

RCM PARA UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA PARA LOS
CAMIONES DE REPARTO DE COCA COLA FEMSA.

CARLOS RUBÉN PATIÑO BENAVIDES
YAMID EFRÉN BETANCOURT CORONADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARMANGA
2014

RCM PARA UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA PARA LOS
CAMIONES DE REPARTO DE COCA COLA FEMSA.

CARLOS RUBÉN PATIÑO BENAVIDES
YAMID EFRÉN BETANCOURT CORONADO

Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de especialista
de mantenimiento

DIRECTOR: Jesús Alfonso Cárdenas Caicedo
Ingeniero Mecánico
Especialista en administración de empresas.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARMANGA
2014

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1 RCM Mantenimiento centrado en confiabilidad.....	18
1.1.1 Reseña Histórica.....	18
1.1.1.1 Historia.....	19
1.1.1.2 Filosofía.....	19
1.1.2 Metodología.....	20
1.1.3 Preguntas básicas del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	22
1.1.3.1 Descripción de Funciones.....	23
1.1.3.2 Parámetros de funcionamiento.....	24
1.1.3.3 Fallas funcionales.....	26
1.1.3.4 Análisis de modos de Falla.....	27
1.1.3.5 Efectos de falla.....	28
1.1.3.6 Consecuencias de las fallas.....	29
1.1.4 Tareas de Mantenimiento enfocadas al RCM.....	30
1.1.4.1 Tareas Proactivas.....	31
1.1.4.2 Tareas de re-acondicionamiento cíclico.....	33
1.1.4.3 Tareas de sustitución cíclica.....	34
1.2 Algunas herramientas orientadas al RCM.....	34
1.2.1 Análisis de Criticidad de Equipos.....	34
1.2.1.1 Generalidades.....	34
1.2.1.2 Objetivo del análisis de criticidad.....	35
1.2.2 Análisis De Causa Raíz (RCA).....	37
1.2.2.1 Generalidades.....	37
1.2.2.2 Bondades del análisis causa raíz.....	38
1.2.2.3 Clasificación de las causas raíz.....	38
1.2.2.4 Algunos casos donde se enfoca un RCA.....	38
1.2.3 Árbol lógico de fallas.....	39
2. COCA-COLA FEMSA.....	42

2.1 Historia en Colombia.....	42
2.2 Ubicación Geográfica.....	43
2.2.1 Ubicación flota de vehículos.....	44
2.2.2 Ubicación talleres de servicios.....	45
2.3 Organigrama.....	45
2.4 El área de mantenimiento.....	46
2.4.1 Sistema de mantenimiento Automotriz.....	46
2.4.1.1 Administración del mantenimiento.....	48
2.4.1.2 Gestión del mantenimiento.....	49
2.4.1.3 Gestión de bienes y servicios.....	50
2.4.2 El recurso Humano.....	51
2.4.2.1 Funciones.	51
2.5 Objeto de estudio.....	52
2.5.1 Especificaciones de los vehículos.....	53
2.5.1.1 Camiones Freightliner.....	54
2.5.1.2 Camiones International.....	58
2.5.2 Sistema objetivo de estudio	61
2.5.3 Metodología actual de mantenimiento.....	62
2.5.3.1 Administración de documentos.....	62
2.5.3.2 Software de mantenimiento (SAP).....	63
3. TREN DE POTENCIA	67
3.1 Diferencial.....	67
3.1.1 Conjunto corona.....	68
3.1.1.1 Partes	68
3.1.1.2 Funcionamiento.....	69
3.1.1.3 Rutina actual de mantenimiento.....	69
3.1.2 Escualización.....	70
3.1.2.1 Partes.....	70
3.1.2.2 Funcionamiento.....	71
3.1.2.3 Rutina actual de mantenimiento.....	71
3.1.3 Conjunto entrada de potencia.....	72

3.1.3.1 Partes	72
3.1.3.2 Funcionamiento.....	74
3.1.3.3 Rutina actual de mantenimiento.....	74
3.2 Ejes Cardan.....	74
3.2.1. Partes	75
3.2.2 Funcionamiento.....	75
3.2.3 Rutina actual de mantenimiento.....	76
3.3 Ejes de las ruedas.....	76
3.3.1 Partes.....	77
3.3.2 Funcionamiento.....	77
3.3.3 Rutina actual de mantenimiento.....	78
3.4 Housing.....	78
3.4.1 Partes.....	78
3.4.2 Funcionamiento.....	79
3.4.3 Rutina actual de mantenimiento.....	79
4. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	80
4.1 Frontera del sistema.....	80
4.1.1 Taxonomía de sistemas.....	80
4.1.2 Grupos de estudio.....	82
4.2 Identificación de Funciones.....	83
4.3 Fallas funcionales.....	85
4.4 Modos de falla.....	86
4.5 Efectos de Falla.....	92
4.5.1 Efectos de falla en cadena.....	92
4.5.2 Efectos de falla comunes.....	94
4.6 Análisis de Riesgo.....	106
4.7 Plan de mantenimiento: Tareas de mantenimiento, frecuencias y recursos necesarios.....	113

5. ESTRATEGIA GERENCIAL PARA LA APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	121
5.1 Fallas por grupos de componentes.....	121
5.1.1 Pareto de fallas por componentes.....	122
5.1.2 Impacto económico de las fallas.....	123
5.1.3 Resultados esperados con la implementación del método.....	124
5.2 Actividades y rutinas de mantenimiento.....	126
5.2.1 Listas de chequeo del sistema.....	127
5.2.3 Funciones de mantenimiento.....	132
5.2.4 Integración con software de mantenimiento.....	133
5.3 mantenimiento predictivo recomendado.....	133
6. CONCLUSIONES.....	135
BIBLIOGRAFIA.....	137

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad vs. Funcionamiento deseado de un activo físico.....	26
Figura. 2 Curva e intervalo P-F.....	32
Figura 3. Diagrama de análisis de criticidad.....	36
Figura 4. Estructura básica del árbol lógico de falla.....	41
Figura 5. Ubicación Geográfica Cundinamarca-Colombia.....	44
Figura 6. Ubicación de Zipaquirá – Cundinamarca.....	44
Figura 7. Organigrama Región.....	46
Figura 8. Sistema de Mantenimiento Automotriz.....	47
Figura 9. Administración del mantenimiento.....	48
Figura 10. Gestión del mantenimiento.....	49
Figura 11. Gestión de bienes y servicios.....	50
Figura 12 .Motor MBE 900.....	55
Figura 13. Modelo computacional motor MBE 900.....	56
Figura 14. Caja de velocidades MBT520S-6D.....	57
Figura 15. Diferencial Freightliner.....	58
Figura 16. Motor DT466.....	59
Figura 17. Caja de velocidades ES62-5A	60
Figura 18. Tren de potencia.....	61
Figura 19. Conjunto corona.....	68
Figura 20. Escualización diferencial.....	70
Figura 21. Conjunto de entrada de potencia.....	72
Figura 22. Componentes de una Línea Motriz Básica.....	75
Figura 23. Eje de las ruedas.....	77

Figura 24. Housing.....	78
Figura 25. Frontera del sistema.....	80
Figura 26. Taxonomía de sistemas.....	81
Figura 27. Pareto tren de potencia.....	123
Figura 28. Costos año vs costos esperados año.....	126
Figura 29. Lista de chequeo 3.500 Km.....	128
Figura 30. Lista de chequeo 7.000 Km.....	129
Figura 31. Lista de chequeo 15.000 Km.....	130
Figura 32. Lista de chequeo 30.000 Km.....	131

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Listado de partes motor MBE 900.....	56
Tabla 2. Relación marchas caja de velocidades ES62-5ª.....	60
Tabla 3. Listado de piezas conjunto corona.....	68
Tabla 4. Listado de piezas conjunto de escualización.....	71
Tabla 5. Listado de piezas conjunto entrada de potencia.....	73
Tabla 6. Listado de ejes de las ruedas.....	77
Tabla 7. Listado piezas conjunto Housing.....	79
Tabla 8. Listado de funciones de grupos de componentes.....	83
Tabla 9. Descripción de fallas funcionales.....	85
Tabla 10. Modos de falla, Housing no retiene aceite.....	86
Tabla 11. Modos de falla, Housing no soporta componentes.....	87
Tabla 12. Modos de falla, Tapón no retiene ni permite el ingreso de aceite.....	87
Tabla 13. Modos de falla, pasador no articula piezas.....	87
Tabla 14. Modos de falla, Tornillo no asegura piezas.....	88
Tabla 15. Modos de falla, arandela permite contacto entre piezas y no da el ajuste.....	88
Tabla 16. Modos de falla, Carcasa no soporta diferencial y permite salida de aceite.....	88
Tabla 17. Modos de falla, Engranés no transmiten potencia, ni velocidad deseada.....	89

Tabla 18. Modos de Falla, Rodamientos no permiten el giro de elementos rodantes.....	89
Tabla 19 Modos de falla, Caja no soporta engranes, ni eje para permitir la diferencia de velocidad entre ruedas.....	90
Tabla 20. Modos de falla, Tenedor no desplaza la rueda sol que multiplica la potencia.....	90
Tabla 21. Modos de falla, abrazadera con asegura el diferencial con la carcasa.....	91
Tabla 22. Modos de Falla, Ejes no entregan potencia a las ruedas.....	91
Tabla 23. Modos de falla, Conjunto ejes cardan no transmite potencia desde la caja de velocidades hacia el diferencial.....	92
Tabla 24. Matriz soporte análisis de riesgos	107
Tabla 25. Análisis de riesgos tren de potencia.....	107
Tabla 26. Plan de mantenimiento tren de potencia.....	114
Tabla 27. Fallas registradas muestra de camiones seleccionados	122
Tabla 28. Costos y resultados esperados.....	125
Tabla 29. Frecuencia de implementación listas de chequeo.....	127

RESUMEN

TÍTULO:

RCM PARA UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA PARA LOS CAMIONES DE REPARTO DE COCA COLA FEMSA.

AUTORES:

CARLOS RUBÉN PATIÑO BENAVIDES

YAMID EFRÉN BETANCOURT CORONADO

PALABRAS CLAVE:

RCM, Mantenimiento, Flota de camiones, Confiabilidad, Coca-Cola FEMSA.

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía desarrolla la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, aplicada al mantenimiento del tren de potencia de camiones de reparto HI466 de la empresa de bebidas Coca-Cola FEMSA, que presentan baja confiabilidad y disponibilidad, se selecciona el sistema, se define sus funciones primarias y secundarias, se establecen sus parámetros de funcionamiento y las condiciones de operación, se definen los modos de falla con sus efectos y consecuencias para definir las tareas de mantenimiento preventivo mínimas necesarias para que el sistema cumpla con su función con una buena confiabilidad, además la estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad, se plantea además la estrategia de mantenimiento predictivo para alcanzar los objetivos de disponibilidad, desarrollando las habilidades de cada uno de los técnicos y operarios, integrándolos al área de una manera amigable y que los hará crecer profesional y personalmente, apoyando las diferentes áreas de la compañía y con el apoyo de ellas. Se diseñaron 4 listas de chequeo según las tareas que resultan del análisis de RCM, se establecen rutinas de mantenimiento preventivo alineadas con el software de mantenimiento de la compañía SAP. Además se recomiendan las tareas de mantenimiento predictivo adecuadas para el sistema, con el fin de disminuir las tareas manuales impresas en las listas de chequeo y aumentar el porcentaje de mantenimiento preventivo, retroalimentando el sistema y evaluando constantemente el comportamiento del plan de mantenimiento propuesto y sumergiéndolo en el ciclo de mejora de la empresa con el fin de fortalecer la estrategia y llevarla al punto óptimo de operación.

* Proyecto de Grado

** Facultad Ingenierías físico mecánicas. Escuela Ingeniería mecánica. Director Jesús Cárdenas Caicedo

SUMMARY

TITTLE

RCM FOR A POTENCY TRANSMITION SYSTEM IN COCA-COLA FEMSA'S DELIVERY TRUCKS FLEET

AUTHORS

CARLOS RUBÉN PATIÑO BENAVIDES

YAMID EFRÉN BETANCOURT CORONADO

KEY WORDS

RCM, Maintenance, trucks fleet, Coca-Cola FEMSA

DESCRIPTION

This monograph use Reliability Centered Maintenance RCM methodology, applied to potency train of delivery trucks HI466 of Beverages Company "Coca-Cola FEMSA, because these systems had low availability and reliability, the system boundary was selected, the primary and secondary function, operational and environmental parameters, failure modes, effects of failure modes and consequences of failure modes, were define to found the minimal maintenance task to guarantee system functions with high reliability, with these information the maintenance strategy supports the different company's areas. Were designed four check lists according with Reliability Centered Maintenance RCM analysis, were designed preventive maintenance routines aligned with maintenance software used in the company. Also were recommend predictive maintenance tasks appropriate for the system, with the purpose of decrease manual task wrote in the check lists and increase the percentage of preventive maintenance.

* Work Degree

** School of Physics and Mechanical. School of Mechanical Engineering. Director: Jesús Cárdenas Caicedo

INTRODUCCIÓN

Un diferencial es el elemento que transfiere la potencia de los ejes cardan a los ejes de las ruedas, sin este elemento un vehículo de tracción trasera no puede desplazarse, esto lo hace mediante una serie de engranes y piezas que están interconectadas entre ellas. Por lo tanto si uno de los elementos que componen el tren trasero de transmisión falla, el vehículo queda inmovilizado, inmediatamente ingresa a reparación y en consecuencia disminuye la disponibilidad y confiabilidad de la flota, además estas varadas afectan al área de ventas, reparto, genera inconformismo en los clientes, debido a que la carga no puede ser entregada en la fecha planeada, no se tienen vehículos de reserva disponibles y en taller siempre se tiene un número considerable de vehículos.

Coca-Cola cuenta con más de 1500 camiones Freightliner e International de diferentes modelos usados para reparto, transporte a bodegas y de distribución a nivel nacional. Todos los vehículos están a cargo de la gerencia de mantenimiento y son administrados por 6 jefes de mantenimiento distribuidos por región, estos equipos son la herramienta más poderosa de la compañía, además de ser el equipo que mueve los productos a nivel país, recaudando el dinero de las ventas en Colombia.

Debido a la gran importancia de estos activos en la operación, y la responsabilidad que tiene el equipo de mantenimiento a la hora de entregar vehículos confiables para realizar las entregas, se ha diseñado la propuesta de realizar un plan de mantenimiento basado en la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad "RCM" para uno de los sistemas más costosos de reparar, el tren de potencia trasero, buscando mejorar los indicadores del sistema, principalmente la confiabilidad y la disponibilidad de flota de camiones.

Esto se realizará evaluando cada uno de los componentes del sistema, su función específica, falla funcional, modo de falla, efectos y los riesgos que conlleva la falla de cada elemento. Con la información recopilada se plantearán las tareas a realizar

de acuerdo a la clasificación que se realizó en el inicio de la fase de implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, además se incluirán los tiempos estimados, esto será conciliado con el grupo de trabajo dentro de Coca-Cola.

Finalmente se entregará un documento consolidado con el plan de mantenimiento recomendado para el sistema de análisis.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 RCM = Mantenimiento centrado en confiabilidad

El mantenimiento centrado en confiabilidad MCC o RCM (Reliability Centered Maintenance), se ha convertido en una de las herramientas más importantes en el estudio y evaluación de motores y aeronaves, integrando modelos estadísticos, análisis de fallas, análisis de riesgos, evaluación del comportamiento de los equipos y seguimiento de resultados.

Esta metodología muestra que no se pueden tratar los componentes de un activo de la misma manera, es decir, cada uno tiene una función específica y presenta diferentes modos de falla, por lo que cada elemento o sistema de partes son tratados específicamente evaluando las diferentes variables involucradas en su operación, con el fin de encontrar la rutina de mantenimiento adecuada para cada componente y finalmente consolidar un plan de mantenimiento en evaluación constante gracias al registro de todos los procesos a través de documentos especializados que facilitan la implementación.

1.1.1 Reseña Histórica

En 1978 se documentó por primera vez el método por el departamento de defensa de los Estados Unidos de América, punto de partida de la formulación de estrategias para la gestión de activos en prácticamente todas las áreas de la industria y de la gestión humana organizada. El surgimiento del método hizo que otras técnicas para analizar los fallos aparecieran y aunque diferían de la metodología original, sus autores usaron el mismo nombre.

Años más tarde con la internacionalización de normas exigidas a nivel mundial surgió la norma SAE JA 1011 en 1999, la cual muestra los criterios que debe satisfacer la implementación de la norma sin ser un manual o un listado de procedimientos. En 2002 nace la norma SAE JA 1012 actualizando la normatividad propuesta años antes y es la guía actual de la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad.

1.1.1.1 Historia

En sus inicios el término de mantenimiento centrado en confiabilidad fue adaptado por STANLEY NOWLAND y HOWARD HEAP, quienes abordaron un trabajo para la “United Airlines” con el propósito de realizar mejoras en los planes de mantenimiento en aviones civiles que requerían analizar, luego el Departamento de Defensa de Estados Unidos se dio cuenta de sus buenos resultados y adoptó el proceso de RCM para sus fuerzas militares y ejército.

En los años 90 el tema del RCM era muy conocido entre los expertos del mantenimiento y aparecieron varias metodologías del mantenimiento pero con enfoques muy dispersos respecto a lo inicialmente propuesto, con esta situación surge la necesidad de crear una normatividad con una serie de requisitos para establecer en verdad que podría ser una metodología RCM¹.

La Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE) después de varios intentos y reuniones con personas pertenecientes al Departamento de Defensa con el fin unificar una norma que se rigiera para su sector, definieron sus criterios para llamar a un proceso de mejoramiento del plan de mantenimiento acercándose a un RCM, esa norma es la JA 1011 y JA 1012 que es una guía de la implementación.

Actualmente esta norma sirve de guía para implementar en otros procesos a nivel industrial y donde se desarrollan diferentes variables a tener en cuenta para una mejora de diversos planes de mantenimiento.

1.1.1.2 Filosofía

El RCM parte de la premisa “No hacer mantenimiento es muy costoso, pero hacerlo en exceso también cuesta” y es la metodología que pretende minimizar la carga de actividades de mantenimiento preventivo, incrementando la disponibilidad de

¹ FERRANS TEPEDINO ORLANDO ENRIQUE. Metodología Para La Implementación de RCM como filosofía de mantenimiento para la estación turbocompresora de gas Natural Palomino.

operación en los equipos con actividades planeadas a frecuencias determinadas con un recurso humano apropiado para la tarea.

Además esta filosofía de mantenimiento reconoce que sólo puede asegurar que los elementos físicos continúen con su capacidad incorporada y confiabilidad inherente de estos; y la función determinada de un equipo puede tomar diversas formas porque depende de dónde y cómo se haga su uso desde el contexto operacional.

Es así y como resultado antes de cualquier cosa que se deben revisar las políticas de mantenimiento e iniciar las funciones y estándares de funcionamiento de cada elemento en su contexto operacional actual. Dando una definición de manera formal al RCM²:

“RCM es un proceso utilizado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su actual contexto operacional.”

Un plan de mantenimiento determinado por RCM es importante para lograr los objetivos de muchas empresas que quieren una adecuada disponibilidad y un conveniente gasto en las tareas, que certifique un nivel apropiado de mantenimiento programado, el uso racional de materiales y su empleo mínimo.

1.1.2 Metodología

El RCM se centra en la relación entre la organización y los activos físicos que la componen. Es necesario saber qué tipo de activos existen en la empresa y decidir cuáles son los que deben estar afianzados al proceso de revisión con la filosofía RCM, para ello se debe realizar un listado de información técnica de equipos, cumpliendo las pautas de la norma SAE JA1011 para que sea denominado un proceso RCM.

Las primeras cuatro preguntas, (capítulo 1.1.3), se resuelven para crear la “hoja de trabajo” de Información de RCM, es decir, esta fase corresponde al registro de la

² <http://www.rcm2-soporte.com>

información de los componentes a analizar, aquí se elabora un análisis de las funciones, fallas funcionales, los modos de falla y sus efectos en cada uno de los elementos analizados.

La segunda fase de esta metodología ayuda a la toma de decisiones, abarca las preguntas 5, 6 y 7, (capítulo 1.1.3), comprendiendo la decisión sobre las tareas preventivas y/o predictivas que deben desarrollarse siguiendo el camino de las funciones, fallas funcionales, modos de falla, registrado en la hoja de información. Además se determina la frecuencia de las acciones preventivas y quién debe realizarlas, lo cual queda plasmado en la Hoja de decisión de RCM. Para el desarrollo de la hoja de trabajo se sigue el procedimiento del Árbol de Decisión, que constituye una herramienta para la toma de decisiones en las tareas planeadas del mantenimiento.

Seguir las preguntas del RCM por sí solas no basta. Se deben realizar varios pasos, tanto previos como durante y después del proceso, denominados pasos del proyecto, los cuales se muestran a continuación³:

Preliminares a los talleres (Actividades Previas al RCM)

- Preparación del estudio
- Recolección y análisis de datos de mantenimiento
- Taxonomía de la planta, selección de objeto para estudio.
- Definición de las fronteras.

Talleres para responder las preguntas (Actividades Durante el RCM)

- Definición de las funciones
- Análisis de fallas funcionales
- Análisis de modos de falla
- Análisis de los efectos

³ ORTIZ PLATA, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC Guía Práctica. Bogotá, 2013.

- Análisis de criticidad (RIESGO)
- Selección de tareas adecuadas de mantenimiento
- Determinación de la frecuencia de las tareas preventivas
- Definir un plan preliminar

Aplicación de los resultados (actividades después del RCM)

- MCC arranque en vivo de los resultados (CMMS)
- Aplicación general (El proyecto con cubrimiento completo).

1.1.3 Preguntas básicas del mantenimiento centrado en confiabilidad

En este apartado el RCM se centra en relacionar la organización con los activos físicos disponibles para en el proceso productivo de sus instalaciones, antes de revisar la relación de estos equipos es necesario decidir que equipos físicos ameritan realizar un estudio RCM, más adelante se nombran una serie de términos que son importantes para responder a las siete preguntas básicas de esta filosofía, tales preguntas son:

- ¿Cuáles son sus funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué se puede hacer si no puede prevenirse la falla?

1.1.3.1 Descripción de las funciones⁴

“Antes de poder definir qué proceso aplicar para determinar que debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que hagan con un nivel de funcionamiento aceptable y en su contexto operacional, se necesita hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga, y;
- Asegurar que sea capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por eso, el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto a las variables de funcionamiento deseadas. Lo que los usuarios esperan que sean realizados por los activos puede ser dividido en dos categorías”:

Funciones primarias: en la actualidad las organizaciones requieren en sus procesos de activos que generen una acción y/o función que es fundamental para seguir una cadena de transformación de la materia prima, por lo cual es la razón principal que es adquirido un activo y sus funciones primarias son fáciles para el hombre reconocerlas. En la gran mayoría de los equipos los parámetros de funcionamiento relacionados con las funciones primarias tienen que ver con la velocidad, volumen, temperatura y capacidad de almacenamiento, la calidad del producto debe ser considerado en esta parte.

Funciones secundarias: En una organización se pretende que la mayoría de los equipos cumplan más de una función además de la primaria, los usuarios de estos equipos tienen expectativas relacionadas con 7 categorías donde se agrupan este tipo de funciones:

⁴ RCM2 *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad parte 2*, industrialtijuana.com, p.p.1- 3.

- Integridad medio-ambiental
- Seguridad
- Confort/control
- Protección
- Apariencia
- Eficiencia/Integridad estructural
- Funciones superfluas

Las funciones secundarias pueden ser importantes porque con la pérdida de alguna de ellas puede resultar en serias consecuencias y como resultado de ello requieren de un mantenimiento más frecuente que las funciones primarias, por lo tanto estas funciones deben estar bien identificadas, por otro lado hay un caso especial con los dispositivos de protección del equipo, estos tienen cinco maneras de trabajo:

- Poner en alerta a los operadores ante una condición anormal
- Parar el equipo ante una falla eventual
- Mitigar o atenuar condiciones anormales que se dan luego de una falla y que pueden causar un daño catastrófico
- Tomar control de una función que ha fallado
- Prevenir situaciones peligrosas para las personas y/o medio ambiente.

