

**DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADA EN
CONFIABILIDAD RCM PARA LA FLOTA DE TRACTOCAMIONES KENWORTH
T660 Y T800 DE LA EMPRESA ENLACE LOGÍSTICO DE CARGAS S.A.S**

BRANDON LEONEL MANTILLA CAICEDO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2018**

**DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADA EN
CONFIABILIDAD RCM PARA LA FLOTA DE TRACTOCAMIONES KENWORTH
T660 Y T800 DE LA EMPRESA ENLACE LOGÍSTICO DE CARGAS S.A.S**

BRANDON LEONEL MANTILLA CAICEDO

**Trabajo de grado para optar por el título de
INGENIERO MECANICO**

Director

Ing. ROSSVAN JOHAN PLATA V.

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2018**

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a Dios por permitirme gozar de la vida, a mi abuela Flor Angela de Mantilla por su gran amor y formación, a mis padres Leonel Augusto Mantilla y Martha Cecilia Caicedo por su esfuerzo y apoyo, a mi hermana Brigitte Angelica Mantilla por siempre estar a mi lado, a mis tíos Tulio García y Armando Mantilla por su enorme afecto, entrega e infinita generosidad, a mi novia Diana Milena Vesga Ferreira por alentarme siempre y apoyar mis sueños. Jamás tendré suficientes palabras para expresar mi afecto y gratitud a todos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a todas las personas ofrecieron su esfuerzo y soporte para el desarrollo del proyecto.

Al Ing. Rossvan Johan Plata Villamizar, director el proyecto por su ejemplo, apoyo y acompañamiento para el desarrollo del trabajo.

A la empresa Enlace Logístico de cargas S.A.S, su jefe del departamento de mantenimiento Ing. Víctor Alfonso Bermúdez, por su gran colaboración y ayuda para el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Juan Sebastián Dugarte Mendoza, profesor de la UPB por su confianza y colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	6
1. PRESENTACIÓN DE LA COMPAÑÍA.....	12
1.1. ELC Enlace Logístico de cargas S.A.S.....	12
1.2. Política de Gestión integral de la compañía.....	12
1.3. Misión	12
1.4. Visión	13
1.5. Reseña Histórica de la compañía	13
1.6. Objetivos corporativos	15
1.7. Ubicación geográfica	15
1.8. Estructura organizacional.....	16
2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	17
3. JUSTIFICACION	18
4. OBJETIVOS	19
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
5. MARCO TEORICO.....	20
5.1. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	20
5.1.1. Fases del RCM.....	21
5.1.2. Fase 1 definición de funciones.....	21
5.1.2.1 Funciones primarias	22
5.1.2.2 Funciones secundarias.....	22
5.1.3 Fase 2 identificación de fallas funcionales.....	22
5.1.3.1 Fallas funcionales.....	23
5.1.3.2 Fallas totales y parciales.....	23
5.1.4 Fase 3 identificación de modos de falla.....	23
5.1.4.1 Investigación de los modos de falla	24
5.1.4.1 Tipos de modos de falla	24
5.1.5 Fase 4 efectos de modos de fallo.....	25
5.1.6 Fase 5 determinación de consecuencias.....	26
5.1.7 Fase 6 tareas de mantenimiento y obtención de RCM.....	27
5.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	28
5.2.1. Mantenimiento correctivo.....	28
5.2.2. Mantenimiento predictivo.....	29
5.2.3. Mantenimiento preventivo.....	30
5.3 NORMA INTERNACIONAL SAE J1739	30
5.3.1. Escala de parámetros.....	32
5.2.1.3 Criterios de evaluación de detección.....	35
5.3.2 Numero de prioridad de riesgos (RPN).....	36
6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPOS.....	37
6.1 KENWORTH T800	37
6.1.1 Sistemas de motor	38

6.1.2 sistema de transmisión	46
6.1.3 Sistema de frenos	52
6.2 KENWORTH T660	57
6.2.1 Sistemas de motor	58
6.2.2 Sistema de transmisión.....	64
6.2.3 Sistema de frenos	68
7. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM.....	71
7.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO KENWORTH T800	73
7.1.1 Sistema eléctrico	73
7.1.2 Sistema de frenos	75
7.1.3 Sistema de inyección de combustible	79
7.1.4 Sistema de lubricación	81
7.1.5 Sistema de admisión de aire.....	83
7.1.6 Sistema de enfriamiento.....	85
7.1.7 Sistema de transmisión.....	87
7.1.8 Bloque de motor (mantenimiento mayor).....	92
7.1.9 Bloque de motor (mantenimiento menor).....	94
7.2 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO KENWORTH T660	96
7.2.1 Sistema eléctrico	96
7.2.2 Sistema de frenos	98
7.2.3 Sistema de inyección de combustible	102
7.2.4 Sistema de admisión de aire.....	104
7.2.5 Sistema de enfriamiento.....	106
7.2.6 Sistema de lubricación	108
7.2.7 Sistema de transmisión.....	110
7.2.8 Bloque de motor (mantenimiento Mayor).....	115
7.2.9 Bloque de cilindros (mantenimiento menor).....	117
8. CONCLUSIONES	119
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa.....	15
Figura 2. Organización de la empresa	16
Figura 3. Modulo de inyección ISFM.....	38
Figura 4. Bomba de lubricación	42
Figura 5. Sistema de enfriamiento de motor	43
Figura 6. Turbo cargador motor ISX	45
Figura 7. Sección transversal del turbo cargador.....	45
Figura 8. Trenes de engranajes Eaton Fuller 16915.....	46
Figura 9. Media caja Eaton Fuller 16915	47
Figura 10. Sistema neumático Eaton Fuller 16915	48
Figura 11. Conjunto prensa embrague	49
Figura 12. Sistema de engrane diferencial	51
Figura 13. Corona del diferencial T800.....	51
Figura 14. Sistema planetario del diferencial	52
Figura 15. Sistema de frenos neumáticos Bendix.....	53
Figura 16. Cámara de freno mayor	55
Figura 17. Sistema de bandas de freno	56
Figura 18. Diagrama de flujo de combustible ISM	58
Figura 19. Flujo de lubricante ISM	59
Figura 20. Flujo de lubricante por el turbo cargador	60
Figura 21. Flujo de lubricante en el enfriador de aceite	61
Figura 22. Flujo de refrigerante ISM	62
Figura 23. Flujo de gases por el turbo cargador	63
Figura 24. Caja de transmisión Eaton Fuller 16918.....	65
Figura 25. Mecanismo de prensa embrague	66
Figura 26. Distribución de potencia en los diferenciales	67
Figura 27. Sistema de frenos Bendix tractocamiones.....	68

Figura 28. Sistema de bandas de freno II69
Figura 29. Plantilla de mantenimiento de la empresa71
Figura 30. Algoritmo de decisión RCM72

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADA EN CONFIABILIDAD RCM PARA LA FLOTA DE TRACTOCAMIONES KENWORTH T660 Y T800 DE LA EMPRESA ENLACE LOGÍSTICO DE CARGAS S.A.S

AUTOR(ES): BRANDON LEONEL MANTILLA CAICEDO

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): ROSSVAN JHOAN PLATA VILLAMIZAR

RESUMEN

La presente investigación muestra el desarrollo de la estrategia de mantenimiento RCM para la flota pesada de tracto camiones Kenworh T660 y T800 de la empresa Enlace Logístico de Cargas S.A.S ubicada en el parque industrial de Girón Santander. Mediante el plan de mantenimiento la compañía cuenta con una herramienta de control e inspección que gestiona los activos permitiendo el crecimiento futuro de la flota pesada. Para el desarrollo de la estrategia de mantenimiento RCM se realizó una investigación de los equipos analizando todos los sistemas que los conforman basándose en la norma internacional SAE J1739 especifica para flotas vehiculares ,de este modo, cada sistema cuenta con una descripción de los componentes diligenciando en primer lugar el nombre del componente, posteriormente se documentan los modos de falla investigados en las visitas de campo y material bibliográfico del equipo para el análisis de los efectos, con el fin, de obtener una valoración de las consecuencias para finalmente consolidar las tareas de mantenimiento pertinentes en la mitigación de los modos de fallo, los periodos de las tareas se hallaron mediante la experiencia del personal y jefe de mantenimiento.

PALABRAS CLAVE:

RCM, mantenimiento

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN OF THE MAINTENANCE STRATEGY FOCUSED ON TRUST RELIABILITY RCM FOR THE TRACTOCAMIONES FLEET KENWORTH T660 AND T800 OF THE COMPANY LOGISTIC LINK OF CHARGES S.A.S

AUTHOR(S): BRANDON LEONEL MANTILLA CAICEDO

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: ROSSVAN JOHAN PLATA VILLAMIZAR

ABSTRACT

This research shows the development of the strategy of maintenance RCM to tract heavy fleet trucks T660 Kenworh and T800 ENLACE LOGISTICO DE CARGAS S.A.S company located in the industrial park of Giron Santander. By the maintenance plan the company has a tool of control and inspection that manages assets allowing future growth of heavy fleet. For the development of the strategy of maintenance RCM was an investigation of the teams analyzing all the systems that make them based on the international standard SAE J1739 specific to vehicle fleets, in this way, each system has with a description of the components filing in the first place the name of the component, then documented failure modes investigated in visits by field and bibliographic material of the team for the analysis of the effects, in order to obtain a evaluation of the consequences to finally consolidate relevant maintenance tasks in the mitigation of the modes of failure, the periods of the tasks were found through the experience of staff and head of maintenance.

KEYWORDS:

RCM, Maintenance

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La presente investigación hace referencia al desarrollo de la estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad RCM para la empresa **Enlace logístico de cargas S.A.S** encargada del transporte masivo de productos lácteos, encontrándose en la necesidad de aumentar el conocimiento y prestaciones a la flota pesada de transporte, con el fin de cubrir en mayor medida las tareas de mantenimiento ejecutadas.

El principal objetivo consistió en cubrir todas las necesidades de la flota pesada de una manera detallada, por lo tanto, la estrategia RCM responde a la necesidad ya que cuenta con una estructura que permite la obtención de conocimiento del equipo y de sus componentes, además, se emplea la norma SAE J1739 específica para el desarrollo de estrategias de mantenimiento RCM para flotas vehiculares, de este modo el departamento de mantenimiento y personal logístico cuentan con una herramienta de control de las tareas.

Para el desarrollo de la estrategia de mantenimiento se realizó un completo estudio procesos ejecutados en los talleres donde se realizan los mantenimientos mediante visitas de campo, contando constantemente con el apoyo del departamento logístico de mantenimiento, además, se implementó el uso de manuales provistos por diversos fabricantes para una completa documentación de componentes.

1. PRESENTACIÓN DE LA COMPAÑÍA

1.1. ELC ENLACE LOGÍSTICO DE CARGAS S.A.S

La Empresa "E.L.C Enlace Logístico De Carga S.A.S", es una organización dedicada a la prestación de servicios de transporte terrestre de carga. Fue constituida mediante Acta de Accionistas del 06 de diciembre de 2.012 e inscrita en la Cámara de comercio de la ciudad de Bucaramanga, el día 09 de Enero de 2013 con la matrícula No. 05-252974-16 y NIT 900.582.036-6:

1.2. POLÍTICA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA COMPAÑÍA

Nuestra Política de Gestión es prestar un servicio de transporte de carga confiable cumpliendo todos los requisitos legales y reglamentarios de la legislación colombiana y otros requisitos que haya suscrito la organización, a fin de mantener altos estándares de calidad, seguridad, ambiente y mejoramiento continuo, buscando satisfacer las necesidades de nuestros clientes.

Estamos comprometidos con la seguridad industrial y salud ocupacional mediante el control de los riesgos, la promoción de la calidad de vida laboral, la prevención de accidentes de trabajo y enfermedades laborales, daños a la propiedad y control de los impactos socio-ambientales de nuestras actividades.

Buscamos mantener un alto nivel de seguridad en nuestra organización mediante la ejecución de acciones destinadas a controlar y prevenir actividades ilícitas, el lavado de activos y la financiación del terrorismo.

1.3. MISIÓN

Somos una organización que proporciona soluciones logísticas de transporte terrestre de carga a nivel nacional, reconocida por la Confianza, la Seguridad, el cumplimiento y la Excelencia en la prestación de sus servicios.

1.4. VISIÓN

En el 2019 seremos reconocidos a nivel nacional como una Organización modelo en desarrollar soluciones logísticas integrales especializada en servicios de transporte multimodal y dedicados, con innovación tecnológica apoyada en talento humano competente y comprometido.

1.5. RESEÑA HISTÓRICA DE LA COMPAÑÍA

2012: ELC Enlace logístico de Carga S.A.S. nació de la necesidad de organizar, legalizar y estructurar el sistema de transporte de carga que se utilizaba individualmente por algunos socios en la empresa Freskaleche S.A. Por eso a mediados de Octubre del 2012 se dio inicio a este proyecto que pudo concretarse en Febrero 2013 fecha en que oficialmente mediante Resolución No. 010 la empresa recibe de parte del Ministerio de Transporte, la habilitación para prestar el servicio de transporte terrestre de carga.

2013: El Ministerio de Transporte otorga a E.L.C Enlace Logístico De Carga S.A.S la habilitación para prestar el servicio de transporte público terrestre de carga a nivel nacional, mediante resolución No. 010 del 14 de febrero de 2013, la compañía inicia su especialización en el transporte de mercancía refrigerada (producto terminado) en vehículos tipo furgón y transporte de leche líquida (materia prima) en vehículos tipo tanque, las rutas se comprendían de la siguiente manera:

Transporte de producto refrigerado en las ciudades de: Cúcuta, Aguachica, Barrancabermeja, Barranquilla, Santa Marta, Valledupar, san gil, socorro, Barbosa – Santander. Transporte de leche líquida en las ciudades de: cimitarra, san gil, la esperanza.

