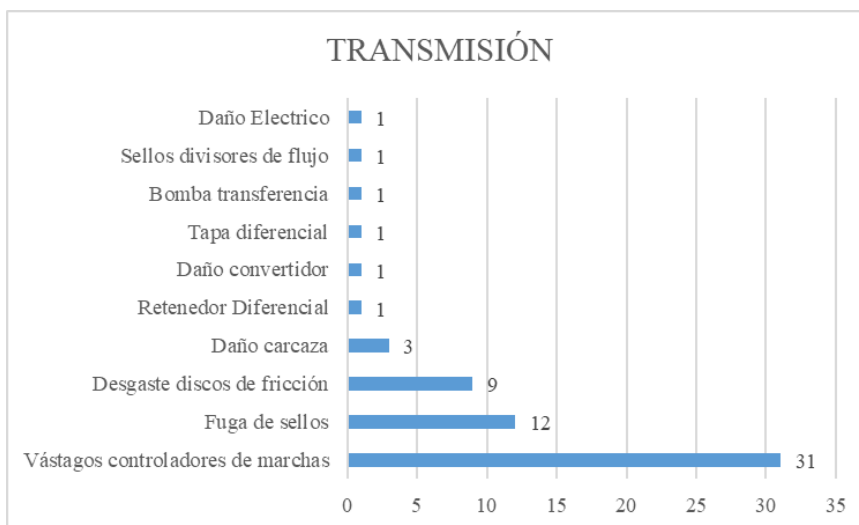
Con el objetivo de realizar un adecuado Análisis de Modo y Efecto de Falla, el equipo de trabajo siguió los principios fundamentales del estudio, elaborando la clasificación general del Montacargas Toyota-8FGDI y comenzando a identificar las fallas en cada uno de los sistemas del equipo.

5.1. Transmisión en montacargas

La transmisión del montacargas Toyota-8FGDI es un componente clave para el movimiento del equipo, encargándose de transmitir la potencia del motor a las ruedas motrices de manera automática. Este sistema permite que el montacargas se desplace hacia adelante o atrás según sea necesario, ajustando la velocidad según la carga que transporta. Además, la transmisión regula el torque para garantizar arranques suaves y un control preciso, facilitando el trabajo en terrenos industriales. Su funcionamiento automático optimiza el rendimiento, reduciendo el desgaste y mejorando la eficiencia del combustible, lo que contribuye a una operación más efectiva.

Las fallas más representativas son:

Figura 6 Fallas en transmisión de montacargas Toyota-8FGDI



5.1.1 Vástagos controladores de marchas

Los vástagos controladores de marchas del montacargas Toyota 8FGDL son componentes clave del sistema de transmisión que permiten al operador seleccionar las marchas para controlar la dirección y velocidad del vehículo. Facilitan el cambio entre marchas de avance, retroceso y neutro, adaptándose a las necesidades de operación. Además, permiten ajustar la potencia del motor y son fundamentales para maniobras precisas en espacios limitados. Algunos modelos cuentan con mecanismos de seguridad para evitar cambios accidentales de marcha. En resumen, estos vástagos son esenciales para un manejo eficiente y seguro del montacargas en diferentes condiciones de trabajo.

Figura 7 Vástagos controladores de marchas Montacargas Toyota-8FGDI

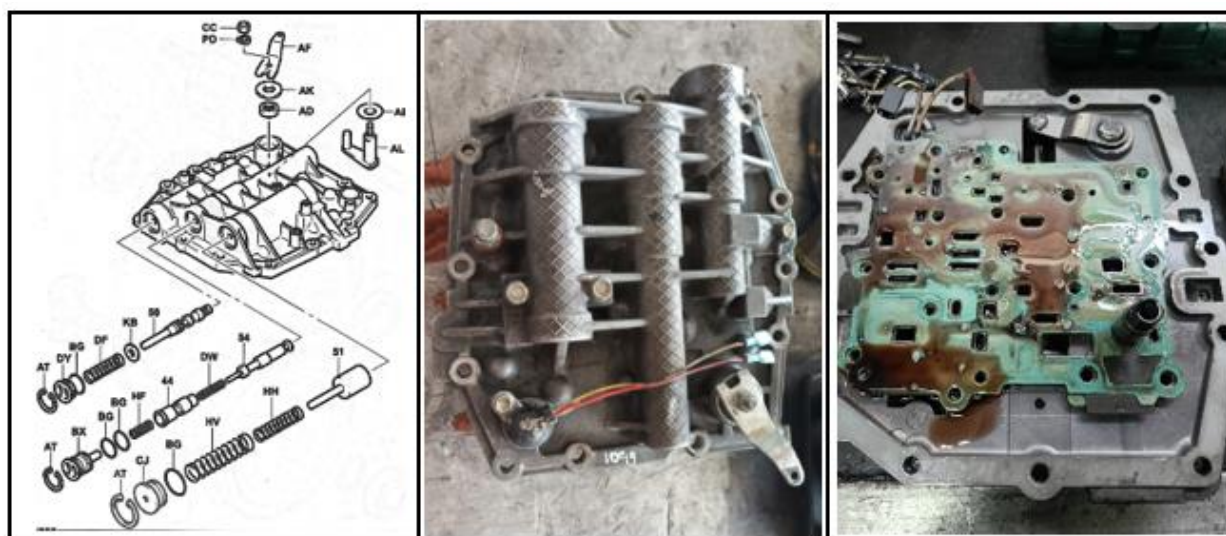


Tabla 14

Tabla AMEF Transmisión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Subsistema	Componente	Función	Posibles Fallas	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	RPN (S × O × D)
Transmisión	Vástagos controladores de marchas.	Controlar la marcha del sistema de transmisión.	Desgaste de vástagos	Cambio inadecuado de marchas.	Uso excesivo o falta de lubricación.	8	6	5	240
			Deformación por sobrecarga	No cambia correctamente de marcha.	Sobrecarga del sistema.	7	6	5	210
			Desajuste de vástago	Imposibilidad de cambiar de marcha.	Mal procedimiento de mantenimiento	8	7	5	280
	Sellos	Evitar que los líquidos escapen en el sistema.	Fugas en los sellos de aceite	Pérdida de presión y daño a otros componentes.	Sellos defectuosos o mal instalados.	9	5	7	315
			Desgaste en los sellos de goma	Pérdida de fluido, reducción de eficiencia.	Material de baja calidad o mal uso.	8	4	6	192
			Fugas por desajuste en instalación	Pérdida de fluido.	Error de montaje o daño por impacto.	8	2	5	80
	Discos de fricción	Generar fricción para la transmisión de potencia.	Desgaste excesivo de discos	Fallo en la transmisión de potencia.	Uso excesivo o falta de mantenimiento.	9	7	5	315
			Deformación de discos por sobrecalentamiento	Transmisión irregular o ineficiente.	Temperaturas altas.	8	5	6	240
			Desgaste desigual de los discos	Pérdida de efectividad en la transmisión.	Instalación incorrecta o mala alineación.	8	4	6	192
			Desgaste de material de fricción en condiciones extremas	Daño a otros componentes.	Material no adecuado.	9	3	5	135
	Carcaza	Proteger los componentes internos del sistema.	Grietas o fisuras en la carcaza	Pérdida de aceite y mal funcionamiento.	Impactos o defectos de fabricación.	9	3	5	135
			Fugas debido a desgaste o daño de la tapa	Daños internos o reducción de eficiencia.	Instalación defectuosa.	8	4	6	192
			Desalineación de la carcaza	Fallo de componentes internos.	Mala instalación o reparación.	8	5	5	200

Hoja de decisión sistema de transmisión

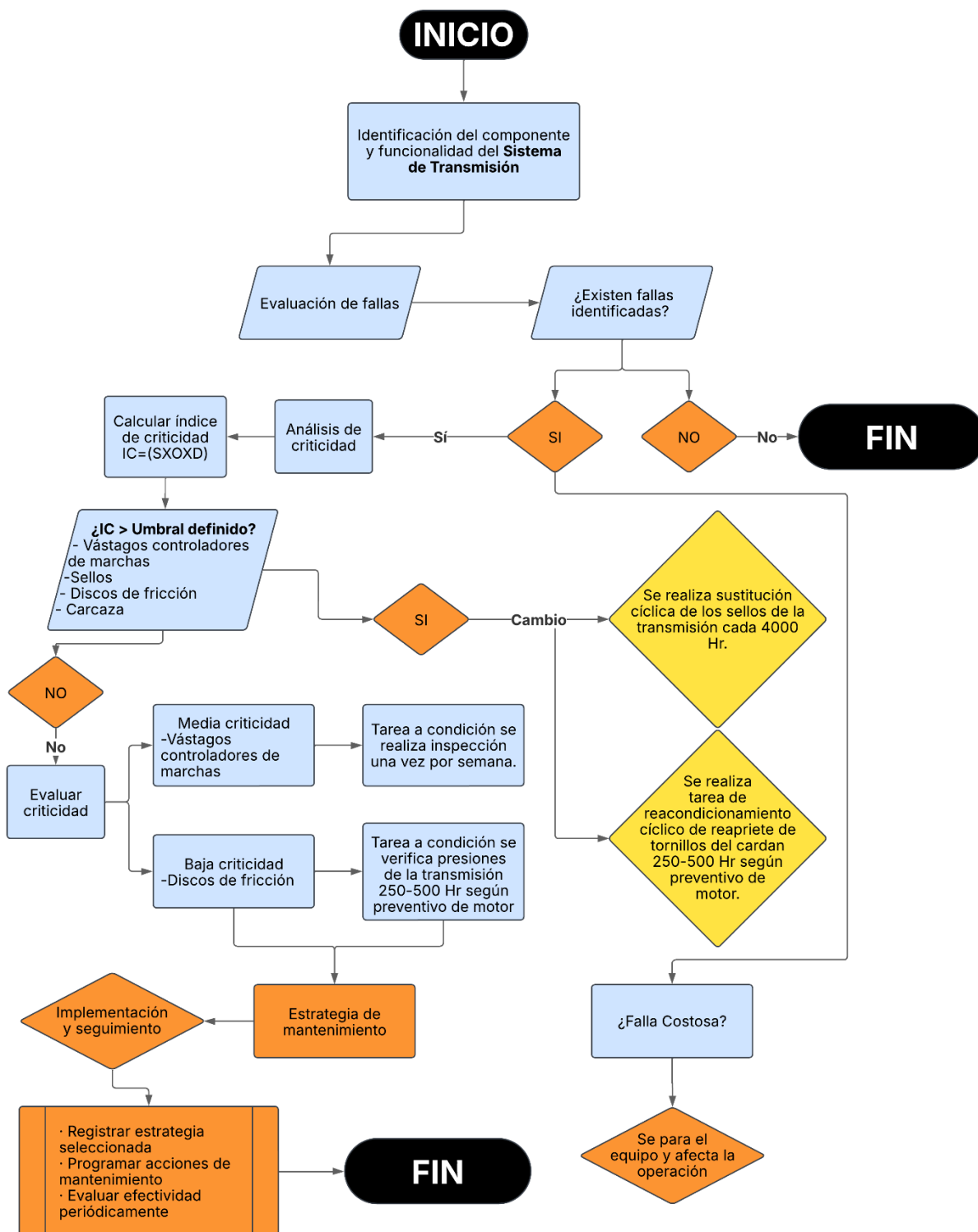
Tabla 15

Tabla de Decisión Sistema de Transmisión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Componente	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS					SELECCIÓN DE TAREAS							DETALLE DE LA TAREA									
	Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	Oculto	Tareas a condición	Tareas de recondicionamiento o ciclo	Tareas de sustitución crítica	Tarea de búsqueda de fallas	Correr a falla (Ningún mantenimiento preventivo)	El rediseño debe justificarse	Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo (En línea - Apagado)	Costo del repuesto	Costo producción (h)	Costo HH	Repuesto requerido
Vásagos controladores de marchas				X		X					Realizar mediciones periódicas de temperatura, verificar el nivel y estado del lubricante, e inspeccionar el sistema de enfriamiento para asegurar un óptimo funcionamiento.	Realizar esta actividad una vez por semana	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ -	\$ 35.000	\$ 6.536	Pistola Temperatura y lampara de inspección	\$ 41.536
Sellos		X					X				Cambio de sellos de transmisión	4000 Hr	Técnico A de Mantenimiento	8	1	8	Apagado	\$ 1.000.000	\$ 280.000	\$ 87.032	Kit de sellos de transmisión	\$ 1.367.032
Discos de fricción				X		X					Medición de presión de aceite y prueba de cabdo. Presión de embrague (F), Presión de embrague (R), Presión principal y presión de descarga.	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico A de Mantenimiento	2	1	2	En Línea	\$ -	\$ 70.000	\$ 21.758,05	Tetragauge	\$ 91.758,05
Careza				X		X					Reapriete de tornillos del cardán según especificaciones del fabricante	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico B Mantenimiento	0,30	1,00	0,3	Apagado	\$ -	\$ 10.500,00	\$ 1.961	Llave dinamométrica (Torquímetro) 20-102 Nm	\$ 12.460,90