1.1.3.2 Parámetros de funcionamiento

“Los límites entre las condiciones aceptables y las fallas están definidos por un parámetro de funcionamiento. Dado que éste término se aplica a funciones individuales, se define una falla funcional como **la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento**

aceptable para el usuario”⁵. Con esto el objetivo del mantenimiento es asegurar que los activos continúen haciendo su función como los usuarios o partes interesadas quieren que haga, ahí se define un parámetro mínimo o base de funcionamiento, ahora si un activo funcionase sin experimentar un modo de deterioro, la máquina funcionaría y sin necesidad de intervención, sin embargo en nuestra realidad no se vive esto, en las organizaciones los activos se deterioran obteniendo como resultado “el caos”, al no ser que se tomen acciones para impedir la causa que está causando el deterioro del sistema, esto significa que cuando un activo es puesto en operación debe estar en la capacidad de rendir sobre el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario. Se dice que cuando el activo físico es capaz de rendir es definido como capacidad Inicial. En la Figura 1 se observa la relación correcta entre esta capacidad y el funcionamiento deseado.

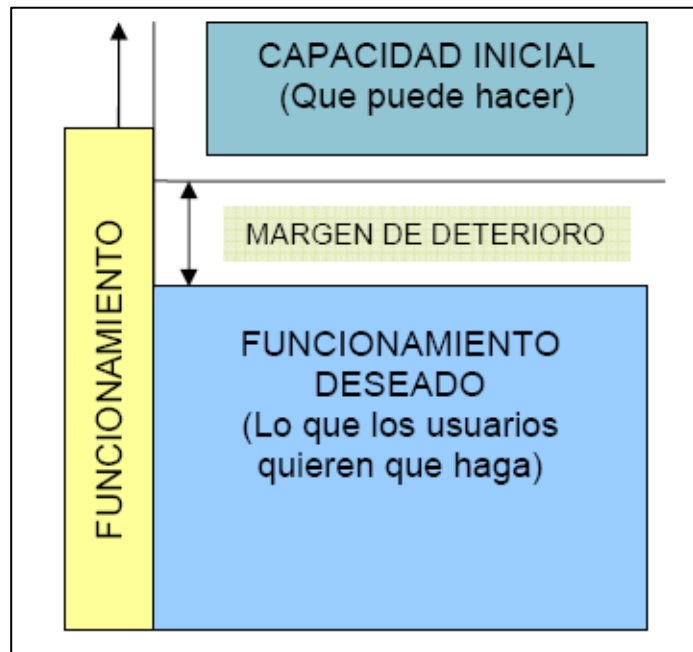
Esto quiere decir que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos maneras:

- Funcionamiento deseado (lo que el usuario quiere que haga)
- Capacidad inherente (lo que puede hacer)

El término mantenible, es aplicado al activo que ha sido correctamente construido y diseñado, por lo que es posible desarrollar programas de mantenimiento que aseguren que estos activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que realicen.

⁵ ALADON. Reliability Centred Maintenance (Version 2). Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. Estados Unidos: Soporte y Cía. Ltda. 1999, p.2.

Figura 1. Capacidad vs. Funcionamiento deseado de un activo físico.
Fuente: MOUBRAY. 2004



En la figura 1 se muestra que por efecto de mantenimiento se está reintegrando un activo se debe analizar lo siguiente:

La confiabilidad inherente de un equipo se debe establecer de acuerdo a su diseño y por cómo está construido y sólo el mantenimiento es capaz de reestablecer un activo físico al nivel de capacidad inicial, no puede llegar más allá.

Además si el funcionamiento deseado por los usuarios excede la capacidad inicial del activo, ningún tipo de mantenimiento podría lograr esto, es decir estos activos no serían mantenibles.

1.1.3.3 Fallas funcionales

Uno de los objetivos del mantenimiento es que un activo físico pueda desempeñarse de una forma adecuada conforme a unos parámetros solicitados por

el usuario, es por esto que para el proceso RCM es fundamental identificar las fallas que pueden ocurrir cuando un activo se sale de su condición de confiabilidad inherente y/o cuando no se cumplen los requerimientos en el contexto operacional del activo afectando la calidad del producto final.

En este proceso los estados de falla también conocidos como fallas funcionales ocurren cuando el activo no puede cumplir una función específica que el usuario considera como aceptable. Además de situaciones donde el activo no puede mantener un nivel de precisión y calidad para el desarrollo de un producto estas fallas se consideran de tipo técnico, y estas se deben identificar luego de definir las funciones y parámetros de operación del equipo.

1.1.3.4 Análisis de modos de Falla

Cuando ocurre un evento que cause la falla de un activo físico dentro de un proceso se conoce como modo de falla, o mejor dicho un modo de falla es un suceso que causa una falla funcional en un activo. Para la metodología RCM es necesario hacer un listado de las fallas funcionales y enseguida registrar los modos de falla, este debe constar de un sustantivo y un verbo.

Los activos físicos dentro de una cadena productiva tienen diversas razones para fallar, aquí se debe tener en cuenta que el mantenimiento se está abordando en el nivel de modo de falla. Según Arzuaga⁶, “los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado, las cinco causas de la pérdida de la capacidad son, deterioro, fallas de lubricación, polvo, desarme y errores humanos.
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de su capacidad inicial, esto se presenta cuando hay sobrecarga deliberada sobre el activo de forma constante y sobrecarga no intencional constante o repentina.

⁶ ARZUAGA CHURIO, José Elías. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N en la empresa minera DRUMOND LTDA. Monografía de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2011. 121 p.

- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.”

Los modos de falla son muy destacados dependiendo de la filosofía de mantenimiento a realizar, como es el caso del mantenimiento proactivo que su esencia es darle un tratamiento a los eventos adversos antes de que ellos ocurran, entonces si se desea aplicar un mantenimiento proactivo a un equipo, se deben identificar todos los modos de falla que pueden afectarlo, una vez identificados se puede sospechar que acontece cuando ocurre, evaluar sus consecuencias y tomar decisiones para prever, detectar y/o anticiparse a la falla. De aquí en adelante la selección de las tareas de mantenimiento adecuadas toma importancia para el desarrollo de un programa de mantenimiento que afirme que el activo físico cumpla con sus funciones primarias y secundarias a cabalidad.

1.1.3.5 Efectos de falla

Para seguir con el proceso de análisis de RCM se hace necesario realizar un listado de lo que se puede producir con cada modo de falla, es aquí donde se hacen cuestionamientos para descubrir este efecto tales como:

- ¿La falla es evidente para los operarios en sus actividades normales de operación?
- ¿Esta falla es fácil de percibir con los sentidos humanos?
- ¿En qué forma la consecuencia de la falla puede afectar la seguridad de las personas y/o medio ambiente?
- ¿Qué costos puede generar esta falla?
- ¿Qué acciones correctivas se realizan para mitigar esta falla?

Con la información recolectada se priorizan los modos de falla. Existen recursos que nos ofrecen información acerca de los modos de falla y sus efectos las fuentes son: El fabricante o proveedor del equipo, personal de mantenimiento, operadores

del activo, otros usuarios de la misma máquina, y listas genéricas de los modos de falla.

1.1.3.6 Consecuencias de las fallas

En este paso del análisis, los modos de falla y sus efectos se identifican en cada elemento del sistema, la siguiente parte comprende en preguntarse en cómo y la importancia de cada falla, la necesidad de cuantificar estas consecuencias se debe a que se evalúa si se necesitan acciones para prevenirlas. Las consecuencias de fallas se dividen en cuatro grupos:

- Un modo de falla tiene consecuencias por fallas ocultas, si la pérdida de función causada por este modo de fallo, aún actuando por sí solo en ambientes normales de operación y es evidente para los operarios.
- Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente si causa una pérdida de función y produce daños que pueden lesionar o matar a las personas; o infringir cualquier reglamento ambiental conocido.
- Un modo de falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional originando problemas con el volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o incluso incrementar el costo operacional.
- La consecuencia que no ejercen un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operacional, sólo tiene consecuencias en los costos directos de reparación.

Si estas fallas no se previenen el esfuerzo que se necesitan para repararlas es muy grande y afectan de forma negativa a la organización, porque la reparación de fallas consume recursos que podrían ser mejor utilizados para otras tareas más rentables y que producen mejoras en el proceso. El impacto de cada caso, es decir

la importancia de cada falla, depende del contexto operacional del equipo, los parámetros de funcionamiento que se aplican a cada función, y los efectos físicos de cada modo de falla.

La composición de contexto, parámetros, y efectos, significa que cada falla tiene un conjunto de consecuencias definidas asociadas a ella. Si las consecuencias son serias, entonces se hará el esfuerzo necesario por prevenirla, o al menos anticiparse en el tiempo para reducir o eliminar las consecuencias, sabiendo que la falla podría causar lesiones o la muerte a una persona, o efectos adversos sobre el medio ambiente. Pero también las fallas pueden interferir con la producción o las operaciones, o pueden causar daños secundarios representativos.

1.1.4 Tareas de Mantenimiento enfocadas al RCM

Gran parte de las personas encargadas del mantenimiento piensa que una buena forma de mejorar un tipo de mantenimiento de una planta es realizarlo de forma rutinaria, y de acuerdo a la historia del mantenimiento la segunda generación propone que una actividad preventiva debería consistir en la reparación de un equipo o cambio de componentes en un intervalo de tiempo fijo calculado.

En el pasado se tenía la concepción que los elementos que funcionaban con una precisión y ajuste para un cierto periodo, se deterioraban de manera rápida, a través de la historia se sugería un histórico de fallas para determinar la vida útil de los elementos, de tal forma para llevar planes con acciones preventivas poco antes de fallar. Esto es cierto para equipos sencillos y para elementos complejos con modos de falla dominantes. Sin embargo cuando las consecuencias de la falla son significativas, se deben tomar acciones para prevenir los fallos y/o reducir la consecuencia.

Para ello RCM reconoce tres categorías de tareas preventivas como lo son:

- Tareas proactivas.
- Tareas de re-acondicionamiento cíclico.
- Tareas de sustitución cíclica.

1.1.4.1 Tareas Proactivas⁷

Una de las dos categorías de acciones que pueden tomarse para tratar las fallas es precisamente las tareas proactivas, éstas son actividades planeadas antes de que ocurra una falla y su propósito es prevenir que el componente llegue a un estado de falla prematuro. Encierran lo que usualmente se denomina mantenimiento "predictivo" y "preventivo", aunque el RCM se vale de los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición. Esta circunstancia corresponde a la sexta pregunta del proceso de decisión básico de RCM, de la siguiente manera:

¿Y qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?

Factibilidad

En efecto cada tarea debe ser analizada si es viable su ejecución: Si una tarea proactiva es técnicamente asequible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y de la tarea a realizar en el equipo, desde el punto de vista técnico, se deben contemplar dos temas relacionados a las actividades proactivas:

- La relación entre la duración de un componente y su probabilidad de falla.
- ¿Qué sucede una vez ha comenzado a ocurrir la falla?

⁷ ALADON. Reliability Center and Maintenance (Versión 2). Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. Estados Unidos: Soporte y Cía. Ltda. 1999, p.p.2-10.

Como se ha mencionado: cualquier tarea proactiva sólo merece la pena ser realizada si resuelve apropiadamente las consecuencias de la falla que se quiere evitar.

Sí una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla potencial que trata evitar.

Fallas potenciales

Una falla potencial es un estado que es reconocible y se percibe en el medio, el cual indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en etapa de desarrollo. En la figura 2 enseña lo que sucede en las etapas finales de la falla, se llama la curva P-F porque modela los inicios de una falla, como se descompone a un punto de ser detectada (P) y luego sí no es detectada continúa con su deterioro de forma rápida hasta que llega al punto de falla funcional (F). El punto en el proceso de la falla en el que es detectable si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como **falla potencial**.

Figura. 2 Curva e intervalo P-F.

Fuente: Gerardo Trujillo, "Análisis de lubricante en-sitio, Antídoto para las fallas".
Noria - Revista Machinery Lubrication. Diciembre 2007.



1.1.4.2 Tareas de re-acondicionamiento cíclico

Esta tarea es apropiada cuando no se halla una actividad conveniente para una falla en particular. Esta tarea debe ser viable porque las fallas deben concentrarse en una edad promedio calculada, esto ayuda a que el reacondicionamiento cíclico pueda reducir la incidencia de fallas sin sobrepasar los límites de la edad de fallas. Desde el punto de vista económico esto es eficaz para fallas que contienen consecuencias económicas grandes o el costo de hacer tareas de reacondicionamiento cíclico son menores al costo de reparación de la falla funcional.

Algunas desventajas de este tipo de tarea son:

- Detener el elemento y/o componente en estudio y enviarlo al taller, estas acciones afectan de una u otra forma el proceso de producción.
- El límite de edad se aplica a todos los elementos, y a veces hay elementos que habrían durado más tiempo serán removidos.
- Las labores de reacondicionamiento involucran trabajos de taller, por lo que generan una carga de trabajo mayor que las tareas a condición.

La frecuencia con la que se realiza una tarea de reacondicionamiento está regida por la edad en que la pieza muestra un rápido aumento en la probabilidad de falla funcional, por eso es primordial que estas tareas se basen en antecedentes históricos de tareas preventivas y correctivas.

Cualquier equipo se somete a una variedad de esfuerzos que son cuantificables, estos a su vez hacen que el equipo se deteriore al disminuir su resistencia a esfuerzo, finalmente esta resistencia cae en un punto que el equipo no puede satisfacer las necesidades de las personas involucradas con su funcionamiento deseado (falla funcional). Con lo anterior se llega a lo siguiente:

El deterioro es directamente proporcional al esfuerzo aplicado y el esfuerzo a su vez es aplicado de forma permanente.

1.1.4.3 Tareas de sustitución cíclica

Estas tareas consisten en cambiar el componente antes de su límite de edad independiente de la condición en la que se encuentre, en sí su esencia es cambiar las piezas usadas por unas nuevas, la que permitirá volver en teoría a su condición estándar. Con la frecuencia que se realiza estas tareas depende por la edad en que el componente muestre un incremento en su probabilidad de falla funcional.

Estas tareas son factibles sí existe una edad identificable en el momento en que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de la falla y sí estos sobreviven a esa edad.

1.2 Algunas herramientas orientadas al RCM

1.2.1 Análisis de Criticidad de Equipos

1.2.1.1 Generalidades⁸

“El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está asociado con cuatro aspectos fundamentales:

⁸ <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/>

confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento. Lamentablemente, difícilmente se disponen de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar al mismo tiempo, estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa. ¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Qué criterio se debe utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio? El análisis de criticidades da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad. Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.”

1.2.1.2 Objetivo del análisis de criticidad

El objetivo de este análisis es establecer un método que sirva para la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta, que permita subdividir a su vez en secciones para ser manejados y controlados de una manera más fácil.

La ecuación de esta variable puede ser expresada como:

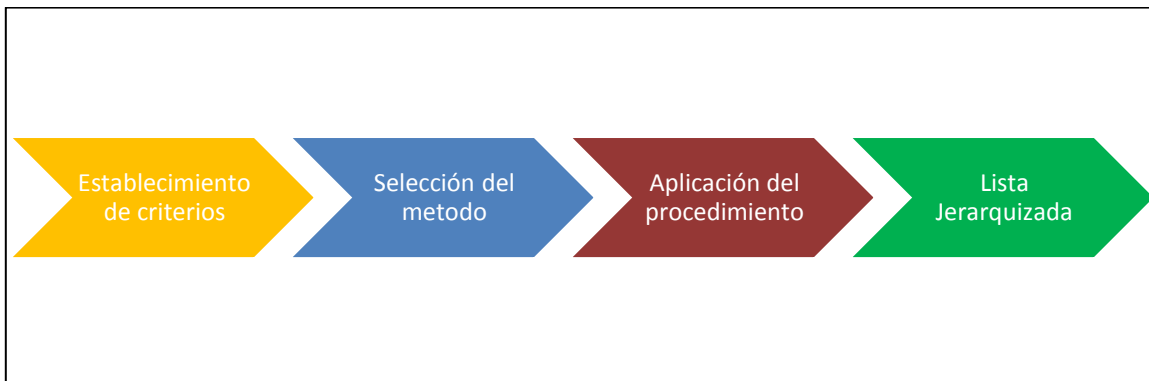
Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Su frecuencia está relacionada con el número de eventos o fallas de un sistema evaluado y su consecuencia está vinculada con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. Con lo mencionado anteriormente se establecen una serie de criterios para realizar el análisis de criticidad:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Para crear un diseño básico de análisis de criticidad se basa en los criterios anteriormente nombrados, además para la evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación, por último la lista jerarquizada es el producto final que se obtiene del análisis. En la figura 3 se aprecia el diagrama lógico del análisis de criticidad.

Figura 3. Diagrama de análisis de criticidad



Cuando el análisis de criticidad obtiene su máxima aplicabilidad sí se consigue satisfacer por lo menos una de las siguientes condiciones:

- Fijar prioridades en sistemas complejos

- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional.

Así mismo el análisis de criticidad puede aplicarse en cualquier proceso, sistema equipo y/o componente que requieren ser jerarquizados en función del impacto que se genere en el proceso y las áreas de aplicación se orientan para establecer programas de prioridades en campos como:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

1.2.2 Análisis De Causa Raíz (RCA)

1.2.2.1 Generalidades

El RCA es una metodología o herramienta universal orientada a identificar los factores que conducen a una falla funcional de un sistema o componente. Su objetivo es localizar, corregir la causa raíz y determinar las acciones o condiciones que se requieren modificar para que este caso de falla vuelva a manifestarse. Además como resultado final de esta metodología se pueden realizar lecciones aprendidas para obtener una mayor confiabilidad en un sistema o proceso productivo que es un condicional para la mejora continúa al interior de cualquier organización.

1.2.2.2 Bondades del análisis causa raíz

El estudio y práctica del RCA ayuda a la solución de problemas como: fallas crónicas en equipos, en paradas de emergencia de equipos, traumatismos en los procesos, reducción de costos de mantenimiento y reducción del uso de energías. Estos problemas que afectan a diario la confiabilidad inherente del equipo y por consiguiente la confiabilidad operacional, humana y de procesos en una planta de producción.

1.2.2.3 Clasificación de las causas raíz

- **Causa raíz física.** Es la causa perceptible de porque está ocurriendo una falla. Siempre proviene de una raíz humana o latente. Son las más fáciles de asistir y siempre demandan revisión.
- **Causa raíz humana.** Es producto de errores humanos motivados por intervenciones inadecuadas. Surgen por la ausencia de decisiones apropiadas, que pueden ocurrir por convicción u omisión. Nunca se emplean nombres individuales o grupales para especificar la causa.
- **Causa raíz latente.** Nacen de la deficiencia de los sistemas de información. Proceden de errores humanos. En ciertas ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar circunstancias que podrían ocasionar nuevas fallas.

1.2.2.4 Algunos casos donde se enfoca un RCA.

- Donde se requiera el análisis de las fallas repetitivas que se presentan de manera continua.

- Se presentan fallas esporádicas, pero en procesos críticos, tales como paradas de emergencia, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes, o fallas considerables y poco frecuentes en los equipos.
- Son comunes en aspectos operativos tales como: traumatismos en procesos, interrupción de las operaciones, aumento del consumo de energía, defectos de calidad e incidentes ambientales.
- Es necesario para un análisis del proceso de diseño de nuevos equipos, de aplicación de procedimientos operativos y de supervisión de actividades de mantenimiento.
- Puede identificar deficiencias en los programas de entrenamiento y procedimientos operativos.
- Se tiene la necesidad de analizar diferencias organizacionales y programáticas.

1.2.3 Árbol lógico de fallas:

Esta herramienta es muy útil en el área de confiabilidad y representa mediante un diagrama las condiciones o factores que contribuyen a un evento. Su representación de un árbol de falla debe ser clara, entendible, de analizar y debe ser fácil reconfigurar para facilitar hallazgos o factores que afectan de algún modo la confiabilidad y desempeño del sistema en análisis, además de que es factible analizar deficiencias de diseño, esfuerzo operacional o del medio ambiente, errores de operación, fallas en aplicativos de software.

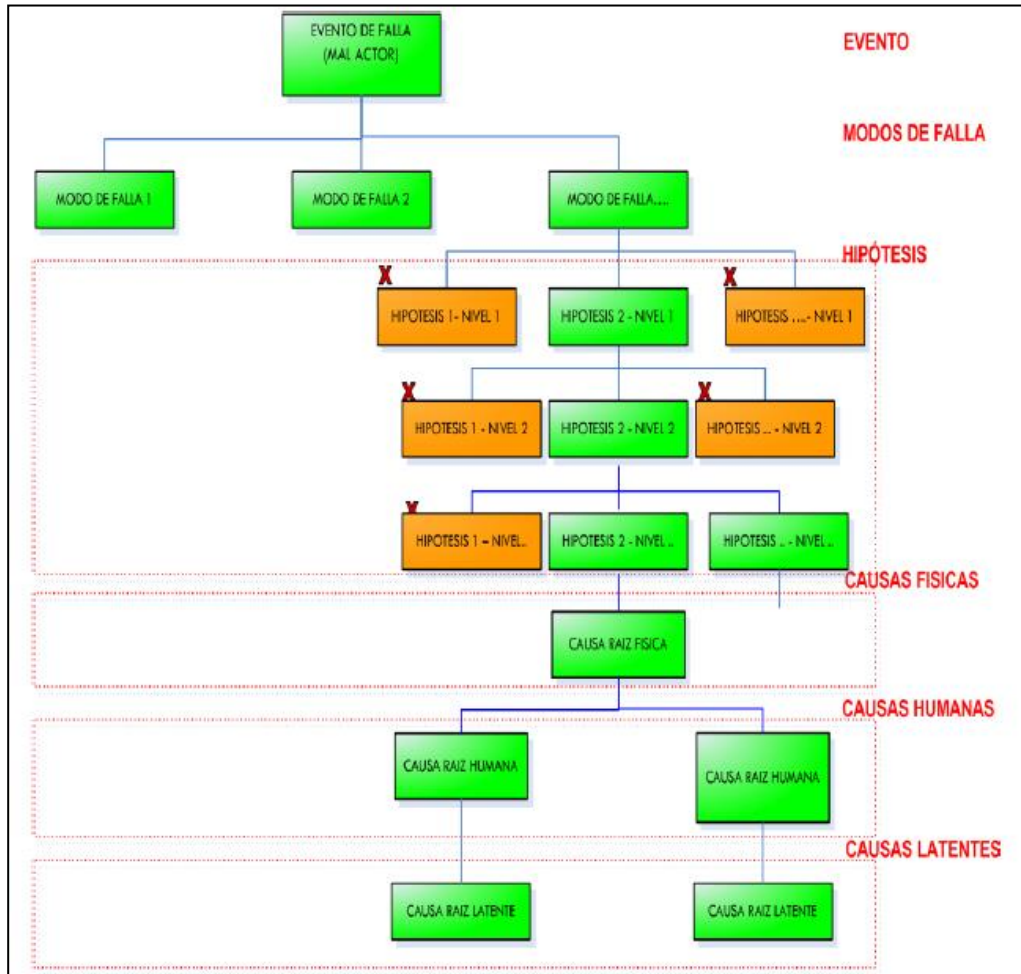
Para la construcción de un árbol lógico de falla se requieren de los siguientes pasos:

- Realizar la descripción del mal actor o la falla crónica que ocasiona el problema y la pérdida en la funcionalidad de un componente o proceso, además estos análisis se deben sustentar en hechos verificables.