De esta forma se realizaba el transporte de la mercancía para la empresa Freskaleche S.A. realizando rutas de producto terminado de lunes a sábado y de materia prima de lunes a lunes.

2014: Se hace la adquisición de un vehículo tipo turbo, un tractocamión marca Kenworth de la montaña, dos remolques tipo furgón y un remolque tipo tanque, para aumentar el transporte de nuestro único generador de carga. En este año, E.L.C Enlace Logístico De Carga S.A.S pasa a ser parte de la empresa Freskaleche S.A., como único accionista.

2015: Se inician operaciones con Productos Naturales De La Sabana S.A. en el Magdalena, Atlántico y Santander, por lo cual es necesario aumentar la flota de transporte y se adquieren dos tráileres isotérmicos tipo tanque para el transporte de leche líquida.

2016: la compañía hace la adquisición de nueva flota para el incremento de transporte entre Freskaleche SA y Productos naturales de la sabana SA, esta flota consta de un vehículo dobletrque refrigerado, un tráileres isotérmico para el transporte de leche líquida, 5 tractocamión T660 kenworth, 4 tráileres isotérmicos tipo furgón.

Adicionalmente, se realizan aperturas de nuevas rutas en las ciudades de Bogotá, Cajicá y Medellín, por lo cual la demanda de transporte se ve elevada y la responsabilidad de que la compañía crezca.

Se adquiere la certificación Business Alliance for Secure Commerce Basc, la cual es una alianza empresarial internacional que promueve un comercio seguro en cooperación con gobiernos y organismos internacionales.

2017: La compañía adquiere 7 tráileres isotérmicos para el transporte de leche líquida, 3 tráileres tipo furgones carga seca, 8 vehículos tipo tractocamión.

Se abren las nuevas rutas para transporte de materia prima desde Simijaca a Cajicá en el departamento de Cundinamarca.

Se adquiere la recertificación Business Alliance for Secure Commerce Basc.

1.6. OBJETIVOS CORPORATIVOS

- ✓ Minimizar los accidentes de trabajo y enfermedades laborales mediante una excelente gestión de los riesgos y peligros asociados a nuestros servicios.
- ✓ Disminuir los impactos ambientales generados por nuestras actividades creando conciencia en nuestros trabajadores hacia la prevención de la contaminación.
- ✓ Incrementar la satisfacción y lealtad de nuestros clientes.
- ✓ Consolidar una organización eficiente, eficaz y rentable en permanente búsqueda del mejoramiento continuo.
- ✓ Cumplir los requisitos legales, reglamentarios y de nuestros clientes.
- ✓ Asegurar legalidad en nuestros servicios a través de criterios de prevención contra el lavado de activos y la financiación del terrorismo.

1.7. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Como sede principal de la Empresa está ubicada en la ciudad de Girón - Santander, en la carrera 58 8-47 Parque industrial, Freskaleche, Giron Santander
Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa

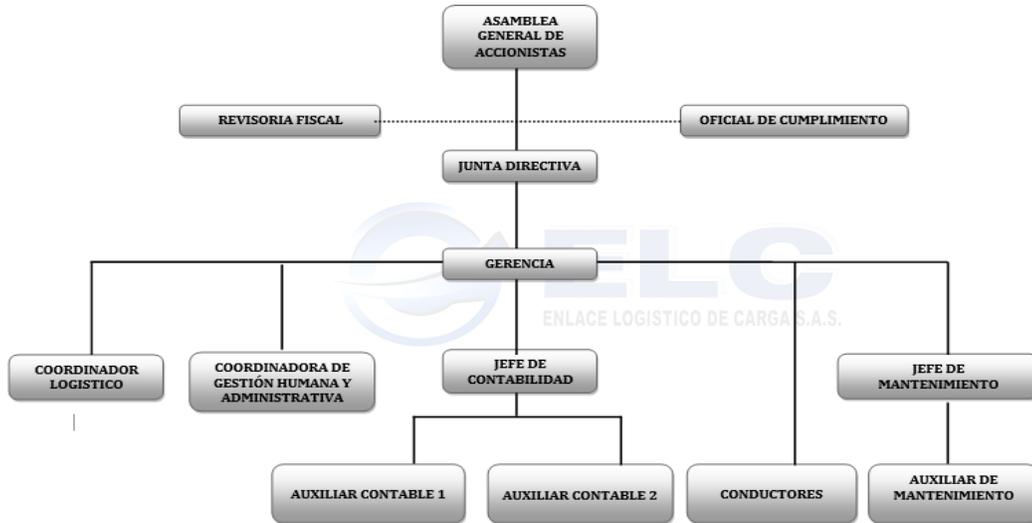


Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bucaramanga>

1.8. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La estructura organizacional de la compañía está dividida por sus áreas de trabajo, bajo la dirección del gerente como se muestra a continuación.

Figura 2. Organización de la empresa



Fuente: Enlace logístico de cargas S.A.S

2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa **ELC Enlace Logístico de Carga S.A.S** tiene como fin el transporte terrestre de productos lácteos, en transporte de TLC (transporte de leche cruda) y T1 (transporte de producto terminado a nivel nacional) mediante un parque automotor conformado por 22 tractocamiones, 7 doble troques, 5 camiones sencillos, 1 camión turbo. Los modelos T660 y T800 dentro de la categoría de tractocamiones suman un total de 18 automotores.

Los modelos T660 y T800 se presentan en mayor cantidad debido a su capacidad de carga superior a 30 toneladas, por lo cual, los fallos inesperados en cualquiera de los modelos conducen a pérdidas económicas elevadas, para la mitigación de estas circunstancias la empresa tiene un plan de mantenimiento preventivo para las necesidades de los equipos, sin embargo, no cuenta con información detallada de los procesos ejecutados, limitando el seguimiento de fallos, en consecuencia, surge la necesidad de obtener más información de los mantenimientos lo cual permita alcanzar los requerimientos deseados por la compañía.

Actualmente la empresa se encuentra en búsqueda de un plan de mantenimiento completo que contenga información detallada de los activos, debido que los tractocamiones kenworth se encuentran conformados por diversos sistemas de fabricantes diferentes, esto dificulta la obtención de información, por lo tanto, se propone diseñar un plan de mantenimiento mediante la metodología RCM debido que este estudia analiza detalladamente los activos mediante una secuencia de investigaciones, además de ofrecer grandes beneficios económicos al disminuir los costos de mantenimiento y operativamente permitirá a la compañía aumentar su productividad.

El RCM se ha implementado en diversas industrias demostrando que puede aumentar la disponibilidad de los activos adaptándose a cualquier tipo de maquinaria sin importar la complejidad de estos, en efecto los tractocamiones kenworth T800 y T660 son equipos ideales para la metodología debido que su naturaleza robusta necesita gran cobertura de mantenimiento.

3. JUSTIFICACION

La empresa **E.L.C. Enlace Logístico de Carga S.A.S** actualmente interviene el parque automotor con una serie de mantenimientos preventivos sin información detallada de los procedimientos, incumpliendo con los requerimientos de la compañía, el incremento de los costos producidos por cambios financieros dentro de las industrias lecheras exige una optimización de los recursos empleados en los mantenimientos de los equipos.

Los equipos kenworth T800 y T660 cubren las rutas con mayor demanda de carga por lo que deben contar con mayor disponibilidad de manera que eviten paradas inesperadas, adicionalmente, la información actual que posee la compañía de sus equipos limita las acciones de mantenimiento que puedan realizarse, con el fin de adquirir mayor información de los sistemas que conforman los activos T800 y T660 surge la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento completo que permita optimizar los recursos.

Un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es capaz de cubrir todas las necesidades de los activos debido que cuenta con la documentación de los modos de fallo y los correspondientes procesos de mantenimiento que prevengan paradas inesperadas, además de garantizar el debido procedimiento de las tareas, por otra parte, el personal de mantenimiento y operativo contara con una herramienta efectiva que permita optimizar los tiempos de trabajo.

Con la estrategia de mantenimiento RCM la empresa **ELC Enlace Logístico de Cargas SAS** pretende reducir las paradas inesperadas de la flota, detallando todos los sistemas que conforman estos tractocamiones y poder identificar fácilmente los fallos, además de aumentar la disponibilidad de los activos, en consecuencia, la flota pesada de transporte puede crecer contando con una herramienta efectiva que asegure la confiabilidad.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la estrategia de mantenimiento para la flota pesada de tractocamiones KENWORTH T660 y T800 de la empresa ENLACE LOGISTICO DE CARGAS S.A.S mediante la metodología RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad)

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar la caracterización de los tractocamiones KENWORTH T800 y T660 mediante catálogos de partes de los equipos y personal de mantenimiento. Resultado: identificación de los componentes de los equipos con serial del manual de operación. Indicador: establecer parámetros que permitan evaluar el estado de los componentes de los equipos.

2. Determinar el total de fallas funcionales de los sistemas que conforman los equipos a través del análisis de modo de falla y efecto AMEF mediante el histórico de fallas, experiencia de los mantenedores y visitas de campo. Resultado: Documentación de los fallos que afecten la operación del equipo. Indicador: formato de clasificación de fallas por sistemas.

3. Establecer las consecuencias de los modos de fallos documentados mediante la matriz de decisión de la metodología RCM. Resultado: clasificación de consecuencias mediante una escala de impacto que permita priorizar componentes. Indicador: Análisis de consecuencias con alto grado de impacto

4. Formar las tareas de mantenimiento para cada modo de falla registrado empleando el cuadro lógico de la metodología RCM. Resultado: Tareas de mantenimiento a ejecutar. Indicador: acciones que mitiguen los modos de falla.

5. MARCO TEORICO

5.1. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Los cambios en el mundo del mantenimiento se encuentran sujetos a los desarrollos de los equipos debido a que el aumento de complejidad de los sistemas eléctricos, mecánicos y electrónicos dificulta en gran medida la predicción de los fallos y aumenta la posibilidad de accidentes en la operación, la demanda actual de los mantenimientos debe ser integral de tal forma que puedan cubrir aspectos como la seguridad y medio ambiente que anteriormente no se consideraban como relevantes.

Las consecuencias de las fallas tienen impactos negativos para las empresas y pueden presentarse en diversos campos como la imagen de la entidad, la seguridad del personal, la calidad del producto, todas las áreas deben permanecer impecables para una saludable imagen de la entidad y generalmente están relacionadas con los departamentos de mantenimiento, como resultado a estas necesidades se encuentra el mantenimiento centrado en confiabilidad que tiene por objeto la mitigación de fallas en relación a las consecuencias que puedan presentarse.¹

El RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) es una metodología rigurosa que traza una serie de pasos estrictos enfocados a la búsqueda de fallas y conocimiento que permita aumentar la confiabilidad que tenga determinada el activo, teniendo en cuenta que cada componente que lo conforma tiene sus propias probabilidades y modos de falla que puedan afectar a sistemas alternos.²

¹ Morbray Jhon Mantenimiento centrado confiabilidad RCM2- Traducido por Carlos Mario Pérez [en línea] disponible en la página de internet: http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf

² Morbray Jhon Mantenimiento centrado confiabilidad RCM2- Traducido por Carlos Mario Pérez [en línea] disponible en la página de internet: http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf

La metodología nació desde 1960 en la industria aeronáutica norteamericana United Airlines con la finalidad de mejorar fiabilidad demostrando resultados positivos en la operación de los activos, hallaron en la experiencia una fuente de soporte fundamental para reducir las probabilidades de fallas entendiendo que un aumento de los mantenimientos preventivos no garantiza necesariamente la fiabilidad.³

La aplicación del RCM tiene grandes beneficios para las entidades porque está relacionada directamente con la calidad del producto o servicio asegurando que todos los procesos relacionados con los activos se ejecuten de manera precisa.

5.1.1. Fases del RCM.

La metodología tiene una sucesión de etapas que se ejecutaran en un orden específico dividiéndose en dos grandes bloques, el primero consistirá en el desarrollo investigativo del análisis de modo y efecto de falla que contendrá las primeras 4 etapas, el segundo bloque analiza los efectos y las correspondientes tareas de mantenimiento que sean necesarias.

5.1.2. Fase 1 definición de funciones.

En esta etapa se debe identificar el propósito por el cual fue adquirido el activo y las correspondientes funciones que debe realizar, preferiblemente la función debe tener un parámetro operacional que permita medir la condición de servicio apropiada o debe tener una descripción precisa de la tarea, todas las descripciones deben ajustarse al contexto operacional de la compañía debido a que la demanda de trabajo es distinta para todas las entidades así cuenten con el mismo activo.⁴

³ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 3

⁴ Garrido Santiago: Plan de mantenimiento basado en RCM [en línea] publicado en 2011, disponible en la página de internet:

http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5186/mod_resource/content/1/Documentos/PlandeMantenimientoBasadoRCM.pdf

Las descripciones de funciones pueden realizarse por sistemas que conforman el equipo al mismo tiempo que se cubren los subsistemas de estos ya que tienen un grado de impacto significativo en la operación, los fallos en los subsistemas generalmente afectan las funciones generales de la operación produciendo fallos parciales.

5.1.2.1 Funciones primarias

La adquisición de un activo dentro de la empresa concierne a la función predeterminada que cumplirá en términos productivos, por lo tanto, responde directamente al contexto operacional de la empresa ajustándose a parámetros previamente estudiados, en efecto, cualquier falla que pudiera afectar la función principal deberá ser atendida en el menor intervalo de tiempo posible.⁵

5.1.2.2 Funciones secundarias

Son aquellas funciones esperadas por el equipo asociadas a distintos aspectos como la seguridad, la contención de desechos etc. Un fallo correspondiente a una función secundaria puede tener grandes consecuencias si presenta una severidad alta en términos de seguridad y medioambiente, estas funciones deben estar previamente estudiadas de tal forma que puedan atenderse con un orden de prioridad.⁶

5.1.3 Fase 2 identificación de fallas funcionales.

La identificación de las fallas muestra el incumplimiento dentro de las funciones principales limitando la operación del activo, pueden afectar el funcionamiento completo o descontrolar en las variables de trabajo nominales del equipo, cuando la operación se ve limitada el funcionamiento no corresponde al deseado, aunque pueda seguir en operación.