Figura 8

Diagrama de decisión RCM sistema de transmisión

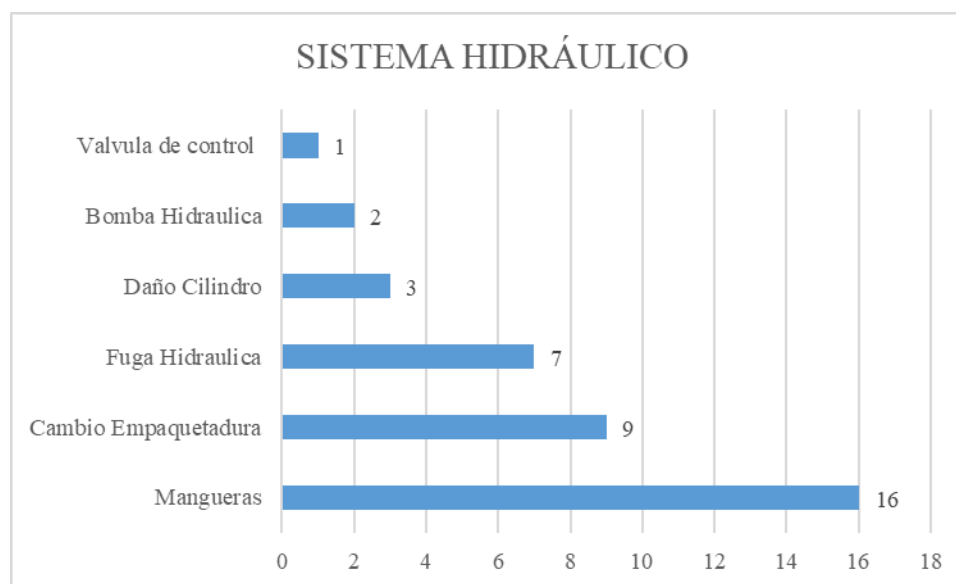


5.2 Sistema hidráulico montacargas

El sistema hidráulico del montacargas Toyota 8FGDL es crucial para el funcionamiento de los mecanismos de carga, como la elevación y ajuste de las horquillas. Utiliza fluido hidráulico bajo presión para generar movimiento en los cilindros, permitiendo levantar, bajar y ajustar la inclinación de la carga con precisión. Además, controla otros componentes auxiliares del vehículo. La bomba hidráulica y las válvulas dirigen el flujo del fluido, asegurando un manejo eficiente y controlado de materiales pesados. Este sistema optimiza la operación del montacargas, proporcionando potencia y estabilidad para tareas de manipulación de cargas en diferentes posiciones.

Figura 9

Fallas en el sistema hidráulico de montacargas Toyota-8FGDL



5.2.1 Mangueras

Las mangueras del sistema hidráulico de un montacargas Toyota 8FGD son componentes flexibles que transportan el fluido hidráulico entre los diferentes elementos del sistema, como la bomba, las válvulas y los cilindros. Están diseñadas para resistir altas presiones, abrasiones y

condiciones extremas de temperatura, lo que garantiza su fiabilidad. Su función principal es asegurar el flujo constante de fluido entre los componentes, permitiendo que el sistema opere eficientemente. Además, proporcionan la flexibilidad necesaria para conectar las partes del sistema, manteniendo la presión adecuada y soportando las exigencias del trabajo sin comprometer su rendimiento ni seguridad.

Figura 10

Mangueras del sistema hidráulico Montacargas Toyota-8FGDl (Fuente Propia)



AMEF sistema hidráulico

Tabla 16

Tabla AMEF Sistema Hidráulico Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Subsistema	Componente	Función	Posibles Fallas	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	RPN (S × O × D)
Sistema hidráulico	Mangueras	Transportar fluido o gases entre componentes.	Fugas o grietas en las mangueras	Pérdida de presión y fluido, posible daño al sistema.	Desgaste o daño por fricción.	8	7	5	280
			Obstrucción en el interior de las mangueras	Flujo de fluido insuficiente.	Material bloqueante o acumulación de suciedad.	7	6	5	210
			Daño por sobrepresión	Daño en la bomba o componentes por falta de presión.	Exceso de presión o golpe en la manguera.	9	5	6	270
			Degradación por envejecimiento o exposición al sol	Pérdida de flexibilidad, fallos en el sistema.	Material de baja calidad o exposición a condiciones extremas.	7	5	7	245
			Daño por instalación incorrecta	Desgaste prematuro o fuga en la conexión.	Montaje incorrecto o falta de sellado.	8	4	6	192
	Empaquetadura Cilindros	Sellar componentes para evitar fugas de fluidos.	Desgaste o rotura de la empaquetadura	Fugas de fluido, mal funcionamiento del sistema.	Material de empaquetadura defectuoso o mal uso.	8	6	6	288
			Deformación o pérdida de elasticidad	Pérdida de estanqueidad y baja eficiencia.	Alta temperatura o presión excesiva.	8	5	6	240
			Instalación incorrecta	Fugas de fluido y posible daño al sistema.	Montaje incorrecto o mal ajuste de la empaquetadura.	9	4	5	180
			Daño por abrasión de la empaquetadura	Pérdida de presión y contaminación del sistema.	Contacto con superficies ásperas o abrasivas.	8	4	6	192
			Fuga hidráulica	Permitir el paso controlado de	Fugas en los sellos o conexiones hidráulicas	Pérdida de presión y daños a otros componentes.	Desgaste de sellos o conexiones mal instaladas.	9	6

Daño Cilindro	fluido entre componentes.	Pérdida de fluido por daño en conductos	Bajo rendimiento del sistema.	Daño por corrosión o impacto en los conductos.	8	5	5	200
	Generar y controlar el movimiento lineal del sistema hidráulico.	Deterioro por temperatura excesiva	Pérdida de eficiencia, daño a componentes.	Exposición a altas temperaturas sin protección.	9	3	5	135
		Doblado o daño en el cuerpo del cilindro	Pérdida de efectividad y posible daño estructural.	Fuerzas excesivas o impactos.	10	3	4	120
		Obstrucción en el mecanismo interno del cilindro	Fallo en el funcionamiento del sistema.	Contaminación del fluido o partículas externas.	8	4	6	192
		Desalineación del pistón	Movimiento ineficaz, daños por fricción.	Instalación incorrecta o desgaste irregular.	8	3	5	120
	Bomba Hidráulica	Proveer presión hidráulica al sistema.	Fallo del impulsor o eje de la bomba	Pérdida total de la capacidad de bombeo.	Daño mecánico o falta de lubricación.	10	2	4
Pérdida de fluido debido a fugas en la bomba			Pérdida de presión y daño al sistema.	Sellos defectuosos o mala instalación.	9	4	5	180
Obstrucción en las líneas de entrada o salida		Daño por cavitación	Baja capacidad de bombeo.	Suciedad o residuos en las líneas.	8	3	6	144
			Daño interno en la bomba, pérdida de eficiencia.	Fluctuaciones de presión o succión inadecuada.	10	2	5	100
		Bloqueo de la válvula por residuos	Fallo en el control del flujo.	Acumulación de suciedad o partículas.	8	2	6	96
Válvula de control		Controlar el flujo de fluido en el sistema.	Desgaste de la válvula de control	Pérdida de regulación en el sistema.	Uso prolongado sin mantenimiento.	8	2	7
	Fugas por fallos en sellos internos		Pérdida de fluido y presión.	Sellos desgastados o mal instalados.	9	1	5	45
	Fallo eléctrico (en válvulas eléctricas)		Inoperancia total de la válvula.	Cortocircuitos o conexiones defectuosas.	10	1	5	50

Hoja de decisión sistema hidráulico

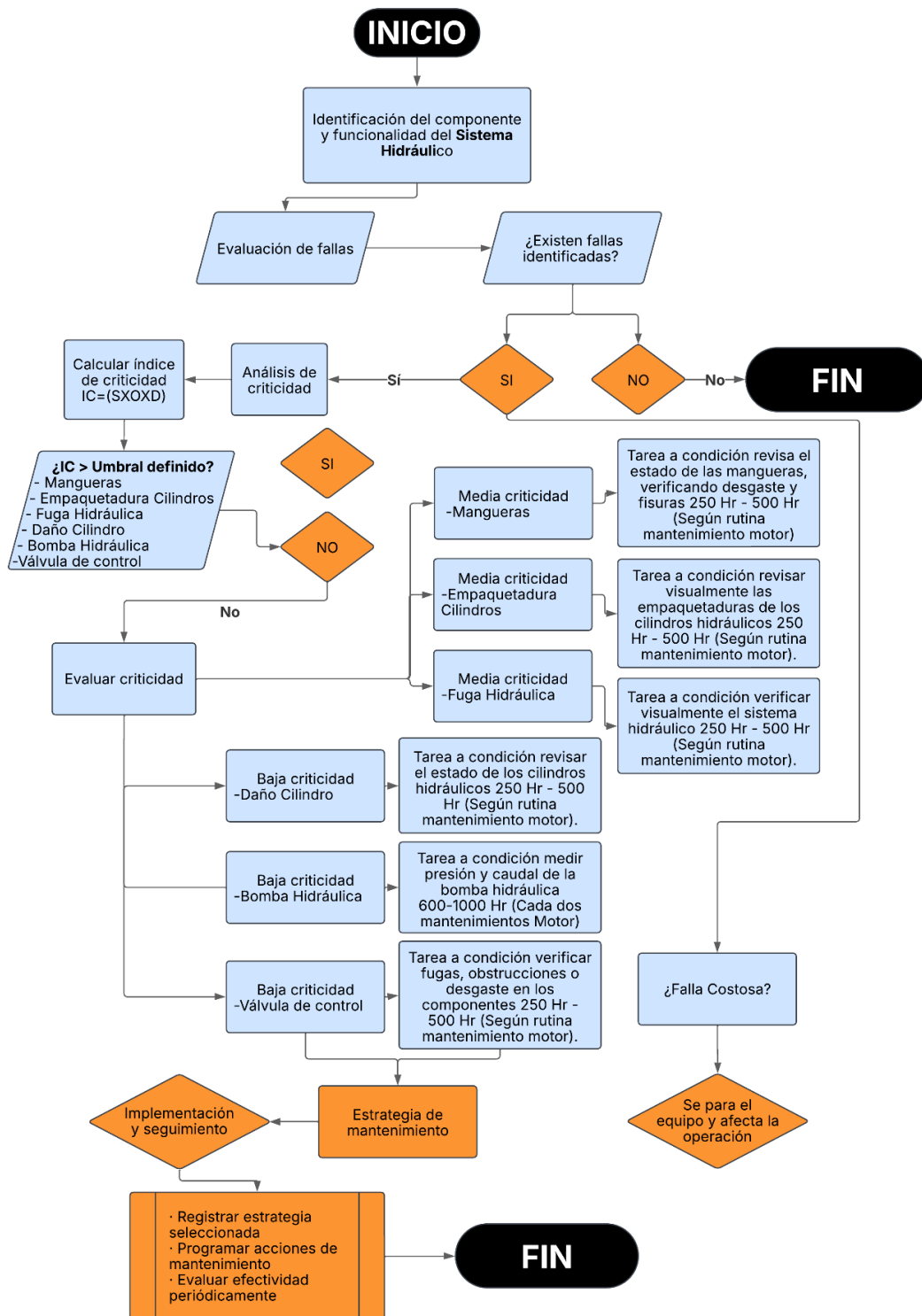
Tabla 17

Tabla de Decisión Sistema Hidráulico Montacargas Toyota-8FGDL (Fuente Propia)

Componente	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS						SELECCIÓN DE TAREAS						DETALLE DE LA TAREA									
	Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	Oculto	Tareas a condición	Tareas de recondicionamiento cíclico	Tareas de sustitución cíclica	Tarea de bisecopeda de fallas	Correr a falla (Ningún mantenimiento preventivo)	El rediseño debe justificarse	Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo (En línea - Apagado)	Costo del repuesto	Costo producción (h)	Costo IH	Repuesto requerido
Mangueras			X			X					Revisar el estado de las mangueras del montacargas Toyota 8FGDL, verificando desgaste, fisuras, fugas o conexiones sueltas.	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ -	\$ 35.000,00	\$ 6.536,33	N/A	\$ 41.536,33
Empaquetadura Cilindros			X			X					Revisar visualmente las empaquetaduras de los cilindros hidráulicos del montacargas Toyota 8FGDL, verificando signos de desgaste, fugas o deformaciones	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico B Mantenimiento	0,5	1	0,5	Apagado	\$ -	\$ 17.500,00	\$ 3.268,17	N/A	\$ 20.768,17
Fuga Hidráulica			X			X					Verificar visualmente el sistema hidráulico del montacargas Toyota 8FGDL, identificando posibles fugas en mangueras, conexiones y cilindros.	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ -	\$ 35.000,00	\$ 6.536,33	N/A	\$ 41.536,33
Daño Cilindro				X		X					Revisar el estado de los cilindros hidráulicos del montacargas Toyota 8FGDL, verificando desgastes, golpes y/o deformaciones en el vástago.	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico B Mantenimiento	0,5	1	0,5	Apagado	\$ -	\$ 17.500,00	\$ 3.268,17	N/A	\$ 20.768,17
Bomba Hidráulica				X		X					Conectar manómetro y caudalímetro en la línea de presión de la bomba del montacargas Toyota 8FGDL. Encender el sistema y registrar los valores, comparándolos con las especificaciones del fabricante	600-1000 Hr (Cada dos mantenimientos Motor)	Técnico A de Mantenimiento	3	1	3	En línea	\$ -	\$ 105.000,00	\$ 32.637,08	Caudalímetro y manómetro Tetragauge	\$ 137.637,08
Válvula de control				X		X					Verificar el estado de las válvulas de control, asegurando su correcto funcionamiento. Inspeccionar posibles fugas, obstrucciones o desgaste en los componentes, y comprobar la respuesta del sistema hidráulico.	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ -	\$ 35.000,00	\$ 6.536,33	N/A	\$ 41.536,33