- Describir los modos de falla en forma detallada de cómo ocurrió el evento en un pasado y se debe asentar en hechos.
- Plantear suposiciones (hipótesis de falla) donde se hacen preguntas como: ¿Cómo pudo suceder determinado modo de falla?, estas hipótesis pueden tener varios niveles de verificación dependiendo de la complejidad del análisis.
- La verificación de la hipótesis se acuden a varios métodos de confrontación con los cuales se comprueba si la hipótesis propuesta como un hecho con lo que se clarifica el problema, los métodos son: vibraciones, inspección visual, cámaras termográficas, ultrasonido acústico, alineador láser.
- Identificar las causas físicas, nivel que se ocupa de causas de origen físico que pudieran dar origen a la falla, es de tipo tangible aquí no se encontrara la causa de la falla, pero sirve de referente para resolver el problema.
- Identificar posibles errores cometidos de origen humano que inciden directa o indirectamente en la ocurrencia de la falla, esto puede proceder por la falta de conocimiento del proceso y la toma de decisiones desacertadas que resultan en errores de omisión.
- Identificar aquellos problemas que aunque no ocurran en el momento son factibles de que ocurran. También se tienen en cuenta sistemas de la organización donde las personas manejan para la toma de decisiones, y cuando estos sistemas son deficientes el resultado origina un funcionamiento inadecuado en procesos y/o equipos, como ejemplos de este tipo de causa son: falta de procedimientos, capacitación inadecuada y problemas de comunicación entre grupos de trabajo.

En la figura 4 se observa la estructura de un árbol lógico de falla:

Figura 4. Estructura básica del árbol lógico de falla



2. COCA-COLA FEMSA

Coca-Cola FEMSA es el embotellador de bebidas de la marca Coca-Cola más grande de a nivel mundial, su distribución alcanza niveles de los 4 billones de cajas unidad al año. Coca-Cola, Fanta Sprite y cuatro son algunos de los productos principales que tiene a cargo de su distribución, además de la distribución de aguas embotelladas, té, isotónico, cervezas y otras bebidas frías entre otros en los territorios de México como sede principal, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Brasil, Argentina y Filipinas

La organización cuenta con 67 plantas embotelladoras y atiende más de 338 millones de consumidores a través de 2.800.000 de detallistas con más de 120.000 empleados a nivel mundial.

El 47.9% del capital pertenece a FEMSA (Fomento Económico Mexicano SA de CV), el 28.1% es propiedad de las subsidiarias de The Coca-Cola Company y el 24% es propiedad de inversionistas públicos. Sus acciones cotizan en la bolsa y están listadas en la bolsa como KOF.

El objetivo de la compañía es atender la necesidad de bebidas que poseen los consumidores a nivel mundial, basados en la pasión por el servicio, satisfaciendo los deseos de los clientes con bebidas de calidad, buscando que la creatividad y la innovación proyecten el negocio a los diferentes lugares del mundo buscando el crecimiento progresivo de la organización, tanto en volúmenes de distribución, clientes, consumidores, cobertura en el mercado, valores organizacionales, entre otros.

2.1 Historia en Colombia

Coca-Cola FEMSA Ingresa a Colombia desde el año 2003 tras la compra total del grupo Panamco (Panamerican Beverages Inc.) la cual era la compañía en cargada de la distribución en la mayoría del país a excepción de la región amazónica. La venta incluyo todas las propiedades, infraestructura y activos fijos. El personal que

trabajaba con Panamco pasó directamente a trabajar con FEMSA, aunque se reestructuro la organización de la compañía en el interior del país.

Antes de 2003 se tenían 18 embotelladoras a nivel nacional, con la llegada de FEMSA pasaron a ser sólo 6 plantas de embotellado a nivel nacional, el personal que no fue reasignado dentro de la estructura organizacional de la compañía fue indemnizado de acuerdo a las legislación colombiana.

En Colombia Coca-Cola Femsa es la empresa controladora de Industria nacional de Gaseosas SA (INDEGA) que tiene como filial a Embotelladora del Huila (EMHU), quienes producen y distribuyen productos de The Coca-Cola Company en gran parte del país.

En Febrero de 2009 realiza exitosamente la transacción con SAB Miller para adquirir el negocio de embotellamiento del agua Brisa, lo que le permite a Coca-Cola FEMSA Incrementar su portafolio en Colombia y aumentar su presencia en el mercado del agua en el país.

Actualmente cuenta con un sistema de distribución se actualiza de acuerdo al volumen de ventas de cada región, y queda compuesto la región Antioquia y cafetera, caribe, pacifica, Centro, Santanderes y Bogotá.

2.2 Ubicación geográfica

En el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, perteneciente a la región centro de la distribución de Coca-Cola FEMSA en Colombia, se tomará la muestra representativa. En la figura 5 se aprecia la ubicación del departamento de análisis en el mapa.

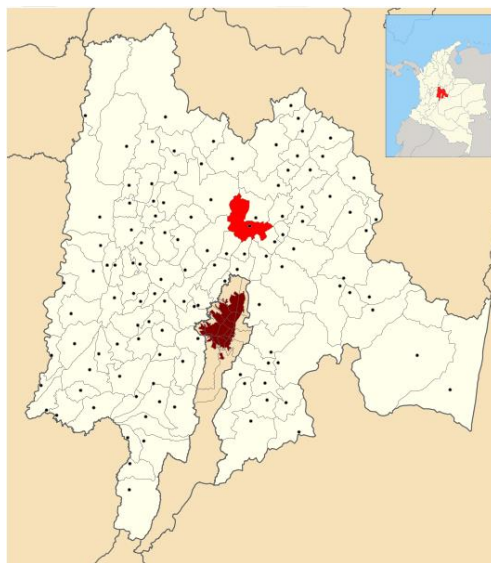
Figura 5. Ubicación Geográfica Cundinamarca-Colombia



2.2.1 Ubicación flota de vehículos.

Los vehículos pernoctan en el municipio de Zipaquirá, en el centro de distribución ubicado en la carrera 11 con calle 2, al lado del éxito. En la figura 6 se muestra la ubicación de Zipaquirá dentro de Cundinamarca.

Figura 6. Ubicación de Zipaquirá - Cundinamarca



2.2.2 Ubicación talleres de servicios

Los diferentes proveedores de servicios se encuentran en la ciudad de Bogotá, a excepción de DISTRIMUELLES y FRENOS SAS el cual es el proveedor que realiza los desvares y emergentes en el municipio de Zipaquirá.

Además de llevar los vehículos a proveedores como NAVITRANS y DAIMLER, entre otros, Coca-Cola Cuenta con talleres propios, se encuentran dentro de las instalaciones de la empresa en la localidad de Fontibón, sede principal de la empresa en Colombia.

2.3 Organigrama

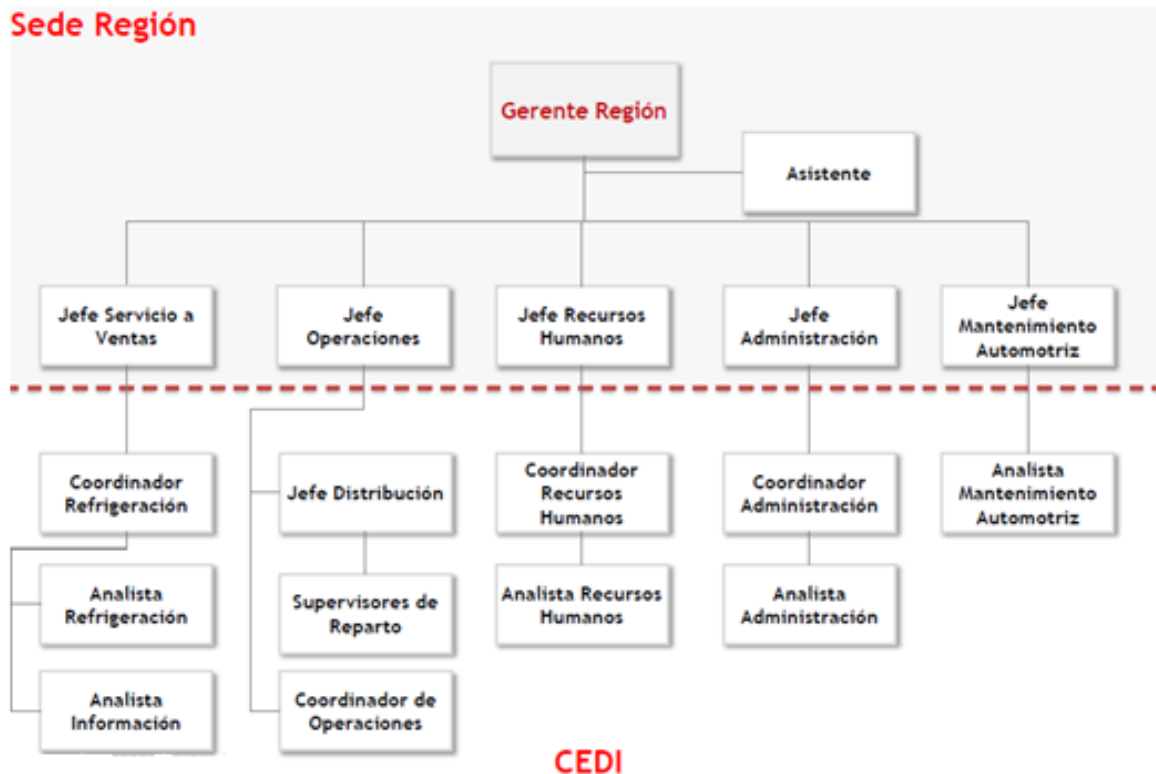
Cada región está compuesta por un gerente general de la región con su asistente personal, él tiene a cargo los Jefes de: Servicio a ventas, operaciones, recursos humanos, administración y mantenimiento automotriz.

Las jefaturas tienen a su cargo el siguiente personal contratado directamente por la compañía:

- Servicio a ventas: Coordinador de refrigeración, analista de refrigeración y analista de información.
- Operaciones: Jefe de Distribución, supervisores de reparto, coordinadores de operaciones.
- Recursos Humanos: Coordinador recursos humanos y analista de recursos humanos.
- Administración: Coordinador de administración y analista de administración.
- Mantenimiento Automotor: analista de mantenimiento automotriz.

En la figura 7 se encuentra el organigrama que aplica para cada una de las regiones.

Figura 7. Organigrama Región.



2.4 El área de mantenimiento

El área de mantenimiento automotriz pertenece al departamento comercial de la compañía, junto con las áreas de recursos humanos, administración, operaciones, servicio a ventas

2.4.1 Sistema de mantenimiento Automotriz

El sistema de mantenimiento automotriz está diseñado con el fin de suministrar oportunamente los equipos adecuados, camiones, trailers, equipo de manejo de materiales y vehículos de apoyo, en cantidad y calidad, a un costo óptimo maximizando la vida útil de los mismos, estandarizando los procesos de mantenimiento, generando la cultura de prevención y autocontrol en todas las actividades, asegurando así su disponibilidad en el lugar y la hora indicada para la distribución de productos fabricados por Coca-Cola, incorporando nuevos diseños

en los avances tecnológicos disponibles. Además de esto está creado para analizar, desarrollar proyectos y dar soporte de manera ágil en el diseño de equipos (En cabeza de la gerencia nacional de mantenimiento) para los sistemas de distribución partiendo del conocimiento de la fuerza de ventas y la zona, con el fin de asegurar las funciones principales, teniendo en cuenta las restricciones legales y ambientales de la nación.

Este apoya nuevos modelos de negocio, optimización de recursos, innovación y desarrollo en los sistemas de transporte (Gerencia nacional de mantenimiento con la participación de las regiones), innovación y desarrollo de modelos de distribución, transporte y mantenimiento, operación ambientalmente responsable, operaciones seguras dentro y fuera de las Instalaciones de la compañía y sinergia en las negociaciones con abastecimientos garantizando la idoneidad de los proveedores.

El sistema se divide en tres grandes pilares (figura 8), administración de mantenimiento (figura 9), gestión de mantenimiento (figura 10) y gestión de bienes y servicios (figura 11):

Figura 8. Sistema de Mantenimiento Automotriz



2.4.1.1 Administración del mantenimiento

Figura 9. Administración del mantenimiento



Anual Business Plan (ABP): El plan anual de negocios es preventivo porque se realiza estratégicamente junto con el área corporativa, con el objetivo desarrollar y realizarla distribución de los recursos necesarios para el desarrollo de proyectos y nuevos procesos en cada región

Maestro de flota: Sistema de control de flota que garantiza que los equipos que se encuentran físicamente en las regiones, estén controlados desde el software SAP-PM, con el fin de desarrollar los planes de mantenimiento y el control de costos por equipo.

Gestión de presupuesto vía SAP: Herramienta de planeación y seguimiento de los gastos de mantenimiento de la flota para cumplir con los objetivos planteados por la compañía.

Administración de Proyectos: Estandariza los procesos mediante la implementación de herramientas de planeación, el desarrollo de proyectos y buenas prácticas operativas en la operación.

2.4.1.2 Gestión del mantenimiento

Figura 10. Gestión del mantenimiento



Mantenimiento predictivo, preventivo y programado: Lleva a cabo los planes de mantenimiento asegurando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, minimizando los paros no programados y sobre-costos en la operación.

Mantenimiento correctivo, auxilios y accidentes: Está centrado se generan planes de acción de acuerdo a la estadística arrojada, en el número de eventos ocurridos en cada una de las unidades y de esta manera, prevenir futuras situaciones que generen este tipo de mantenimientos y así disminuir la frecuencia de los mismos.

2.4.1.3 Gestión de bienes y servicios

Figura 11. Gestión de bienes y servicios



Gestión de llantas: Garantiza la confiabilidad del sistema de suspensión, dirección y alineación para incrementar la vida útil de la llanta y garantizar la seguridad de la tripulación y de la flota.

Gestión de combustibles y lubricantes: Asegura la disponibilidad de los insumos necesarios en cantidad y calidad en el momento en que la operación lo requiera y de la mano con el aplicativo de Exxon Mobil, se hace seguimiento a las muestras de aceite que se envían al laboratorio.

Gestión de Refacciones: Afianza la disponibilidad y calidad de los repuestos requeridos para las operaciones de mantenimiento en el momento que se necesitan buscando cumplir a tiempo los programas de mantenimiento asegurando la disponibilidad de la flota de distribución.

Gestión de Servicio de Terceros: Herramienta de gestión para definir los requerimientos de calidad de los servicios de Mantenimiento Automotriz, interactuar con abastecimientos para seleccionar los mejores proveedores administrando la relación y prestación de los servicios con el fin de mejorar la disponibilidad de equipos.

2.4.2 El recurso humano

El departamento está compuesto por un jefe regional y un analista de mantenimiento automotriz.

2.4.2.1 Funciones

A continuación se describen las funciones de los cargos:

Jefe Mantenimiento Automotriz Región

A continuación se describen las funciones del Jefe regional de mantenimiento automotriz:

- Cumplir con las disposiciones legales de tránsito y movilidad en sus operaciones.
- Ejecutar y cumplir el presupuesto de mantenimiento asignado a sus operaciones.
- Implementar los proyectos de mejora e innovación definidos por la empresa.
- Verificar el uso de la flota en los diferentes procesos de acuerdo a los lineamientos de la compañía y su control de inventario en línea a través de SAP PM.
- Participar con la gerencia en el traslado de flota entre regiones.
- Ejecuta las negociaciones y gastos presupuestales aprobados por la gerencia de mantenimientos automotriz.
- Aplicar las listas de chequeo del sistema de integral de calidad en cada operación reportando los resultados a la gerencia.
- Generar, analizar y gestionar los indicadores operativos en su Región.
- Identificar oportunidades operativas y retroalimentar a Zona.
- Calificar a todos los proveedores nacionales, regionales y locales, en el suministro de bienes y servicios de mantenimiento.
- Planear mensualmente el mantenimiento preventivo detallado y programado con los avisos y clases de orden de acuerdo a los procedimientos y lineamientos de la compañía.

- Ejecutar de manera completa el proceso de órdenes de trabajo, garantizando los procesos de cierre de mes y la imputación de gastos para cada equipo.

Analista de mantenimiento automotriz región

Las funciones del analista de mantenimiento automotriz son:

- Generación de reportes de control presupuestal.
- Seguimiento a cronograma de proyecto
- Coordinar con las operaciones el registro de los puntos de medida por equipo y registro de rutas en SAP PM.
- Documentación de las reparaciones mayores.
- Coordinar la aplicación de las listas de chequeo de SIC.
- Administración de la base de datos de la flota manejando la información en línea en el módulo de SAP PM.
- Generación de reportes para el análisis de indicadores por operación y región.
- Retroalimentación al ejecutivo de región sobre oportunidades de mejora.
- Generación y Seguimiento al cierre oportuno de órdenes de trabajo.
- Generación de órdenes de compra asociadas a la gestión de proyectos.
- Verificación de status de órdenes para el cierre de mes (cierre y liquidación).
- Coordinar con la jefatura y la operación las paradas de vehículos para la ejecución del mantenimiento

2.5 Objeto de estudio

Los sistemas de transmisión de potencia son mecanismos que permiten que los vehículos de carga se desplacen, estos llevan la potencia de la rotación del cigüeñal generada por la combustión hasta los ejes de las ruedas, con la potencia en las ruedas se realiza la locomoción de este tipo de autos.

Estos conjuntos requieren un método de mantenimiento que se adecue a las condiciones de la operación del vehículo, debido una falla puede representar una

detención inmediata del vehículo, pérdidas de dinero en ventas e insatisfacción en los clientes por incumplimiento, también se pueden causar pérdidas materiales, lesiones y/o hasta la muerte de uno o varios individuos, además generar un incremento de costos de mantenibilidad por fallas en los mecanismos que conforman el sistema de transmisión de potencia.

Actualmente Coca-Cola FEMSA tiene una filosofía de mantenimiento reactivo sobre estos sistemas lo cual genera altos costos de inversión por reparaciones mayores, un alto nivel de repuestos en almacén, cambios inesperados en la programación de las rutas, un alto índice de varadas, incumplimiento y/o retrasos en las entregas de producto, aumento de la jornada laboral de los operadores, cambio en los cronogramas de cargue de los vehículos.

La ocurrencia de falla en estos sistemas además de alterar el normal funcionamiento, está afectando negativamente los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y accidentalidad.

Para aumentar la vida y mejorar la eficiencia de los sistemas de transmisión de potencia, se estudiarán las funciones, los modos de falla, los modos, el análisis de riesgos del sistema, entre otros, y se determinará el plan de mantenimiento, mediante la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, la cual llevará a cabo la compañía para diferenciales, cardanes, Housing y semiejes de las ruedas, con el fin de replicar el plan generado en los diferentes centros de distribución.

2.5.1 Especificaciones de los vehículos

A continuación se describen los motores, cajas de velocidades y diferenciales de los vehículos Freightliner e International:

2.5.1.1 Camiones Freightliner

El camión Freightliner es un vehículo diseñado y fabricado por la casa matriz germana Mercedes Benz. En Colombia es importado y distribuido por Daimler, proveedor de equipos y servicios.

Coca-Cola Femsa tiene alrededor de 300 vehículos Freightliner modelos 2005 y 2008, distribuidos en todas las regiones de la compañía. En la región de análisis se tienen 20 camiones modelo 2005.

El motor MBE900 cuenta con una potencia máxima de 280 Hp, está equipado con un sistema de recirculación de gases de escape (EGR) para reducir las emisiones de gases de escape del motor, de conformidad con los reglamentos de la EPA. La configuración de 6 cilindros en línea, hacen de él un motor compacto. Su sistema de inter-enfriador y turbocompresor, aumentan la eficiencia de manera considerable, haciendo que el motor esté listo para trabajar a diferentes regímenes.

El motor

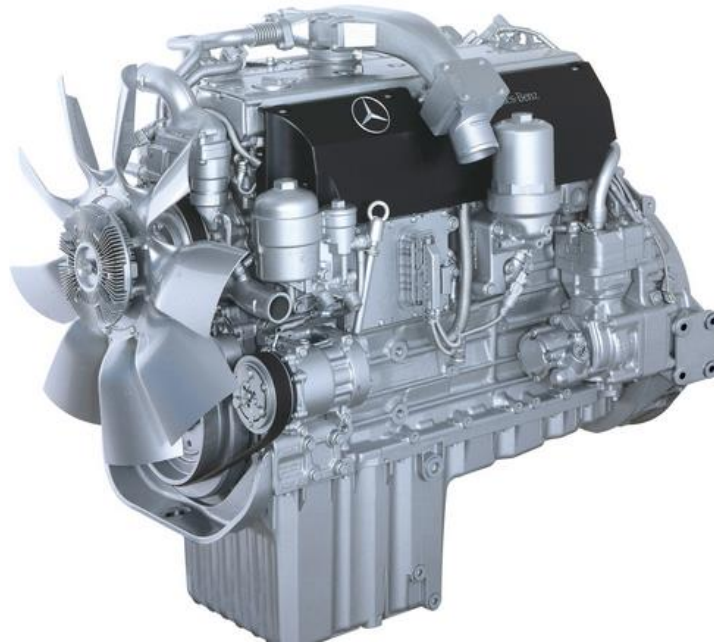
Este es un motor único en su clase por contar con una tecnología de tres válvulas de trabajo por cilindro - dos de admisión y una de escape - además de tener una válvula adicional para frenos. Los cuales disminuyen los wear vices generados en los anillos y hacen que los hidrocarburos se quemen a un porcentaje mayor que los motores de su clase. El control del motor es completamente electrónico, el cual incluye una computadora que registra en tiempo real el comportamiento de todas las variables del motor. La computadora tiene un sistema de sincronización del motor de acuerdo a la altura de nivel del mar, funciona hasta 3.500 m sobre el nivel del mar. Además de esto es un motor electrónicamente preparado para instalar periféricos electrónicos, tales como ABS y ASR.

Este contiene tres tipos de bombas: inyección de combustible electrónica, individual y una por pistón con una presión superior a 26,100 psi (1,800 bars), los inyectores se encuentran centralizados y poseen 8 orificios de aspersion disminuyendo el porcentaje de hidrocarburos sin quemar.

El pre-filtro de combustible contiene un racor de serie con separador de agua integrado, disminuyendo la cantidad de impurezas que entran al motor.

En la figura 12 se presenta una fotografía del motor

Figura 12 .Motor MBE 900



En la Figura 13 se puede apreciar el Modelo 3D del motor y en la tabla 1 se presenta el listado de partes

Figura 13. Modelo computacional motor MBE 900

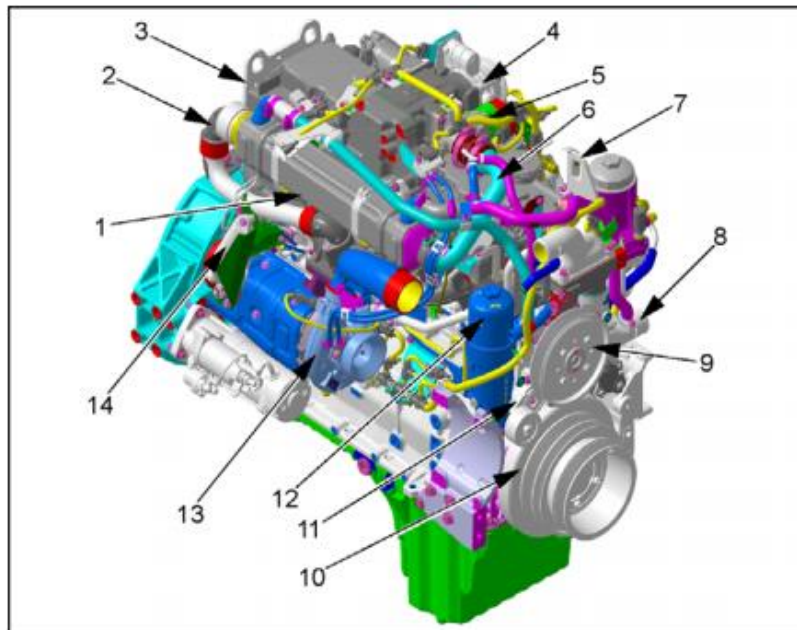


Tabla 1. Listado de partes motor MBE 900

#	Sistema	#	Sistema
1.	Refrigerador de EGR	8.	Bomba de Agua
2.	Codo de Escape de EGR	9.	Polea del Ventilador
3.	Soporte de Elevación Posterior	10.	Regulador de Vibraciones del Cigüeñal
4.	Válvula Reguladora de Admisión de Aire	11.	Ensamble del Tensor de Correa
5.	Válvula EGR	12.	Filtro de Aceite
6.	Tubo de Entrega de EGR	13.	Turbo-compresor
7.	Soporte de Elevación Frontal	14.	Freno del Escape

Caja de Velocidades

La Caja de velocidades (figura 14) del camión Freightliner con referencia MBT520S-6D permite que los cambios sean realizado con gran facilidad de cambios de velocidades, su caja posee una cubierta de una resistente aleación de aluminio siendo una de las cajas más ligeras en este tipo de vehículos, su poderoso sistema de refrigeración hace que no se requiera enfriador de aceite ya que el calor se libera en la parte superior de la mismas y los rodamientos se

encuentran sellados para evitar las fugas y la contaminación. Adicionalmente, sus engranajes han recibido tratamientos térmicos especializados para soportar las condiciones de operación más severas.