⁵ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 11

⁶ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 12

Dentro de las fallas se tienen en cuenta principalmente dos categorías como lo son las fallas técnicas y las fallas funcionales, las primeras son aquellas que se producen en los subsistemas que afectan en cierto grado la operación en general mientras que las segundas afectan de manera significativa la operación de la máquina. Todos los componentes dentro del activo son susceptibles a fallas aunque algunos sean más propensos a fallar posiblemente por la naturaleza del fenómeno físico que se presenta en alguna instancia dentro de la operación, para la identificación plena de este tipo de situación es importante la documentación de la experiencia del personal calificado para la tarea.⁷

5.1.3.1 Fallas funcionales

Ocurre cuando la operación del activo dentro de la empresa se ve interrumpida de tal forma que es incapaz de cumplir su función, por esa razón, la descripción de este tipo de fallas esta descrita en términos y parámetros de las funciones principales.

5.1.3.2 Fallas totales y parciales

La falla total es evidente ya que interrumpe completamente la operación del activo afectando la producción directamente, los modos de falla asociados están ligados a componentes críticos de operación, por otro lado, las fallas parciales pueden identificarse por poseen modos de falla distintos a las fallas totales, además, el equipo pierde su función por debajo de los rangos aceptables.⁸

5.1.4 Fase 3 identificación de modos de falla.

Las fallas funcionales que puedan presentarse pueden ocurrir de diferentes formas denominadas modos de falla, estos son las causas por las cuales se presenta la falla, la identificación de los modos de falla permite comprender que es exactamente lo que se desea prevenir, cada causa tiene su propio

⁷ Guzmán Carlos: Mantenimiento para maquina industrial lavadora de prendas – Trabajo de grado Universidad autónoma Santiago de Cali Publicado en 2011

⁸ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 14

comportamiento y tendrá determinados efectos dentro del sistema que se encuentre.⁹

El protocolo debe ser claro y preciso para comprender brevemente cual es el elemento que falla dentro de los sistemas y subsistemas del equipo, la experiencia en esta etapa es fundamental porque existen modos de falla que pueden presentarse con regularidad y generalmente son los que producen las fallas funcionales más frecuentes.

5.1.4.1 Investigación de los modos de falla

Las exploraciones de los modos de falla pertenecen a diversas fuentes asociadas a previas operaciones del equipo, también a premoniciones de modos de falla fundamentadas técnicamente dentro del contexto operacional definido por la empresa y que tengan posibilidad de presentarse. Las fuentes de información principalmente parten del personal de mantenimiento que cuenta con la experiencia y conocimiento del activo, de igual forma, el personal operativo puede aportar acerca de los efectos previos y posteriores a la falla, por otra parte, los modos de falla que no se han presentado previamente pero que tienen gran probabilidad de ocurrir deben ser incluidos.¹⁰

5.1.4.1 Tipos de modos de falla

Existe gran variedad dentro de los modos de fallas incluyendo principalmente 3 categorías:

- Operación incorrecta: el operador puede incurrir en dos tipos de errores, el primero tiene relación directa con la capacidad nominal del equipo en el momento en que es superada ocasionando fallas prematuras, el segundo esta relacionada con una operación incorrecta del equipo.
- Ensamble incorrecto: el personal de mantenimiento no cuenta con la capacitación apropiada de instalación o el equipo correcto de montaje reduciendo el periodo entre fallos.

⁹ Guzmán Carlos: Mantenimiento para maquina industrial lavadora de prendas – Trabajo de grado Universidad autónoma Santiago de Cali Publicado en 2011

¹⁰ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 19

- Daños externos: golpes superficiales al equipo que afectan funciones principales o secundarias.
- Desgaste progresivo: las piezas cumplen su tiempo de vida útil alterando la función del activo.¹¹

5.1.5 Fase 4 efectos de modos de fallo.

Cada modo de fallo debe ser investigado de tal forma que todos los eventos que ocurrirán después de que suceda sea descrito detalladamente, de este modo es posible evaluar las condiciones y el grado de impacto, en consecuencia, facilita el proceso de evaluación de criticidad para determinar un orden prioritario de acciones. La evaluación de criticidad está fundamentada en los efectos de los modos de fallo y de las probabilidades que tengan para presentarse, cuando se contempla dentro de los efectos daños medio ambientales o condiciones de seguridad del personal operativo el modo de falla debe entenderse como primera medida.¹²

Se considera como aspecto crítico las condiciones medioambientales debido a que pueden afectar cuantiosamente las condiciones de vida de una población además de tener sanciones legales que con seguridad afectaran a la empresa en aspectos de imagen, por otra parte, cuando la seguridad del personal se vea comprometida también es motivo para considerar una falla crítica, en resumen, los fallos que tenga poca probabilidad de producir daños ambientales y al personal no se tendrá en cuenta como un fallo crítico.¹³

En el sector productivo la criticidad se medirá en cuanto al impacto económico que pueda tener dentro de la compañía, si los efectos comprometen a un número considerable de elementos de un sistema debe tenerse en cuenta como crítico porque la reparación y sustitución de piezas tendrá un mayor costo, así mismo, los

¹¹ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 16

¹² Gonzales Francisco: Teoría y práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado 3ª Edición 2011 Pag 85

¹³ Gonzales Francisco: Teoría y práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado 3ª Edición 2011 Pag 85

fallos que impidan la completa función del activo traerán repercusiones económicas mayores aun cuando el costo de reparación no sea elevado.

5.1.6 Fase 5 determinación de consecuencias

El análisis de las consecuencias establecerá el orden prioritario de acciones de mantenimiento por lo que es de gran importancia una correcta valoración, para comprender el grado de impacto la metodología expone 4 tipos de consecuencias que se describirán a continuación.

- **Consecuencias de fallos no evidentes:** son aquellas que tienen lugar en sistemas de seguridad ya que a simple vista parece que se encuentre en operación, sin embargo, las consecuencias en este tipo de sistemas suelen ser catastróficas porque no son percibidos con facilidad, por lo tanto, las tareas de inspección suelen ser las más efectivas para la prevención de estos eventos.
- **Consecuencias de seguridad y medio ambientales:** la integridad física de los operadores debe ser prioridad para una correcta ejecución de las actividades de la empresa, a toda costa se debe evitar que el personal se vea afectado por falta de mantenimiento, así mismo con todos los procesos de intervención del equipo se ejecutaran con la indumentaria apropiada. Las repercusiones gubernamentales que pueda ocasionar daños medioambientales pueden llegar a ser graves.¹⁴
- **Consecuencias operacionales:** son aquellas que afectan el sector productivo y frecuentemente están relacionadas con impactos económicos relacionados a paradas de planta.
- **Consecuencias no operacionales:** son las de menor impacto tienen porque no tienen efectos medioambientales ni de seguridad, normalmente están sujetas a evaluaciones de inspección de condición.¹⁵

¹⁴ Norma SAE JA 1011 Evaluation Criteria for reability centered Maintenance RCM processer pág 12.

¹⁵ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 23

5.1.7 Fase 6 tareas de mantenimiento y obtención de RCM.

En esta etapa las tareas de mantenimiento se asignan como respuesta a las consecuencias analizadas posteriormente, cada tarea tiene un tipo de ejecución distinta y debe cumplir con el criterio de ser técnicamente factible, por lo tanto, dentro de la metodología RCM se contempla tres tipos de tareas explicadas a continuación:

Tareas basadas a condición: normalmente las fallas presentan una serie de síntomas antes de presentarse dejando un rastro que puede ser percibido de distintas maneras, el sonido de la maquinaria puede ser un ejemplo de una incorrecta operación, aunque este operativa, cuándo las condiciones de servicio son evaluadas se puede dejar operando el activo hasta que sea prudente realizar una intervención apropiada previamente analizada siempre y cuando las probabilidades de falla sean bajas. Este tipo de tareas se considera una valoración del estado actual de trabajo del equipo en donde se determina el mantenimiento.¹⁶

Tareas de sustitución cíclica: este tipo de acciones normalmente asociadas a mantenimientos preventivos consiste en el análisis del ciclo de vida de determinados componentes, la experiencia y soporte técnico determinan las frecuencias apropiadas de cambio de componentes intentando prolongar lo mas prudente el cambio con el fin de aprovechar toda la vida útil del elemento, sin embargo, es posible que no se aproveche completamente el tiempo de vida de los elementos debido a que generalmente son aproximaciones.¹⁷

Las acciones de mantenimiento dentro del RCM deben realizarse de manera sistemática, es decir que debe existir un criterio que valide las acciones, por ese motivo existes unas pautas para evaluar si es posible un análisis sistemático y serán explicadas a continuación:

¹⁶ Morbray Jhon Mantenimiento centrado confiabilidad RCM2- Traducido por Carlos Mario Pérez [en línea] pág. 13 disponible en la página de internet: http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rem_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf

¹⁷ Norma SAE ja 1012 Reability Centered Maintenance RCM pág. 39

- Solo será posible realizar alguna acción de mantenimiento si esta reduce el riesgo de falla múltiple.
- Los sistemas de seguridad deben ser probados para evaluar la condición operativa de tal forma que pueda determinarse una posible sustitución de elementos, de igual forma deben establecerse una periodicidad de inspecciones de trabajo.
- Cuando las actuales acciones de mantenimiento no satisfacen el contexto operacional es necesario realizar una búsqueda de fallos para mitigar las consecuencias actuales.¹⁸

5.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

5.2.1. Mantenimiento correctivo.

Consiste en la ejecución de acciones de mantenimiento cuando el equipo pierde su función, generalmente el reporte lo ejecuta el personal operativo el cual informa al cuerpo de mantenimiento la falla porque ya no puede operar, en consecuencia, el personal de mantenimiento se ve en la obligación de atender el fallo lo antes posible. Atender los fallos a medida que se presentan trae gran dificultad al departamento de mantenimiento debido a la pérdida importante de información de la avería, los síntomas que preceden los fallos generalmente son ignorados por el personal operativo y es una importante pérdida datos útiles para el mantenedor, generalmente cuando las acciones de mantenimiento son correctivas el mantenedor solo intervendrá el equipo cuando falle dificultando el control del activo. En materia económica los costos de directos de mantenimiento se ven aumentados por la interrupción de la producción debido a que el tiempo de trabajo dentro de los mantenimientos correctivos son difíciles de calcular por la cantidad

¹⁸ Norma SAE JA 1011 Evaluation Criteria for reability centered Maintenance RCM processer pág 12.

de variables que puedan presentarse como la disposición de los mantenedores, la disponibilidad dentro del almacén y las herramientas apropiadas.¹⁹

Es difícil eliminar por completo el mantenimiento correctivo porque los fallos dentro de los equipos pueden ser muy numerosos y difíciles de predecir, en efecto, se debe reducir el uso de intervenciones correctivas por los impactos económicos que lo acompañan, cuando las fallas imprevistas se presentan se debe realizar una búsqueda de las posibles causas para emprender una búsqueda de acciones que mitiguen las consecuencias.

5.2.2. Mantenimiento predictivo.

Es el tipo de mantenimiento más completo ya que realiza un seguimiento del estado del equipo midiendo las variables que sean relevantes, se realiza una constante inspección de las condiciones operativas asegurándose que se encuentre en valores de trabajo aceptables, sin duda puede realizar acciones de mantenimiento correctivas en el tiempo justo antes de la falla rindiendo el máximo de vida útil de los componentes, por otra parte, los sistemas de control que puedan medir las variables junto con la estación de recolección de información representan un aumento de los costos significativo.²⁰

La ventaja frente a otros tipos de mantenimiento es la recolección de información que se tiene del activo y el poder cambiar las condiciones de operación para optimizar el trabajo, las lecturas de la instrumentación permiten establecer tendencias futuras de predicción de fallas junto con estadística de confiabilidad mantendrá el equipo en funcionamiento con un control de intervención muy preciso, sin embargo, este tipo de mantenimiento debe ser justificable económicamente teniendo en cuenta que cada equipo tiene específicas variables de control por lo que la instrumentación puede llegar a ser variada.

¹⁹ Navarro Elola, Pastor Ana, Magaburu Jaime: Gestion integral de mantenimiento Publicado en 2008 pág. 31

²⁰ Navarro Elola, Pastor Ana, Magaburu Jaime: Gestion integral de mantenimiento Publicado en 2008 pág. 31

5.2.3. Mantenimiento preventivo.

Consiste en la ejecución de actividades de mantenimiento programado a una frecuencia establecida con el fin de disminuir la probabilidad de fallo del componente, es decir intervenir el equipo en el límite del tiempo de vida del elemento. Las frecuencias están determinadas por una variable específica para cada equipo que puede estar traducida en horas de trabajo o distancia recorrida que indicara el momento aproximado en que un componente es susceptible a fallos. Las tareas preventivas pueden incluir inspecciones programadas en búsqueda de rastros de fallas que puedan dar indicios de posibles mantenimientos futuros, dentro de las inspecciones se pueden ajustar otras actividades de mantenimiento para aprovechar la parada del equipo interrumpiendo la producción el mínimo posible.²¹

Generalmente las tareas preventivas tienen una secuencia de acciones para cada tarea la cual consiste en el siguiente orden de actividades:

- A. **Desmontaje:** el equipo detiene su operación para desarmar la sección donde se encuentra el elemento de remplazo.
- B. **Sustitución:** el elemento se reemplaza dentro de la maquinaria.
- C. **Montaje:** se procede a rearmar el equipo para realizar pruebas.
- D. **Pruebas:** se mide el equipo confirmando que se encuentre en una condición de trabajo óptima.