Figura 11

Diagrama de decisión RCM sistema hidráulico

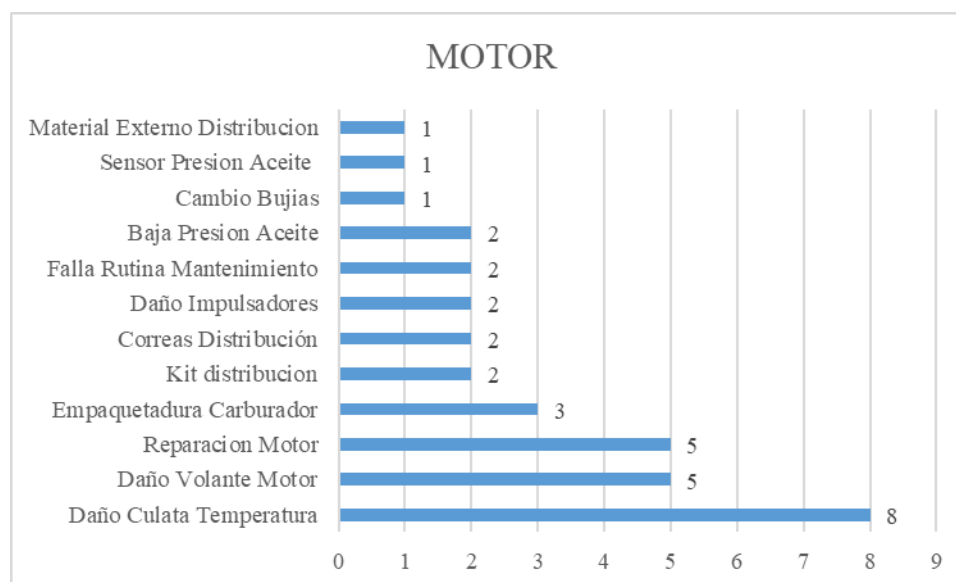


5.3 Motor de montacargas

El motor de un montacargas Toyota 8FGD es un motor de combustión interna que proporciona la energía necesaria para el movimiento del vehículo y la operación de sus sistemas. Este motor a gas (propano o gasolina) está diseñado para ofrecer eficiencia, durabilidad y bajo mantenimiento. Su función principal es generar la energía mecánica que impulsa las ruedas y acciona la bomba hidráulica, permitiendo el funcionamiento de las horquillas y otras funciones auxiliares. Además, permite al montacargas desplazarse y realizar maniobras con cargas pesadas en espacios reducidos, siendo esencial para su rendimiento y productividad en diversas condiciones de trabajo.

Figura 11

Fallas en el motor de montacargas Toyota-8FGDI



5.3.1 Daño en culata por temperatura

El daño en la culata por temperatura en un montacargas Toyota 8FGD ocurre cuando el motor se sobrecalienta, provocando deformaciones o grietas en la culata, que cubre los cilindros. Este problema suele ser causado por fallos en el sistema de refrigeración, como falta de líquido o

termostatos defectuosos. Las altas temperaturas pueden afectar el sellado de los cilindros, reduciendo la compresión y afectando el rendimiento del motor. Además, pueden producirse fisuras que permiten la mezcla de refrigerante con el aceite, causando daños adicionales. Es esencial mantener el sistema de refrigeración para evitar estos problemas y asegurar el funcionamiento del motor

Tabla 18

Tabla AMEF Motor a Combustión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Subsistema	Componente	Función	Posibles Fallas	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	RPN (S × O × D)
Motor	Culata	Sella los cilindros y contiene los canales de admisión y escape.	Fuga de compresión	de Desgaste o daño de la junta de culata	Pérdida de potencia, sobrecalentamiento	10	8	5	400
			Deformación de la culata	Sobrecarga térmica o estrés mecánico	Pérdida de sellado, falla de compresión	9	7	6	378
			Desgaste de los asientos de válvula	Desgaste por uso o mala calidad del material	Perdida de presión en los cilindros	8	5	6	240
			Fugas de gases en la culata debido a sellos defectuosos	Pérdida de rendimiento del motor.	Sellos defectuosos o mal instalado.	9	4	6	216
Volante Motor	Transmitir la potencia del motor a la transmisión.	Desgaste excesivo de los dientes del volante	Desacople de la transmisión o pérdida de potencia.	Exceso de uso o sobrecarga en el sistema.	8	6	5	240	

Motor	Transformar la energía química del combustible en energía mecánica para realizar trabajo.	Desalineación del volante de motor	Fallo en la sincronización de la transmisión.	Instalación incorrecta o desgaste irregular.	8	5	6	240
		Daño estructural por impacto o uso excesivo	Falla total de la transmisión.	Golpes o impacto del volante con otras piezas.	10	2	4	80
		Daño en los pistones por desgaste excesivo	Pérdida de potencia, daño severo al motor.	Uso prolongado sin mantenimiento adecuado.	9	5	6	270
		Desajuste de la sincronización del motor	Funcionamiento ineficiente o daños adicionales.	Instalación incorrecta o daño en componentes de sincronización.	8	4	6	192
		Desgaste de los cojinetes	Pérdida de rendimiento, ruidos y vibraciones.	Falta de lubricación o material defectuoso.	8	4	5	160
		Daño en la culata por sobrecalentamiento	Daño irreversible al motor.	Fallo del sistema de refrigeración.	10	3	6	180
		Fugas de combustible o aire	Pérdida de rendimiento del motor, consumo elevado.	Instalación incorrecta o material defectuoso.	9	3	6	162
Empaquetadura Carburador	Evitar fugas de aire o combustible en el carburador.	Daño por sobrecalentamiento	Pérdida de eficiencia posible incendio.	Condiciones de funcionamiento inadecuadas.	9	2	6	108
		Desgaste de material debido a exposición a elementos agresivos	Fugas y daños a otros componentes del motor.	Exposición a productos químicos o ambientes extremos.	8	3	5	120
		Pérdida de eficacia debido a obstrucción	Reducción del rendimiento.	Acumulación de suciedad o residuos.	7	3	5	105
Kit	Controlar la sincronización del motor.	Desgaste excesivo de las correas de distribución	Daño al motor, posible rotura.	Desgaste por uso prolongado o material defectuoso.	9	2	6	108

Daño Impulsadores	Daño en los tensores	Desajuste de la sincronización del motor.	Instalación incorrecta o falla del tensor.	9	2	5	90
	Desalineación de la distribución	Pérdida de rendimiento y daños adicionales.	Instalación incorrecta o desgaste irregular.	8	3	6	144
	Ruptura de la correa	Paro total del motor.	Exceso de tensión o material defectuoso.	10	1	5	50
	Desgaste de los impulsadores	Fallo en la apertura y cierre de válvulas.	Uso prolongado o mala lubricación.	9	2	6	108
	Transmitir energía a las válvulas. Obstrucción por suciedad o residuos	Fallo en el funcionamiento del sistema.	Contaminación del aceite o del sistema de distribución.	8	2	6	96

Figura 12

Daño en culata por temperatura Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

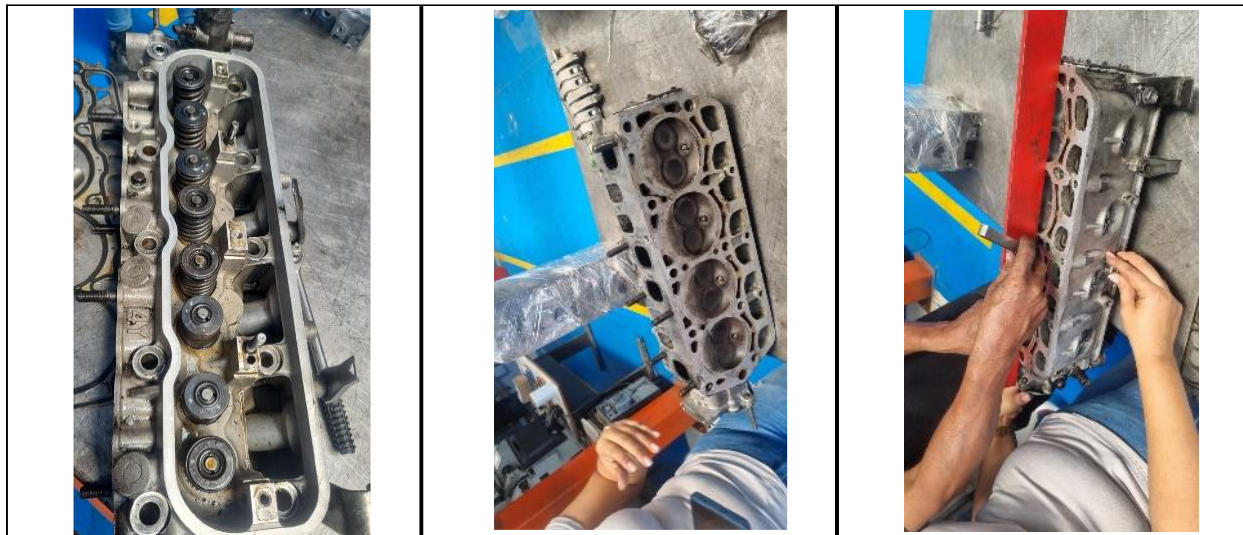


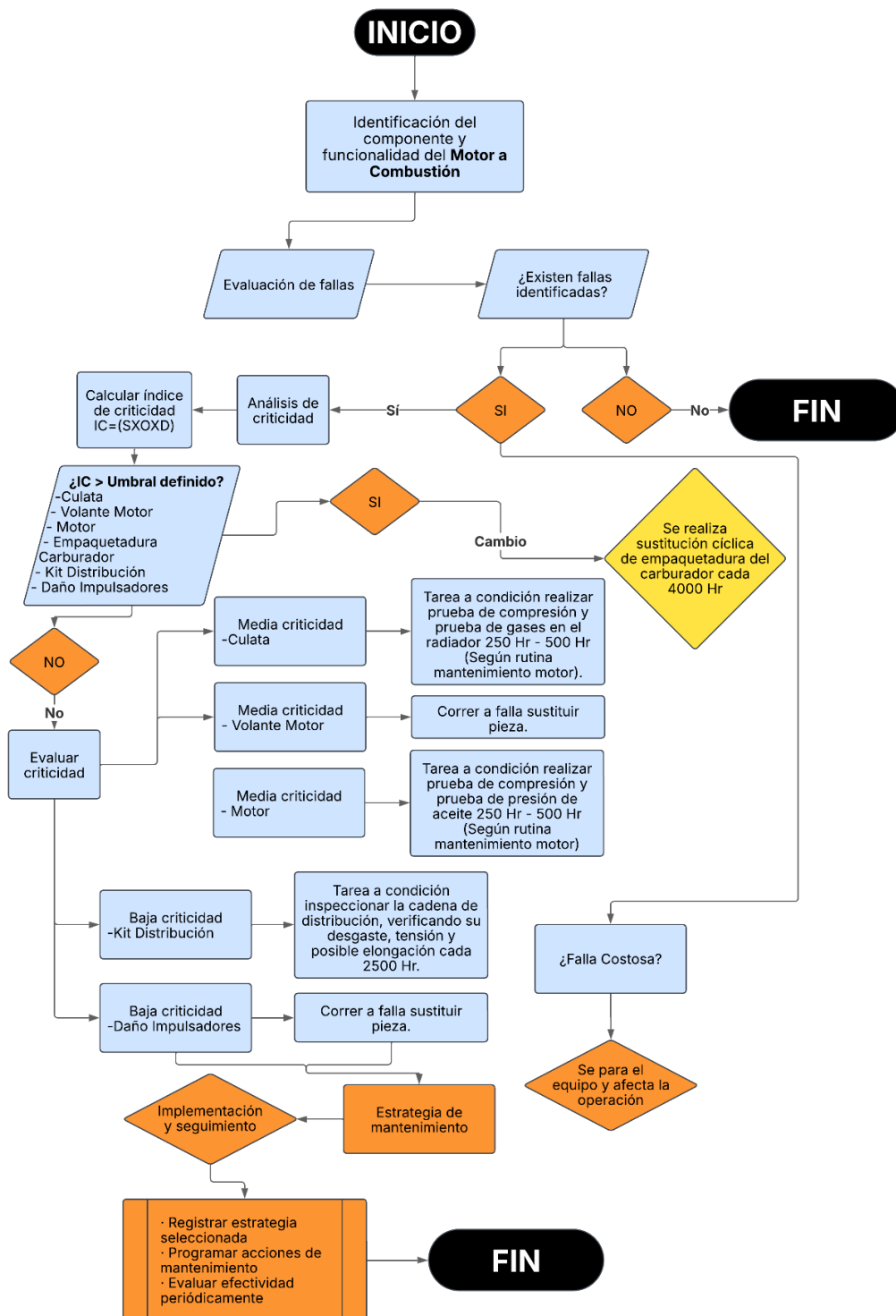
Tabla 19

Tabla de decisión motor combustión Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