Figura 14. Caja de velocidades MBT520S-6D



Diferencial Freightliner

El diferencial Freightliner (figura 15), ha sido cuidadosamente pensado y diseñado con engranajes maquinados y rectificados con procesos de alta precisión, realizando una operación silenciosa con la mejor transmisión de potencia y un bajo porcentaje de desgaste. Es uno de los pocos diferencial en el mercado que no tiene rodillo piloto, en consecuencia tiene engranes de mayor tamaño, también tienen piezas integradas como la corono con la canasta de escualización, haciendo que tenga menos ajustes internos y por ende menos fallas.

Figura 15. Diferencial Freightliner.



2.5.1.2 Camiones International

El camión International es diseñado por la casa estadounidense Navistar, su comercio y distribución está representada por Navitrans en Colombia, proveedor de equipos, repuestos y servicios.

Coca-Cola posee alrededor de 1200 vehículos internacional a lo largo del territorio colombiano, los modelos están entre el 1993 y el 2012, En la región de análisis trabajan 102 vehículos de modelos 1995 a 1998.

El Motor

El motor con el que cuentan los modelos de la región es el DT466 motor de 6 cilindros en línea, los cuales desarrollan una potencia máxima de 260 Hp a 1900 RPM. El equipo DT466 contiene tecnología Split-shot, el cual crea "arranques rápidos, ralentí silenciosos y reduce las emisiones". La configuración intuitiva de International hace que coincidan los puntos de cambios de velocidad con las curvas de potencia del motor para mejorar el desempeño y la confiabilidad, así como la eficiencia de combustible. La caja del cigüeñal está fabricada en hierro forjado y completamente enfaldada, mientras que el cigüeñal está fabricado con acero, gorriones y muñones endurecidos por inducción. Los anillos de los pistones son

cubiertos con plasma, mientras que los pistones de aluminio tienen la carrera acortada y el diámetro incrementado para aumentar la potencia. Los chorros de enfriamiento del pistón disminuyen los esfuerzos térmicos alrededor de las camisas de los pistones y en los anillos facilita la liberación de calor lo cual reduce las altas temperaturas.

Por otro lado contiene un computador que toma los últimos datos de todas las variables del comportamiento del vehículo, además posee un limitador de la velocidad máxima, herramienta clave para evitar accidentes y excesos de velocidad por parte de los operarios.

En la figura 16 se muestra una fotografía del motor DT466

Figura 16. Motor DT466



Caja de velocidades

La Caja de velocidades del camión International con referencia ES62-5A trabaja en forma manual y su funcionamiento es mecánico haciendo que los cambios entre velocidades sean dificultan y el tiempo de respuesta la cual posee 5 velocidades hacia adelante y una reversa, a continuación se presentan las relaciones que tienen cada una de estas marchas:

En la tabla 2 se muestra las relaciones de cada una de las marchas:

Tabla 2. Relación marchas caja de velocidades ES62-5A

Velocidad	Relación
1	7,17
2	3,88
3	2,39
4	1,45
5	1
R	7,17

La figura 17 muestra el interior de la caja de velocidades ES62-5A

Figura 17. Caja de velocidades ES62-5A



Diferencial International

El diferencial International está diseñado con engranajes maquinados y rectificadas con procesos de alta precisión, los cuales ejercen una operación silenciosa en las mejores relaciones de transmisión de potencia y un bajo porcentaje de desgaste de elementos metálicos. A diferencia del equipo Freightliner, el diferencial tiene rodillo piloto, en consecuencia sus engranes son de menor tamaño, además la corona y la canasta de escualización, trabajan de manera independiente, generando que se presenten desajustes frecuentes y fallas inesperadas.

2.5.2 Sistema objetivo de estudio

Se ha seleccionado el tren trasero de transmisión de los vehículos de reparto de Coca-Cola, el cual incluye los ejes cardan desde la salida de la caja de velocidades hasta el ingreso al diferencia, el diferencial, los ejes de las ruedas y el Housing. El sistema seleccionado es uno de los que más genera costos por reparación y mantenimiento, fallas inesperadas y varadas en ruta que no son rentables para la compañía.

En la figura 18 se representa el sistema de análisis el cual no incluye los ejes cardan desde la salida de la caja de velocidades hasta la entrada del diferencial.

Figura 18. Tren de potencia.



2.5.3 Metodología actual de mantenimiento

El mantenimiento de flota vehicular está controlado y regulado por la gerencia nacional de mantenimiento gracias al software administrativo SAP, donde se realiza la programación de mantenimiento de acuerdo a los hodómetros para montacargas y máquinas estáticas, para la flota de vehículos se realiza a través del kilometraje recorrido.

Las frecuencias de inspección de vehículos están definidas por kilometraje; para vehículos pequeños se realiza una inspección cada 2500 Km, con cambio de aceite de motor y engrase general cada 5000Km, mientras que para camiones de reparto se realiza una inspección cada 3750 Km, con cambio de aceite de motor y engrase general cada 7500 Km. Lo descrito anteriormente conforma el módulo de mantenimiento preventivo del sistema de mantenimiento automotor, acompañado de un control de muestras de aceite de motor, las cuales se envían al laboratorio de ExxonMobil y juegan un papel importante a la hora de realizar una reparación o intervención mayor. Para caja de velocidades y diferencial no se realiza el proceso de toma de muestras de aceite, sólo se hace el cambio de aceite de los sistemas con una frecuencia determinada sin conocer la condición de los elementos ni el desgaste que han sufrido durante el intervalo de sustitución.

La baja tasa de mantenimiento preventivo en los sistemas eléctrico, neumático, mecánico, carrocería, llantas, entre otros hace que se presenten daños frecuentes e inesperados, sacrificando la disponibilidad de la flota para entrega de productos y para realizar remplazos de vehículos que se encuentran en mantenimiento.

2.5.3.1 Administración de documentos

Los documentos de los vehículos se administran por carpetas de archivo divididas en tres secciones:

Legal: en esta sección están todos los impuestos pagados, manifiesto de importación, SOAT, revisiones técnico mecánicas, tarjeta de propiedad, registro de afiliación a empresa de carga desde el año en el que fue comprado el equipo.

Mantenimiento preventivo: asocia todos los gastos y órdenes generadas por las rutinas de mantenimiento definidas por el software.

Mantenimiento correctivo: se almacenan todas las órdenes y gastos generados por mantenimientos no programados, emergencias y auxilios de desvare.

2.5.3.2 Software de mantenimiento (SAP)

SAP es un sistema integrado de gestión que permite controlar todos los procesos que se llevan a cabo en una empresa, a través de módulos. Estos se relacionan entre sí y las diferentes áreas de la empresa pueden extraer toda la información que requieran de otras áreas con esta integración, con fines de control, realizar indicadores y toda la gestión empresarial de una compañía.

En Coca-Cola se usa la versión R/3 que es la versión más completa del software e integra los siguientes módulos:

Finanzas

Este módulo administra la contabilidad general de la empresa, bancaria, de arrendamiento, activos, además de la gestión de viajes y cuentas por pagar y cobrar.

Costos y Control

Controla la imputación de costos en los diferentes Centros de coste, y cuáles son los elementos de cada coste, evaluando la rentabilidad del producto por medio de órdenes internas basadas en actividades de seguimiento.

Logística

Este módulo le realiza gestión a lotes en bodegas, otros que se encuentran en manipulación y que se encuentran en movimiento, evaluando las variables buscando nuevas configuración desde conceptos básicos de ingeniería.

Ventas y Distribución

Ventas y distribución es un módulo que integra las tarifas, créditos y condiciones de precio mediante funciones básicas de datos maestros, en ventas, expedición de facturas y comprobantes, comercio exterior e intercambio de datos electrónicos con dispositivos en el punto de venta.

Gestión de Materiales

El módulo de gestión de materiales permite planificar las necesidades sobre consumo con el fin de hacer eficientes las compras y los inventarios en bodega, además contiene un módulo similar al de ventas para el intercambio electrónico de datos integrado con verificación de facturas generando una comunicación acertada con los diferentes proveedores.

Ejecución de logística

La ejecución de logística del transporte se realiza mediante la expedición de los manifiestos de carga, la gestión de almacenes y el recurso humano empleados para que todas las operaciones se realicen de manera descentralizada y autónoma para cada sede o región.

Producción

El módulo de la planificación de la producción controla los procesos de manufactura en planta y todos los procesos de producción que intervienen en la fabricación y embotellado de los productos, lo cual logra mediante la gestión de calidad y del medio ambiente.

La gestión de mantenimiento también está integrada con la gestión del módulo, y dos áreas comparten el módulo; mantenimiento industrial y mantenimiento automotor. La gestión de repuestos se hace dentro de las órdenes creadas en este módulo, el inventario de repuestos y la ejecución del mantenimiento preventivo y programado.

Recursos Humanos

Recursos Humanos se centra en la administración y el desarrollo personal, teniendo en cuenta los costos de nómina, planificación y compensación, evaluando el desempeño de cada uno de los colaboradores

Además la gestión de eventos está relacionada con los beneficios atribuidos y que requiere cada uno de los trabajadores.

Por otro lado la planeación y la gestión del reclutamiento son controladas teniendo en cuenta los costos generados y los tiempos empleados a la hora de suplir las vacantes de la compañía.

Tecnología en Base de datos y configuración

Este módulo permite integrar los módulos del sistema y almacenar información de forma masiva, buscando dejar un historial de los movimientos realizados con las transacciones que realiza cada usuario.

Tecnología en Desarrollo

Tecnología en desarrollo automatiza las transacciones de los otros módulos con el fin de escribir informes de manera rápida y eficiente integrando diccionarios de base de datos determinados y de tipo global, diseños amigables de interfaces con usuarios, diseños de pantallas y diagramas de flujo, modelamiento matemático de funciones.

3. TREN DE POTENCIA

Los conjuntos a analizar son el diferencial, dividido en tres subconjuntos: conjunto corona, escualización y conjunto de entrada de potencia. Por otro lado se encuentra el conjunto de ejes cardan, los ejes de las ruedas y el Housing. Para todos se hará una descripción de partes y funcionamiento, además de hacer referencia a las rutinas actuales que tienen de mantenimiento.

3.1 Diferencial

La creación del diferencial nació a través de la necesidad de dar curvas a mayores velocidades sin consecuencias trágicas para los tripulantes de un vehículo. Anteriormente los vehículos se volcaban porque no existía un elemento que permitiera a las ruedas de un costado del vehículo, girar a una velocidad diferente a las de su costado opuesto.

El diferencial revolucionó la mecánica automotriz gracias a su relación de engranes cónicos rectos que permiten que en una curva cada costado tenga un comportamiento independiente, con una alta eficiencia y una baja pérdida de potencia.

Este sistema está compuesto por tres subconjuntos: conjunto corona, escualización y conjunto de entrada de potencia, su interacción realiza la transformación de potencia proveniente de la caja de velocidades y la entrega a los ejes de las ruedas, es decir, que es el encargado de entregar la potencia final de desplazamiento del vehículo.

Se encuentra dentro de los sistemas mecánicos de mayores costos de mantenimiento junto con el motor y la caja de velocidades, convirtiéndose en un elemento de vital importancia en el funcionamiento e interacción del ensamble de los sistemas descritos.

Adicional a los costos de mantenimiento, una falla de un elemento del sistema generará una serie de costos que afectan a las áreas de ventas, recursos humanos y principalmente a los clientes.

3.1.1 Conjunto corona

El conjunto de la corona es el encargado de cambiar la dirección de transmisión de la potencia, recibéndola del eje "Speed" perteneciente al conjunto de entrada de potencia, esta se transmite a través de todo el conjunto hasta llegar a la rueda sol, también conocida como torre bajo y transmitirla al conjunto de salida de potencia, la escualización.

3.1.1.1 Partes

El conjunto corona está compuesto por nueve piezas de diferente tipo, las cuales se relacionan en la tabla 3 y se muestran en explosión en la figura 19.

Figura 19. Conjunto corona

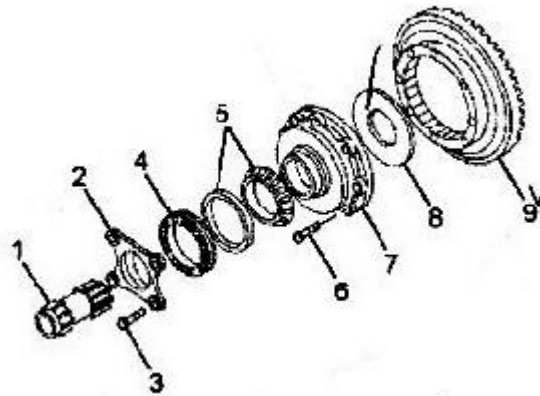


Tabla 3. Listado de piezas conjunto corona

N°	Serie	Nombre	Cant.
1	597171C1	Rueda sol	1
2	597173C1	Retenedor rueda sol	1
3	1691251C1	Tornillo retenedor rueda sol	4
4	597113C1	Ajustador, rodamiento diferencial LT	1
5		Rodamiento diferencial LT	1
5A	564121C1	Copa TMJM822010	1
5AE	564122C91	Cono TMJM822049	1
6	1691253C1	Tornillo corona y plato	8

N°	Serie	Nombre	Cant.
7	597161C1	Plato de ajuste alta velocidad.	1
8	597165C1	Arandela empuje plato de alta velocidad	1
9	597138C91	Corona 4.89/6.66-1	1
		Total	21

3.1.1.2 Funcionamiento

A continuación se describe el flujo de la potencia por las piezas del subconjunto de la corona, para ello se usará los números del 1 al 9 entre paréntesis mostrados en la figura 19 y en la tabla 3:

La potencia de salida de la caja de velocidades es entregada por el eje "Speed" a la Corona (9), que se encuentra ensamblada por medio de 8 tornillos (6) con el plato de ajuste alta velocidad (7) y separadas por una arandela de empuje (8).

Sobre el plato de ajuste (7), descansa el rodamiento diferencial LT (5), el cual se convierte en la conexión entre la pieza (7) y la rueda sol (1) por donde sale la potencia para ser entregada al plato de embrague de alta velocidad(11) del conjunto de escualización figura 20.

3.1.1.3 Rutina actual de mantenimiento.

Actualmente se realiza mantenimiento correctivo, las piezas se cambian cuando hay una reparación general del diferencial, generando altos costos para el sistema, baja disponibilidad y confiabilidad de vehículos para reparto y camiones de reserva y un clima laboral inadecuado para el flujo productivo de la operación, generando altas pérdidas a la empresa.

3.1.2 Escualización

Dentro del conjunto de escualización se realiza el proceso de cambio de velocidad por medio de una serie de engranajes finamente diseñados para cumplir esta función.

Además de ser el elemento que permite dar curvas en vehículo, es la conexión entre el conjunto de la corona y los ejes que entregan la potencia a las ruedas.

3.1.2.1 Partes

Las partes pertenecientes al conjunto de escualización se muestran en la figura 20 y se listan en la tabla 4.

Figura 20. Escualización diferencial

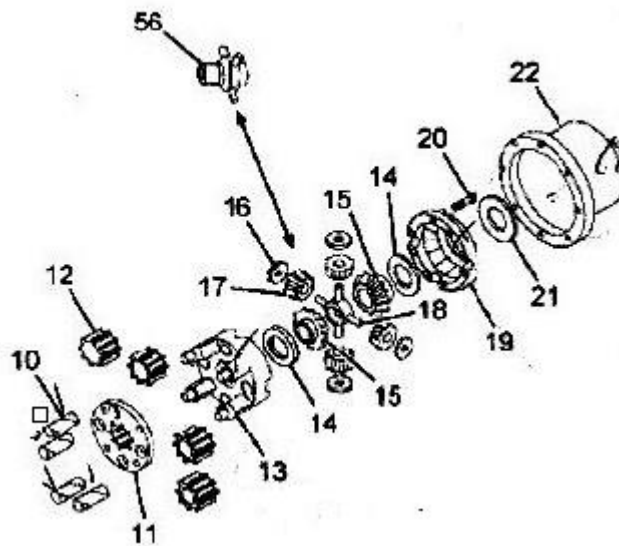


Tabla 4. Listado de piezas conjunto de escualización.

N°	Serie	Nombre	Cant.
10	597167C1	Pin engrane del piñón	4
11	597169C1	Plato, embrague de alta velocidad	1
12	597155C1	Piñón tensor	4
13		Caja, diferencial medio LT	1
14	597108C1	Arandela empuje lado engranaje	2
15		Engranaje Diferencial	2
16	597110C1	Arandela empuje piñón	4
17		Piñón diferencial	4
18		Eje transversal	1
19		Caja, Diferencial Medio RT	1
20	1691242C1	Tornillo, diferencial case	8
21	597108C1	Arandela de empuje case superior	1
22	597163C1	Caja, Diferencial superior RT	1
56	573562C91	Unidad de giro	1
		Total	35

3.1.2.2 Funcionamiento

Después del cambio de dirección de la potencia realizado por la corona (9) Figura 19. La potencia ingresa al conjunto por el plato de engrane (11) el cual se encuentra ensamblado con a la caja de diferencial medio LT (13) y sobre sus cuatro ejes rotan los cuatro piñones tensores (12). Entre el plato de embrague (11) y la caja de diferencial medio (13), en encuentran los pines engrane piñón (10) quienes cumplen la función de separación de estas dos piezas.

La función de diferencia de velocidades se realiza en las piezas (14 a 21) las cuales son selladas por la caja de diferencial superior (22).

El tornillo diferencial case (20) es la conexión fija entre los subconjuntos corona y escualización.

3.1.2.3 Rutina actual de mantenimiento.

Al igual que el conjunto corona, el conjunto de escualización no tiene una rutina de mantenimiento definida en la cual se evalué el estado de los componentes con el

fin de evitar fallas que concluyan en incidentes o accidentes, a la vez generan grandes pérdidas por la compañía.

3.1.3 Conjunto entrada de potencia

Recibe la potencia de la caja de velocidades a través de los ejes cardan, ésta es transmitida al conjunto de corona por medio del Speed, eje de conexión entre el conjunto ejes cardan y el conjunto de entrada de potencia.

Su función es entregar la potencia para que cambie de dirección en el siguiente sistema, el conjunto corona.

3.1.3.1 Partes

El conjunto de entrada de potencia se muestra en despiece en la figura 21 y el listado de piezas en la tabla 5.

Figura 21. Conjunto de entrada de potencia

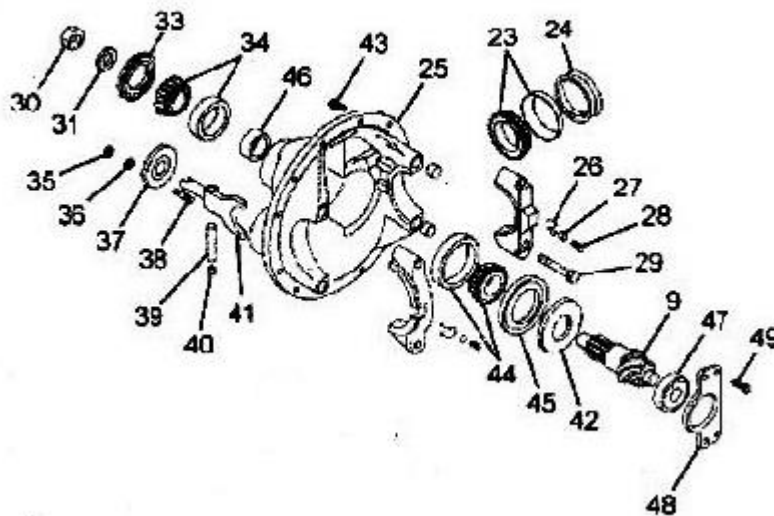


Tabla 5. Listado de piezas conjunto entrada de potencia

N°	Serie	Nombre	Cant.
23		Rodamiento diferencial RT	
23A	FPJM716610	Cup TMJM716610	1
23AE	FPJM716649	Cone	1
24	597114C1	Ajustador del rodamiento diferencial RT	
25	597154C91	Carcasa diferencial w	1
25A	597098C1	Pasador	4
26	597115C1	Cierre LT y RT	2
9		Eje Speed	1
27	25709R1	Arandela, FL ADJ LK	2
28	26310R1	Tornillo, ADJ LK	2
29	1695815C1	Tornillo, CAP	4
30	1696471C1	Tuerca del piñón	1
31	597194C1	Arandela de la tuerca piñón	1
33	597147C1	Sello de aceite piñón OTR	1
34		Rodamiento piñón OTR	
34A	FP55437	Cup SKF55437	1
34AE	FP55200C	Cone	1
35	273896	Tuerca LK, shift motor	2
36	ETN0119857	Arandela, FL Shift motor	2
37	ETN0119855	Sello, Shift motor	1
38	597151C1	Pin, Shift Motor	2
39	597175C1	Eje, Shift Motor	1
40	597176C1	Tornillo, Set Shift Tenedor	1
41	597183C91	Tenedor, shift	1
41A	597174C1	Pin, Shift rodillo tenedor	2
42A	597185C91	Juego, cuña engranaje	1
43	1691150C1	Tornillo, HEX-HD 5/BNC X 1-3/4 In.	12
44		Rodamiento, Piñón interior	
44A	FP72487	Cup	1
44AE	FP72225C	Cone	1
45	597148C1	Sello de aceite piñón interior	1
46	597186C91	Juego de espaciador piñón - rodamiento	1
47	92586H	Rodamiento, Piñón cono trasero	1
48	597150C1	Retenedor, cojinete piñón trasero	1
49	1699430C1	Perno, cojinete piñón trasero	4
Total			57

3.1.3.2 Funcionamiento

La función principal es soportar el eje speed (9) y el ensamble de los conjuntos corona y escualización, completando el ensamble total del diferencial.

La Potencia ingresa por el eje Speed (9), el cual está ensamblado con el Rodamiento (47), el cual está soportado por la parte interna en la platina (48), que a la vez se ajusta a la carcasa (25), a través de cuatro tornillos (49) y el rodamiento (44), el cual está ensamblado con los rodamientos (23) y (24), estos a su vez soportados en la carcasa (25) del diferencial y ajustados por la arandela (42), acompañado por un sello de retención de aceite (45). Por otro lado, Doce tornillos (43), aseguran la carcasa (25), al housing (50). El conjunto ejes-rodamientos, es ajustado en la parte externa por el sello (33), el juego espaciador (46), la arandela (31) y la tuerca (30).

El conjunto resultante del ensamble entre los conjuntos de corona y escualización se soporta con la carcasa (25) y ajustado por los cierres (26), las arandelas (27) y los tornillos (28) y (29).

El accionamiento de la rueda de sol (1), que multiplica la potencia transmitida por el conjunto en acción se acciona gracias al tenedor (41), el cual se ensambla a la carcasa (25), por las piezas (35) a (40).