5.3 NORMA INTERNACIONAL SAE J1739

Es una norma diseñada para guiar el desarrollo del análisis de modo y efecto de falla enfocada específicamente en activos automotores de cualquier categoría adaptándose a cualquier modelo de maquinaria automotriz, en otras palabras, pretende orientar mediante una serie de parámetros que permitan medir los

²¹ Knezevic Jezdimir: Mantenimiento 4 Edición Publicado en 2007 pág. 53

impactos de los fallos en las flotas vehiculares con un nivel detalle simple pero elemental que indica las consecuencias de cada modo de fallo.²²

La plantilla propuesta por la norma comprende una serie de columnas descritas a continuación:

1. **Artículo función o requisito:** esta columna esta dispuesta para el nombre del componente del automotor seguido de la función, sin embargo, se puede suprimir la descripción de la función siempre y cuando no contribuya a procesos de mantenimiento medibles que necesiten un parámetro operacional para su ejecución.
2. **Potencial modo de falla:** las maneras en que se pierden las funciones o las razones por la cuales el componente es inoperable.
3. **Potenciales efectos de falla:** este ítem describe con libertad de detalle las repercusiones que tendrá los modos de falla.
4. **Parámetro SEV:** es un valor asignado por una escala entre 1 a 10 para medir la severidad de los efectos de los modos de fallo.
5. **Potencial causa de falla:** Describe los posibles orígenes por los cuales se presenta la falla.
6. **Parámetro OCC:** es un valor asignado por una escala entre 1 a 10 para medir la Ocurrencia, en otras palabras, estima la frecuencia con la que se presenta y las repercusiones que pueda tener.
7. **Controles preventivos:** indica las tareas que pudieran ejecutarse para evitar los modos de fallos.
8. **Controles preventivos/ Detección:** indica las posibles acciones inspectoras que pudieran ejecutarse para evaluar la condición del activo.
9. **Parámetro DET:** es un valor asignado por una escala entre 1 a 10 para medir el nivel de sección de los efectos de los modos de fallo, es decir, que tan complejo es de identificar.
10. **Parámetro RPN:** es el producto de la Severidad, la ocurrencia y la detección.

²² SAE International Surface Vehicle Standard J1739 JAN2009, pág. 1

11. **Acciones tomadas:** permite colocar sugerencias en los procesos de mantenimiento.

12. **Personal Encargado:** descripción general del mantenedor.

13. **Acciones tomadas:** acciones de mantenimiento que mitiguen las fallas.²³

Algunas columnas de las normas son modificables con el fin de adaptarse a las necesidades y niveles de detalle que considere la empresa, sin embargo, la estimación de los valores de los parámetros según la escala debe realizarse con el pleno conocimientos de los anexos de la norma con el fin de asignar un valor pertinente.

5.3.1. Escala de parámetros

Los valores de la escala se encuentran entre 1 a 10 y cuentan con un soporte que describe el significado de los efectos producidos según la escala los cuales se describen en los siguientes cuadros:

5.3.1.1 Criterios de evaluación de severidad AMEF²⁴

Categoría	Efectos producidos (individuales)	Rango	Categoría	Efectos producidos (produccion)
Seguridad o incumplimiento normativo	Potencial modo de falla que afecta la operación completa del automotor o violación gubernamental por contaminación	10 a 9	Seguridad o incumplimiento normativo	Puede ocasionar lesiones al operador de manera inesperada
Funcion primaria	Perdida completa de la función primaria sin afectar la integridad del operador	8	Interrupcion importante	El 100% del automotor tiene un paro de operación completo
Esencial	Degradación de la función primaria (el Automotor seguira operando a un nivel inferior de rendimiento)	7	Interrupcion significativa	Una parte de la producción se perderá disminuyendo la velocidad de trabajo y se incrementa en costo de mano de obra
Funcion Secundaria	Automotor operable pero con pérdidas de prestaciones	6	Relaboracion de trabajos por fuera de la empresa	El 100% del trabajo debe repetirse e inspeccionarse
	Degradación de la función secundaria (operable con reducción en el nivel de operación)	5	Relaboracion de trabajos por fuera de la empresa	Una parte del trabajo debe repetirse
Molestia Operativa	Aparición de sonido (vehículo operable sin cumplir la conformidad) 75%	4	Repeticion de trabajos en cada porcentaje	El 100% del trabajo debe repetirse e inspeccionarse
	Aparición de sonido (vehículo operable sin cumplir la conformidad) 50%	3		Una parte de la producción tendrá que elaborarse nuevamente
	Aparición de sonido (vehículo operable sin cumplir la conformidad) 25%	2		Ligero inconveniente para el operador
Sin efectos	No detectable	1	Sin efectos	No detectable

²³ SAE International Surface Vehicle Standard J1739 JAN2009, pág. 28

²⁴ SAE International Surface Vehicle Standard J1739 JAN2009, Anexo A pág. 23

5.3.1.2 Criterios de evaluación de ocurrencia²⁵

Probabilidad de falla	Criterio de ocurrencia de fallo	Rango	Ocurrencia de causa (incidentes por 1000 Vehiculos)
Muy alta	Nueva tecnología / Nuevo diseño de equipo sin historico de fallas	10	100 por 1000 piezas / 1 en 10
Alta	Fallo inevitable / cambios en el ciclo de servicios y condiciones de operación	9	50 por 1000 piezas / 1 en 20
	Es probable que ocurra la falla en los nuevos diseños.	8	20 por 1000 piezas / 1 en 50
	Fallo incierto / con nueva aplicación	7	10 por 1000 piezas / 1 en 100
Moderado	Fallas frecuentes asociadas a simulaciones y pruebas de diseño	6	2 por 1000 piezas / 1 en 500
	Fallas ocasionales	5	0,5 por 1000 piezas / 1 en 2000
	Fallos aislados a condiciones	4	0,1 por 1000 piezas / 1 en 10000
Baja	Solo fallas aisladas	3	0,01 por 1000 piezas / 1 en 100000
	No se observan fallos asociados a diseños	2	0,001 por 1000 piezas / 1 en 1000000
Muy baja	Sin efectos	1	sin efectos

²⁵ SAE International Surface Vehicle Standard J1739 JAN2009, Anexo B pág. 24

5.2.1.3 Criterios de evaluación de detección²⁶

Categoría	Probabilidad de detección	Rango	Categoría	Probabilidad de detección
Incertidumbre absoluta	Sin control en los diseños, no se puede detectar por lo tanto no se analiza	10	Incertidumbre absoluta	Sin control de detección
Difícil de detectar	Baja capacidad de detección	9	Difícil de detectar	No detectable fácilmente
Parada del diseño antes de operar	Verificación y validación del producto con pruebas de comprobación (en sistemas y subsistemas)	8	Detección de defectos antes del proceso	Detección del modo de fallo por parte del operador
	Verificación y validación del producto con pruebas fallidas (en sistemas y subsistemas)	7	Detección de defectos en el producto	Detección de modos de fallo por medios virtuales (mediciones de variables)
	Verificación y validación del producto con búsqueda de degradación (en sistemas y subsistemas, mangueras, conductos, búsqueda de fugas)	6	Detección de defectos antes del proceso	Detección del modo de fallo mediante la lectura de alguna variable
Anterior a la parada del diseño	Validación del producto (Verificación de funciones asociadas a confiabilidad)	5	Detección de defectos en la fuente	Detección del modo de fallo por parte del operador por inspección básica
	Inspección de grietas, fugas, fallos evidentes	4	Detección después del proceso	Detección posterior a controles
	Inspecciones asociadas a búsquedas de degradación de componentes (evidentes)	3	Detección de defectos en la fuente	Detección mediante controles automáticos
Análisis virtual correlacionado	Facilmente detectable, tiene relación directa con las condiciones operativas	2	Detección de errores / prevención de defectos	Detección de defectos evitando pérdida de función
Detección no aplicable / prevención de fallas	No se presenta el modo de fallo porque es prevenido por completo	1	Detección no aplicable	Prevención de errores por causas visibles en componentes

Las escalas para cada parámetro indican una serie de efectos que dimensionan las consecuencias asignadas a cada rango, las empresas deben asignar el rango según los estándares predeterminados.

²⁶ SAE International Surface Vehicle Standard J1739 JAN2009, Anexo C pág. 25

5.3.2 Numero de prioridad de riesgos (RPN)

Es un parámetro producto de la severidad, ocurrencia y detección que ofrece un umbral de reconocimiento de las consecuencias, la empresa puede determinar según sus criterios internos si el valor del RPN que actualmente tienen sus procedimientos de mantenimiento se ajustan a los requerimientos, por otra parte, el cuadro del AMEF permite comparar los valores de RPN de los modos de fallo en relación a los nuevos valores de severidad, ocurrencia y detección que ofrecen las acciones de mantenimiento, sin embargo, el valor de RPN debe estar sujeto a inspección en dado caso que el valor de la severidad resulte mayor, este indicador es el más importante ya que indica las consecuencias más altas para la empresa, por lo tanto, un valor de RPN bajo en comparación con otro pero que tenga alta severidad debe ser atendido primordialmente.²⁷

6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPOS

6.1 KENWORTH T800

El tractocamión T800 es una maquinaria pesada conformada por un motor CUMMINS de 450 Hp de potencia, una caja de transmisión mecánica EATON FULLER 16915 de 18 velocidades, transmisión de potencia de dos cámaras diferenciales, sistema de frenos neumáticos Bendix para el accionamiento de las bandas, sistema de suspensión trasera Hendrikson RT 463 de 46000 lb y sistema de suspensión delantera Taperleaf de 14.600 lb.²⁸

El motor es el componente más importante debido a que el suministro de potencia mecánica es la fuente de energía que será transformada en energía eléctrica, neumática, hidráulica y oleo hidráulica para la operación de todos los demás elementos que conforman el tractocamión, en efecto está conformado por una serie de sistemas que se encargan del control de variables como la temperatura de aceite de lubricación de motor y valvulina de transmisión, temperatura nominal del motor, presión neumática, voltaje del sistema eléctrico.

El motor es parte crucial en los controles de temperatura ya que controla el ventilador, estos se llevan a cabo mediante 4 intercambiadores de calor asociados a los distintos sistemas de refrigeración con los que cuenta el tractocamión, en primer lugar se encuentra el intercambiador principal correspondiente al bloque de motor, el secundario denominado intercooler corresponde al sistema de admisión de aire, el tercer intercambiador es del sistema de aire acondicionado de la cabina y el último intercambiador de menor tamaño opera en el sistema de enfriamiento de las transmisiones de velocidades.

La caja de transmisión EATON FULLER tiene como fin la transformación de relaciones de velocidades iniciando con la impartida por el motor, también recibe alimentación de línea neumática para la correcta operación de los sistemas de

²⁷ SAE International Surface Vehicle Standard J1739 JAN2009, Anexo C pág. 12

duplicación y triplicación de los cambios que realizará el operador según las condiciones de carga y terreno. La cantidad de esfuerzo mecánico que recibe los trenes de piñones junto con las variaciones de velocidades exigen un control de temperatura que se ejecuta con valvulina la cual lubrica y refrigera.

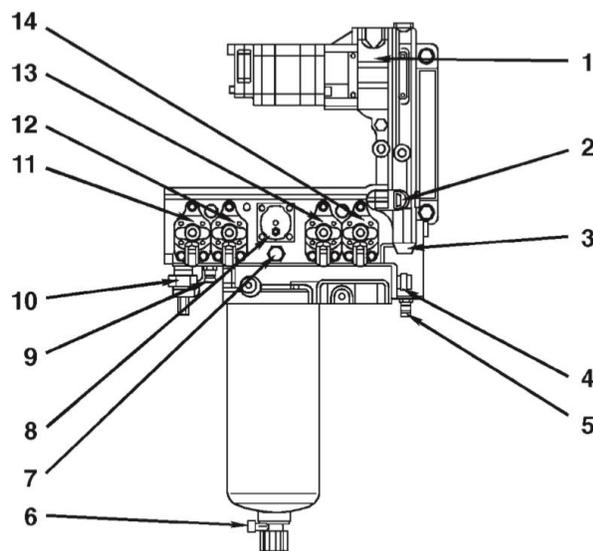
Se emplea valvulina para los sistemas de transmisión de caja de velocidades y el conjunto de diferenciales debido a las propiedades térmicas y viscosas, adicionalmente cuenta con un tiempo de vida mayor teniendo en cuenta que no se encuentra expuesta a ningún tipo de contaminación por gases de combustión.