EVALUACIÓN DE EVIDENTE			SELECCIÓN DE TAREAS							DETALLE DE LA TAREA											
Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	Oculto	Tareas a condición	Tareas de reacondicionamiento cíclico	Tareas de sustitución cíclica	Tarea de búsqueda de fallas	Correr a falla (Ningún mantenimiento El rediseño debe justificarse	Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo (En línea - Apagado)	Costo del repuesto	Costo producción (h)	Costo HH	Repuesto requerido	Costo tarea
			X		X					Realizar prueba de compresión para detectar fugas en cilindros, prueba de gases en el refrigerante para identificar contaminación por combustión, inspección visual de aceite y refrigerante para verificar contaminación cruzada, y prueba de sobrecalentamiento observando burbujas en el depósito de refrigerante.	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico A de Mantenimiento	3	1	3	En línea	-	-	-	Manómetro de compresión, Tester de CO ₂ (kit de detección de gases de combustión en el refrigerante).	-
			X					X		Sustitución de la pieza	N/A	Técnico B Mantenimiento	6	1	6	Apagado	1.150.000	-	-	Volante Inercia de Motor	1.150.000
			X		X					Realizar prueba de compresión para detectar fugas en cilindros, Prueba de presión de aceite	250 Hr - 500 Hr (Según rutina mantenimiento motor)	Técnico A de Mantenimiento	2	1	2	En línea	-	-	-	Manómetro de compresión y Manómetro de presión de	-
			X			X				Realizar cambio de empaquetadura del carburador	4000 Hr	Técnico A de Mantenimiento	3	1	3	Apagado	1.000.000	-	-	Kit Empaquetadura Carburador	1.000.000
			X		X					Inspeccionar la cadena de distribución, verificando su desgaste, tensión y posible elongación. Revisar el estado de los tensores, guías y piñones, asegurando su correcto funcionamiento y ausencia de ruidos anormales.	2500 Hr	Técnico A de Mantenimiento	3	1	3	Apagado	-	-	-	N/A	-
			X					X		Sustitución de la pieza	N/A	Técnico A de Mantenimiento	3	1	3	Apagado	320.000	-	-	Impulsadores de motor	320.000

Figura 13

Diagrama de decisión RCM sistema de motor a combustión

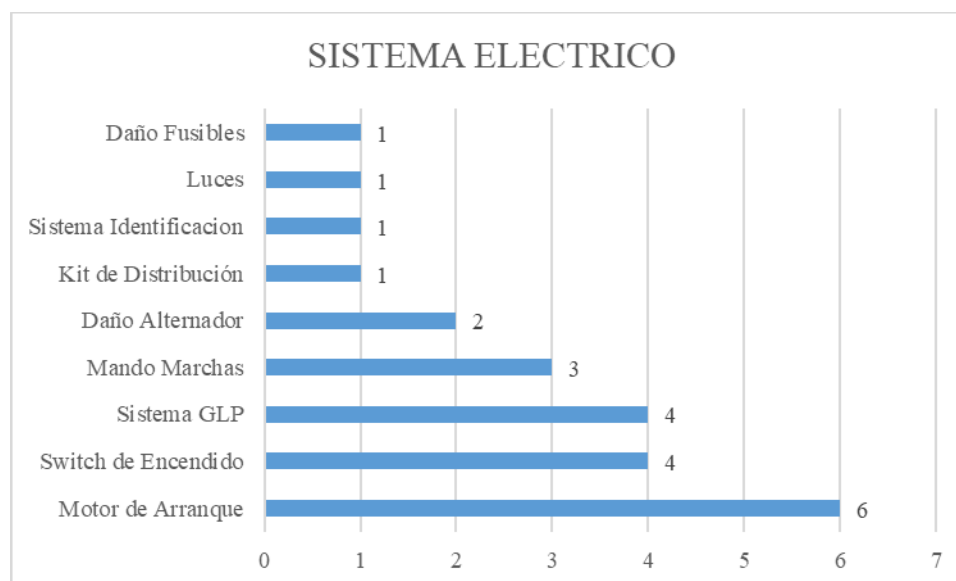


5.4 Sistema eléctrico de montacargas

El sistema eléctrico de un montacargas Toyota 8FGD es responsable de gestionar la distribución de energía eléctrica para diversos componentes del vehículo. Este sistema incluye la batería, el alternador, el arrancador y otros circuitos, permitiendo el arranque del motor y el funcionamiento de dispositivos como luces, indicadores y sistemas de control. La batería proporciona la energía inicial, mientras que el alternador la recarga mientras el motor está en marcha. En resumen, el sistema eléctrico asegura el arranque del motor, mantiene la batería cargada y permite la operación eficiente de los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del montacargas.

Figura 14

Fallas en el sistema eléctrico de montacargas Toyota-8FGDI



5.4.1 Motor de Arranque

El daño en el motor de arranque del sistema eléctrico de un montacargas Toyota 8FGD afecta la capacidad de encender el motor principal del vehículo. Este motor convierte la energía de la batería en energía mecánica para iniciar el funcionamiento del motor. Los daños pueden ser causados por el desgaste de las piezas internas, sobrecalentamiento o fallos en los circuitos

eléctricos. Su función principal es generar el impulso necesario para poner en marcha el motor del montacargas. Un motor de arranque dañado impide que el vehículo arranque, afectando su operatividad y causando interrupciones en su funcionamiento.

Figura 15

Daño en motor de arranque Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)



Tabla AMEF sistema eléctrico

Tabla 20

Tabla AMEF Sistema Eléctrico Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Subsistema	Componente	Función	Posibles Fallas	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	RPN (S × O × D)
Sistema Eléctrico	Motor de Arranque	Proporcionar el movimiento inicial al motor para su arranque.	Motor de arranque defectuoso (no gira)	El motor no arranca, impide el funcionamiento.	Desgaste de los componentes internos.	10	6	4	240
			Fallo en el solenoide del arranque	No recibe señal de encendido, motor no arranca.	Desgaste del solenoide o falta de voltaje.	9	5	5	225

Switch de Encendido		Conexión eléctrica defectuosa o corroída	Interrupción del suministro eléctrico.	Conexiones o cables deteriorados.	9	4	6	216
		Batería descargada	Motor de arranque no recibe energía.	Batería en mal estado o sin carga suficiente.	9	5	5	225
		Cortocircuito en el motor de arranque	Falla total del sistema de arranque.	Mal aislamiento o fallo interno del motor.	10	3	5	150
		Falla en el interruptor (no cierra el circuito)	El vehículo no enciende, falla de encendido.	Desgaste o mal contacto de los pines del interruptor.	10	4	4	160
	Activar el flujo eléctrico necesario para arrancar el vehículo.	Contactos del interruptor quemados o corroídos	No llega corriente al sistema.	Sobrecarga de corriente o humedad.	9	3	5	135
		Interruptor defectuoso	No activa el sistema eléctrico del motor.	Falla interna del interruptor.	9	2	6	108
		Conexión de cable suelta o mal contacto	El motor no recibe corriente.	Conexiones flojas o mal aseguradas.	8	3	5	120
Sistema GLP		Corrosión en el switch debido a exposición a humedad	Falla en la conexión y no arranca el motor.	Condiciones ambientales húmedas.	8	2	6	96
		Fugas en el sistema de GLP	Pérdida de combustible y posible incendio.	Conexiones mal selladas o daño en los conductos.	10	4	4	160
		Fallo en la válvula de regulación	El sistema no suministra GLP.	Válvula obstruida o defectuosa.	9	3	5	135
	Proveer gas licuado como combustible alternativo.	Filtro obstruido	El motor pierde potencia debido a la falta de gas.	Suciedad o residuos en el filtro.	8	3	5	120
		Fallo en el sensor de presión de gas	Pérdida de regulación adecuada del sistema.	Sensor defectuoso o mal calibrado.	8	2	6	96
		Fallo en el arranque del sistema GLP debido a baja presión	El sistema de GLP no se activa correctamente.	Baja presión de gas o falla en el regulador.	9	3	5	135
		No acciona el cambio de marcha	El montacargas no responde a la orden de dirección (no avanza ni retrocede)	Falla del interruptor, desgaste	9	3	4	108
Mando Marchas	Permitir la selección de las marchas en el vehículo.	Problemas con el cableado del sistema de cambios	No se puede accionar el mando correctamente.	Cableado en mal estado o desconectado.	9	3	5	135
		Falla en el interruptor de marcha atrás	No se encienden las luces de marcha atrás.	Mal funcionamiento del interruptor.	7	2	6	84

Daño Alternador	Generar corriente eléctrica para cargar la batería.	Fallo en el regulador de voltaje	La batería no se carga correctamente.	Regulador de voltaje dañado o mal calibrado.	10	2	6	120
		Desgaste en los rodamientos del alternador	Ruidos extraños o fallo en el alternador.	Desgaste de los rodamientos por uso prolongado.	8	2	5	80
		Cables de conexión defectuosos o corroídos	Pérdida de carga o falla del alternador.	Conexiones defectuosas o corrosión.	9	1	6	54
		Fallo en las escobillas del alternador	El alternador no genera corriente.	Escobillas desgastadas por uso.	9	2	5	90
		Daño en el rotor o estator	Pérdida total de carga.	Fallo en la fabricación o daño por sobrecalentamiento.	10	1	5	50
Sistema de Alta	Generar y distribuir la chispa necesaria para encender el combustible en el motor	Falla en la distribución de la chispa	El motor no arranca, funciona irregularmente o pierde potencia.	Desgaste de contactos, mal ajuste, daño mecánico	10	1	6	60
		Desgaste o daño en el aislamiento cables de alta.	Fallo en la transferencia de la chispa a las bujías, pérdida de rendimiento	Desgaste normal, daño físico, mal contacto de cables de alta.	9	1	5	45
		Desgaste excesivo o mal funcionamiento de las bujías	El motor no enciende correctamente, falla en la combustión	Desgaste, acumulación de residuos, mal ajuste de las bujías.	9	1	6	54
		Cortocircuito y/o pérdida de rendimiento bobina de encendido.	Pérdida de chispa, el motor no arranca o funciona irregularmente.	Desgaste, sobrecalentamiento, daño interno de la bobina.	9	1	5	45
		Desgaste o daño del rotor.	El motor no enciende, falla la distribución de la chispa.	Desgaste, daño físico, mala alineación.	8	1	6	48
Sistema Identificación	Identificar el vehículo a través de sistema de seguridad.	Fallo en el sistema de identificación (No reconoce la llave)	El vehículo no arranca.	Sensor de identificación defectuoso.	10	1	5	50
		Falla en la conexión del sistema de identificación	No se reconoce el chip de la llave.	Cableado o contacto defectuoso.	9	1	6	54
Luces	Proveer visibilidad mediante las luces del vehículo.	Falla en la bombilla de luz	Pérdida de visibilidad, aumento de riesgos.	Desgaste o quemado de la bombilla.	8	1	6	48
Daño Fusibles	Proteger el sistema eléctrico mediante fusibles.	Fusible quemado	Pérdida de energía a los sistemas protegidos.	Sobrecarga eléctrica o fallo en el sistema.	9	1	6	54