3.1.3.3 Rutina actual de mantenimiento.

Al igual que los conjuntos mencionados anteriormente, el conjunto de entrada de potencia se le realiza mantenimiento correctivo cuando se tiene una falla grave y se cambian las piezas de acuerdo al deterioro que aprecia el mecánico.

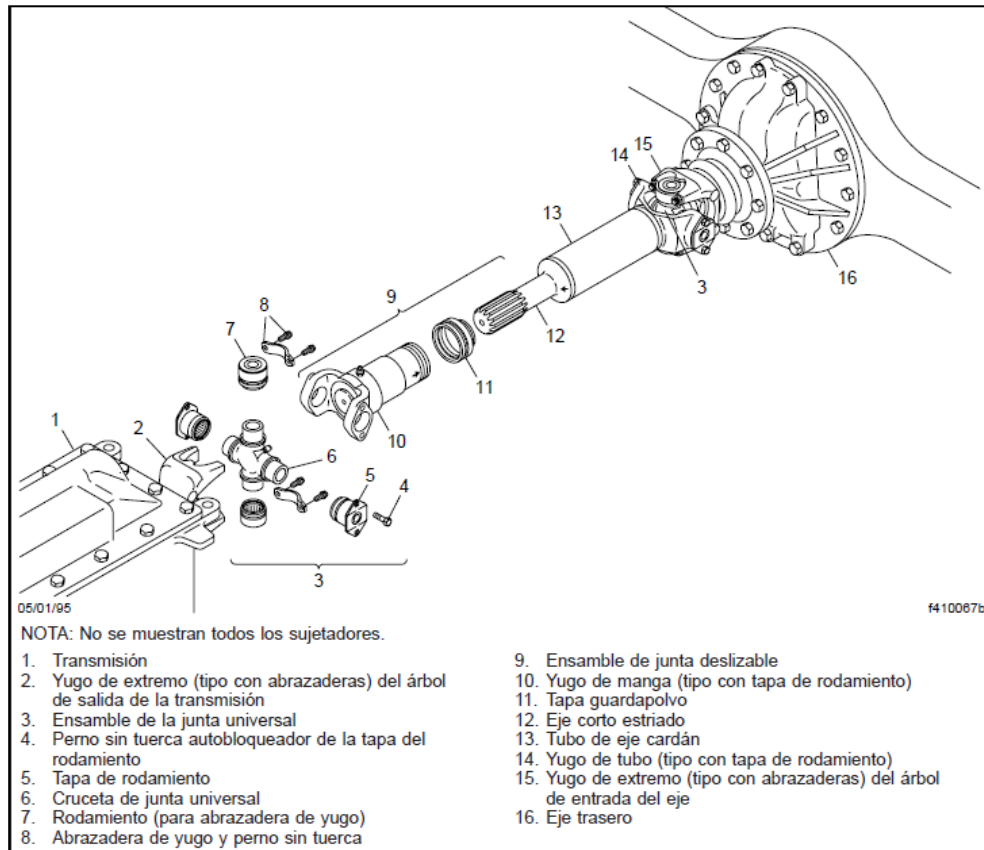
3.2 Ejes Cardan

Juego de ejes que llevan la potencia desde la salida de la caja de velocidades hasta la entrada en el diferencial. El camión Hi466 posee un juego de tres ejes cardan, conectado por crucetas que en sus extremos tienen cojinetes de agujas encerrados por dados metálicos cilíndricos.

3.2.1. Partes

El conjunto de ejes cardan, está compuesto por tres ejes, cinco juegos de crucetas con dados, 5 juegos de coupling hembra y macho. En la figura 22 se relacionan las partes de los ejes.

Figura 22. Componentes de una Línea Motriz Básica



3.2.2 Funcionamiento.

El eje propulsor o cardan es un tubo que en sus extremos se sitúa dos juntas de acople. Una de ellas se ensambla con el eje de salida de la caja de cambios, y el otro se conecta con la junta del sistema diferencial. Existen diversas configuraciones de acoplamiento en las partes del cardan constituida por una cruceta, por un cuerpo flexible de goma o por varias láminas flexibles. El tubo es

huevo pensando especialmente en aliviar peso al conjunto. En la sección que corresponde al eje de salida de la caja se une mediante un acople estriado, finalizando con otra unión flexible para acoplarse con la toma del diferencial. Este mecanismo se puede extender y comprimir con el fin de compensar la variación de longitud del eje de propulsión con el movimiento del eje delantero o posterior, cuando actúa la suspensión.

Los ejes cardan transmiten la potencia entregada por la caja de velocidades al diferencial, cambiando su dirección por medio de las crucetas y llevando la potencia entre dos puntos alejados a más de dos metros. Estos elementos son de vital importancia, sin ellos no hay desplazamiento, por lo cual se deben hacer establecer rutinas de constante inspección.

Este sistema del vehículo tiene un papel funcional importante en los camiones de reparto de Coca-Cola, porque estos elementos toman la potencia de la caja de velocidades y la transfieren hacia la diferencial para lograr la tracción necesaria.

3.2.3 Rutina actual de mantenimiento.

Los ejes se manufacturan constantemente cada vez que fallan, además de eso preventivamente se les realiza un engrase por trimestre, siendo una frecuencia muy baja debido al uso diario que se le da a los vehículos. Todo el mantenimiento es correctivo, se realiza el cambio de las piezas cuando todo falla, rara vez se usan repuestos nuevos, en consecuencia la confiabilidad de la flota es baja.

3.3 Ejes de las ruedas

Los ejes de las ruedas llevan la potencia del conjunto de escualización a las llantas para que se realice la locomoción del vehículo.

Esta pieza está diseñada para que en caso de una falla sea la primera que se rompa, es decir, que es el fusible de protección del diferencial.

3.3.1 Partes

El eje de las ruedas se muestra en la figura 23 y el listado de partes se encuentra en la tabla 6.

Figura 23. Eje de las ruedas

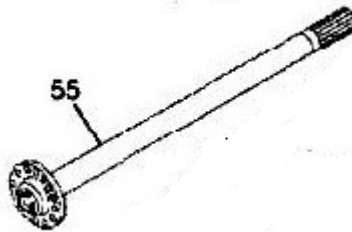


Tabla 6. Listado de ejes de las ruedas

N°	Serie	Nombre	Cant.
55		Eje, AXLE	
55AD	577506C1	W/O CODE 844004	2
55AG	1686071C1	W/CODE 844004	2
55B		Junta, Eje AXLE	
55BE	895493R2	W/CODE 844004	2
55BK	56152R2	W/CODE 844004	2
55ZD	9412368	Tuerca, eje AXLE FLG	16
Total			24

3.3.2 Funcionamiento

El eje (55) en uno de sus extremos tiene un plato con agujeros y se encuentra ensamblado a la campana de la rueda por medio de 16 tornillos, además la interfaz entre el housing (50) y el eje, está compuesta por una serie de arandelas y retenedores.

El otro extremo del eje contiene 18 estrías las cuales ingresa con un juego determinado en los engranajes cónicos ubicados dentro de la escualización.

Trabajan sumergidos en aceite dentro del housing (50).

3.3.3 Rutina actual de mantenimiento.

Este elemento es una de las piezas del tren trasero que se cambia con alta frecuencia, debido a su función de fusible. Su mantenimiento es totalmente correctivo a falla, no se realiza ningún estudio en el que se evalué el estado, de forma visual o usando elementos especializados.

3.4 Housing

En el Housing se soporta el conjunto diferencial completo y los ejes de las ruedas, es la estructura que alberga el aceite que lubrica el sistema mientras realiza su funcionamiento, también es el soporte donde se instalan las cámaras de los frenos y las bandas de los frenos, la suspensión y las ruedas.

3.4.1 Partes

El conjunto del Housing se muestra en la figura 24 y el listado de piezas se relaciona en la tabla 7.

Figura 24. Housing

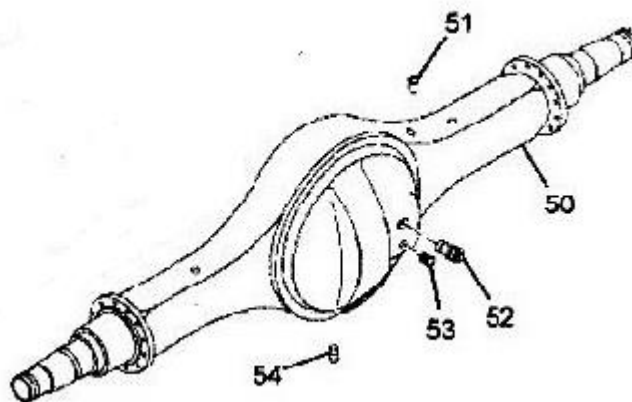


Tabla 7. Listado piezas conjunto housing

N°	Serie	Nombre	CANTIDAD
50		Housing, Axial, W/INTL SUSP	1
51	91916B91	Respiradero, axle HSG	1
52	586046C1	Tapón llenado	1
53	586048C1	Tapón de temperatura	1
54	586049C1	Tapón drenaje magnético	1
Total			5

3.4.2 Funcionamiento

El diferencial y los ejes de las ruedas (55), se soportan en la estructura del Housing axial (50), el cual cuenta con un respiradero (51) por el que los gases generados durante la operación, un tapón de llenado de aceite (52), un tapón de temperatura aceite (53) y un tapón de drenaje magnético (54), este incluye un imán para detectar si hay desgaste metálico.

3.4.3 Rutina actual de mantenimiento.

Debido a la sobre carga de los vehículos es un elemento que constantemente falla por fatiga, presentando grietas en la parte inferior del diferencial y en el sector donde la suspensión descansa, por lo cual se refuerza con soldadura y platinas que le dan una mayor rigidez, estos refuerzos se hacen cuando se detectan fugas de aceite o cuando el elemento muestra una falla aparente.

También se parte las puntas del Housing debido a sobre cargas o a que el vehículo ha sobrepasado a alta velocidad un hueco en la vía.

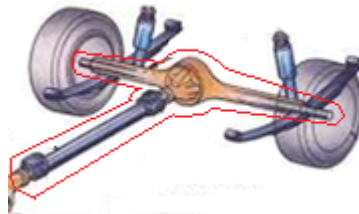
4. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Se establecerán las funciones de los grupos de estudio de acuerdo a la clasificación realizada en la taxonomía de equipos, con el fin de determinar los modos y efectos de falla, los riesgos que implica a nivel económico, ambiental humano e imagen, juntando todas las variables para hallar las tareas, frecuencias y responsables de las tareas del plan de mantenimiento que llevará los activos a alcanzar y/o extender su vida útil.

4.1 Frontera del sistema

Dentro de la frontera roja (Figura 25), se muestra los ejes cardan, el diferencial, el Housing y los ejes de las ruedas, sistemas para los cuales se realiza el análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad, método que definirá el nuevo plan de mantenimiento.

Figura 25. Frontera del sistema



Las interfaces del sistema como la caja de velocidades, el sistema de frenos, ruedas y suspensión se tendrán en cuenta como efectos externos en la formulación del nuevo plan de mantenimiento.

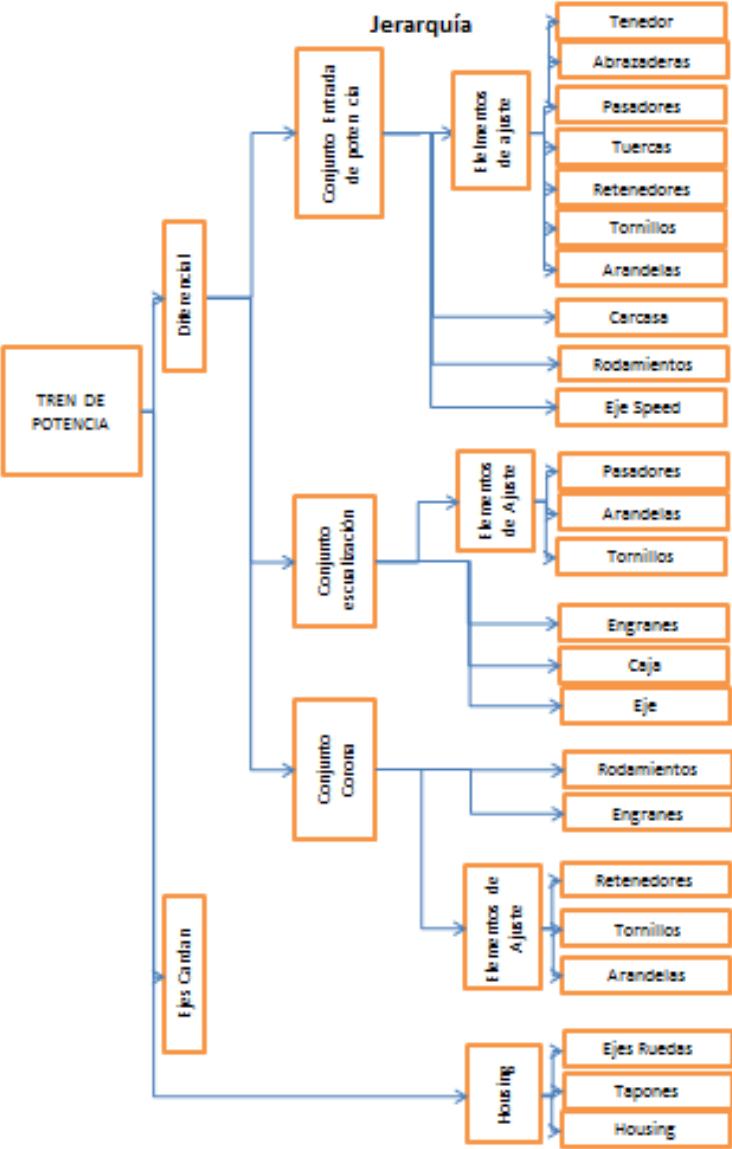
4.1.1 Taxonomía de sistemas

El tren de potencia se dividió en 3 sistemas de trabajo:

- Diferencial
- Housing y ejes de las ruedas
- Ejes Cardán

Dentro de estos grupos se hicieron grupos de componentes, con el fin de reunir las piezas que tienen la misma forma y el mismo comportamiento mecánico. Se encontraron elementos de ajuste que se usaban en todos o en la mayoría de grupos. En la figura 26 se aprecia la taxonomía del sistema, en la derecha del gráfico se listaron horizontalmente los grupos de componentes.

Figura 26. Taxonomía de Sistemas



4.1.2 Grupos de estudio

Después de clasificar los componentes de cada subconjunto se encontró que se tienen 14 grupos de componentes con características.

Abrazadera: En el conjunto de entrada de potencia es el soporte en forma de semicircular que asegura el conjunto de la corona con el conjunto de la escualización y su interfaz son dos tornillos.

Arandela: El sistema tiene 11 tipos de arandela, en este grupo también se incluyen los bujes.

Caja: Sistema compuesto por tres piezas pertenecientes al conjunto de escualización

Carcasa: Además de ser la tapa que retiene el aceite del diferencial, es el soporte de todo el diferencial dentro del Housing.

Eje: Elemento sobre el cual rotan los engranes cónicos de la escualización.

Ejes de las ruedas: Eje de transmisión de la potencia desde la salida del diferencial hasta las ruedas traseras del vehículo.

Ejes Cardan: Eje de transmisión de la potencia desde la salida de la caja de velocidades hasta la entrada al diferencial por medio de una conexión de junta ensamblada al eje Speed.

Engrane: Esta categoría incluye la corona y el eje Speed como un par de engranajes, los engranes de la escualización, en donde se incluye el plato de embrague y la rueda del sol.

Housing: Soporte y carcasa del sistema en estudio.

Pasador: se incluyen los pasadores de la escualización y el pasador del tenedor que acciona la rueda sol.

Retenedor: Sellos que impiden la salida del aceite del sistema.

Rodamiento: Elementos que permiten el giro de ejes y engranes.

Tapón: Elementos roscados usados para drenar y depositar el aceite en el sistema.

Tenedor: Elemento que desplaza la rueda sol dentro del sistema.

Tornillo: Elemento de sujeción usado para asegurar el diferencial.

Tuerca: Elemento de sujeción usado para asegurar el eje Speed a los ejes cardan.

4.2 Identificación de Funciones

El tren de potencia recibe la energía y la velocidad de la caja de velocidades, las cuales son transformadas por el diferencial, a la vez este cambia la dirección de la transmisión de energía con el fin de entregarla a las ruedas y finalmente desplazar el vehículo.

En la Tabla 8 se muestran las funciones de cada uno de los grupos de componentes, el código para cada función, condiciones ambientales e interfaces, de los grupos de componentes.

Tabla 8. Listado de funciones de grupos de componentes.

Grupo de componentes	Condiciones Ambientales	Interfaces	Código Función	Funciones
Housing	Corrosión, Humedad	Suspensión, Frenos, carcasa y rodamientos de las ruedas	2TR1	Soportar la transmisión, ruedas, sistema de Frenos y suspensión, además de albergar el aceite que lubrica todo el sistema.
Tapones	Corrosión, Humedad	Housing	2TR2	Permitir el ingreso y salida del aceite del sistema en cada mantenimiento
Retenedores	Corrosión, Humedad, Temperatura	Diferencial y Ejes de las ruedas	2TR3	Retener los fluidos dentro del sistema
Pasadores	Corrosión, Humedad	tenedor, carcasa, caja, piñones	2TR4	Articular dos subconjuntos
Tornillos	Corrosión, Humedad	Carcasa, Housing, Abrazaderas, Caja, Eje de las ruedas	2TR5	Asegurar con cierta presión dos piezas
Arandelas	Corrosión, Humedad	Eje, Speed, Engranajes, escualización, Corona	2TR6	Separar dos piezas con un ajuste preciso

Grupo de componentes	Condiciones Ambientales	Interfaces	Código Función	Funciones
Tuercas	Corrosión, Humedad	Eje Speed	2TR7	Asegurar dos piezas que han sido conectadas mediante un tornillo en agujero pasante
Carcasa	Corrosión, Humedad	Housing, Corona y escualización	2TR8	Fijar el conjunto diferencial en el Housing y retener el aceite
Engranés	Corrosión, Humedad, Temperatura	Corona, Eje Speed, caja, eje	2TR9	Transmitir la potencia y la velocidad con una relación definida por la forma y el número de dientes
Rodamientos	Corrosión, Humedad, Temperatura	Eje Speed, Corona, Engranajes, Rueda sol	2TR10	Permitir el giro de ejes y elementos que rotan, con mayor facilidad, alcanzando altas velocidades
Caja	Corrosión, Humedad, Temperatura	Pasadores, Engranajes, Eje	2TR11	soportar los engranes que permiten la diferencia entre los ejes de las ruedas cuando el vehículo está dando una curva
Ejes Cardan	Corrosión, Humedad,	Diferencial	2TR12	Transmiten la potencia de salida de la caja de velocidades cambiándole la dirección gracias a la acción de las crucetas, entregándola en la entrada del diferencial.
Eje	Corrosión, Humedad,	engranajes, Caja	2TR13	Permite que los Engranés roten sobre el permitiendo la transmisión interna en el conjunto de escualización.
Tenedor	Corrosión, Humedad,	Carcasa, Pasador	2TR14	Permite engranar el diferencial para que entregue 1 o 2 veces la potencia, según la posición en la que se encuentre
Abrazaderas	Corrosión, Humedad,	Carcasa, tornillos, Corona, Caja	2TR15	Aseguran el conjunto de ensamble entre corona y escualización a la carcasa, completando el Sistema diferencial
Ejes Ruedas	Corrosión, Humedad,	Housing, engranajes	2TR16	transmiten la potencia de salida del diferencial y lo entregan a las ruedas generando el movimiento y la locomoción del vehículo

4.3 Fallas funcionales

Las funciones descritas en el numeral 4.2 se relacionan en la tabla 9 junto con las fallas funcionales correspondientes, además se asignó un código de a cada una de las descripciones de las fallas funcionales con el fin de ubicarlas rápidamente e incluirlas en el software de mantenimiento de la compañía, SAP.

Tabla 9. Descripción de fallas funcionales

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
2TR1	Soportar la transmisión, ruedas, sistema de Frenos y suspensión, además de albergar el aceite que lubrica todo el sistema.	TR1	Housing no retiene aceite
2TR1	Soportar la transmisión, ruedas, sistema de Frenos y suspensión, además de albergar el aceite que lubrica todo el sistema.	TR2	Housing no soporta componentes
2TR2	Permitir el ingreso y salida del aceite del sistema en cada mantenimiento	TR3	Tapón no retiene ni permite ingreso de aceite
2TR3	Retener los fluidos dentro del sistema	TR4	Retenedor permite salida de aceite
2TR4	Articular dos subconjuntos	TR5	Pasador no articula piezas
2TR5	Asegurar con cierta presión dos piezas	TR6	Tornillo no asegura piezas
2TR6	Separar dos piezas con un ajuste preciso	TR7	Arandela permitió contacto entre piezas, no hay ajustes
2TR7	Asegurar dos piezas que han sido conectadas mediante un tornillo en agujero pasante	TR8	Tuerca no asegura tornillo
2TR8	Fijar el conjunto diferencial en el Housing y retener el aceite	TR9	Carcasa no soporta diferencial y permite salida de aceite
2TR9	Transmitir la potencia y la velocidad con una relación definida por la forma y el número de dientes	TR10	Engranajes no transmiten potencia ni velocidad deseada
2TR10	Permitir el giro de ejes y elementos que rotan, con mayor facilidad, alcanzando altas velocidades	TR11	Rodamientos no permiten giro de elementos rodantes
2TR11	soportar los engranes que permiten la diferencia entre los ejes de las ruedas cuando el vehículo está dando una curva	TR12	Caja no soporta engranes ni eje para permitir la diferencia de velocidad entre ruedas.
2TR12	Transmiten la potencia de salida de la caja de velocidades cambiándole la dirección gracias a la acción de las crucetas, entregándola en la entrada del diferencial.	TR13	Eje cardan no transmite la potencia al diferencial
2TR13	Permite que los Engranajes roten sobre el permitiendo la transmisión interna en el conjunto de escualización.	TR14	Eje no permite rotación de engranes

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
2TR14	Permite engranar el diferencial para que entregue 1 o 2 veces la potencia, según la posición en la que se encuentre	TR15	Tenedor no desplaza la rueda sol que multiplica la potencia.
2TR15	Aseguran el conjunto de ensamble entre corona y escualización a la carcasa, completando el Sistema diferencial	TR16	Abrazadera no asegura diferencia con carcasa
2TR16	transmiten la potencia de salida del diferencial y lo entregan a las ruedas generando el movimiento y la locomoción del vehículo	TR17	Ejes no entregan potencia a las ruedas.

4.4 Modos de falla

Los modos de falla se hallaron para cada uno de los grupos de componentes, debido a la similitud geométrica y comportamiento mecánico.

En la tabla 10 se muestran los modos de falla para cuando el Housing no retiene aceite y se muestra si es falla oculta, además cada modo de falla está acompañado por un código de dos letras y dos números, para esta falla funcional se tienen se asignan los códigos del HO01 al HO06:

Tabla 10. Modos de falla, Housing no retiene aceite.

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
HO01	Housing fisurado por sobre peso	NO
HO02	Housing fisurado por fatiga	NO
HO03	Housing fisurado en puntas por falta de grasa en rodamientos de las ruedas	NO
HO04	Housing mal ensamblado con carcasa	NO
HO05	Housing con rosca de agujeros tapones dañada	NO
HO06	Housing mal ensamblado con ejes de las ruedas	NO

En la tabla 11 se muestra los modos de falla para la falla funcional falla: Housing no soporta componentes. Los códigos asignados van del HO07 al HO10.

Tabla 11. Modos de falla, Housing no soporta componentes

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
HO07	Housing Roto por fisura interna	SI
HO08	Housing Roto por impacto	NO
HO09	Housing con roscas de agujeros rodadas	NO
HO10	Punta Housing Rota por sobre esfuerzo.	NO

En la tabla 12 se encuentran registrados los modos de falla para la falla funcional: Tapón no retiene ni permite el ingreso de aceite, los códigos asignados son el TA10 y el TA11.