6.1.1 Sistemas de motor

6.1.1.1 Sistema de inyección de combustible

Es el sistema encargado del correcto suministro de combustible hacia las cámaras de combustión, principalmente está compuesto por el módulo de sistema de combustible integrado o isfm el cual contiene la mayor cantidad de componentes como se aprecia en la siguiente imagen:

Figura 3. Módulo de inyección ISFM



²⁸ Ficha técnica KENWORTH de la montaña T800 Publicado en 2017 [en línea], disponible en la página de internet : <http://www.kenworthcolombia.com/vehiculos/tractocamiones/t800>

Partes

1. Válvula de derivación
2. Regulador de presión 320.psi
3. Rejilla de filtro 16.mc
4. Entrada de combustible
5. Toma de presión de desconexión rápida- lado de succion
6. Sensor WIF
7. Regulador de presión 250.psi
8. Válvula de cierre de combustible
9. Toma de presión de desconexión rápida – lado de presión
10. Sensor de presión de combustible
11. Actuador frontal de riel
12. Actuador frontal de sincronización
13. Actuador Trasero de sincronización
14. Actuador trasero de riel

Funcionamiento

El combustible es tomado del tanque y pasa por el filtro mediante una bomba de inyección de combustible tipo engranaje la cual somete el fluido a una presión entre 245-320 psi según el margen de revolución del motor, posteriormente el fluido se dirige a los actuadores de sincronización y dosificación que son electroválvulas que permiten el paso de combustible hacia los inyectores en cada cilindro.²⁹

El motor isx se comporta como si fueran 2 motores de 3 cilindros sincronizados, por lo tanto, es controlada la combustión por un actuador de sincronización y uno de dosificación para manejar la inyección de combustible a los inyectores de los

²⁹ CUMMIS Engine Company: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX y QSX15, Boletín 3150971-00 pág. 354

cilindros 1,2 y 3, el siguiente par controlara la inyección de los cilindros 4,5 y 6, sin embargo, los actuadores abren oportunamente ya que son controlados por el módulo de control electrónico ECM el cual indica los tiempos exactos de inyección para cada cámara de combustión, por otra parte el inyector siempre se encuentra en operación debido a que es de naturaleza mecánica por lo que los actuadores son los directos responsables del suministro.³⁰

El inyector signature es el componente encargado de una correcta mezcla de aire combustible, esta ubicado en la parte superior de la culata donde se encuentra el árbol de levas que lo accionara junto con el mecanismo de balancines comprimiéndolo para realizar la aspersion, este componente está sujeto a grandes presiones que se encuentran en el rango de los 28000psi a 35000psi por lo que es susceptible a fallos. El ingreso de combustible entra por el puerto de sincronización levantando el embolo superior ajustando la distancia de este para realizar la presión de aspersion, seguidamente el combustible ingresa por el puerto de dosificación donde se llenará la cámara de la boquilla pasando primero por una válvula cheque que impida perdida de fluido, una vez ocurre la compresión el embolo inferior posee un conducto que retornará el combustible de exceso de nuevo al sistema.³¹

Una vez el motor es apagado se activa una electroválvula (válvula de cierre de combustible) la cual impide el paso de combustible hacia los actuadores debido al aumento de presión que sufren los componentes cuando el fluido pierde temperatura, por este motivo, existe un dispositivo de seguridad en dado caso que la válvula falle, el regulador de alta presión mantendrá un valor de 320 psi evitando que los componentes sufran averías.

³⁰ CUMMIS Engine Company: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX y QSX15, Boletín 3150971-00 pág. 354

³¹ Ayala Sigifredo: Mecánica Diesel volumen 22, Educar Editores

6.1.1.2 sistemas de lubricación

Es uno de los sistemas mas importantes para la operación correcta del tractocamión debido a las enormes fuerzas que se presentan pueden desgastar los elementos rápidamente sin una correcta lubricación, el sistema cubre casi todas las partes del motor por lo que el diseño del bloque contiene una gran serie de galerías donde el lubricante será distribuido.

Funcionamiento

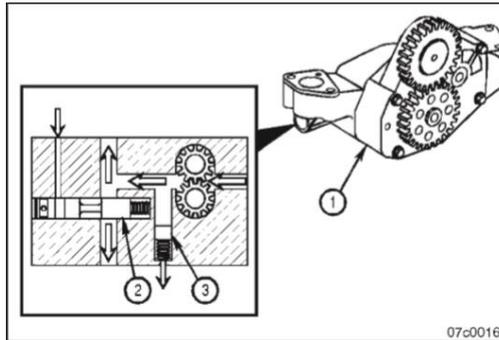
El lubricante es succionado por la bomba de engranajes a través del tubo recolector ubicado en el fondo del Carter, el aceite pasa por un conducto que permite el paso directo al sistema de galerías de lubricación, si el fluido incrementa su temperatura los termostatos se abren permitiendo el paso hacia el enfriador de aceite el cual es un intercambiador que disminuye la temperatura con ayuda del refrigerante del vehículo, posteriormente se dirige al filtro para la remoción de impurezas antes del ingreso al bloque desviando una parte de lubricante al turbo cargador y otra al compresor del sistema neumático. Una gran parte del fluido es dirigido hacia los componentes superiores como el árbol de levas y el conjunto de balancines con el fin de que gran parte de ese volumen caiga por gravedad retornando al Carter lubricando otras partes en el recorrido, por otra parte, las galerías conducen el aceite hacia un sistema de boquillas que lubrica las bielas de los pistones donde el acceso es difícil.³²

El aceite también actúa como refrigerante para el motor en lugares de difícil acceso donde el sistema de refrigeración no puede llegar, las bielas de los pistones y los casquetes donde gira el cigüeñal toman altas temperaturas por lo que el fluido permite una transferencia de calor para esos componentes, además, el turbo cargador y el compresor cuentan con líneas directas de lubricación que les permite operar correctamente y refrigerarse al mismo tiempo.

³² CUMMIS Engine Company: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX y QSX15, Boletín 3150971-00 pág. 398

Descripción de la bomba de engranajes: La bomba es el principal elemento dentro del sistema ya que se encarga de mover el lubricante por las galerías del motor, a continuación, se muestra las partes que la conforman

Figura 4. Bomba de lubricación



Fuente: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX QSX15 pág. 400

Se puede apreciar el engranaje conductor junto con el denominado engranaje loco los cuales desplazarán el fluido, la bomba tiene un sistema de regulador de presión indicado con el número 1 el cual limita un valor de presión corrector para la operación, el número 2 muestra la válvula de alivio que abrirá cuando la presión supere los 1034Kpa.³³

6.1.1.3 Sistema de refrigeración

Se encarga del control de temperatura del motor cumpliendo 4 funciones específicamente las cuales son:

1. Absorber el calor de los componentes de motor
2. Mover el refrigerante a través de las galerías del sistema
3. Disipar el calor absorbido por medio del radiador
4. Controlar la temperatura del refrigerante con el termostato.³⁴

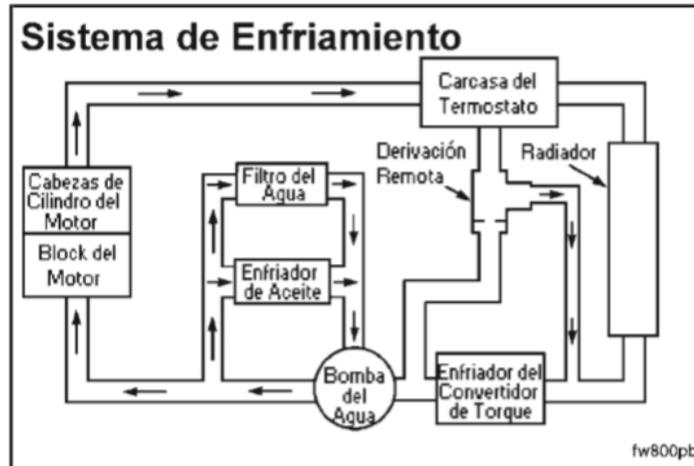
³³ CUMMIS Engine Company: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX y QSX15, Boletín 3150971-00 pág. 404

³⁴ CUMMIS Engine Company: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX y QSX15, Boletín 3150971-00 pág. 434

Funcionamiento

El recorrido del refrigerante puede explicarse mejor con la ayuda del siguiente diagrama:

Figura 5. Sistema de enfriamiento de motor



Fuente: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX QSX15 Sistema de refrigeración pág. 434

Una vez el sistema se encuentra a máxima capacidad de refrigerante(6.4 galones) el fluido es impulsado por la bomba a una presión aproximada de 24 psi partiendo el flujo por dos vías, la primera conducirá refrigerante al enfriador de aceite pasado por un filtro para la remoción de impurezas, la segunda se dirigirá al hacia la camisa del motor pasando por el lado de escape hasta llegar al tren de válvulas rodeando completamente el block de cilindros, a continuación, el refrigerante pasara hacia la cámara de termostatos donde el sistema evalúa la temperatura para permitir el paso hacia el intercambiador de calor principal o retornar a la línea de impulsión de la bomba, en otras palabras, si el refrigerante se encuentra por debajo de los 82 grados Celsius los termostatos se encontraran cerrados, cuando la temperatura se encuentra por encima del valor indicado el interior del termostato se expande permitiendo el paso hacia el radiador principal.

6.1.1.4 Sistema de admisión de aire

Se encarga de la correcta entrada de aire hacia el puerto de admisión garantizando las condiciones de limpieza y temperaturas optimas para la mezcla aire combustible, cuando la calidad del aire es buena el motor puede operar a capacidad nominal sin producir desgastes prematuros.

Funcionamiento

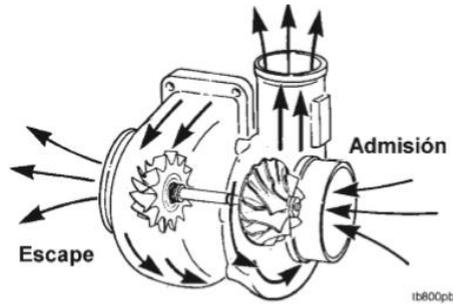
El aire es tomado del ambiente pasando por filtros de aire para remover cualquier contaminante, posteriormente entra al puerto de admisión del turbo cargador donde el aire tomara presión para dirigirse al puerto de admisión, no obstante el aire debe pasar primero por un intercambiador de calor denominado intercooler que disminuirá la temperatura ganada en el proceso de compresión, el aire caliente puede afectar la mezcla aire combustible debido a la perdida de densidad lo cual aumenta las probabilidades de producir carbonilla, por último, el aire entrara al múltiple de admisión de aire donde será distribuido a las cámaras de cilindros, una vez ocurre la explosión en el cilindro los gases se dirigirán al puerto de turbina del turbo cargador para permitir la absorción de aire nuevamente.³⁵

El turbo cargador

Es el corazón del sistema de aire el cual funciona transformando la energía del gas de escape para impulsar la rueda del compresor como se muestra en la siguiente figura:

³⁵ CUMMIS Engine Company: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX y QSX15, Boletín 3150971-00 pág. 498

Figura 6. Turbo cargador motor ISX

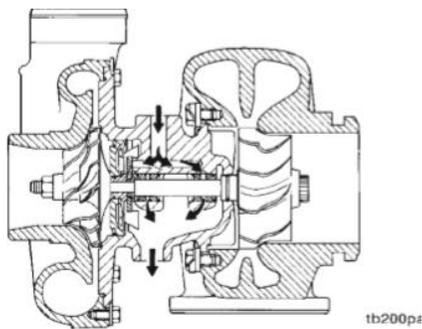


Fuente: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX QSX15, Turbo cargador pág. 496

Los gases de escape son liberados a gran velocidad aprovechando el impulso para mover la turbina la cual accionara de manera directa la rueda impulsora, en efecto es posible debido a que comparten un mismo eje que gira por medio de una serie de cojinetes que facilitan el movimiento, por otra parte, en el lado del compresor la carcasa en forma de caracol facilita la compresión del aire cuando el área se reduce gradualmente.³⁶

El sistema de lubricación se encarga de evitar la fricción dentro del turbo cargador debido las altas revoluciones que alcanza por la salida de los gases de escape, por otra parte, el lubricante sirve para refrigerar el eje del conjunto turbina-rueda impulsora y el set de cojinetes como se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura 7. Sección transversal del turbo cargador



Fuente: Manual de diagnóstico y reparación de motores signature ISX QSX15, interior Turbo cargador pág. 496

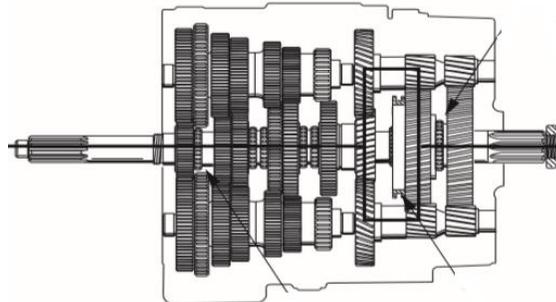
³⁶ Turbo Matic Manual informativo de turbo compresores pág. 5 [en línea] disponible en: www.turbomatic.com

6.1.2 sistema de transmisión

6.1.2.1 Caja de transmisión Eaton Fuller 16915

La transmisión 16915 Eaton Fuller es la encargada proporcionar los cambios de velocidades necesarias para las condiciones de carga y terreno contando con 18 velocidades delanteras y 3 velocidades traseras, es posible tal número de relaciones debido a que cuenta con 3 trenes de engranajes correlacionados entre sí para lograr que un cambio pueda triplicarse o doblarse, en otras palabras un cambio tiene tres engranajes correspondientes a una sola velocidad, ubicados de forma paralela por los ejes como se aprecia en la siguiente imagen³⁷:

Figura 8. Trenes de engranajes Eaton Fuller 16915



Fuente: Eaton Fuller transmisiones de servicio pesado, flujo de potencia sección frontal pág. 29

Las transmisiones de gran tamaño están equipadas con otra serie de trenes de engranajes denominada sección auxiliar o media caja la cual se expone mediante la siguiente imagen:

³⁷ Eaton Fuller: transmisiones de servicio pesado boletín TRDR08005

Figura 9. Media caja Eaton Fuller 16915



Fuente: Autor del proyecto, mecanismo auxiliar caja de transmisión Eaton Fuller

Esta sección de la caja se encarga de conectar las relaciones altas y bajas (doblar o triplicar cambios las cuales son accionadas por la palanca de cambios mediante un sistema de accionamiento neumático.³⁸

La caja se encuentra ubicada justo debajo de la cabina perpendicular a la palanca de cambios para facilitar el movimiento al operador, por otra parte, recibe el movimiento del pedal de embrague por una serie de varillas que accionaran el mecanismo de prensa del embrague contenido dentro de la campana para permitir un acoplamiento suave con cigüeñal del motor.