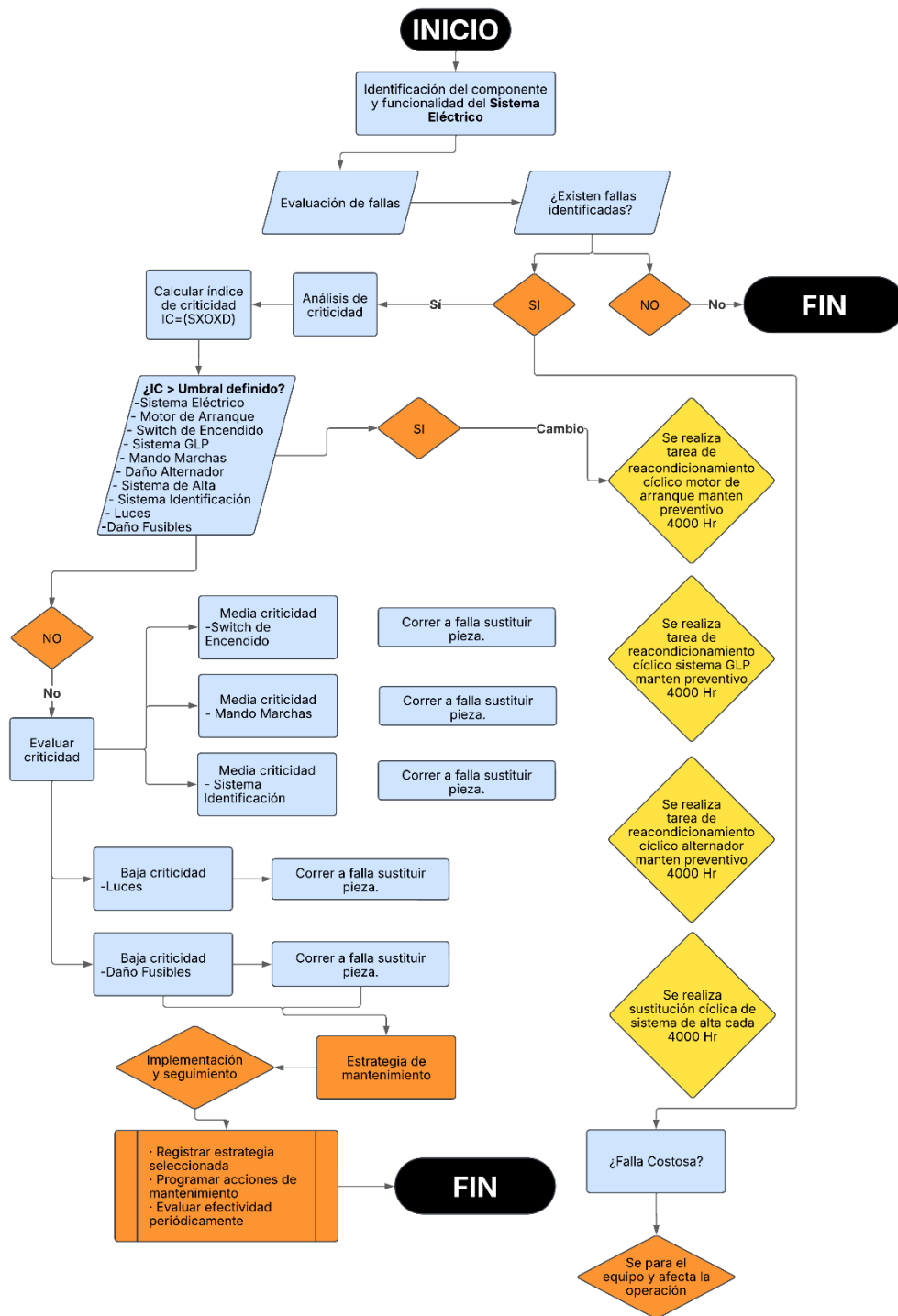
Tabla 21

Tabla de Decisión Sistema Eléctrico de Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Componente	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS EVIDENTE						SELECCIÓN DE TAREAS						DETALLE DE LA TAREA									
	Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	Oculto	Tareas a condición	Tareas de recondicionamiento crítico	Tareas de sustitución crítica	Tareas de bloqueo de fallas	Correr a falla (Ningún mantenimiento preventivo)	El rediseño debe justificarse	Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo (En línea - Apagado)	Costo del repuesto	Costo producción (h)	Costo IHH	Repuesto requerido
Motor de Arraque				X			X				Inspeccionar cableado, terminales y soldados. Limpiar y ajustar escobillas, rodillos internos y bendir, lubricando si es necesario. Realizar pruebas de arranque y consumo de corriente.	4000 Hr	Técnico B Mantenimiento	4	1	4	Apagado	\$ 100.000,00	\$ 140.000,00	\$ 261.45,33	Juego de escobillas, Rodamientos, bujas, grasa dieseléctrica y limpiador de contactos.	\$ 266.145,33
Switch de Encendido				X					X		Sustitución de la pieza	N/A	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ 80.000,00	\$ 35.000,00	\$ 6.536,33	Switch de Encendido	\$ 121.536,33
Sistema GLP		X					X				Inspeccionar conexiones y asegurarse para detectar fugas o daños. Limpiar el interior del regulador, removiendo impurezas. Reemplazar diafragmas, juntas y el filtro de gas para garantizar un flujo adecuado. Ajustar la presión de salida y realizar pruebas de estanqueidad para verificar el correcto funcionamiento del sistema.	4000 Hr	Técnico B Mantenimiento	3	1	3	Apagado	\$ 530.000,00	\$ 105.000,00	\$ 19.608,00	Kit de diafragmas y juntas, Filtro de gas, Sellos y empaques	\$ 654.608,00
Mando Marchas				X					X		Sustitución de la pieza	N/A	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ 400.000,00	\$ 35.000,00	\$ 6.536,33	Mando de Marchas	\$ 441.536,33
Dato Alternador				X			X				Inspeccionar conexiones a limpiar el alternador, revisar y lubricar rodillos internos. Verificar escobillas, regulador y voltaje de salida. Ajustar correa y polva.	4000 Hr	Técnico B Mantenimiento	3	1	3	Apagado	\$ 200.000,00	\$ 105.000,00	\$ 19.608,00	Juego de escobillas y Rodamientos	\$ 324.608,00
Sistema de Alta				X				X			Realizar cambio de sistema de alta completo	4000 Hr	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ 400.000,00	\$ 35.000,00	\$ 6.536,33	Instalación de Alta	\$ 441.536,33
Sistema Identificación		X							X		Sustitución de la pieza	N/A	Técnico B Mantenimiento	1	1	1	Apagado	\$ 250.000,00	\$ 35.000,00	\$ 6.536,33	Receptor de señal, chip de logeo	\$ 291.536,33
Luzes		X							X		Sustitución de la pieza	N/A	Técnico B Mantenimiento	0,5	1	0,5	Apagado	12000,00	\$ 17.500,00	\$ 3.268,17	Bombillo	\$ 32.768,17
Dato Fuelle				X					X		Sustitución de la pieza	N/A	Técnico B Mantenimiento	0,2	1	0,2	Apagado	\$ 2.000,00	\$ 7.000,00	\$ 1.307,27	Fuelle	\$ 10.307,27

Figura 16

Diagrama de decisión RCM sistema de refrigeración

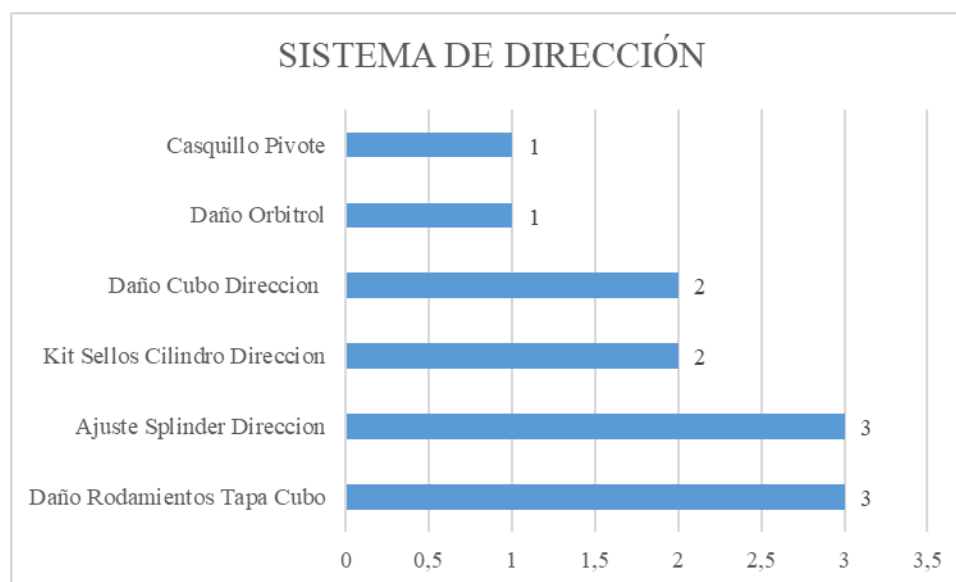


5.5 Sistema de dirección

El sistema de dirección permite al operador controlar el movimiento del vehículo, dirigiendo las ruedas delanteras para facilitar giros y desplazamientos. Este sistema incluye componentes como la columna de dirección, el volante y, en algunos modelos, asistencia hidráulica para reducir el esfuerzo del operador. Su principal función es proporcionar maniobrabilidad precisa, permitiendo realizar giros y movimientos en espacios reducidos, especialmente al manipular cargas. En los modelos con dirección asistida, la función hidráulica hace más fácil girar el volante, mejorando la eficiencia y reduciendo el esfuerzo necesario, incluso cuando el vehículo está cargado.

Figura 17

Fallas en el sistema de la dirección de montacargas Toyota-8FGDI



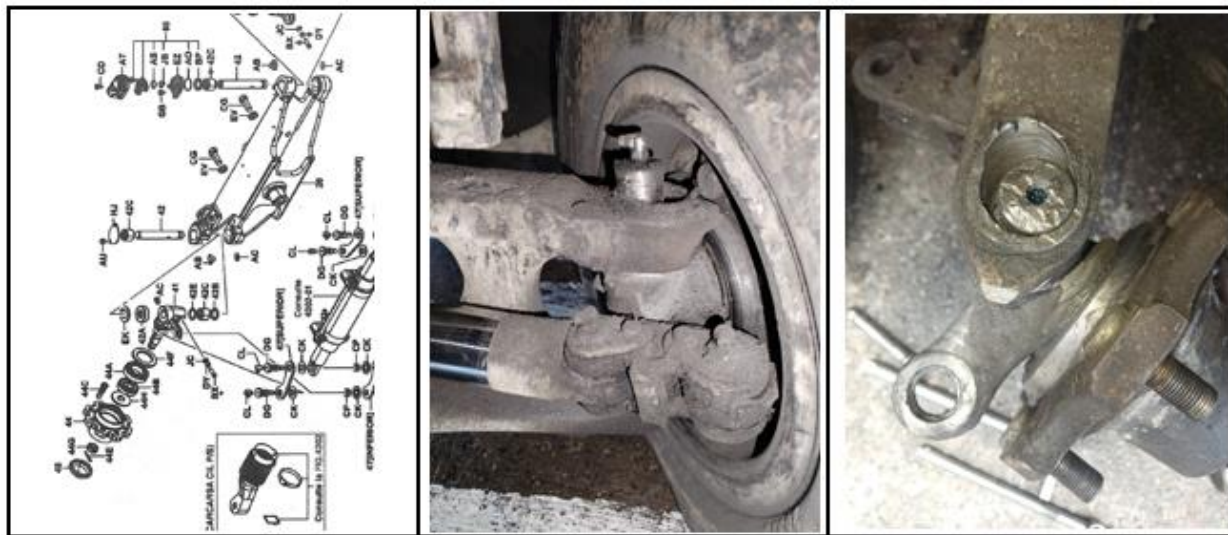
5.5.1 Daño en rodamientos de tapacubo

El daño en los rodamientos del tapacubo de un montacargas ocurre cuando los rodamientos que permiten el giro suave de las ruedas sufren desgaste o fallos. Esto puede ser causado por falta de lubricación, sobrecarga o condiciones extremas. Los rodamientos son esenciales para reducir la

fricción entre las partes móviles de las ruedas, facilitando el movimiento del montacargas y soportando el peso del vehículo y su carga. Cuando estos rodamientos se dañan, se pueden generar ruidos, vibraciones y afectar la estabilidad y maniobrabilidad, causando un desgaste adicional en el sistema de ruedas.

Figura 18

Daño en rodamiento de tapacubo Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)



Kit Sellos Cilindro Dirección	Evitar fugas de líquido hidráulico	Desgaste de los sellos	Provoca fugas de fluido hidráulico, reduciendo la presión y afectando la dirección.	Fricción constante y envejecimiento de los materiales de los sellos.	7	8	6	336
		Fugas de fluido hidráulico	Disminuye la eficiencia del sistema de dirección y dificulta el control del montacargas.	Deterioro o daño de los sellos debido a altas presiones o temperaturas extremas.	8	7	7	392
		Contaminación del sistema hidráulico	Daño a los componentes internos del cilindro y reducción de la vida útil del sistema de dirección.	Sellos dañados o mal mantenimiento que permiten la entrada de suciedad y agua al sistema.	9	6	6	324
		Fugas de lubricante	Reduce la lubricación, causando un desgaste prematuro de los rodamientos y afectando el rendimiento de la dirección.	Daños o desgaste de los sellos debido a la fricción o el paso del tiempo.	6	6	7	252
Tapa Cubo Dirección	Proteger y sellar los componentes internos del sistema de dirección.	Desgaste o daño en los sellos	Permite la entrada de contaminantes, lo que daña los rodamientos y reduce la vida útil del sistema.	Exposición a condiciones de trabajo extremas o falta de mantenimiento adecuado.	7	5	6	210
		Fisuras o grietas en la tapa	Compromete la integridad estructural de la dirección, causando fallas en el sistema de control de las ruedas.	Sobrecarga, impactos o materiales defectuosos que comprometen la integridad de la tapa.	9	5	7	315