Tabla 12. Modos de falla, Tapón no retiene ni permite el ingreso de aceite

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
TA10	Tapón sin asegurar con torque adecuado	NO
TA11	Tapón con rosca dañada	NO

En la tabla 13 se muestran los modos de falla cuando el pasador no articula piezas, se han asignado los códigos PA12 al PA14.

Tabla 13. Modos de falla, pasador no articula piezas

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
PA12	Pasador doblado por exceso de carga	SI
PA13	Pasador Roto por exceso de carga	NO
PA14	Pasador Roto fisurado por apriete excesivo	NO

En la tabla 14 se registraron los modos de falla para cuando los tornillos pertenecientes al sistema no aseguran las piezas, para estos se han asignado los códigos TO15 a TO17.

Tabla 14. Modos de falla, Tornillo no asegura piezas

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
TO15	Tornillo con rosca dañada	SI
TO16	Tornillo desalineado por exceso de carga	SI
TO17	Tornillo roto por exceso de carga	NO

En la tabla 15 están los modos de falla obtenidos cuando la arandela permite el contacto entre piezas y/o no da el ajuste requerido., los códigos asignados son el AR 17 y el AR18.

Tabla 15. Modos de falla, arandela permite contacto entre piezas y no da el ajuste

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
AR17	Arandela con diámetros desgastados por uso	SI
AR18	Arandela pandeada por exceso de carga	SI

En la Tabla 16 se encuentran registrados los modos de falla de la falla funcional: Carcasa no soporta diferencial y permite la salida de aceite. Los códigos asignados van del CA21 al CA25.

Tabla 16. Modos de falla, Carcasa no soporta diferencial y permite salida de aceite.

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
CA21	Carcasa Fisurada	SI
CA22	Agujeros carcasa con rosca dañada	SI
CA23	Carcasa con soportes para diferencia desalineados	SI
CA24	Carcasa con pandeo por distribución de cargas irregular	SI
CA25	Carcasa deformada por tornillos apretados en desorden	SI

En la tabla 17 se reúnen los modos de falla que presentan los engranes cuando no transmiten la potencia y la velocidad deseada. Los códigos asignados van del EN26 al EN33.

Tabla 17. Modos de falla, Engranes no transmiten potencia, ni velocidad deseada

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
EN26	Engranaje con dientes picados	SI
EN27	Engranaje con dientes rotos	SI
EN28	Engranajes desalineados	SI
EN29	Engranajes sin lubricación.	SI
EN30	Engranaje con dientes doblados	SI
EN31	Engranaje corroído	SI
EN32	Engranaje quemado por falta de lubricación	SI
EN33	Engranaje agrietado por exceso de ajuste	SI

En la tabla 18 se encuentra registrados los modos de falla de los rodamientos cuando no permiten el giro de los elementos rodantes para los cuales se han asignado los códigos RO34 al RO41

Tabla 18. Modos de Falla, Rodamientos no permiten el giro de elementos rodantes.

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
RO34	Rodamiento quemado por falta de lubricación	SI
RO35	Rodamiento con pistas desgastadas	SI
RO36	Rodamiento con pistas indentadas por elementos rodantes sometidos a carga excesiva	SI
RO37	Rodamiento con Pistas fisuradas	SI
RO38	Rodamiento con elementos rodantes deformados	SI
RO39	Rodamiento con pistas desalineadas	SI
RO40	Rodamiento excesivamente ajustado o precargado	SI
RO41	Rodamiento desgastado por la corrosión	SI

Los modos de falla asociados a la falla funcional “Caja no soporta engranes ni eje para permitir la diferencia de velocidad entre ruedas”, se encuentran registrado en la tabla 19. Allí también se encuentran los códigos asignados los cuales van del CA35 al CA39.

Tabla 19. Modos de falla, Caja no soporta engranes, ni eje para permitir la diferencia de velocidad entre ruedas.

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
CA35	Caja rota por exceso de cargas	SI
CA36	Caja con rosca de Agujeros deteriorada	SI
CA37	Topes caja fisurados por exceso de carga	SI
CA38	Caja rayada por impurezas en aceite	SI
CA39	Caja pandeada por exceso de carga	SI

La falla funcional “tenedor no desplaza la rueda sol que multiplica la potencia” tiene los modos de falla registrados en al tabla 20, con los códigos TE43 al TE49.

. Tabla 20. Modos de falla, Tenedor no desplaza la rueda sol que multiplica la potencia.

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
TE43	Tenedor doblado por exceso de carga	NO
TE44	Tenedor Roto por exceso de carga	NO
TE45	Tenedor corroído	NO
TE46	Horquilla tenedor rota por exceso de carga	NO
TE47	Horquilla doblada por sobre calentamiento	SI
TE48	Horquilla tenedor doblada por exceso de carga	NO
TE49	Tenedor Roto en agujeros de pasador	NO

Cuando la abrazadera no asegura el diferencial con carcasa, es consecuencia de los modos de falla registrados en la tabla 21, allí se evidencia que los códigos asignados van del AB50 al AB52,

Tabla 21. Modos de falla, abrazadera con asegura el diferencial con la carcasa

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
AB50	Abrazadera rota por exceso de carga	SI
AB51	Abrazaderas con filetes de roscas rotos	SI
AB52	Abrazadera doblada por exceso de carga	SI

En ocasiones la potencia no es entregada a las ruedas debido a los modos de falla que se encuentran registrados en la tabla 22, para los cuales se asignan los códigos del EJ53 al EJ56.

Tabla 22. Modos de Falla, Ejes no entregan potencia a las ruedas.

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
EJ53	Eje roto por exceso de carga	NO
EJ54	Eje con estría rota por sobre carga	NO
EJ55	Eje con plato doblado	NO
EJ56	Eje doblado por sobrecarga	NO

Cuando la potencia de salida de la caja de velocidades no puede ser transmitida al diferencial se registran los modos de falla de los ejes cardan, tabla 23. Los códigos asignados van del EC01 al EC07.

Tabla 23. Modos de falla, Conjunto ejes cardan no transmite potencia desde la caja de velocidades hacia el diferencial

Código	Modo de Falla	Falla Oculta
EC01	Yoke y/o yugo del cardan torcido por excesiva carga	NO
EC02	Agarrotamiento del eje cardan por angularidad fuera de especificaciones	NO
EC03	Rodamientos de crucetas desgastados por contaminación.	SI
EC04	Rodamiento de soporte desgastado por juego excesivo.	NO
EC05	Tubo eje torcido por sobrecarga.	NO
EC06	Elementos de fijación o piezas de las líneas de transmisión sueltas o faltantes.	NO
EC07	Línea de transmisión con desbalance o doblada	NO

4.5 Efectos de Falla

Los efectos de falla son las consecuencias que se genera cada uno de los modos de falla.

4.5.1 Efectos de Falla en cadena.

Se tienen efectos que son consecuencias de otros efectos, es decir, son efectos en cadena, por ejemplo, cuando se tiene una varada se generan efectos en cadena en las demás áreas:

Recursos Humanos

Una varada en ruta genera aumento de la jornada laboral para el conductor y la tripulación del camión y en caso de accidente posiblemente habrá lesiones personales y /o pérdidas humanas que cambiarán la programación generada por el área, en consecuencia, se procederá a buscar un remplazo interno y externo, aumentando las responsabilidades del jefe y su área.

Ventas

Un vehículo inmovilizado genera pérdidas económicas en ventas y disminución del volumen de ventas proyectado, además de generar insatisfacción en los clientes que tienen pedido programado y creando una mala imagen ante las clientes programados y no atendidos.

Administración

Cuando un vehículo no llega a la distribuidora antes de la hora de cierre de liquidación no se liquida la planilla de la ruta y esto hace que el resultado de ventas y de volumen a la fecha entregado a la gerencia sea erróneo.

Operaciones

Afecta los indicadores de operaciones como la carga paseante, debido a que el producto cargado no se vendió, además de esto la pérdida de los jugos y aguas es inminente porque ha sido expuesto al sol y por norma de la compañía estos productos sólo puede ser cargados una vez en los vehículos. Por otro lado la devolución de producto genera un mal manejo de los inventarios dentro de la bodega, además de aumentar la carga los auxiliares de bodega que arman las estibas.

Mantenimiento Automotriz

Cuando la parada tiene un accidente las consecuencias legales recaen sobre el área de mantenimiento. Si el accidente es fuerte se decretará la pérdida total o parcial del vehículo por medio de un tercero y la gestión del área.

4.5.2 Efectos de Falla comunes

En el tren de potencia, hay efectos que son comunes los diferentes grupos de componentes, por tal motivo se relacionarán los modos de falla a cada uno de los efectos comunes.

En la categoría accidentes se debe tener en cuenta que estos modos de falla tienen probabilidad de generar cualquier efecto de falla en cadena descritos en el numeral 4.5.

Pérdida de aceite, contaminación ambiental y contaminación interna del aceite

La pérdida de aceite se genera por falla de alguno de los componentes internos del diferencial que produce alguna fisura en la carcasa o el Housing, también se puede presentar a consecuencia de daños en los retenedores o a mantenimientos mal realizados. Las fugas de aceite generan contaminación del ambiente y debido a que los elementos que se desgastan arrojan limaduras, las cuales pueden llegar a ser catastróficas sino son detectadas a tiempo.

A continuación se listan los modos de falla pueden generar estos efectos:

Housing:

- fisurado por sobre peso
- fisurado por fatiga
- fisurado en puntas por falta de grasa en rodamientos de las ruedas
- mal ensamblado con carcasa
- con rosca de agujeros tapones dañada
- mal ensamblado con ejes de las ruedas
- Roto por fisura interna
- Roto por impacto
- Con roscas de agujeros rodadas
- Punta Rota por sobre esfuerzo.

Tapón:

- Sin asegurar con torque adecuado
- Con rosca dañada

Retenedor:

- Con ajuste inadecuado
- Aplastado por exceso de presión

Tornillo:

- Con rosca dañada
- Desalineado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga

Tuerca:

- Con rosca desgastada

Carcasa:

- Fisurada
- Agujeros con rosca dañada
- Con pandeo por distribución de cargas irregular
- Deformada por tornillos apretados en desorden

Eje:

- Doblado por exceso de carga
- Doblado por caja desajustada
- Roto por exceso de carga
- Roto por exceso de carga
- Con estría rota por sobre carga
- Con plato doblado
- Doblado por sobrecarga

Ruptura Housing

La ruptura del Housing se puede dar en varios escenarios, los modos de falla se listan por grupos de componentes, estos representan los modos más comunes de falla:

Housing:

- Fisurado por sobre peso
- Fisurado por fatiga
- Fisurado en puntas por falta de grasa en rodamientos de las ruedas
- Mal ensamblado con carcasa
- Con rosca de agujeros tapones dañada
- Roto por fisura interna
- Roto por impacto
- Con roscas de agujeros rodadas
- Punta rota por sobre esfuerzo.

Tornillo:

- Con rosca dañada
- Desalineado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga

Arandela:

- Con diámetros desgastados por uso
- Pandeada por exceso de carga

Carcasa:

- Fisurada
- Agujeros con rosca dañada
- Con soportes para diferencia desalineados
- Con pandeo por distribución de cargas irregular
- Deformada por tornillos apretados en desorden

Eje:

- Doblado por exceso de carga
- Doblado por caja desajustada
- Roto por exceso de carga
- Roto por exceso de carga
- Con estría rota por sobre carga
- Con plato doblado
- Doblado por sobrecarga

Ruptura diferencial y ruptura ejes de ruedas

La ruptura del diferencial es muy frecuente debido a que se encuentra encerrado dentro del Housing y si alguno de sus elementos falla, puede generar la falla de los demás. A continuación se listan los modos de falla que pueden ser una amenaza, destruyendo el conjunto del diferencial y los ejes de las ruedas.

Housing:

- Fisurado por sobre peso
- Fisurado por fatiga
- Mal ensamblado con carcasa
- Mal ensamblado con ejes de las ruedas
- Roto por fisura interna
- Roto por impacto

Tapón:

- Sin asegurar con torque adecuado
- Con rosca dañada

Retenedor:

- Con ajuste inadecuado

- Aplastado por exceso de presión

Pasador:

- Doblado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga
- Roto fisurado por apriete excesivo

Tornillo:

- Con rosca dañada
- Desalineado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga

Arandela:

- Con diámetros desgastados por uso
- Pandeada por exceso de carga

Tuerca:

- Con rosca desgastada

Carcasa:

- Fisurada
- Con soportes para diferencia desalineados
- Con pandeo por distribución de cargas irregular
- Deformada por tornillos apretados en desorden

Engranaje

- Con dientes picados
- Con dientes rotos
- Desalineado
- Sin lubricación.
- Con dientes doblados

- Corroído
- Quemado por falta de lubricación
- Agrietado por exceso de ajuste

Rodamiento

- Quemado por falta de lubricación
- Con pistas desgastadas
- Con pistas identadas por elementos rodantes sometidos a carga excesiva
- Con Pistas fisuradas
- Con elementos rodantes deformados
- Con pistas desalineadas
- Excesivamente ajustado o precargado
- Desgastado por la corrosión

Caja:

- Rota por exceso de cargas
- Con rosca de Agujeros deteriorada
- Topes caja fisurados por exceso de carga
- Rayada por impurezas en aceite
- Pandeada por exceso de carga

Eje:

- Doblado por exceso de carga
- Doblado por caja desajustada
- Roto por exceso de carga

Tenedor:

- Doblado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga
- Corroído

Horquilla:

- Horquilla rota por exceso de carga
- Horquilla doblada por sobre calentamiento
- Horquilla doblada por exceso de carga
- Roto en agujeros de pasador

Abrazadera:

- Rota por exceso de carga
- Doblada por exceso de carga

Eje:

- Roto por exceso de carga
- Con estría rota por sobre carga
- Con plato doblado
- Doblado por sobrecarga

Ruptura Ejes Cardan y Volcamiento del vehículo

La ruptura de los ejes cardan puede generar accidentes de volcamiento, accidentes graves, lesiones y/o pérdidas humanas, ya que si uno de estos se suelta por algún modo de falla de los que se relaciona a continuación, el vehículo puede volcarse rápidamente gracias al efecto palanca que hace el cardan en el piso.

Housing:

- Mal ensamblado con carcasa

Tornillo:

- Con rosca dañada
- Desalineado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga

Arandela:

- Con diámetros desgastados por uso
- Pandeada por exceso de carga

Tuerca:

- Con rosca desgastada

Carcasa:

- Fisurada
- Con pandeo por distribución de cargas irregular
- Deformada por tornillos apretados en desorden

Rodamiento:

- Quemado por falta de lubricación
- Con pistas desgastadas
- Con pistas identadas por elementos rodantes sometidos a carga excesiva
- Con Pistas fisuradas
- Con elementos rodantes deformados
- Con pistas desalineadas
- Excesivamente ajustado o precargado
- Desgastado por la corrosión

Ruptura de carcasa

El daño del elemento de sujeción del diferencial en el Housing se puede dar por los siguientes modos de falla:

Housing:

- Fisurado por sobre peso

- Fisurado por fatiga
- Fisurado en puntas por falta de grasa en rodamientos de las ruedas
- Mal ensamblado con carcasa
- Mal ensamblado con ejes de las ruedas
- Roto por fisura interna
- Roto por impacto
- Punta Rota por sobre esfuerzo.

Tornillo:

- Con rosca dañada
- Desalineado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga

Tuerca:

- con rosca desgastada

Carcasa:

- Fisurada
- Agujeros con rosca dañada
- Con soportes para diferencia desalineados
- Con pandeo por distribución de cargas irregular
- Deformada por tornillos apretados en desorden

Engranaje:

- Con dientes picados
- Con dientes rotos
- Desalineados
- Sin lubricación.
- Con dientes doblados
- Corroído

- Quemado por falta de lubricación
- Agrietado por exceso de ajuste

Rodamiento:

- quemado por falta de lubricación
- Con pistas desgastadas
- Con pistas indentadas por elementos rodantes sometidos a carga excesiva
- Con Pistas fisuradas
- Con elementos rodantes deformados
- Con pistas desalineadas
- Excesivamente ajustado o precargado
- Desgastado por la corrosión

Parada del vehículo o accidente

Las paradas y/o accidentes se atribuyen a los siguientes modos de falla:

Housing:

- Fisurado por sobre peso
- Fisurado por fatiga
- Fisurado en puntas por falta de grasa en rodamientos de las ruedas
- Mal ensamblado con carcasa
- Con rosca de agujeros tapones dañada
- Mal ensamblado con ejes de las ruedas
- Roto por fisura interna
- Roto por impacto
- Con roscas de agujeros rodadas
- Rota por sobre esfuerzo.

Tapón:

- Sin asegurar con torque adecuado
- Con rosca dañada

Retenedor:

- Con ajuste inadecuado
- Aplastado por exceso de presión

Pasador:

- Doblado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga
- Roto fisurado por apriete excesivo

Tornillo:

- Con rosca dañada
- Desalineado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga

Arandela:

- Con diámetros desgastados por uso
- Pandeada por exceso de carga

Tuerca:

- con rosca desgastada

Carcasa:

- Fisurada
- Con soportes para diferencia desalineados
- Con pandeo por distribución de cargas irregular
- Deformada por tornillos apretados en desorden

Engranaje:

- Con dientes picados
- Con dientes rotos
- Desalineados Sin lubricación.

- Con dientes doblados
- Corroído
- quemado por falta de lubricación
- agrietado por exceso de ajuste

Rodamiento:

- Quemado por falta de lubricación
- Con pistas desgastadas
- Con pistas identadas por elementos rodantes sometidos a carga excesiva
- Con Pistas fisuradas
- Con elementos rodantes deformados
- Con pistas desalineadas
- Excesivamente ajustado o precargado
- Desgastado por la corrosión

Caja:

- Rota por exceso de cargas
- Con rosca de Agujeros deteriorada
- Topes fisurados por exceso de carga
- Rayada por impurezas en aceite
- pandeada por exceso de carga

Eje:

- Doblado por exceso de carga
- Doblado por caja desajustada
- Roto por exceso de carga

Tenedor

- Doblado por exceso de carga
- Roto por exceso de carga
- Corroído

- Rota por exceso de carga
- Horquilla doblada por sobre calentamiento
- Horquilla doblada por exceso de carga
- Roto en agujeros de pasador

Abrazadera:

- Rota por exceso de carga
- Con filetes de roscas rotos
- Doblada por exceso de carga

Eje:

- Roto por exceso de carga
- Con estría rota por sobre carga
- Con plato doblado
- Doblado por sobrecarga

4.6 Análisis de Riesgo

Para realizar el análisis de riesgo se usó la tabla 23, en la cual se muestran un código de color:

- Verde: representa los modos que son menos críticos
- Amarillo: son los modos de falla de criticidad media
- Rojo: modos de falla con la criticidad más alta y de mayor atención.

En la tabla 24 también se muestran 4 categorías de consecuencias, que ayudan a visualizar la criticidad de un modo de falla:

- Humanas
- Ambientales
- Costos
- Imagen

Tabla 24. Matriz soporte análisis de riesgos.

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA	PROBABILIDAD						
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN		IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE	
Mas de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional	Catastrofico	1						
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	Nacional	Critico	2						
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	Regional	Marginal	3						
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M- .05M	Local	Insignificante	4						
Nunguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	Ninguno	Ninguno	5						
						> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes
						A	B	C	D	E	F

En la tabla 25 se muestra el análisis de riesgo realizado para cada uno de los modos de falla listados en el capítulo 4.4

Tabla 25. Análisis de riesgos tren de potencia.

Cód.. MF	Modo de Falla	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo Imagen	Valor del riesgo económico
HO01	Housing fisurado por sobre peso	D3	D4	D3	D4	\$ 3.761.489
HO02	Housing fisurado por fatiga	D3	D4	D3	D4	\$ 3.761.489
HO03	Housing fisurado en puntas por falta de grasa en rodamientos de las ruedas	D3	D4	D3	D4	\$ 3.761.489
HO04	Housing mal ensamblado con carcasa	D3	D4	D3	D4	\$ 5.550.737
HO05	Housing con rosca de agujeros tapones dañada	D3	D5	D3	D4	\$ 3.906.630
HO06	Housing mal ensamblado con ejes de las ruedas	D3	D5	D3	D3	\$ 3.761.489
HO07	Housing Roto por fisura interna	A2	A3	A2	A2	\$ 103.761.489

Cód.. MF	Modo de Falla	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo Imagen	Valor del riesgo económico
HO08	Housing Roto por impacto	D3	D3	D2	D2	\$ 73.761.489
HO09	Housing con roscas de agujeros rodadas	B3	B3	B3	B4	\$ 3.906.630
HO10	Punta Housing Rota por sobre esfuerzo.	D3	D3	D2	D2	\$ 103.761.489
TA10	Tapón sin asegurar con torque adecuado	B3	B5	B5	B4	\$ 16.800
TA11	Tapón con rosca dañada	B3	B5	B5	B4	\$ 161.935
RE12	Retenedor con ajuste innadecuado	D3	D5	D4	D4	\$ 362.656
RE13	Retenedor Aplastado por exceso de presión	D3	D5	D4	D4	\$ 362.656
PA12	Pasador doblado por exceso de carga	D3	D4	D4	D4	\$ 129.933
PA13	Pasador Roto por exceso de carga	D3	D4	D4	D4	\$ 129.933
PA14	Pasador Roto fisurado por apriete excesivo	D3	D4	D4	D4	\$ 129.933
TO15	Tornillo con rosca dañada	C3	C3	C4	C3	\$ 236.740
TO16	Tornillo desalineado por exceso de carga	C3	C3	C4	C3	\$ 236.740
TO17	Tornillo roto por exceso de carga	C3	C3	C4	C3	\$ 236.740
AR17	Arandela con diámetros desgastados por uso	C3	C3	C4	C4	\$ 658.111

Cód.. MF	Modo de Falla	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo Imagen	Valor del riesgo económico
AR18	Arandela pandeada por exceso de carga	C3	C3	C4	C4	\$ 658.111
TU19	Tuerca con rosca desgastada	A5	A5	A2	A4	\$ 100.066.254
CA21	Carcasa Fisurada	C3	C4	C3	C4	\$ 1.085.008
CA22	Agujeros carcasa con rosca dañada	C3	C5	C3	C5	\$ 1.085.008
CA23	Carcasa con soportes para diferencia desalineados	A4	A3	A3	A4	\$ 1.085.008
CA24	Carcasa con pandeo por distribución de cargas irregular	A3	A3	A3	A3	\$ 1.085.008
CA25	Carcasa deformada por tornillos apretados en desorden	B3	B3	B3	B3	\$ 6.212.443
EN26	Engranaje con dientes picados	D3	D3	D3	D3	\$ 6.212.443
EN27	Engranaje con dientes rotos	D3	D3	D3	D3	\$ 6.212.443
EN28	Engranajes desalineados	D3	D3	D3	D3	\$ 6.212.443
EN29	Engranajes sin lubricación.	D3	D3	D3	D3	\$ 6.212.443
EN30	Engranaje con dientes doblados	D3	D3	D3	D3	\$ 6.212.443
EN31	Engranaje corroído	D3	D3	D3	D3	\$ 6.212.443

Cód.. MF	Modo de Falla	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo Imagen	Valor del riesgo económico
EN32	Engranaje quemado por falta de lubricación	D3	D3	D3	D3	\$ 6.212.443
EN33	Engranaje agrietado por exceso de ajuste	D3	D3	D3	D3	\$ 9.423.412
RO34	Rodamiento quemado por falta de lubricación	D3	D3	D4	D3	\$ 864.358
RO35	Rodamiento con pistas desgastadas	D3	D3	D4	D3	\$ 864.358
RO36	Rodamiento con pistas identadas por elementos rodantes sometidos a carga excesiva	D3	D3	D4	D3	\$ 864.358
RO37	Rodamiento con Pistas fisuradas	D3	D3	D4	D3	\$ 864.358
RO38	Rodamiento con elementos rodantes deformados	D3	D3	D4	D3	\$ 864.358
RO39	Rodamiento con pistas desalineadas	D3	D3	D4	D3	\$ 864.358
RO40	Rodamiento excesivamente ajustado o precargado	D3	D3	D4	D3	\$ 864.358
RO41	Rodamiento desgastado por la corrosión	D3	D3	D3	D3	\$ 1.225.624
CA35	Caja rota por exceso de cargas	D3	D3	D3	D3	\$ 1.225.624