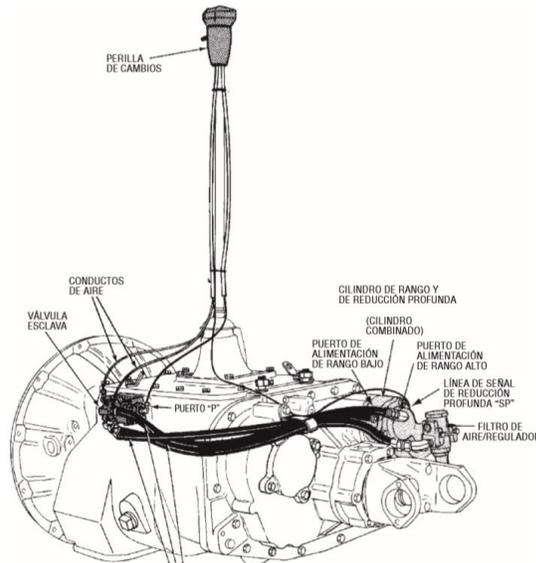
En operación la transmisión alcanza altas temperaturas debido a grandes velocidades producidas en relaciones de los trenes de engranajes ,por consiguiente, la caja cuenta con un sistema de lubricación que emplea valvulina por sus propiedades viscosas y térmicas, el lubricante es impulsado por la bomba de engranes que se encuentra acoplada a uno de los ejes de engranes, en el puerto de salida de la bomba sale el lubricante y pasa por las galería de lubricación del cuerpo de la caja, posteriormente continua el flujo hacia el radiador del sistema el cual se enfría por convección por acción del ventilador del motor.

Sistema neumático de la caja

las transmisiones de servicio pesado están equipadas con un pequeño sistema neumático que facilita el acoplamiento de las relaciones de velocidades actuando en la secciona auxiliar de transmisión ya que se encarga de correlacionar los

trenes de engranes para lograr la salida de potencia deseada, el accionamiento neumático entrara distintos puntos del sistema dependiendo de la apertura de las válvulas que ejecute el operador como se puede exponer en la siguiente imagen:

Figura 10. Sistema neumático Eaton Fuller 16915



Fuente: Eaton Fuller transmisiones de servicio pesado, boletín TRSM100S sistema de aire

La perilla de cambios es el mando principal para todas las relaciones disponibles, con el simple accionamiento se consiguen las primeras 6 velocidades sencillas, para conseguir las relaciones profundas se acciona un botón en la parte superior el cual permite el paso de aire de la válvula esclava hacia el puerto de alimentación de rango bajo a una presión controlada de operación. Existe una palanquilla en la parte posterior de la perilla la cual permitirá el paso de aire para el puerto de alimentación del rango alto, de esta manera se consiguen las 18 velocidades disponibles para marcha delantera, en efecto, los engranes pueden conectarse gracias a la válvula esclava la cual tiene dos cilindros de accionamiento para relaciones altas y bajas que tienen una serie de pines que acoplaran la relación pedida.³⁹

La presión de aire en la entrada del sistema neumático esta entre 110-130 psi, con una presión tan alta para el tamaño del mecanismo resulta necesario un

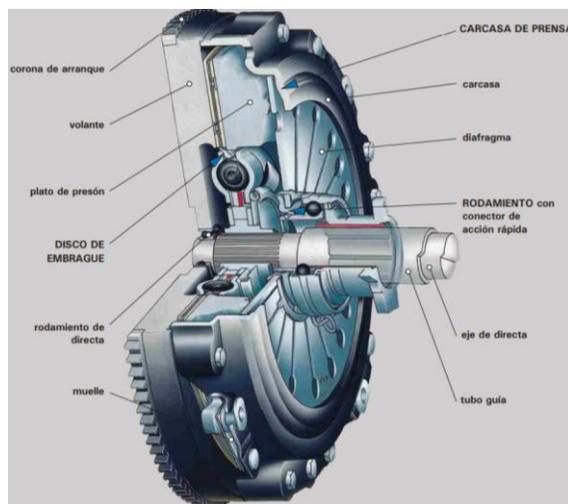
³⁸ Eaton Fuller: transmisiones de servicio pesado boletín TRDR08005 pág. 15

reacondicionamiento de la presión mediante el filtro regulador de aire que regula el hasta un valor nominal de 58-63 psi para relaciones altas y bajas.⁴⁰

Conjunto prensa de embrague

Es un mecanismo conformado por una serie de discos metálicos formados de acero de alta resistencia mecánica que permiten conectar el torque producido por el motor con la transmisión del automotor de tal forma que pueda empalmar gradualmente con el volante, el funcionamiento puede explicarse mediante la siguiente imagen:

Figura 11. Conjunto prensa embrague



Fuente: SACHS Capacitación técnica VC tren de transmisión

Funcionamiento

Dentro de la carcasa de la transmisión se encuentra dos ganchos que conectan con la prensa, esta conexión permite el accionamiento del mecanismo cuando el conductor oprime el pedal de embrague, en otras palabras, el disco de embrague se separa momentáneamente del volante para permitir la relación de transmisión correspondiente al cambio deseado entre suavemente. El disco de embrague cuenta con superficies con alta fricción para adherirse eficazmente al volante del motor, esto es posible mediante una placa de presión circular que empuja el disco de embrague con un resorte de diafragma, por otra parte, el disco de embrague

³⁹ Eaton Fuller: transmisiones para servicio pesado, boletín TRSM100_pág. 42

⁴⁰ Eaton Fuller: transmisiones para servicio pesado, boletín TRSM100_pág. 46

cuenta con una serie de resortes helicoidales que adsorben la parte del torque cuando un cambio es realizado.⁴¹

6.1.2.2 Conjunto de diferenciales

El diferencial es el componente encargado de trasladar el torque de salida de la caja de transmisión hacia las ruedas de tracción traseras por medio de los ejes de cada una, en otras palabras, cambia la dirección del torque 90 grados a cada eje, por otra parte, el sistema de engranes planetarios permite velocidades diferentes de las ruedas cuando el vehículo realiza curvas ya que una gira considerablemente más rápido que la otra⁴².

Funcionamiento

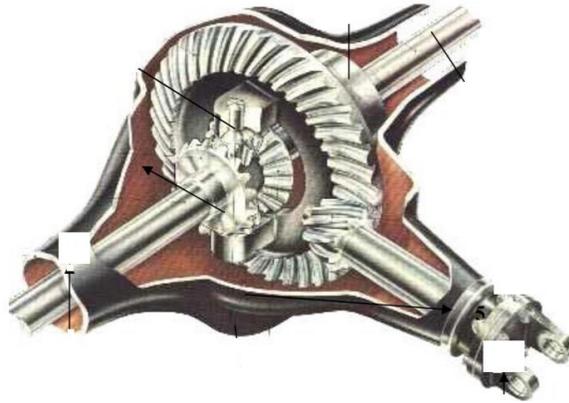
Cuando el engranaje cónico proveniente de la caja de transmisión gira el sistema de engranajes planetarios empieza girar reduciendo la velocidad de giro transmitida a los ejes de la ruedas, de este modo ambas ruedas giran uniformemente cuando el tractocamión se encuentra en marcha recta, sin embargo, cuando es necesario que el vehículo tome curvas el comportamiento del mecanismo cambia para permitir el giro, por consiguiente, los engranes satelitales giran con mayor lentitud sobre el porta satélites ralentizando el eje que se encuentre más cercano a la curva, el mecanismo puede apreciarse en las siguientes imágenes⁴³:

⁴¹ SACHS: Tren de transmisión y sistema de suspensión, Capacitación técnica pág. 6

⁴² MERITOR: Manual de mantenimiento, Ejes diferenciales de simple velocidad pág. 5

⁴³ Departamento de automotores IPET, Domingo F Sarmiento, [en línea] disponible: <http://escueladeltrabajo.net/diferencial.pdf>

Figura 12. Sistema de engrane diferencial



Fuente: Departamento de motores, IPET pág. 2

Los tractocamiones cuentan con dos ejes traseros equipados con un mecanismo diferencial para cada uno, el mecanismo diferencial ubicado en el último eje trasero transmitirá la mayor fuerza de torque debido a que la fuerza resistiva al movimiento es mayor en ese punto. Ambas diferenciales se conectan entre si en el siguiente orden, la primera recibe el cardan de la caja de transmisión y comunica el movimiento a la siguiente diferencial por medio de otro cardan de menor longitud.

Los mecanismos internos de cada una de las diferenciales pueden apreciarse en las siguientes imágenes:

Figura 13. Corona del diferencial T800



Fuente: Autor del proyecto, mecanismos corona diferencial

Figura 14. Sistema planetario del diferencial

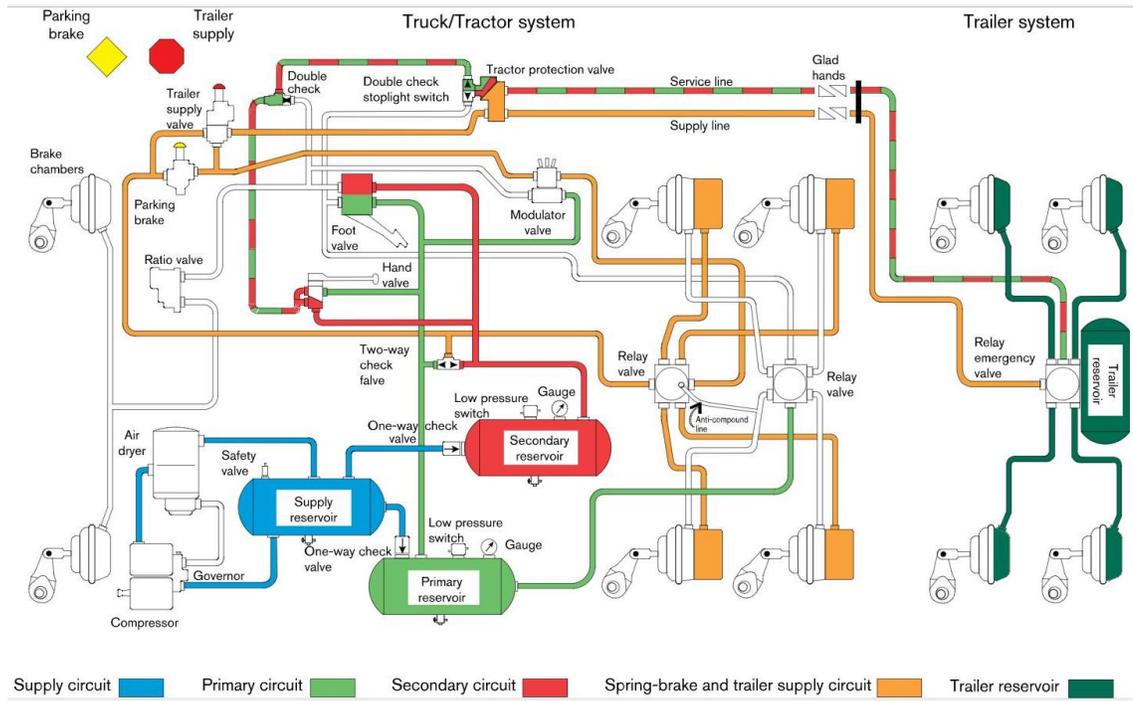


Fuente: Autor del proyecto, mecanismos satélites, planetarios

6.1.3 Sistema de frenos

Es el sistema encargado de frenar la marcha del vehículo cuando el operador requiera del servicio, teniendo en cuenta la capacidad de carga que soporta el automotor junto con las infinitas condiciones de terreno que atraviesa en su operación es un sistema crítico además de estar compuesto por diversos componentes, a continuación, se explica el funcionamiento mediante la siguiente imagen:

Figura 15. Sistema de frenos neumáticos Bendix



Fuente: Diagrama de sistema de frenos Bendix, [en línea] disponible en:

<http://evansarenachryslerdodgejeepblog.com/13260/br3x-13296/>

Funcionamiento

El sistema de frenos es completamente neumático siendo alimentado por el sistema de admisión de aire aprovechando la filtración de impurezas, para empezar, el compresor envía el flujo a través del gobernador de aire para que este regule la presión y pulsaciones del flujo ocasionadas por las variaciones del motor, posteriormente el flujo pasa por el secador de aire removiendo la mayor parte de partículas de agua presentes con el fin de prevenir daños prematuros a los componentes.⁴⁴

Una vez el aire ingresa al tanque principal de aire el flujo se dividirá para alimentar a 2 tanques de suministro, el primero corresponde a los frenos de servicio y el segundo a los frenos de emergencia, el suministro del freno de servicio esta directamente conectado a la válvula pedal ubicada en la cabina la cual permitirá el paso de aire de manera proporcional al accionamiento del operador, una vez es

⁴⁴ Air Brake Handbook Bendix, tratamiento del aire pág. 8

oprimida la válvula permite el paso de aire derivándose en dos sentidos, el primero llega a una válvula diferencial para permitir un flujo proporcional a cada cámara de freno menor para las ruedas delanteras, el segundo flujo es direccionado hacia dos válvulas rele asignadas cada par de cámaras de freno mayores para permitir el accionamiento, cuando el aire ingresa a la válvula relé el aire es liberado a alta presión permitiendo que la cámara de freno libere la horquilla que acciona el sistema de bandas.⁴⁵

El segundo tanque también conecta con la válvula pedal, pero en un puerto distinto que libera el aire del sistema consintiendo que los resortes dentro de las cámaras de freno mayores se liberen para que el mecanismo de bandas se encuentre accionado indefinidamente hasta que el operador indique el ingreso de aire, el actuador encargado de permitir esta secuencia son las válvulas de parqueo o suministro del aire, una vez que el operador oprime libera el aire del sistema y el accionamiento el completamente mecánico por parte de los actuadores, por otra parte el sistema también cuenta con válvulas moduladoras encargadas de permitir un flujo proporcional de aire de acuerdo con la apertura de la válvula pedal, en efecto, la presión se mantiene constante dentro del sistema.⁴⁶

El sistema de frenos del tráiler es completamente idéntico que el sistema de frenos mayores del cabezote, el accionamiento depende de la válvula pedal y de igual forma que el freno de emergencia cuenta con una válvula de corte de aire para el parqueo.