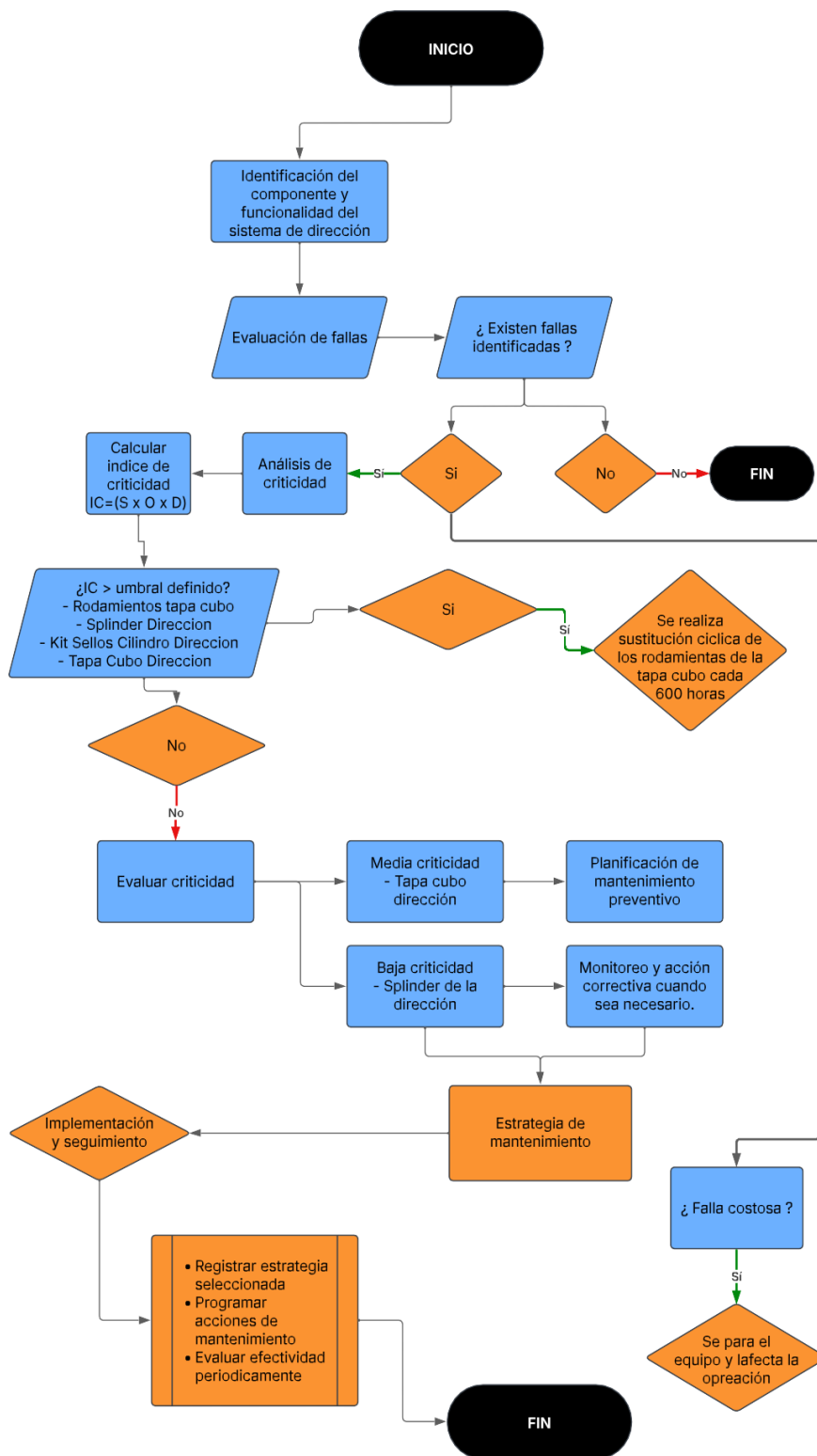
Tabla 23

Tabla de Decisión Sistema de Dirección Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

EVALUACIÓN DE EVIDENTE					SELECCIÓN DE TAREAS						DETALLE DE LA TAREA										
Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	Oculto	Tareas a condición	Tareas de reacondicionamiento o cíclico	Tareas de sustitución cíclica	Tarea de búsqueda de fallas	Correr a falla (Ningún mantenimiento El rediseño debe justificarse	Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo (En línea - Apagado)	Costo del repuesto	Costo producción (h)	Costo HH	Repuesto requerido	Costo tarea
			X				X			Reemplazo cíclico de los rodamientos tapa cubo para evitar fallos en el sistema de dirección del montacargas, cada 500-700 horas de operación, con inspección, instalación de rodamientos nuevos y prueba operativa.	500 - 700 horas	Tecnico de mantemimiento mecanico	2 a 3 horas	1	2 a 3 horas	Apagado	\$ 250.000	\$ 87.500	\$ -	Rodamientos	\$ 337.500
			X		X					Inspección y mantenimiento a condición de los splinters de dirección: revisión visual, prueba de funcionamiento, lubricación y reemplazo si es necesario. Se realiza cada 500 horas o 6 meses, según condiciones.	500 horas	Tecnico de mantemimiento mecanico	1 a 1.5 horas	2	1 a 1.5 horas	En línea	\$ -	\$ -	\$ -	Splinder	\$ -
		X					X			Se recomienda realizar inspección y reemplazo preventivo de los sellos del cilindro de dirección cada 500 horas o anualmente.	500 horas	Tecnico de mantemimiento mecanico	2 a 3 horas	2	2 a 3 horas	Apagado	\$ 190.000	\$ 87.500	\$ -	Kit de sellos	\$ 277.500
			X					X		Se recomienda realizar una búsqueda de fallas en la tapa cubo de la dirección cada 500 horas o trimestralmente, con un tiempo de 1-2 horas y dos personas, y si se encuentra fisurada cambiarla para garantizar el funcionamiento adecuado.	500 horas	Tecnico de mantemimiento mecanico	1 - 2 horas	2	1 - 2 horas	Apagado	\$ -	\$ 52.500	\$ -	Herramienta menor	\$ 52.500

Figura 19

Diagrama de decisión RCM sistema de dirección

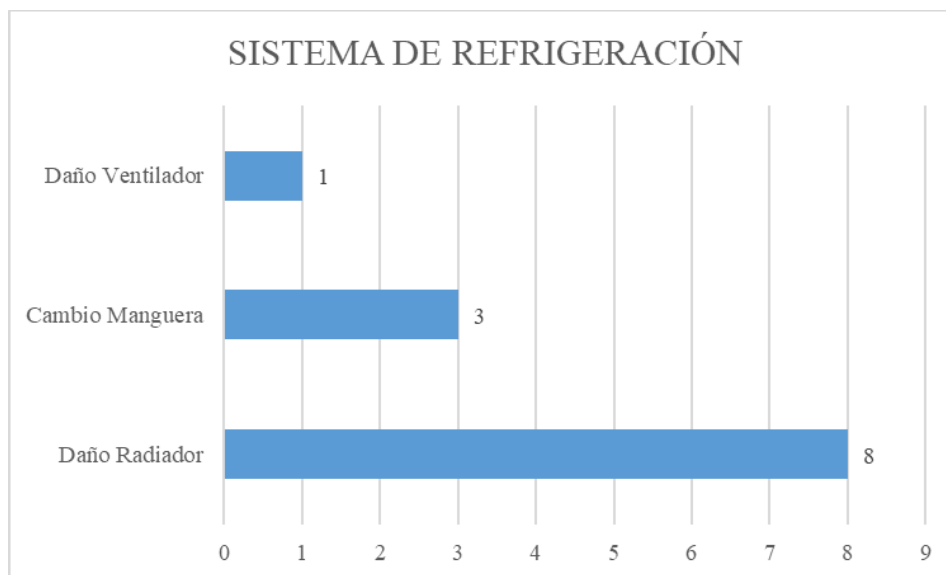


5.6 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración del montacargas Toyota 8FGD está diseñado para mantener el motor en una temperatura adecuada durante su funcionamiento. Con componentes como el radiador, termostato, ventilador y mangueras, este sistema asegura que el motor no se sobrecaliente al disipar el calor generado. El termostato controla la temperatura del motor, mientras que el refrigerante circula a través del motor y radiador para enfriarlo. Al prevenir el sobrecalentamiento, el sistema de refrigeración no solo protege al motor, sino que también extiende su vida útil y mejora su rendimiento al garantizar que opere dentro de su temperatura ideal.

Figura 20

Fallas en el sistema de refrigeración del montacargas Toyota-8FGDI



5.6.1 Daño en el radiador

El daño en el radiador del sistema de refrigeración de un montacargas Toyota 8FGD afecta la capacidad del radiador para enfriar el refrigerante, lo que puede ser causado por fugas, corrosión, grietas u obstrucción de las aletas. El radiador es crucial para disipar el calor del refrigerante y regular la temperatura del motor. Si está dañado, el sistema de refrigeración no podrá enfriar

adecuadamente el motor, lo que puede provocar sobrecalentamiento y daño al motor. Mantener el radiador en buen estado es esencial para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración y evitar fallos en el motor.

Figura 21

Daño en el radiador Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

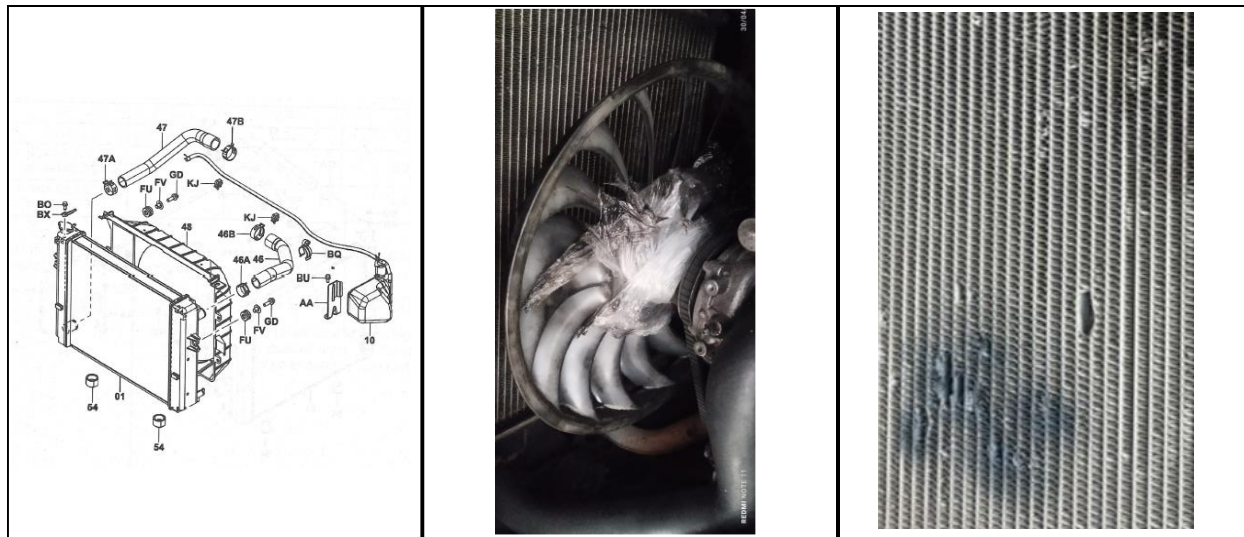


Tabla AMEF sistema refrigeración

Tabla 24

Tabla AMEF Sistema Refrigeración Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Subsistema	Componente	Función	Posibles Fallas	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	RPN (S × O × D)
Refrigeración	Radiador	Mantener la temperatura del motor dentro de los niveles óptimos de funcionamiento	Fugas de refrigerante	Provoca sobrecalentamiento del motor debido a la pérdida de líquido refrigerante.	Daños en las aletas o conexiones debido a la corrosión o impactos físicos.	9	6	7	378
			Obstrucción de las aletas	Reduce la disipación de calor, provocando un aumento en la temperatura del motor.	Acumulación de suciedad, polvo o escombros que bloquean el flujo de aire.	7	6	6	252
			Corrosión interna o acumulación de sedimentos	Bloquea el flujo de refrigerante, causando un rendimiento deficiente y sobrecalentamiento del motor.	Uso de refrigerante viejo o de baja calidad, o falta de mantenimiento adecuado.	8	5	5	200
	Mangueras	Transportar el líquido refrigerante entre el motor, el radiador y otros componentes del sistema de refrigeración.	Fugas o roturas	Provoca pérdida de refrigerante, lo que puede causar sobrecalentamiento del motor.	Desgaste por la exposición al calor, presión excesiva o envejecimiento del material de la manguera.	9	7	6	378
			Hinchazón o expansión	Aumenta el riesgo de ruptura de las mangueras y afecta el flujo adecuado de refrigerante.	Exceso de presión interna o material deteriorado por la exposición a temperaturas elevadas.	7	6	5	210

Ventilador	Mantener el motor a una temperatura óptima de funcionamiento	Obstrucción interna	Bloquea el flujo de refrigerante, lo que puede provocar un rendimiento deficiente y sobrecalentamiento del motor.	Acumulación de sedimentos, residuos de corrosión o impurezas en el refrigerante.	8	5	6	240
		Falla en el motor del ventilador	El motor no enfriará el motor del montacargas, causando sobrecalentamiento.	Desgaste o fallo eléctrico en el motor del ventilador.	9	3	4	108
		Correa o acoplamiento roto o desgastado	El ventilador no girará, lo que provoca un mal enfriamiento del motor.	Desgaste, rotura o mala tensión de la correa o acoplamiento.	8	6	5	240
		Obstrucciones o suciedad en el ventilador	La circulación de aire se reduce, aumentando el riesgo de sobrecalentamiento del motor.	Acumulación de polvo, residuos o suciedad en las aspas del ventilador o radiador.	7	7	6	294