Cód.. MF	Modo de Falla	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo Imagen	Valor del riesgo económico
CA36	Caja con rosca de Agujeros deteriorada	D3	D3	D3	D3	\$ 1.225.624
CA37	Topes caja fisurados por exceso de carga	D3	D3	D3	D3	\$ 1.225.624
CA38	Caja rayada por impurezas en aceite	D3	D3	D3	D3	\$ 1.225.624
CA39	Caja pandeada por exceso de carga	C3	C3	C3	C3	\$ 1.225.624
EC01	Yoke y/o yugo del cardan torcido por excesiva carga	B5	B3	B4	B3	\$ 328.564
EC02	Agarrotamiento del eje cardan por angularidad fuera de especificaciones	B5	B3	B4	B3	\$ 554.672
EC03	Rodamientos de cruetas desgastados por contaminación.	D5	D3	D4	D3	\$ 524.609
EC04	Rodamiento de soporte desgastado por juego excesivo.	D5	D3	D4	D4	\$ 732.745
EC05	Tubo eje torcido por sobrecarga.	D3	D1	D1	D2	\$ 100.365.824

Cód.. MF	Modo de Falla	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo Imagen	Valor del riesgo económico
EC06	Elementos de fijación o piezas de las líneas de transmisión sueltas o faltantes.	D3	D1	D1	D2	\$ 100.365.824
EC07	Línea de transmisión con desbalance o doblada	D3	D1	D1	D2	\$ 100.365.824
EJ40	Eje doblado por exceso de carga	D3	D4	D4	D4	\$ 196.314
EJ41	Eje Doblado por caja desajustada	D3	D4	D4	D4	\$ 196.314
EJ42	Eje Roto por exceso de carga	D3	D4	D4	D4	\$ 196.314
TE43	Tenedor doblado por exceso de carga	C5	C5	C4	C4	\$ 196.314
TE44	Tenedor Roto por exceso de carga	C5	C5	C4	C4	\$ 116.174
TE45	Tenedor corroído	C5	C5	C4	C4	\$ 116.174
TE46	Horquilla tenedor rota por exceso de carga	C5	C5	C4	C4	\$ 116.174
TE47	Horquilla doblada por sobre calentamiento	C5	C5	C4	C4	\$ 116.174
TE48	Horquilla tenedor doblada por exceso de carga	C5	C5	C4	C4	\$ 116.174
TE49	Tenedor Roto en agujeros de pasador	C5	C5	C4	C4	\$ 116.174

Cód.. MF	Modo de Falla	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo Imagen	Valor del riesgo económico
AB50	Abrazadera rota por exceso de carga	B3	B3	B4	B3	\$ 402.400
AB51	Abrazaderas con filetes de roscas rotos	B3	B3	B4	B3	\$ 402.400
AB52	Abrazadera doblada por exceso de carga	B3	B3	B4	B3	\$ 402.400
EJ53	Eje roto por exceso de carga	D3	D3	D4	D3	\$ 603.600
EJ54	Eje con estría rota por sobre carga	D3	D3	D4	D3	\$ 603.600
EJ55	Eje con plato doblado	D3	D3	D4	D3	\$ 603.600
EJ56	Eje doblado por sobrecarga	D3	D3	D4	D3	\$ 603.600

4.7 Plan de mantenimiento: Tareas de mantenimiento, frecuencias y recursos necesarios

Con base en los costos de los riesgos y la frecuencia de mantenimiento establecida en Coca-Cola se han creado las tareas de mantenimiento, evaluado la necesidad de recursos materiales, herramientas y personal.

Los códigos fueron asignados de acuerdo a la falla funcional y los modos de falla, dejando finalmente un código alfanumérico de ocho posiciones, las cuales se acomodan con la codificación actual de tareas establecidas dentro del software administrativo en su módulo de mantenimiento.

En la tabla 26 se muestra el plan de mantenimiento general, en donde se encuentran filas que tiene la misma descripción de tareas, las cuales se consolidarán en las listas de chequeo a implementar con la incursión del método de

mantenimiento centrado en confiabilidad. En la primera columna se muestra el código de la tarea seguida de la descripción de la tarea, y las tres últimas columnas muestran los recursos necesarios para concluir las tareas como lo son: personal Herramientas y materiales.

Tabla 26. Plan de mantenimiento tren de potencia.

Cod. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (km)	Personal	Herramientas	Materiales
TR01HO01	Inspección visual de fugas	7.500	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR01HO02	Inspección visual de fugas	7.500	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR01HO03	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas,	7.500	1	Herramienta manual técnico, gatos de suspensión.	Grasa (0,5 Kg)
TR01HO04	Revisión de Torque de tornillos de sujeción entre Carcasa y Housing	7.500	1	Herramienta manual técnico, torquimetro, Lista de Chequeo del sistema	Tornillos (8)
TR01HO05	Inspección visual de fugas	15.000	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR01HO06	Inspección visual de fugas	15.000	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR02HO07	Inspección visual de fugas	7.500	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR02HO08	Inspección visual de fugas	3.750	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR02HO09	Revisión de Torque de tornillos de sujeción entre Carcasa y Housing	15.000	1	Herramienta manual técnico, torquimetro, Lista de Chequeo del sistema	Tornillos (8)
TR02HO10	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas, revisar elementos rodantes del rodamiento	3.750	1	Herramienta manual técnico, gatos de suspensión, Lista de Chequeo del sistema	Grasa (0,5 Kg)

Cod. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (km)	Personal	Herramientas	Materiales
TR03TA10	Inspección visual de fugas	30.000	1	Lista de Chequeo del Sistema, herramienta manual técnico	ninguno
TR03TA11	Inspección visual de fugas	30.000	1	Lista de Chequeo del Sistema	Tapón (1)
TR04RE12	Inspección visual de fugas, ajuste tornillos de eje ruedas.	15.000	1	Lista de Chequeo del Sistema, herramienta manual técnico	Retenedor (1)
TR04RE13	Inspección visual de fugas	15.000	1	Lista de Chequeo del Sistema	Retenedor (1)
TR05PA12	inspección rectitud pasador, accionamiento del bajo desde cabina y verificar desplazamiento de la rueda sol	7.500	1	Lista de Chequeo del Sistema, herramienta manual técnico	Pasador (1)
TR05PA13	Inspección visual de falla	7.500	1	Lista de Chequeo del sistema herramienta manual técnico	Pasador (1)
TR05PA14	Inspección visual de falla	7.500	1	Lista de Chequeo del sistema herramienta manual técnico	Pasador (1)
TR06TO15	soltar tornillos de acuerdo al orden del manual y verificar roscas mediante galgas	15.000	1	Lista de Chequeo del sistema herramienta manual técnico, galgas	Tornillos (8)
TR06TO16	soltar tornillos de acuerdo al orden del manual y verificar roscas mediante galgas	15.000	1	Lista de Chequeo del sistema herramienta manual técnico, galgas	Tornillos (8)
TR06TO17	soltar tornillos de acuerdo al orden del manual y verificar roscas mediante galgas	15.000	1	Lista de Chequeo del sistema herramienta manual técnico, galgas	Tornillos (8)
TR07AR17	Desmontar sistemas y revisar desgastes en todas las arandelas del sistema	30.000	1	Lista de Chequeo del Sistema, herramienta manual técnico	Juego de Arandelas (1), Aceite (14 cto)

Cod. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (km)	Personal	Herramientas	Materiales
TR07AR18	Desmontar sistemas y revisar planitud en todas las arandelas del sistema	30.000	1	Lista de Chequeo del Sistema, herramienta manual técnico	Juego de Arandelas (1), Aceite (14 cto)
TR08TU19	Soltar tuercas y revisar las roscas mediante galgas	30.000	1	Lista de Chequeo del sistema herramienta manual técnico, galgas	Juego de Tuercas (1)
TR09CA21	Inspección visual de fugas	30.000	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR09CA22	Inspección visual de fugas	30.000	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR09CA23	Desmontar carcasa y revisar torque de tornillos que aseguran abrazaderas con carcasa	30.000	1	Herramienta manual técnico, torquimetro, Lista de Chequeo del sistema	Juego de Tornillos (1), aceite (14 cto)
TR09CA24	Inspección visual de fugas	7.500	1	Lista de Chequeo del Sistema	ninguno
TR09CA25	Inspección visual de fugas, desmonte de carcasa y revisión de planitud	7.500	1	Herramienta manual técnico, torquimetro, Lista de Chequeo del sistema	Juego de Tornillos (1), aceite (14 cto)
TR10EN26	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)
TR10EN27	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)
TR10EN28	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)
TR10EN29	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)

Cod. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (km)	Personal	Herramientas	Materiales
TR10EN30	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)
TR10EN31	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)
TR10EN32	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)
TR10EN33	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)
TR11RO34	Desmontar carcasa y revisar estado de rodamientos	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)
TR11RO35	Desmontar carcasa y revisar juego en rodamientos	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)
TR11RO36	Desmontar carcasa y revisar posibles saltos en un giro de rodamiento	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)
TR11RO37	Desmontar carcasa y revisar juego en rodamientos	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)
TR11RO38	Desmontar carcasa y revisar juego en rodamientos	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)
TR11RO39	Desmontar carcasa y revisar juego en rodamientos	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)
TR11RO40	Desmontar carcasa y revisar estado de rodamientos	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)

Cod. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (km)	Personal	Herramientas	Materiales
TR11RO41	Desmontar carcasa y revisar estado de rodamientos	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)
TR12CA35	Desmontar carcasa y verificar estado de la caja	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de caja
TR12CA36	Desmontar carcasa y verificar estado de la caja, retirar tornillo y verificar estado de las roscas.	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de caja
TR12CA37	desmontar carcasa y verificar estado de los topes de la caja	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de caja
TR12CA38	desmontar carcasa y verificar estado de las paredes de la caja	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de caja
TR12CA39	desmontar carcasa y verificar planitud de la cara en donde se soporta la corona	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), juego de caja
TR18EC01	Revisión de alineación de las juntas por medio de comparador de caratula	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico , prensa	yoke (2)
TR18EC02	Verificar la angularidad indicada por fabricante del sistema cardan	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, transportador	Eje cardan (1)
TR18EC03	Desmante ejes cardan y evaluación de desgaste de rodamientos.	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico	Kit de rodamientos crucetas (1)
TR18EC04	desmante ejes y revisión de rodamientos	15.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico	Kit de rodamientos soportes (1)
TR18EC05	Verificar rectitud ejes	3.750	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, comparador de carátula	Eje cardan (1)

Cod. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (km)	Personal	Herramientas	Materiales
TR18EC06	inspección de torque de tornillos y piezas desajustadas	3.750	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico	Eje cardan (1), kit tornillos(1), Yoke (1)
TR18EC07	verificar alineación ejes y rodamientos	3.750		Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, comparador de carátula	kit rodamientos (1), eje cardan (1)
TR14EJ40	Desmontar carcasa, desarmar caja y verificar estado del eje	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Eje(1)
TR14EJ41	Desmontar carcasa, desarmar caja y verificar estado del eje	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Eje(1)
TR14EJ42	Desmontar carcasa, desarmar caja y verificar estado del eje	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Eje(1)
TR15TE43	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Tenedor (1)
TR15TE44	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Tenedor (1)
TR15TE45	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Tenedor (1)
TR15TE46	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Tenedor (1)
TR15TE47	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Tenedor (1)

Cod. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (km)	Personal	Herramientas	Materiales
TR15TE48	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Tenedor (1)
TR15TE49	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	30.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14 cto), Tenedor (1)
TR16AB50	Desmontar carcasa y revisar estado de las abrazaderas	15.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14cto), Abrazadera (2)
TR16AB51	Desmontar carcasa y revisar estado de las abrazaderas	15.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14cto), Abrazadera (2)
TR16AB52	Desmontar carcasa y revisar estado de las abrazaderas	15.000	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	Aceite (14cto), Abrazadera (2)
TR17EJ53	Retirar tornillos eje ruedas y retirar eje para ver su estado	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	aceite (14 cto), Eje ruedas (2)
TR17EJ54	Retirar tornillos eje ruedas y retirar eje para ver su estado	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	aceite (14 cto), Eje ruedas (2)
TR17EJ55	Retirar tornillos eje ruedas y retirar eje para ver su estado	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	aceite (14 cto), Eje ruedas (2)
TR17EJ56	Retirar tornillos eje ruedas y retirar eje para ver su estado	7.500	1	Lista de Chequeo sistema, herramienta manual técnico, torquimetro	aceite (14 cto), Eje ruedas (2)

5. ESTRATEGIA GERENCIAL PARA LA APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

La implementación del plan de mantenimiento impactará positivamente los resultados del área, contribuyendo al incremento de la disponibilidad y confiabilidad de la flota, gracias al sistema de tareas preventivas asignadas en las mismas frecuencias en las que un vehículo entra al taller para cambio de aceite de motor, buscando que las tareas se realicen en la misma parada del vehículo.

Se han creado unas listas de chequeo independientes para cada sistema con el fin de evaluar el tren de potencia de manera independiente y compararlo con los sistemas del vehículo para los cuales aún no se ha diseñado la herramienta.

5.1 Fallas por grupos de componentes

Después de analizar las carpetas de mantenimiento de 15 vehículos International HI466 se encontró la relación de fallas por componentes relacionadas en la tabla 27. Durante el intervalo entre enero de 2012 y lo que va corrido del año 2014 se encontraron 182 fallas, estas se clasificaron por grupos de componentes y se halló un promedio durante los tres años corridos, mostrando un promedio de fallas año 60,7. Los componentes que más fallan al año son los ejes de las ruedas y los retenedores, en su mayoría retenedores ubicados en los ejes de las ruedas. El elemento con menor frecuencia de falla es la carcasa con sólo 1 falla por año.

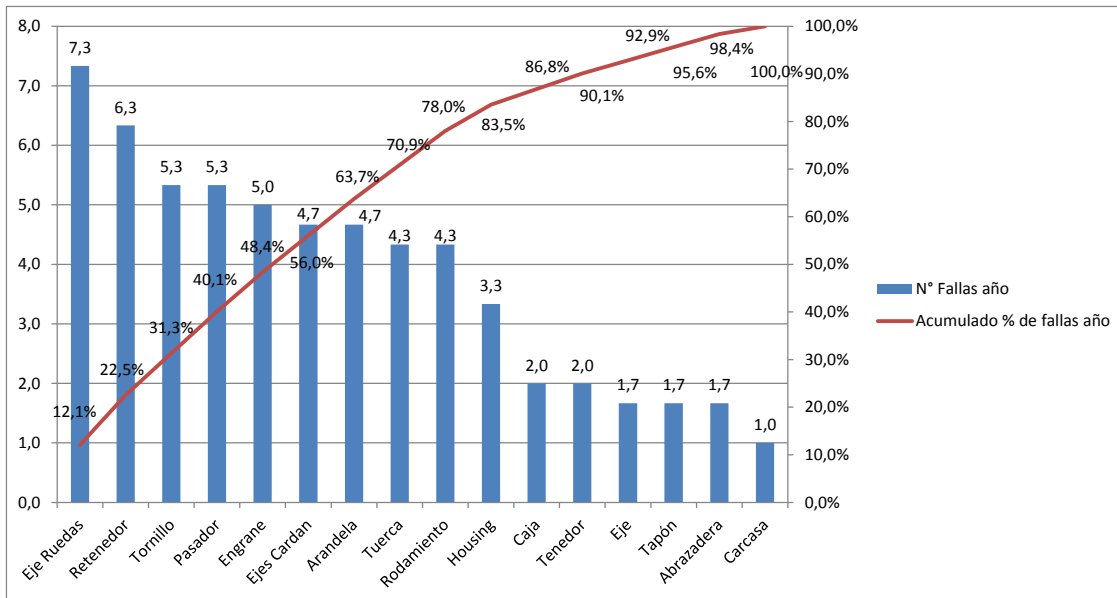
Tabla 27. Fallas registradas muestra de camiones seleccionados

Grupo de componentes	Cantidad de fallas 2012-2014	Total Fallas año	% fallas año	Acumulado % de fallas año
Eje Ruedas	22	7,3	12,1%	12,1%
Retenedor	19	6,3	10,4%	22,5%
Tornillo	16	5,3	8,8%	31,3%
Pasador	16	5,3	8,8%	40,1%
Engrane	15	5,0	8,2%	48,4%
Ejes Cardan	14	4,7	7,7%	56,0%
Arandela	14	4,7	7,7%	63,7%
Tuerca	13	4,3	7,1%	70,9%
Rodamiento	13	4,3	7,1%	78,0%
Housing	10	3,3	5,5%	83,5%
Caja	6	2,0	3,3%	86,8%
Tenedor	6	2,0	3,3%	90,1%
Eje	5	1,7	2,7%	92,9%
Tapón	5	1,7	2,7%	95,6%
Abrazadera	5	1,7	2,7%	98,4%
Carcasa	3	1,0	1,6%	100,0%
Total	182	60,7	100,0%	

5.1.1 Pareto de fallas por componentes

Al graficar los datos registrados en la tabla 27 se obtiene la figura 27, donde se observa que los componentes de mayor cantidad de fallas son los ejes de las ruedas y los retenedores, seguidos de elementos de sujeción como los tornillos y los pasadores que juegan un papel indispensable en el funcionamiento. Los engranes fallan 5 veces al año, es decir que entre, se reparan 5 diferenciales entre 15 camiones, una tasa muy alta.

Figura 27. Pareto tren de potencia



El 22,5% de las fallas son compartidas por los ejes de las ruedas y los retenedores convirtiéndose en los elementos críticos del sistema, para los otros elementos también se tiene una gran estrategia de trabajo buscando disminuir costos y aumentar los indicadores básicos del área: la confiabilidad y la disponibilidad de los camiones de reparto.

5.1.2 Impacto económico de las fallas

Debido al alto costo de los repuestos se tiene que anualmente se invierten \$78 millones en consecución de piezas pertenecientes al tren de potencia, sin contar la inversión en mano de obra, combustible de movilización de vehículos para atender varadas en la ruta, horas hombre adicionales, gestión de repuestos entre otras, es decir que el sistema requiere de una alta inyección de capital, talento humano y logística, e impacta fuertemente los resultados del área. Ver tabla 28.

Las fallas pueden causar efectos catastróficos como se muestran en numeral 4.5, generando pérdidas millonarias, incluso pueden causar lesiones y cobrar vidas

humanas, además de generar pérdidas en ventas proyectadas, o producto que se pierde en casos de accidentes, mal manejo de inventarios, entre otros, lo que significa un aumento de funciones y carga laboral para diferentes cargos en las diferentes áreas que dan el flujo normal a la operación de distribución y reparto de Coca-Cola FEMSA.

Para disminuir las fallas se ha creado un plan estratégico de inspección y seguimiento del sistema buscando llevarlos a intervalos de falla más prolongados generando un impacto positivo en todos los niveles jerárquicos de la compañía relacionados con el área de mantenimiento automotor.

5.1.3 Resultados esperados con la implementación del método

Se ha pactado con la empresa un número anual de fallas esperado con la implementación del nuevo método, esto se discrimino por grupos de componentes buscando llevar las fallas al 28% de las fallas actuales, de 60,7 fallas por año a 16,7, esto generará grandes ahorro en materiales y repuestos así como en mano de obra. Esto proyecta un ahorro anual del 81%, equivalente a \$62 millones. Ver tabla 28.

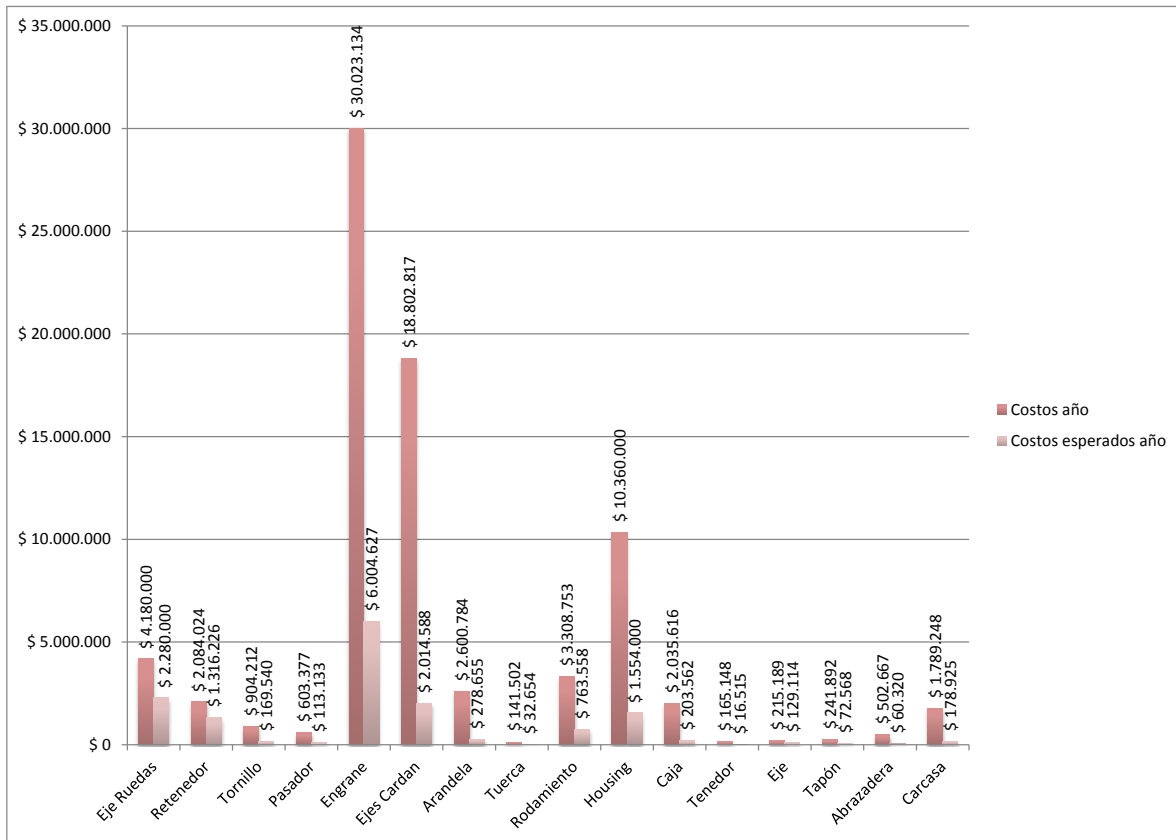
Tabla 28. Costos y resultados esperados

Grupo de componentes	Costo de repuestos	Total Fallas año	Costos año	Fallas esperadas con RCM	Costos esperados año	Ahorro	% ahorro
Eje Ruedas	\$ 570.000	7,3	\$ 4.180.000	4	\$ 2.280.000	\$ 1.900.000	45%
Retenedor	\$ 329.056	6,3	\$ 2.084.024	4	\$ 1.316.226	\$ 767.798	37%
Tornillo	\$ 169.540	5,3	\$ 904.212	1	\$ 169.540	\$ 734.672	81%
Pasador	\$ 113.133	5,3	\$ 603.377	1	\$ 113.133	\$ 490.244	81%
Engrane	\$ 6.004.627	5,0	\$ 30.023.134	1	\$ 6.004.627	\$ 24.018.507	80%
Ejes Cardan	\$ 4.029.175	4,7	\$ 18.802.817	0,5	\$ 2.014.588	\$ 16.788.229	89%
Arandela	\$ 557.311	4,7	\$ 2.600.784	0,5	\$ 278.655	\$ 2.322.128	89%
Tuerca	\$ 32.654	4,3	\$ 141.502	1	\$ 32.654	\$ 108.848	77%
Rodamiento	\$ 763.558	4,3	\$ 3.308.753	1	\$ 763.558	\$ 2.545.195	77%
Housing	\$ 3.108.000	3,3	\$ 10.360.000	0,5	\$ 1.554.000	\$ 8.806.000	85%
Caja	\$ 1.017.808	2,0	\$ 2.035.616	0,2	\$ 203.562	\$ 1.832.054	90%
Tenedor	\$ 82.574	2,0	\$ 165.148	0,2	\$ 16.515	\$ 148.633	90%
Eje	\$ 129.114	1,7	\$ 215.189	1	\$ 129.114	\$ 86.076	40%
Tapón	\$ 145.135	1,7	\$ 241.892	0,5	\$ 72.568	\$ 169.324	70%
Abrazadera	\$ 301.600	1,7	\$ 502.667	0,2	\$ 60.320	\$ 442.347	88%
Carcasa	\$ 1.789.248	1,0	\$ 1.789.248	0,1	\$ 178.925	\$ 1.610.323	90%
Total	\$ 19.142.533	60,7	\$ 77.958.362	16,7	\$ 15.187.983	\$ 62.770.379	81%

Se puede notar en la figura 28, que el mayor ahorro se logra en el grupo de componentes de engranajes, alrededor de \$24 millones anuales, seguido de los ejes cardan con \$17 millones por año y en tercer lugar las reparaciones de Housing buscando un ahorro proyectado de \$9 millones.