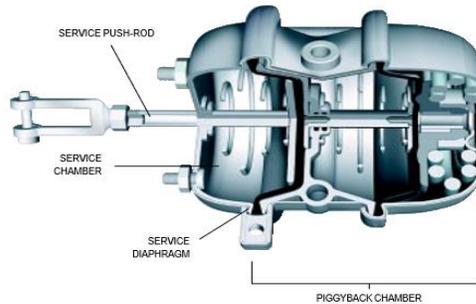
6.1.3.1 Cámaras de freno

son los actuadores encargados de accionar el mecanismo de bandas de las ruedas por lo que se dispone 2 cámaras por eje, los frenos de servicio trasero aportan la mayor fuerza de frenado de todo el tractocamión permitiendo una reacción rápida del actuador que desacelera de manera proporcional al accionamiento del operador.

⁴⁵ Bendix información de servicio, Boletín SD-0311515 Válvula rele RE-6

⁴⁶ Manual de frenos de aire Bendix, Válvulas de empujar y jalar pág. 26

Figura 16. Cámara de freno mayor



Fuente: Bendix información de servicio Cámara de frenado, Boletín SD-02-4500

Cuando el operador oprime la válvula pedal el aire dentro de la cámara de freno se libera por medio del valvular relé ocasionando que la presión de aire que comprime el resorte interno de la cámara de freno se libere, en efecto, el resorte puede alongarse con libertad empujando la horquilla. La cámara de freno está dotada de 2 puertos de admisión de aire correspondientes a servicio y emergencia, el primero conecta directamente con la cavidad de aire delantera que permite una salida proporcional de la varilla, mientras que el segundo conecta con la cavidad de aire trasera en donde el resorte tiene la mayor compresión del aire, por lo tanto, el resorte puede alongarse con mayor libertad.⁴⁷

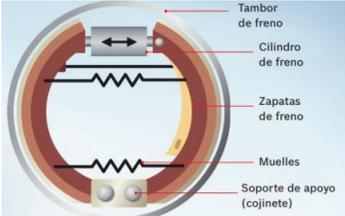
6.1.3.2 Mecanismo de bandas de freno

También conocido como freno de tambor opera mediante la fricción de las placas contra la carcasa o campana, en otras palabras, cuando la cámara de freno empuja la horquilla expande los muelles de las zapatas de freno hasta que entren en contacto con la superficie interna del tambor como se muestra en la siguiente imagen⁴⁸:

⁴⁷ Información de servicio Bendix, cámaras de frenado, Boletín SD-02-4500

⁴⁸ BOSCH: sistemas de frenos pág. 8 [en línea] disponible en: http://www.potenciasutaller.com/assets/documents/manuals/manu_frenos.pdf

Figura 17. Sistema de bandas de freno



Fuente: BOSCH sistemas frenos, frenos de tambor

6.2 KENWORTH T660

El tractocamión T660 está conformado por un motor cummis ISM de 410 HP, una caja de transmisión Eaton Fuller 16918 de 18 velocidades, sistema de tracción diferencial Dana Spicer de doble diferencial, sistema de frenos neumáticos Bendix ES 16,5, Suspensión delantera Heavy duty de 14600 libras, suspensión trasera KW Agile 460 de 46000 libras.⁴⁹

El motor como es el componente principal del vehículo debido a que el suministro de potencia para todos los sistemas dependen del motor para suplir de energía mecánica a los dispositivos de transformación de energía de los subsistemas del motor y de operación del tractocamión, por otro lado, el motor se encuentra conformado por diversos subsistemas encargados de variables importantes de operación como presiones de aceite, niveles de temperatura, voltaje del banco de baterías y presiones neumáticas, en resumen, todas las variables juegan un papel importante para la correcta acción de los actuadores.

El modelo T660 cuenta con 4 intercambiadores de calor asociados a los sistemas de refrigeración, el primero tiene relación directa con el control de temperatura del motor, el segundo con el control de temperatura de admisión de aire, el tercero corresponde al sistema de aire acondicionado de la cabina y por ultimo el sistema de enfriamiento de la transmisión, en efecto, la transferencia de calor se da por convección forzada mediante el ventilador frontal del motor.

Los modelos T660 cuentan con una transmisión robusta para las variaciones de velocidades por lo que tienen un grado de similitud entre los modelos de la serie T, por lo tanto, la caja de transmisión Eaton Fuller 16918 guarda similitudes en comparación con la transmisión del modelo T800 contando también con 18 velocidades de operación.

⁴⁹ KENWORTH: Ficha técnica modelo T660, [en línea], disponible en: <http://kenworthcolombia.com/fichas/kw/ficha-tractocamion.T660.pdf>

6.2.1 Sistemas de motor

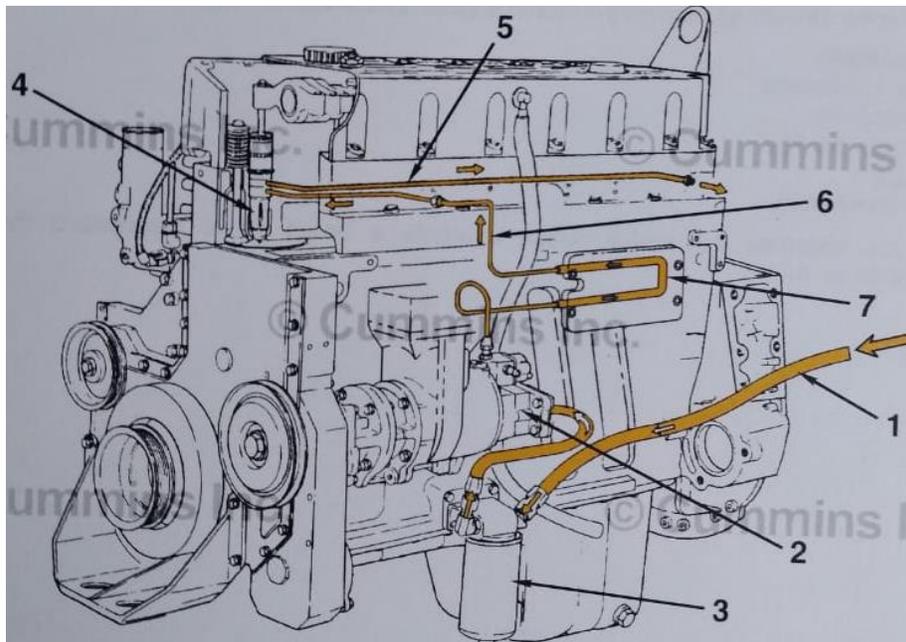
6.2.1.1 Sistema de inyección de combustible

El sistema encargado de toma y distribución de combustible para ignición dentro de las cámaras de cada cilindro, por lo tanto, esta conformado por un gran numero de partes para la sincronización de los estallidos y para la entrada y salida de gases de combustión.

Funcionamiento

Para facilitar la explicación del sistema se emplea la siguiente imagen:

Figura 18. Diagrama de flujo de combustible ISM



Fuente: Manual de operación y mantenimiento motor ISM, Diagrama de flujo de combustible

El combustible es tomado desde el tanque como se muestra en el numeral 1 por medio de la bomba de succión de combustible indicada en el numeral 3, antes del ingreso al puerto de entrada de la bomba liquido pasa por el filtro(numeral 3) para remover cualquier impureza presente, posteriormente el fluido sale del puerto de salida de la bomba en dirección al enfriador ECM(numeral 7) para remover el calor ganado por la energía cinética de los engranes, en consecuencia, la mezcla puede desarrollarse con mayor eficiencia, finalmente el combustible llega al puerto de

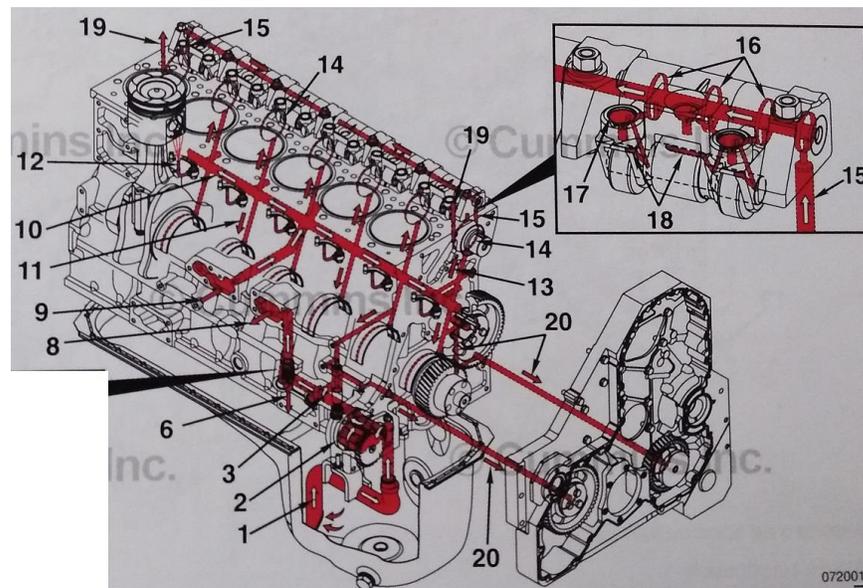
entrada del inyector (numeral 6) en donde será atomizado aproximadamente a 28000 psi, el exceso de combustible retorna al tanque por la salida del inyector mostrada en el numeral 5. El motor tiene una distribución lineal de 6 pistones por lo que existe un inyector (numeral 4) por cada cámara de combustión, por lo tanto, el sistema de inyección esta sincronizado con el cigüeñal por medio de engranes, de este modo, los ejes de balancines abren y cierran las válvulas para la admisión y salida de gases.⁵⁰

6.2.1.2 sistemas de lubricación

Es el sistema encargado de la distribución de lubricante por las galerías del bloque permitiendo que el fluido llegue a las partes móviles dentro del motor evitando la fricción mecánica entre las partes.

Funcionamiento

Figura 19. Flujo de lubricante ISM

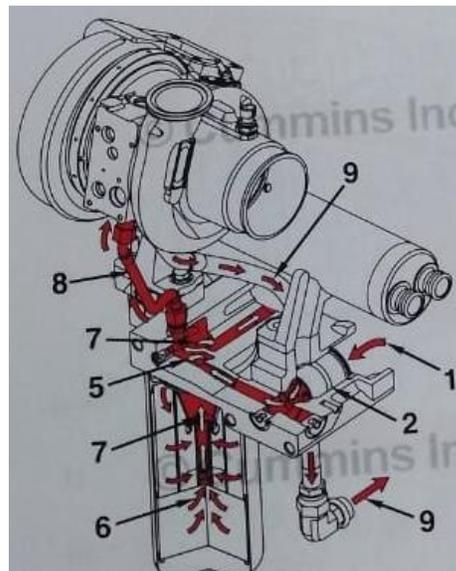


Fuente: Manual de operación y mantenimiento motor ISM, Diagrama de flujo de lubricante

⁵⁰ Cummins: Manual de operación y mantenimiento ISM e ISMe, pág. D-2

El lubricante ingresa por el tubo colector (numeral 1) por acción de la bomba de engranes (numeral 2), una vez dentro el lubricante pasa por el regulador de presión nominal de 100 a 120psi, en el caso que el sistema presente sobrepresiones por las bruscas variaciones de velocidad, la válvula de seguridad permite que el aceite retorne al tanque. Los numerales 3,6,8,9 muestran el flujo de aceite en dirección a los cojinetes de bancada del cigüeñal, por otro lado, una parte del caudal se desvía por unas boquillas ubicadas por debajo de los pistones ya que permite que pueda refrigerarse el conjunto pistón biela en donde el sistema de refrigeración tiene poco acceso, después, el lubricante se dirige por las galerías a la parte superior hasta llegar al los cojinetes de los balancines como indica los numerales 19,15 y 14, por otra parte el lubricante se dirige a los engranajes locos de cigüeñal y árbol de levas como muestra el numeral 12.⁵¹

Figura 20. Flujo de lubricante por el turbo cargador



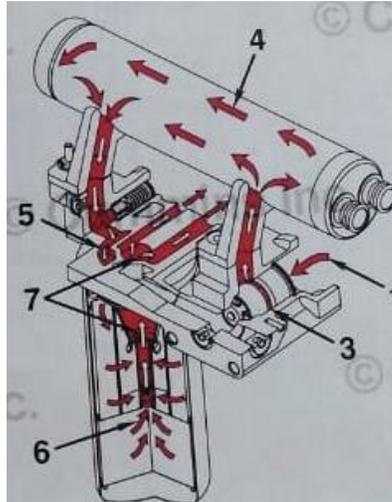
Fuente: Manual de operación y mantenimiento motor ISM, Diagrama de flujo de lubricante por el turbo cargador

El aceite es filtrado constantemente para eliminar las partículas que puedan presentarse durante la operación del motor (numeral 6 y 7), adicionalmente el sistema supe de lubricante al turbo cargador contando con una línea de

⁵¹ Cummins: Manual de operación y mantenimiento ISM e ISMe, pág. D-4

suministro como indica el numeral 1,8 , el aceite ingresa al eje de la rueda impulsora y al cojinete condensando un movimiento suave además de permitir el enfriamiento interno del turbo cargador por la transferencia de calor pasada al lubricante, finalmente el aceite puede retornar al Carter (numeral 9).⁵²

Figura 21. Flujo de lubricante en el enfriador de aceite



Fuente: Manual de operación y mantenimiento motor ISM, Diagrama de flujo de lubricante por el enfriador de aceite

Cuando el lubricante alcanza una temperatura superior a 90 grados Celsius el termostato (numeral 1) desvía el caudal de lubricante en dirección al enfriador de aceite, dentro del enfriador el aceite pasa por una serie de conductos rodeados por refrigerante para permitir la transferencia de calor.⁵³

⁵² Cummins: Manual de operación y mantenimiento ISM e ISMe, pág. D-5

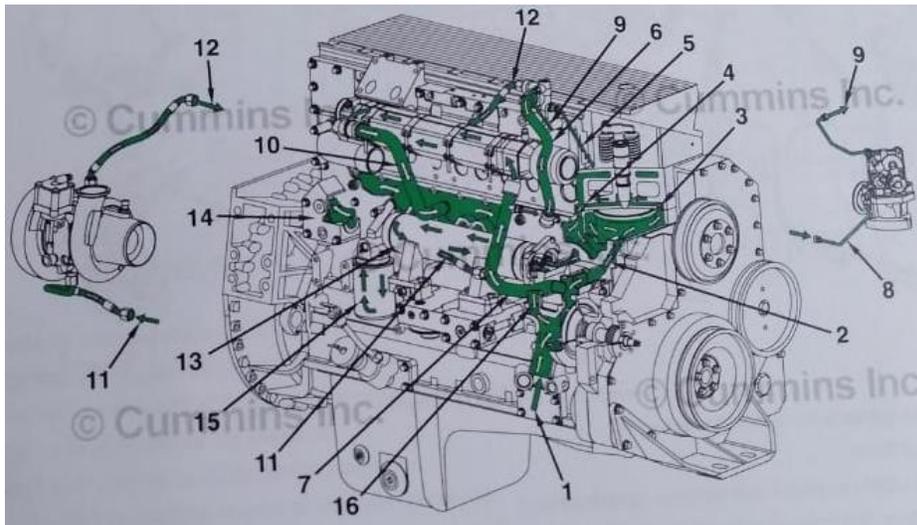
⁵³ Cummins: Manual de operación y mantenimiento ISM e ISMe, pág. D-5

6.2.1.3 Sistema de refrigeración

Es el responsable del control de la temperatura de trabajo del motor, además de proveer parte del caudal para la refrigeración del compresor del sistema neumático y el turbo cargador, sin embargo, el sistema de lubricación también cumple la función de refrigeración para zonas de acceso difícil.