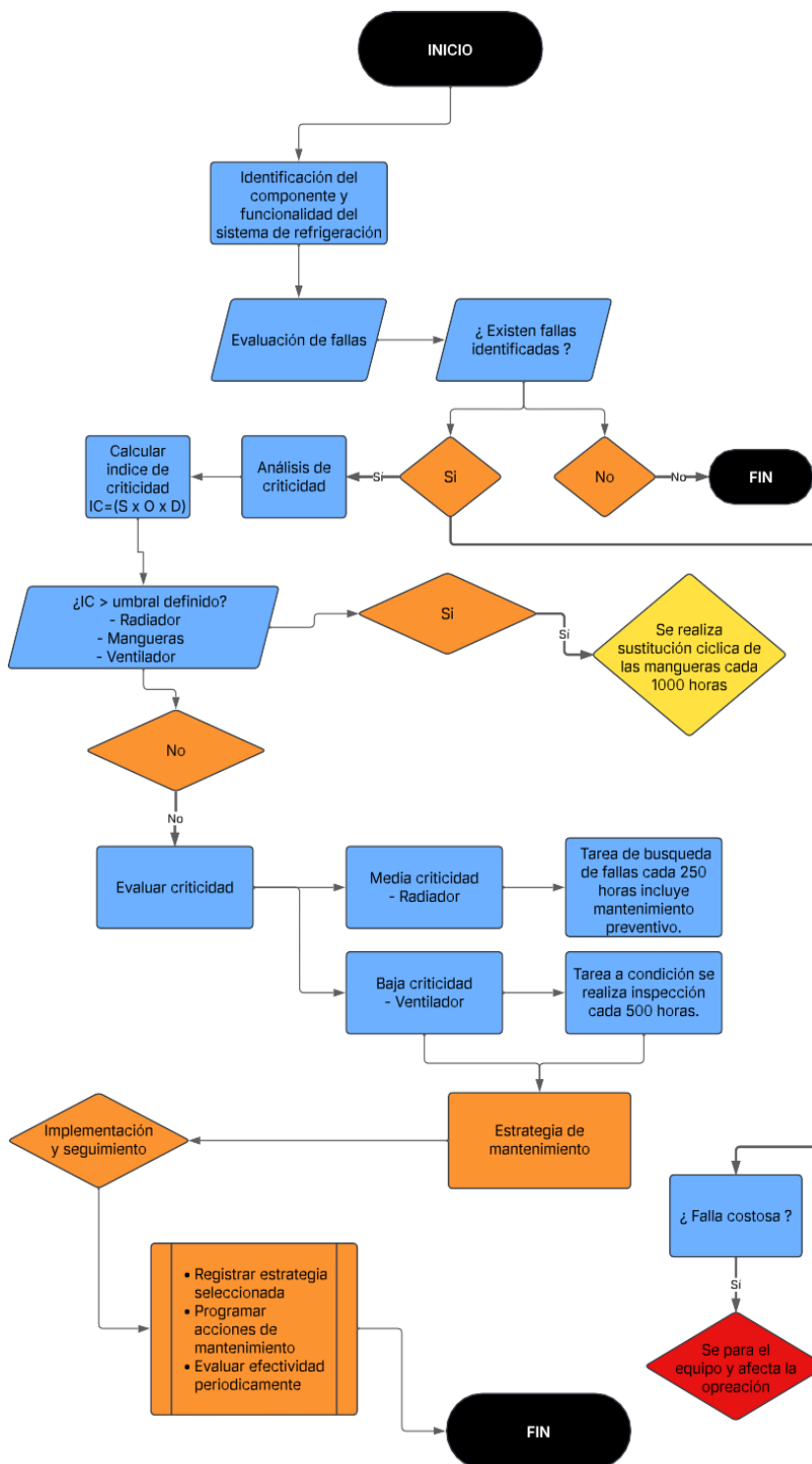
Tabla 25

Tabla de Decisión Sistema de Refrigeración Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

EVALUACIÓN DE EVIDENTE					SELECCIÓN DE TAREAS					DETALLE DE LA TAREA											
Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	Oculto	Tareas a condición	Tareas de reacondicionamiento cíclico	Tareas de sustitución cíclica	Tarea de búsqueda de fallas	Correr a falla (Ningún mantenimiento preventivo) El rediseño debe justificarse	Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo (En línea - Apagado)	Costo del repuesto	Costo producción (h)	Costo HH	Repuesto requerido	Costo tarea
			X					X		Verificar fugas, flujo, temperatura y calidad del refrigerante. Requiere 2 técnicos, 1.5 horas. Acciones limpieza, reparación o monitoreo según condición detectada.	250 horas	Tecnico de mantemimiento mecanico	1.5 horas	2	1.5 horas	En línea	\$ -	\$ 52.500	\$ -	Manometro, termometro, herramienta menor	\$ 52.500
				X						Sustitución de mangueras del sistema de refrigeración del montacargas Toyota-8FGDI cada 1,000 horas. Dos técnicos, 2 horas. Incluye drenado, cambio, ajuste, purga y prueba para garantizar confiabilidad y prevenir fallas.	1000 horas	Tecnico de mantemimiento mecanico	2 horas	2	2 horas	Apagado	\$ 320.000	\$ 70.000	\$ -	Mangueras del sistema de refrigeración	\$ 390.000
			X		X					Inspección del ventilador cada 500 horas. Se verifica desgaste, vibraciones y flujo de aire. Un técnico realiza mediciones, ajustes y limpieza en 1 hora, registrando hallazgos.	500 horas	Tecnico de mantemimiento mecanico	1 hora	1	1 hora	En línea	\$ -	\$ 35.000	\$ -	linterna, tacómetro, analizador de vibraciones	\$ 35.000

Figura 22

Diagrama de decisión RCM sistema de refrigeración

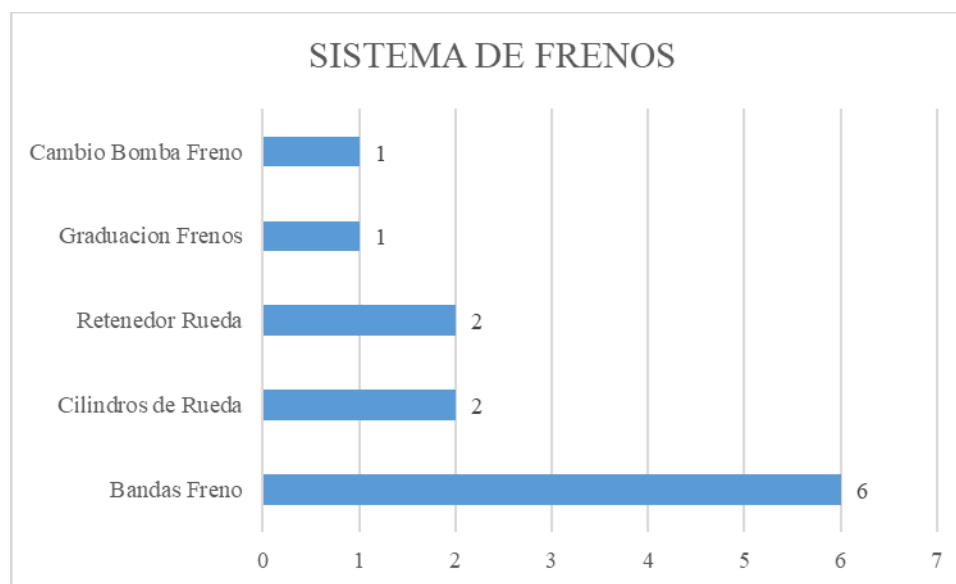


5.7 Sistema de frenos

El sistema de frenos del montacargas Toyota 8FGD es crucial para detener o reducir la velocidad del vehículo de forma segura. Utiliza frenos de disco o tambor junto con un sistema hidráulico que transmite la presión del pedal de freno a las ruedas. Este sistema es fundamental para detener el montacargas, especialmente al realizar maniobras en terrenos inclinados o al transportar cargas pesadas. Además, garantiza la seguridad al permitir un control preciso del vehículo y facilita su maniobrabilidad en espacios reducidos o superficies irregulares, asegurando un funcionamiento confiable en diversas condiciones de trabajo.

Figura 23

Fallas en las bandas de frenos del montacargas Toyota-8FGDI



5.7.1 Daño en las bandas de Freno

Las bandas de freno en un montacargas Toyota 8FGD son esenciales para controlar la velocidad y detener el vehículo mediante la fricción generada al presionar contra los tambores o discos. Estas bandas aseguran maniobras seguras, incluso en terrenos difíciles, al reducir el desgaste de otros componentes del sistema de frenado. Su daño puede originarse por desgaste

excesivo, contaminación con líquidos, sobrecalentamiento o deformaciones. Esto disminuye su efectividad, aumentando los riesgos de accidentes. Por lo tanto, es fundamental realizar un mantenimiento regular para garantizar su buen estado y evitar fallos en el sistema de frenado.

Figura 24

Daño bandas de freno Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

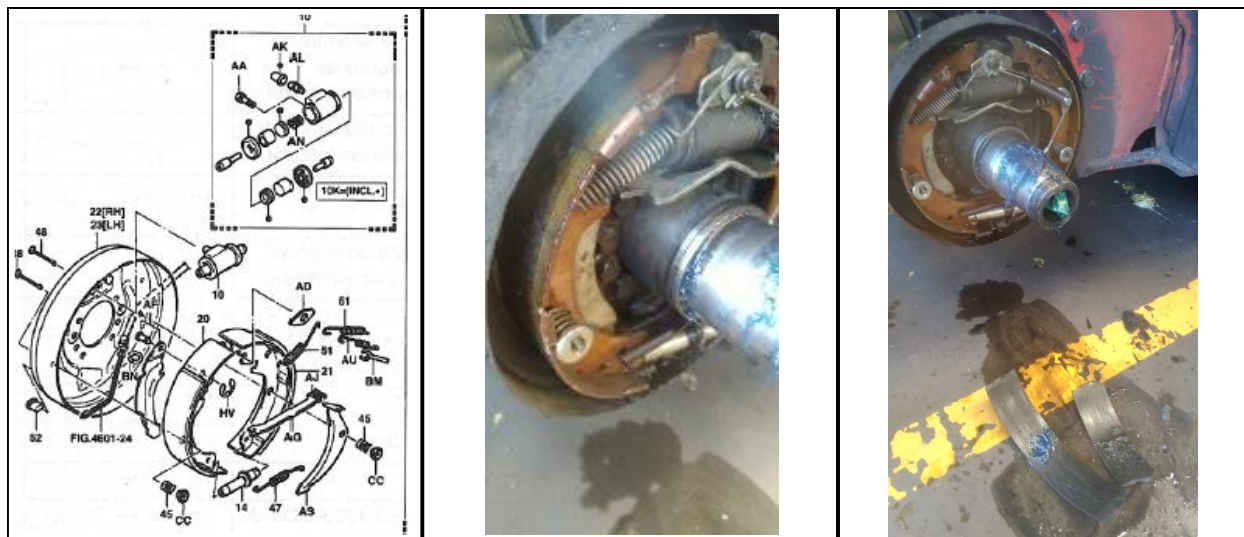


Tabla AMEF sistema frenos

Tabla 26

Tabla AMEF Sistema Frenos Montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

Subsistema	Componente	Función	Posibles Fallas	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	RPN (S × O × D)
Frenos	Bandas	Proporcionar la capacidad de frenar y detener el vehículo de manera segura	Desgaste excesivo de las bandas	Reduce la capacidad de frenado, aumentando la distancia de detención.	Uso prolongado y constante de los frenos.	9	7	6	378