Al implementar el método se encontrarán algunos obstáculos, pero las cifras de ahorro son motivantes para el grupo y retadores para las cabezas de área, lo que hará que el grupo de trabajo se integre y aumente su calidad de trabajo en equipo, sin dejar de lado que hará el área más rentable y confiable.

Figura 28. Costos año vs costos esperados año



El dinero ahorrado se invertirá en repotenciación de vehículos, reparación de vehículos inmovilizados por falta de presupuesto, y dar una nueva imagen a los camiones antiguos, pintándolos y colocándoles las calcomanías actualizadas de la compañía.

5.2 Actividades y rutinas de mantenimiento

Con el fin de implementar las rutinas de mantenimiento se han diseñado cuatro listas de chequeos para aplicar en diferentes kilometrajes (3.750, 7.500, 15.000 y 30.000 kilómetros), frecuencias en las que el vehículo entra a una revisión de motor, el cambio de aceite del motor se realiza cada 7500 km, es decir que cada vez que el camión entre al taller se realizarán todas las tareas de mantenimiento creadas con la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad.

5.2.1 Listas de chequeo del sistema

Las listas de chequeo diseñadas se aplicarán teniendo en cuenta la tabla 29.

Tabla 29. Frecuencia de implementación listas de chequeo.



Kilometraje	lista de chequeo 3.750 Km	lista de chequeo 7.500 Km	lista de chequeo 15.000 Km	Lista de chequeo 30.000 Km
3.750	✓			
7.500	✓	✓		
11.250	✓			
15.000	✓	✓	✓	
18.750	✓			
22.500	✓	✓		
26.250	✓			
30.000	✓	✓	✓	✓

La lista de chequeo de 3.750 Km se aplicará cada vez que un vehículo entre al taller, la lista de 7.500 Km se origina a partir de la lista de 3.750 Km, pero se adicionan tareas que no tienen la misma criticidad de las primeras tareas. Este mismo fenómeno se repite con las listas de 15.000 Km reunión de la lista de 7.500 Km y actividades extra, para finalmente tener la lista de chequeo de 30.000 Km que

reúne todas las actividades de las listas anteriores y es el consolidado de la metodología diseñada para el tren de potencia.

En la figura 29 se muestra la lista de chequeo de 3.500 Km, en la cual se registraron las actividades que podrían generar los efectos de falla más críticos. De acuerdo al estado de los componentes visualizados se tomará la decisión en conjunto con el grupo de trabajo registrado en la lista.

Figura 29. Lista de chequeo 3.500 Km

MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
LISTA DE CHEQUEO 3.500 KM

Región _____ Conductor _____

Placa Camión _____ Kilometraje _____

Herramienta: Herramienta Manual _____ Técnico _____

Gatos de suspensión _____

Comparador de carátulas _____

Cod. Tarea	Descripción tarea	Materiales Recomendados	Estado	Decisiones posteriores
TR02HO08	Inspección visual de fugas	ninguno		
TR02HO10	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas, revisar elementos rodantes del rodamiento	Grasa (0,5 Kg)		
TR18EC05	Verificar rectitud ejes	Eje cardan (1)		
TR18EC06	inspección de torque de tornillos y piezas desajustadas	Eje cardan (1), kit tornillos(1), Yoke (1)		
TR18EC07	verificar alineación ejes y rodamientos	kit rodamientos (1), eje cardan (1)		

Firma _____

Nombre técnico

Firma _____



Líder de mantenimiento

Firma _____

Jefe de mantenimiento

La lista de Chequeo de 7.000 Km se presenta en la figura 30. En donde se incluyen las tareas registradas en la lista de 3.500 km, y se han incluido tareas de menor criticidad, pero con una importancia bastante alto para evitar modos de falla críticos.

Figura 30. Lista de chequeo 7.000 Km

MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
LISTA DE CHEQUEO 7.000 KM

Región _____ Conductor _____
 Placa Camión _____ Kilometraje _____
 Herramientas Herramienta Manual _____ Técnico _____
 Gatos de suspensión _____
 Comparador de carátulas _____
 Torquímetro _____

Cod. Tarea	Descripción tarea	Materiales	Estado	Decisiones posteriores
TR02HO08	Inspección visual de fugas	ninguno		
TR02HO10	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas, revisar elementos rodantes del rodamiento	Grasa (0,5 Kg)		
TR18EC05	Verificar rectitud ejes	Eje cardan (1)		
TR18EC06	inspección de torque de tornillos y piezas desajustadas	Eje cardan (1), kit tornillos(1), Yoke (1)		
TR18EC07	verificar alineación ejes y rodamientos	kit rodamientos (1), eje cardan (1)		
TR01HO03	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas,	Grasa (0,5 Kg)		
TR01HO04	Revisión de Torque de tornillos de sujeción entre Carcasa y Housing	Tornillos (8)		
TR02HO07	Inspección visual de fugas	ninguno		
TR05PA12	inspección rectitud pasador, accionamiento del bajo desde cabina y verificar desplazamiento de la rueda sol	Pasador (1)		
TR05PA14	Inspección visual de deformación o ruptura	Pasador (1)		
TR09CA25	Inspección visual de fugas, desmonte de carcasa y revisión de planitud	Juego de Tornillos (1), aceite (14 cto)		
TR10EN26	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)		
TR11RO34	Desmontar carcasa y revisar estado de rodamientos	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)		
TR12CA36	desmontar carcasa y verificar estado de la caja, retirar tornillo y verificar estado de las roscas.	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA37	demontar carcasa y verificar estado de los topes de la caja	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA38	desmontar carcasa y verificar estado de las paredes de la caja	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA39	desmontar carcasa y verificar planitud de la cara en donde se soporta la corona	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR14EJ40	Desmontar carcasa, desarmar caja y verificar estado del eje	Aceite (14 cto), Eje(1)		
TR17EJ53	Retirar tornillos eje ruedas y retirar eje para ver su estado	aceite (14 cto), Eje ruedas (2)		

Firma _____ Firma _____
 Nombre técnico _____ Líder de mantenimiento _____



Firma _____
 Jefe de mantenimiento _____

Figura 31. Lista de chequeo 15.000 Km

Cod. Tarea	Descripción tarea	Materiales	Estado	Decisiones posteriores
TR02HO08	Inspección visual de fugas	ninguno		
TR02HO10	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas, revisar elementos rodantes del rodamiento	Grasa (0,5 Kg)		
TR18EC05	Verificar rectitud ejes	Eje cardan (1)		
TR18EC06	inspección de torque de tornillos y piezas desajustadas	Eje cardan (1), kit tornillos(1), Yoke (1)		
TR18EC07	verificar alineación ejes y rodamientos	kit rodamientos (1), eje cardan (1)		
TR01HO03	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas,	Grasa (0,5 Kg)		
TR01HO04	Revisión de Torque de tornillos de sujeción entre Carcasa y Housing	Tornillos (8)		
TR05PA12	inspección rectitud pasador, accionamiento del bajo desde cabina y verificar desplazamiento de la rueda sol	Pasador (1)		
TR05PA14	Inspección visual de deformación o ruptura	Pasador (1)		
TR09CA25	Inspección visual de fugas, desmonte de carcasa y revisión de planitud	Juego de Tornillos (1), aceite (14 cto)		
TR10EN26	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)		
TR11RO34	Desmontar carcasa y revisar estado de rodamientos	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)		
TR12CA36	desmontar carcasa y verificar estado de la caja, retirar tornillo y verificar estado de las roscas.	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA37	demontar carcasa y verificar estado de los topes de la caja	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA38	desmontar carcasa y verificar estado de las paredes de la caja	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA39	desmontar carcasa y verificar planitud de la cara en donde se soporta la corona	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR14EJ40	Desmontar carcasa, desarmar caja y verificar estado del eje	Aceite (14 cto), Eje(1)		
TR17EJ53	Retirar tornillos eje ruedas y retirar eje para ver su estado	aceite (14 cto), Eje ruedas (2)		
TR02HO09	Revisión de Torque de tornillos de sujeción entre Carcasa y Housing	Herramienta manual técnico, torquimetro, checklist del sistema		
TR04RE12	Inspección visual de fugas, ajuste tornillos de eje ruedas.	Checklist del Sistema, herramienta manual técnico		
TR06TO15	soltar tornillos de acuerdo al orden del manual y verificar roscas mediante galgas	checklist del sistema herramienta manual técnico, galgas		
TR18EC04	desmante ejes y revisión de rodamientos	checklist sistema, herramienta manual técnico		
TR16AB52	Desmontar carcasa y revisar estado de las abrazaderas	Checklist sistema, herramienta manual técnico, torquimetro		

Firma _____	Firma _____
Nombre técnico	Lider de mantenimiento
Firma _____	_____
Jefe de mantenimiento	

Figura 32. Lista de chequeo 30.000 Km

 		MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ LISTA DE CHEQUEO 30.000 KM		
Región	_____	Conductor	_____	
Placa Camión	_____	Kilometraje	_____	
Herramientas	Herramienta Manual _____	Técnico	_____	
	Gatos de suspensión _____			
	Comparador de carátulas _____			
	Torquimetro _____			
	Galgas para roscas _____			
Cod. Tarea	Descripción tarea	Materiales	Estado	Decisiones posteriores
TR02HO08	Inspección visual de fugas	ninguno		
TR02HO10	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas, revisar elementos rodantes del rodamiento	Grasa (0,5 Kg)		
TR18EC05	Verificar rectitud ejes	Eje cardan (1)		
TR18EC06	inspección de torque de tornillos y piezas desajustadas	Eje cardan (1), kit tornillos(1), Yoke (1)		
TR18EC07	verificar alineación ejes y rodamientos	kit rodamientos (1), eje cardan (1)		
TR01HO03	Desmontar llantas, engrasar rodamientos de las ruedas,	Grasa (0,5 Kg)		
TR01HO04	Revisión de Torque de tornillos de sujeción entre Carcasa y Housing	Tornillos (8)		
TR05PA12	inspección rectitud pasador, accionamiento del bajo desde cabina y verificar desplazamiento de la rueda sol	Pasador (1)		
TR05PA14	Inspección visual de deformación o ruptura	Pasador (1)		
TR09CA25	Inspección visual de fugas, desmonte de carcasa y revisión de planitud	Juego de Tornillos (1), aceite (14 cto)		
TR10EN26	Desmontar carcasa y revisar estado de engranes	Aceite (14 cto), juego de engranes (1)		
TR11RO34	Desmontar carcasa y revisar estado de rodamientos	Aceite (14 cto), juego de rodamientos (1)		
TR12CA36	desmontar carcasa y verificar estado de la caja, retirar tornillo y verificar estado de las roscas.	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA37	demontar carcasa y verificar estado de los topes de la caja	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA38	desmontar carcasa y verificar estado de las paredes de la caja	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR12CA39	desmontar carcasa y verificar planitud de la cara en donde se soporta la corona	Aceite (14 cto), juego de caja		
TR14EJ40	Desmontar carcasa, desarmar caja y verificar estado del eje	Aceite (14 cto), Eje(1)		
TR17EJ53	Retirar tornillos eje ruedas y retirar eje para ver su estado	aceite (14 cto), Eje ruedas (2)		
TR02HO09	Revisión de Torque de tornillos de sujeción entre Carcasa y Housing	Herramienta manual técnico, torquimetro, checklist del sistema		
TR04RE12	Inspección visual de fugas, ajuste tornillos de eje ruedas.	Checklist del Sistema, herramienta manual técnico		
TR06TO15	soltar tornillos de acuerdo al orden del manual y verificar roscas mediante galgas	checklist del sistema herramienta manual técnico, galgas		
TR18EC04	desmonte ejes y revisión de rodamientos	checklist sistema, herramienta manual técnico		
TR16ABS2	Desmontar carcasa y revisar estado de las abrazaderas	Checklist sistema, herramienta manual técnico, torquimetro		
TR07AR17	Desmontar sistemas y revisar desgastes en todas las arandelas del sistema	Juego de Arandelas (1), Aceite (14 cto)		
TR08TU19	Soltar tuercas y revisar las roscas mediante galgas	Juego de Tuercas (1)		
TR09CA23	Desmontar carcasa y revisar torque de tornillos que aseguran abrazaderas con carcasa	Juego de Tornillos (1), aceite (14 cto)		
TR18EC01	Revisión de alineación de las juntas por medio de comparador de caratula	yoke (2)		
TR18EC02	Verificar la angularidad indicada por fabricante del sistema cardan	Eje cardan (1)		
TR15TE43	desmontar bajo, retenedor de la rueda sol y verificar el estado del tenedor	Aceite (14 cto), Tenedor (1)		

En la figura 31 se relaciona la lista de chequeo para 15.000Km la cuál maneja la misma metodología que las listas de chequeo presentadas en las figuras 29 y 30. La lista de chequeo para 30.000Km, Figura 32 ha sido diseñada de la misma forma que las listas anteriores, en la figura 32 se omiten las firmas debido a la longitud de la misma.

5.2.3 Funciones de mantenimiento

Las funciones de mantenimiento adicionales con el método se realizarán al mismo tiempo que se realizan los mantenimientos registrados en el sistema. Las actividades de inspección y revisión de elementos serán realizados por el técnico, la evaluación de fallas y decisiones a tomar dependiendo de la falla encontrada serán decididas por el líder de mantenimiento y el técnico de mantenimiento. Finalmente el jefe de mantenimiento dará la aprobación para retirar los elementos del taller de acuerdo al presupuesto mensual asignado.

Por otro lado, la compañía tiene contratado el servicio de auditoría de flota, las tareas de inspección visual se realizarán 2 veces en el día gracias al auditor, cuando el vehículo sale de la planta y cuando llega, generalmente fugas o rupturas, lo cual dará un seguimiento continuo a cada vehículo y retroalimentará el mantenimiento centrado en confiabilidad del tren de potencia.

La compañía ha decidido contratar un proveedor que realice el lavado de los vehículos una vez cada 15 días, lo que facilitará la detección de fugas e irregularidades en el sistema.

5.2.4 Integración con software de mantenimiento

Los códigos de las tareas registradas fueron creadas teniendo en cuenta el sistema de registro en el módulo de mantenimiento PM en SAP para llevar un control adecuado de las fallas y una tendencia a partir de la implementación del método.

Debido a que el entorno SAP trae toda la información asociada al código, no será una tarea que complique, ni sea carga laboral adicional para el analista de mantenimiento de la región. El registro de esta información servirá como método de control.

La lista de tareas resultantes de los modos de falla fue entregada al área de sistemas de la compañía con el fin de crearlas e implementar el método con prontitud.

5.3 mantenimiento predictivo recomendado

Análisis de aceites

Gracias a que Coca-Cola es cliente de Exxonmobil, tienen acceso al sistema Signum de evaluación de muestras de aceite. Esto permitirá que se evalúe constantemente el estado del aceite y la tendencia de contaminación para cada uno de los vehículos.

Se capacitará al personal técnico en la extracción de muestras de aceite con vampiro con el fin de tomar una muestra de aceite en cada ingreso al taller.

Coca-Cola evaluará el progreso y el comportamiento de los aceites de los vehículos con el fin de disminuir las tareas de las listas de chequeo y que cada el método sea más sencillo debido a la implementación de estrategias predictivas.

Análisis de vibraciones

Se recomienda realizar monitoreo de vibraciones en las partes rotativas del diferencial en los apoyos del eje de entrada de la diferencial, a su vez los

rodamientos del Housing, en los ejes a la salida del tren trasero. Con el análisis de vibraciones se establece la medición base cuando se tiene certeza que el diferencial se encuentra con su funcionalidad normal y/o sale de un mantenimiento preventivo y/o correctivo bien desarrollado.

Para ejecutar las mediciones es necesario definir los puntos de medición donde los más indicados son los rodamientos de la diferencial, esta medición se realiza instalando sensores de vibración (acelerómetros) sobre la carcasa muy cercano a los rodamientos donde toda la información dinámica se ve reflejada allí, en estos puntos. Aquí se identifican problemas asociados como: problemas de engranajes, rodamientos, posibles desbalanceo o desalineación procedente del eje cardan, problemas de pérdida de película lubricante, soltura mecánica debido a desajustes internos. Actualmente se cuenta con colectores de vibración que realizan las tareas de monitoreo en línea mientras el vehículo se desplaza por sus rutas de reparto con el propósito de evaluar su comportamiento dinámico frente a las carreteras, además es importante establecer un patrón de comportamiento para adoptar una tendencia, para el diferencial se recomienda una frecuencia de monitoreo de 30 días y llevar un historial de medición. Establecer los límites de alarma de valores de vibración con un nivel de precaución y de peligro; es un paso que se realizará en el tiempo a medida que se recoja historial de mediciones y de mantenimiento, para obtener suficientes datos (valores globales de vibración) y así realizar un diagnóstico más asertivo en el sistema.

Para ver los resultados de la medición se genera o diseña un reporte indicando los datos técnicos de los vehículos, espectros y ondas en el tiempo, grafica de tendencias de sus valores de vibración, y un diagnostico describiendo el fenómeno dinámico y si se observa con comportamiento atípico se emiten una serie de recomendaciones para tomar acciones correctivas para restablecer el estado funcional del sistema.

6. CONCLUSIONES

Se estableció un plan de mantenimiento de rutinas preventivas, con 4 listas de chequeo básicas, las cuales impactarán positivamente el flujo normal de la operación y los resultados de las áreas relacionadas con mantenimiento.

Se determinó el comportamiento, el contexto operativo del sistema dentro de las fronteras, además se discriminó el sistema por grupos de componentes y para cada uno se determinó su comportamiento estableciendo funciones, el contexto operativo dentro del sistema y su impacto social, económico, ambiental y humano.

Se determinó el estado actual de los trenes de la flota mediante la recopilación y análisis de una muestra de 15 vehículos de la flota, mediante el método de conteo de fallas en un periodo determinado, allí se evidenció la alta criticidad del sistema, mostrando 60,7 fallas al año, equivalentes a \$78 millones de pesos.

Se diagnosticó el sistema mediante un análisis de modos de fallas y causa-efecto (FMECA), entregando los parámetros de entrada para realizar la estrategia de mantenimiento basada en el mantenimiento centrado en confiabilidad.

La implementación del método desarrollado con el mantenimiento centrado en confiabilidad para tren de potencia de vehículos de reparto generará un ahorro importante para la empresa el cual será usado para recuperar vehículos inmovilizados y camiones que se encuentran en mal estado.

Se espera un ahorro anual de \$62 millones gracias a la implementación del método, además de un incremento en la disponibilidad y la confiabilidad de los vehículos.

Se estableció un número determinado de fallas anuales (16,7), teniendo en cuenta que hay fallas ocultas y que no son visibles durante las inspecciones. La gerencia espera que el método lleve las fallas a cero durante los próximos tres años.

El mayor ahorro se generará gracias a la disminución de las reparaciones y el cambio de engranes dentro del diferencial, los cuales representan \$24 millones de ahorro para la muestra de vehículos seleccionada.

Realizar la extracción de muestras de aceite en cada una de las entradas de los vehículos a taller, hará que se tenga un historial del vehículo y que se pueda llegar a determinar la vida útil del aceite, dependiendo de las condiciones a las que se somete cada camión, generando un ahorro incremental al ahorro esperado.

Las rutinas de inspección y seguimiento preventivo ayudará a disminuir la cantidad de lesionados, heridos y pérdidas humanas anuales, dándole un gran valor agregado a los indicadores del área de recursos humanos.

Los riesgos ambientales disminuirán casi hasta erradicarlos por el exhaustivo control de fugas, diseñado con base en el método de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Gracias a la contratación de un proveedor para que realice el lavado de los vehículos, se facilitará la detección de golpes, rayones y fugas en el sistema.

Las listas de chequeo diseñadas facilitarán la interacción de los técnicos de mantenimiento con el sistema, además el incremento de funciones será casi imperceptible gracias a que se usaron las mismas frecuencias de mantenimiento en las que se inspecciona y se le cambia el aceite al motor.

BIBLIOGRAFIA

ABELLA GONZÁLEZ, Carlos Augusto, DE LA ROSA MERCADO, Álvaro Fabio, VARELA SUÁREZ, Emilio. Diseño de plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM para la flota de motoniveladoras 24M en la mina Drumond. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2012. 135 p

ARIZA RINCÓN, Albert Jair. Aplicación de RCM a la flota de taladros de voladura en la empresa Carbones Colombianos del Cerrejón. S.A. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2008. 166 p

ARZUAGA CHURIO, José Elías. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa minera DRUMMOND LTDA. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2011. 121 p

CUERVO RUBIANO, Jhon y TORRES LEON, Carlos Andres. Modelo Gerencial para la flota de distribución de Bavaria S.A "SABMILLER". Trabajo de grado especialista en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2012. 180 p

Detroit Diesel Corporation. Manual del Operador del 2007 Motor MBE 900. Michigan, 2009. Disponible en: <<http://www.ddcsn.com/cps/rde/xbcr/ddcsn/DDC-SVC-MAN-0048.pdf>>.

ESPEJO MORA, Edgar y MARTINEZ, Juan Carlos. Modos de Falla Comunes en Engranajes. Grupo de investigación AFIS. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2023293/und_3/pdf/engranajes.pdf>

Freightliner. Ficha técnica motor MBE 900. México. Consultado en Abril 2014. Disponible en: <http://www.freightliner.com.mx/productos_motores_9002.php?id=m2&idm=m20>.

MARTINS E, Marcelo. Artículo sobre Análisis de Falla en rodamientos. Disponible en: <http://www.ingdatr.com.ar/pdf/007_analisis_de_fallas_de_rodamientos.pdf>.

MENDOZA AMADOR Daniel. I-RCM Una nueva perspectiva. [Consultado 13 Marzo 2014]. Disponible en < www.wal-eng.com>.

Mercedes Benz. Transmisión Mercedes - Benz en Unidades Business Class M2. México, 2003. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/189609581/Transmision-Mercedes-Benz-en-Unidades-Business-Class-M2>>.

MOUBRAY, Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p.

ORTIZ PLATA, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC Guía Práctica. Bogotá, 2013. 29 p

RODRIGUEZ BARRERO Ofer. Modelo Gerencial para Flotas de transporte de Carga. Trabajo de grado especialista en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2006. 83 p

SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineering, 1999.

SAE JA1012, A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) Standard. Society of Automotive Engineering, 2002.

Universidad Nacional de Colombia. Curso Virtual Análisis de Falla. Bogotá. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2023293/und_3/html/cont_02.html>