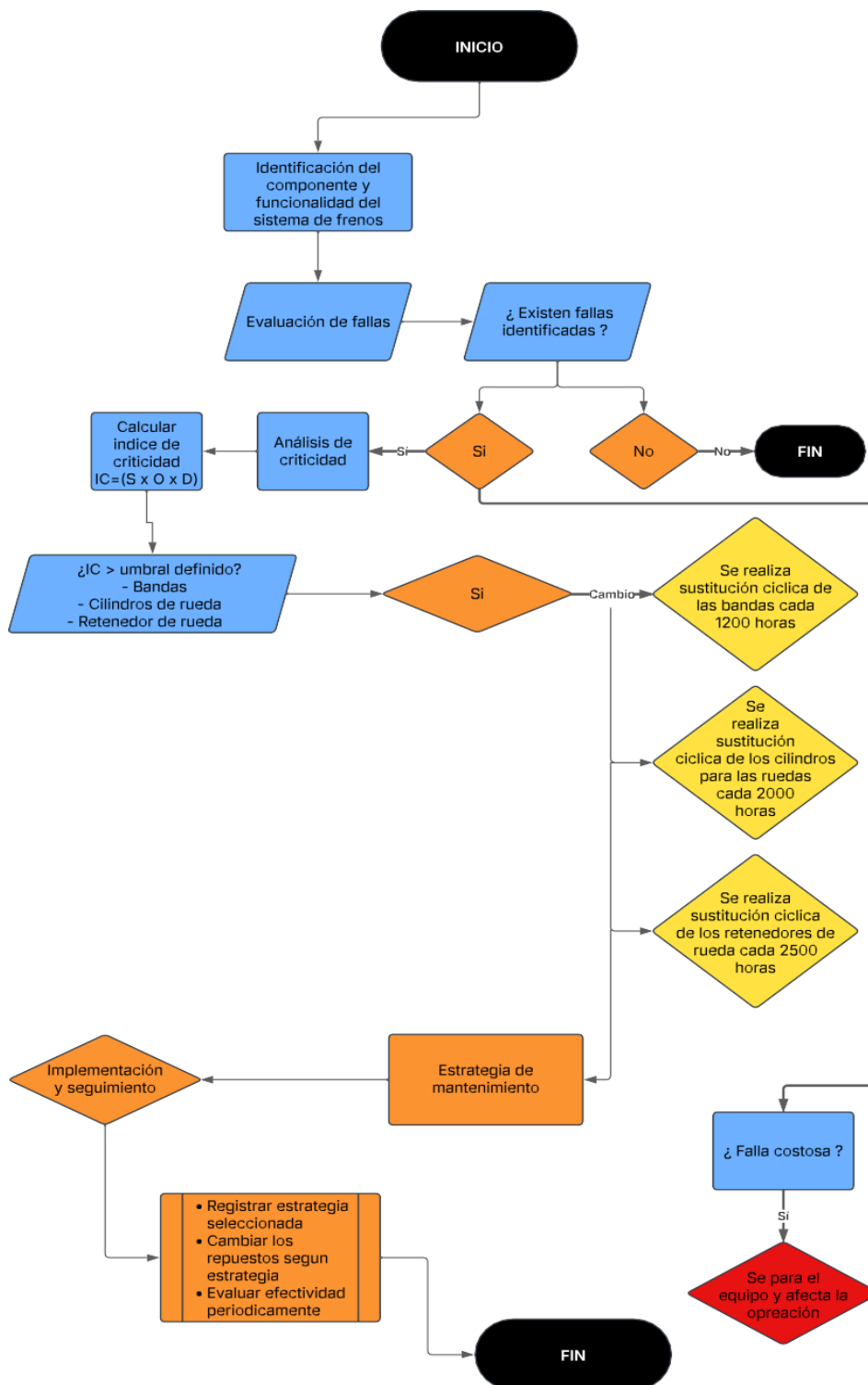
Cilindros de rueda	Aplicar la presión hidráulica necesaria para accionar los frenos en las ruedas.	Fugas de líquido de frenos	Disminuye la eficacia del sistema de frenos, comprometiendo la seguridad del frenado.	Gomas o sellos dañados en el sistema de frenos.	10	5	4	200
		Desajuste o mala alineación	Causa desgaste irregular de las bandas y reduce la eficiencia del frenado.	Mantenimiento inadecuado o desgaste irregular de los componentes del sistema de frenos.	8	6	7	336
		Fugas de líquido hidráulico	Reduce la capacidad de frenado, lo que puede llevar a una pérdida de control del montacargas.	Daños o desgaste en los sellos o juntas del cilindro de la rueda.	10	5	4	200
		Desgaste de los sellos	Provoca fugas de líquido de frenos, afectando la eficiencia del sistema de frenado.	Exposición prolongada al calor, fricción o falta de mantenimiento adecuado.	8	6	6	288
		Bloqueo o atascamiento del cilindro	Impide que los frenos funcionen correctamente, aumentando la distancia de detención y el riesgo de accidentes.	Acumulación de suciedad, corrosión o desgaste interno del cilindro.	9	4	5	180
Retenedor rueda	Mantener las partes del sistema de frenos y la rueda en su lugar, evitando que se desalineen o se desensamblen durante la operación.	Fugas de líquido hidráulico	Reduce la capacidad de frenado, comprometiendo la seguridad y el control del montacargas.	Desgaste o daño de los sellos del cilindro debido al uso prolongado o a condiciones adversas.	10	6	4	240
		Corrosión interna	Afecta el funcionamiento del cilindro, provocando un frenado ineficaz o la falla total del sistema.	Exposición a humedad, agua o contaminantes que afectan los componentes internos del cilindro.	9	5	5	225

Tabla 27 Tabla de decisión Sistema de frenos montacargas Toyota-8FGDI (Fuente Propia)

EVALUACIÓN DE EVIDENTE				SELECCIÓN DE TAREAS					DETALLE DE LA TAREA													
Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	Oculto	Tareas a condición	Tareas de reacondicionamiento cíclico	Tareas de sustitución cíclica	Tarea de búsqueda de fallas	Correr a falla (Ningún mantenimiento preventivo)	El rediseño debe justificarse	Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo (En línea - Apagado)	Costo del repuesto	Costo producción (h)	Costo HH	Repuesto requerido	Costo tarea
	X						X				Reemplazo de bandas de frenos en montacargas cada 1200 horas, dos técnicos, 2 horas incluye inspección, desmontaje, instalación, ajuste y pruebas para garantizar rendimiento óptimo.	1200 horas	Tecnico de mantenimiento mecanico	2 horas	2	2 horas	Apagado	\$ 750.000	\$ 70.000	\$ -	Bandas	\$ 820.000
		X					X				Sustitución cíclica de cilindros de rueda en frenos de montacargas Toyota-8FGDI cada 2,000 horas. Involucra inspección, desmontaje, instalación, purgado y pruebas se requiere 2 técnicos y dura 3 horas.	2000 horas	Tecnico de mantenimiento mecanico	3 horas	2	3 horas	Apagado	\$ 1.400.000	\$ 105.000	\$ -	Cilindros de las 4 ruedas	\$ 1.505.000
			X				X				Se realizara cambio de retenedores de ruedas en montacargas cada 2,500 horas, se requiere 2 técnicos en 2.5 horas, incluye inspección, desmontaje, reemplazo, reensamblaje y pruebas.	2500 horas	Tecnico de mantenimiento mecanico	2,5 horas	2	2,5 horas	Apagado	\$ 800.000	\$ 87.500	\$ -	Retenedores de ruedas	\$ 887.500

Figura 25

Diagrama de decisión RCM sistema de frenos



Conclusiones

Se realizó un análisis detallado de los equipos Toyota-8FGDI de Edinsa - Postobón en Villavicencio, identificando sus principales fallas mediante el Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMEF) y el Número Prioritario de Riesgo (NPR). Los resultados permitieron determinar que los sistemas más críticos son transmisión, hidráulico, motor, eléctrico, dirección, refrigeración y frenos, justificando la necesidad de estrategias de mantenimiento basadas en confiabilidad.

Se establecieron los parámetros de temperatura y horas de operación como factores clave en el desempeño de los montacargas. Se evidenció que el sobrecalentamiento del motor y el uso intensivo generan un impacto significativo en la vida útil de los equipos, por lo que se recomienda el monitoreo continuo para prevenir fallas críticas.

A partir de los datos recolectados, se diseñó un plan de mantenimiento basado en confiabilidad que permite optimizar la gestión de fallas. La implementación de mantenimiento predictivo y preventivo reducirá los tiempos de inactividad y mejorará la disponibilidad operativa de la flota en un 15 % como mínimo, se estima una disminución en el MTTR de al menos un 30 % y una reducción del 40 % de las fallas recurrentes en el primer año de implementación, alineándose con los objetivos de la empresa. alineándose con los objetivos de la empresa.

La aplicación de diagramas de decisión y metodologías RCM facilitara la planificación estructurada de las actividades de mantenimiento. Esto permite mejorar la gestión de recursos, reducir costos operativos y garantizar la seguridad de los equipos, contribuyendo a la eficiencia logística tanto a nivel regional como nacional.

Recomendaciones

Uso de repuestos de alta calidad y/o genuinos: Se recomienda establecer un estándar de calidad para los repuestos críticos, priorizando proveedores certificados y materiales con mayor resistencia al desgaste. Esto disminuirá la frecuencia de fallas y mejorará la confiabilidad de los equipos

Capacitación del personal técnico: Para garantizar una correcta aplicación del RCM, se recomienda desarrollar programas de capacitación continua en análisis de fallas, mantenimiento predictivo y uso de herramientas de diagnóstico avanzadas. Esto asegurará una adecuada interpretación de datos y una mejor toma de decisiones en la intervención de los equipos. La criticidad de los componentes y sistemas no solo debe basarse en la cantidad de fallas registradas, sino también en su impacto sobre el funcionamiento general del montacargas. En la implementación del RCM, el objetivo principal es mejorar la disponibilidad de la flota y encontrar las causas raíz de las fallas más recurrentes, permitiendo así una planificación de mantenimiento más efectiva y alineada con las necesidades operativas.

Optimización del mantenimiento preventivo: Es fundamental redefinir los intervalos de mantenimiento preventivo basados en los datos recopilados a través del monitoreo y el AMEF. Ajustar los tiempos de intervención según la criticidad de los componentes permitirá reducir tiempos de inactividad innecesarios.

Análisis periódico de indicadores de mantenimiento: Se sugiere la implementación de reuniones periódicas de análisis de KPI's (MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad) para evaluar la efectividad del RCM y realizar mejoras continuas en la estrategia de mantenimiento.

Referencias Bibliográficas

- Barrera Amorocho, M. J., & Mena Galvis, R. L. (2017). *Modelo de mantenimiento basado en RCM para el sistema de calefacción de los tanques de almacenamiento de la Planta Asfalto de CONSOL- tramo sur*. Universidad Industrial de Santander.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Redalyc*. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Estableciendo el marco de trabajo histórico y teórico del RCM (Mantenimiento basado en la confiabilidad). (2019). John D. Campbell (Ed.). Recuperado el 22 de agosto de 2024, de <https://C:/Users/russe/Downloads/416544115-Manual-de-Confiabilidad-Espanol.pdf>
- Fischer, K., Besnard, F., & Bertling, L. (2012). Reliability-centered maintenance for wind turbines based on statistical analysis and practical experience. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 27(1), 184–195. <https://doi.org/10.1109/TEC.2011.2176129>
- García, C. (2013). *Operación y mantenimiento de montacargas*. Diaz de Santos.
- González Robles, W. R., Sánchez Quintero, R. H., & Ospina García, P. C. (2015). Diseño de una estrategia de mantenimiento RCM para el sistema de control electrónico de un motocompresor Ingersoll Rand 12SVG. *Universidad Industrial de Santander*.
- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., & Engen-Skaugen, T. (2012). Technical note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3383–3390. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3383-2012>

Gutiérrez Marriaga, J. A. (2020). Diseño de un plan de mantenimiento basado en el enfoque RCM aplicado a una flota de camionetas operando en mina para mejorar su disponibilidad operacional. *Universidad Industrial de Santander*.

Hernandez Porras, C. A., & Ochoa Rincón, A. F. (2017). Propuesta de un modelo gerencial de mantenimiento electromecánico, basado en la metodología RCM, para plantas del sector de reciclaje y tratamiento de llantas. *Universidad Industrial de Santander*.

Herrera Martínez, R. A., & Soto Luengas, O. D. (2018). Desarrollo de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para el sistema eléctrico de un vehículo International 4300. *Universidad Industrial de Santander*.

Leach, P. M. (2002). *Forklift trucks: Technical and safety aspects*. Whittles Publishing.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. (2021). John Moubray Estrategias para el ciclo de vida Aladon. Recuperado el 22 de agosto de 2024, de <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>

Muriel Escorcía, D. C. (2020). Desarrollo de metodología RCM, para el equipo chiller modelo YS BA BA SO though YS FC FB S5 250T, del sistema de aire acondicionado central actual del aeropuerto Ernesto Cortissoz de Barranquilla. *Universidad Industrial de Santander*.

Ramírez, J. L. (2020). <https://biblioteca.uis.edu.co/>. Recuperado de https://uis.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=alma991001766144507671&context=L&vid=57UIDS_INST:UIDS&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&daptor=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=any,contains,rcm%20en%20montacargas&offset=0

- Ramírez Ramírez, J. L. (2020). Diseño de plan de mantenimiento basado en confiabilidad en motores de combustión interna de la flota montacargas Taylor en la empresa Palermo Sociedad Portuaria S.A. *Universidad Industrial de Santander*.
- Smith, R. G. (2009). *Maintenance and reliability best practices*. Industrial Press.
- Soriano, J. J. (2003). *Gestión del mantenimiento*. McGraw-Hill.
- Torres Álvarez, L. M. (2010). Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia. *Universidad Industrial de Santander*.
- Vacca Blanco, N. S. (2014). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II) para los equipos de enfriamiento, drenaje y desagüe en el montaje de las turbinas de generación: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso. *Universidad Industrial de Santan*

Apéndices

Apéndice A. Datos de Monografía

Datos de equipo

Tablas y gráficos

Entrada Taller

Horas

Otros

Apéndice B Análisis de Modo, Efecto y Falla

Tablas de componentes

Fotografías de sistema

Transmisión

Sistema hidráulico

Motor

Sistema Eléctrico

Dirección

Refrigeración

Frenos