Funcionamiento

Figura 22. Flujo de refrigerante ISM



Fuente: Manual de operación y mantenimiento motor ISM, Diagrama de flujo de refrigerante

Una vez el motor entra en operación la bomba hidráulica toma refrigerante desde el radiador por el puerto de succión (numeral 1) hasta el puerto de salida en donde el caudal se deriva por una serie de conductos, una parte del caudal se dirige al bloque de cilindros (numeral 3 y 2), mientras se suministra refrigerante al enfriador de aceite (numeral 13) y al enfriador EGR (numeral 7), durante el recorrido por las galerías el refrigerante pasa por un filtro (numeral 15). El turbo cargador tiene una línea de refrigerante (numeral 11) del mismo modo que el compresor neumático, al contrario, el modelo T800 depende exclusivamente del aceite lubricante para la refrigeración de estos componentes. El tractocamión cuenta con un sistema de enfriamiento para los gases de escape, por lo tanto, la válvula reguladora de

gases tiene una línea de refrigerante (numeral 8), finalmente los numerales 4,5,6,9,10,9 corresponden a líneas de retorno hacia la entrada de la bomba.⁵⁴

En cuanto el sistema alcanza temperaturas superiores a los 95 grados Celsius el termostato permite la derivación del caudal hacia el radiador principal para retornar hasta la entrada de la bomba.

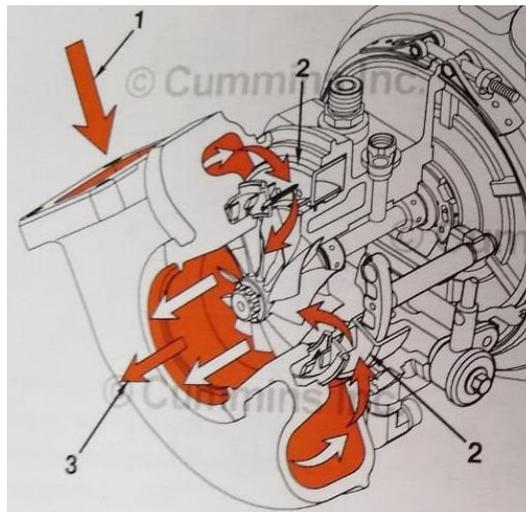
6.2.1.4 Sistema de admisión de aire

Se encarga de la distribución de aire desde la toma exterior hasta el tratamiento de los gases.

Funcionamiento

El aire es filtrado al ingreso y succionado por medio del turbo cargador enviando el aire dentro del intercooler para transferir el calor ganado en el proceso de compresión, ya que el aire caliente puede encender la mezcla prematuramente disminuyendo la potencia nominal del motor, posterior mente el aire ingresa a las cámaras mediante el múltiple de admisión permitiendo el paso por las válvulas, una vez la mezcla entre en combustión los gases de escape salen a gran velocidad en dirección al turbo cargador.⁵⁵

Figura 23. Flujo de gases por el turbo cargador



Fuente: Manual de operación y mantenimiento motor ISM, Diagrama de flujo de gases de escape

⁵⁴ Cummins: Manual de operación y mantenimiento ISM e ISMe pág. D-10

En la figura superior se puede apreciar el ingreso de los gases de escape por la caracola (numeral 1), esta configuración geométrica permite que el flujo incremente su velocidad para impulsar la turbina con mayor fuerza, en consecuencia, la rueda impulsora del lado del compresor puede comprimir el aire con mayor efectividad, posteriormente el aire sale del turbo cargador a menor velocidad.⁵⁶

6.2.2 Sistema de transmisión

6.2.2.1 Caja de transmisión Eaton Fuller 16918

La transmisión 16918 proporciona un total de 18 configuraciones de velocidad ajustadas a todos los requerimientos del terreno, posee una geometría robusta albergando 3 trenes de engranajes existiendo una fila de tres engranes por cada cambio, en otras palabras, cada cambio tiene una aplicación doble o triple para cada velocidad. Las transmisiones de este tamaño cuentan con una sección auxiliar denominada media caja la cual se encarga de sincronizar las relaciones dobles y triples, por otra parte, el accionamiento de los engranes se realiza mediante acción neumática, en consecuencia, la transmisión cuenta con un sistema neumático independiente del vehículo que mueve los auxiliares para encajar el cambio deseado.⁵⁷

⁵⁵ Cummis: Manual de operación y mantenimiento ISM e ISMe pág. D-17

⁵⁶ Cummis: Manual de operación y mantenimiento ISM e ISMe pág. D-18

⁵⁷ Eaton Fuller transmisiones de servicio pesado, Boletín TRSM100 pág. 42

Figura 24. Caja de transmisión Eaton Fuller 16918



Fuente: Roadranger: transmisiones de 18 velocidades RTO 16918

Como se puede apreciar en la imagen la transmisión es gobernada por la palanca de cambios en cuya manija se encuentra un pequeño sistema de válvulas que se encarga mandar las señales neumáticas a la válvula maestra de la caja, esta permite que el aire se libere a una presión aproximada de 100-130Psi para sincronizar el cambio.

Durante la operación del mecanismo se incrementa la temperatura por las altas revoluciones, por esta razón, la caja contiene valvulina para lubricar y transferir el calor del mecanismo, en efecto, la caja cuenta con una bomba de engranes que envía el lubricante por un sistema de mangueras al intercambiador de calor de transmisión ubicado en la parte frontal del vehículo.⁵⁸

⁵⁸ Eaton Fuller transmisiones de servicio pesado, Boletín TRSM100 pág. 41

Figura 25. Mecanismo de prensa embrague



Fuente: SACHS, Embragues para vehículos, disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=pFeIKNirR08>

La transmisión alberga un mecanismo de acoplamiento entre el volante del motor y el eje de la caja denominado prensa del embrague, esta conformado por una serie de discos encargados de presionar el disco de contacto (embrague) contra el volante para transferir el torque, el disco de contacto tiene placas de alta fricción y una serie de resortes para amortiguar el traspaso del torque. El conjunto gira al mismo tiempo que el volante de inercia por lo que la acción del pedal separa el disco momentáneamente mientras el operador cambia la relación de velocidad.⁵⁹

6.2.2.3 Conjunto diferencial

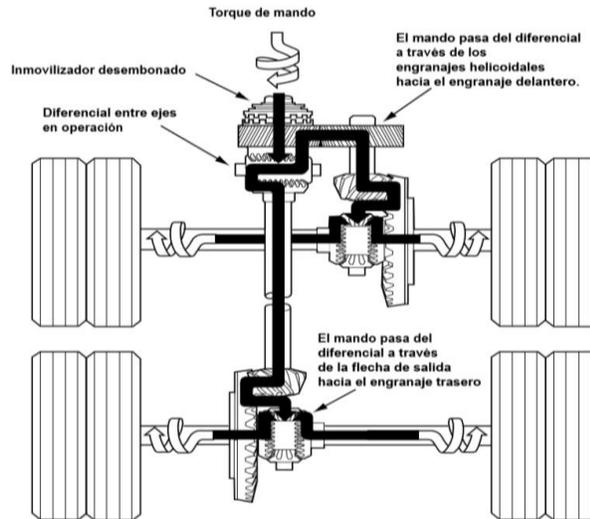
Es el mecanismo encargado de la distribución de potencia para generar tracción en las ruedas traseras, recibe directamente la relación de velocidad de la caja de transmisión trasladando el torque a cada eje por medio del diferencial, el sistema cuenta con dos cámaras diferenciales contando con una por cada eje.

⁵⁹ Francisco Camarena, Proyecto de grado: Diseño de embrague de un vehículo pág. 12

Funcionamiento

EL mecanismo puede explicarse con ayuda de la siguiente imagen:

Figura 26. Distribución de potencia en los diferenciales



Fuente: Manual Dana Spicer RT 46-160p, pág. 9

El eje de salida de la transmisión conecta directamente con la primera cámara diferencial a través del cardan, este último acopla con una junta universal ya que permite gran flexibilidad en el giro, posteriormente el eje mueve el piñón dentro del diferencial el cual engrana con la corona y el sistema planetario, este mecanismo reparte proporcionalmente la fuerza a cada eje de rueda, además de permitir que un eje gire con mayor velocidad que el otro en las curvas. El torque se transmite segundo diferencial por un cardan más corto con junta diferencial, este mecanismo ejerce mayor fuerza para el ultimo con el fin brindar mayor tracción y seguridad al movimiento, por otra parte, el sistema cuenta con diferentes configuraciones de potencia para cada eje, es decir, que el operador puede escoger a cuál de los ejes traseros aplicar mayor potencia, sin embargo, esto se emplea en casos de atascamiento de las ruedas.⁶⁰

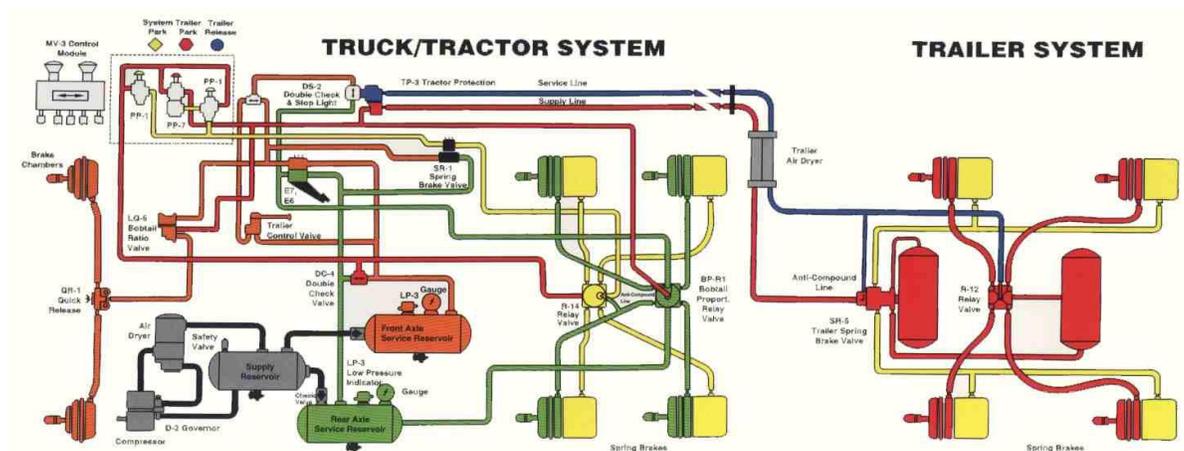
⁶⁰ Manual de servicio Dana Spicer pág. 8

6.2.3 Sistema de frenos

Es el encarga de detener el vehículo una vez el operador solicite el servicio, es uno de los sistemas más robustos cubriendo toda la longitud del tractocamión, por lo tanto, cuenta con un gran número de componentes que garantizan una correcta operación, puesto que, la capacidad de carga es grande el sistema es crítico y debe responder oportunamente.

Funcionamiento

Figura 27. Sistema de frenos Bendix tractocamiones



Fuente: Sistema de frenos Bendix, disponible en: <http://evansarenachryslerdodgejeepblog.com/13260/bR3x-13296/>

El compresor comienza a operar mediante la transmisión de potencia por p Polea del motor, el flujo de aire sale del compresor por el gobernador de aire para que este regule la presión de operación nominal del sistema eliminando las pulsaciones de aire generadas por el movimiento alternativo de los pistones, posteriormente el aire pasa por el secador de aire para remover la humedad presente en el aire antes del ingreso a los tanques. El sistema se encuentra dividido en dos secciones que trabajan conjuntamente con dos tanques, el primero corresponde al suministro neumático de los frenos de servicio y el segundo a los frenos de seguridad, en otras palabras, el freno por acción del operador y el de parqueo. Cuando el operador acciona la válvula pedal el flujo de aire sale por dos vías, la primera envía suministro a la válvula diferencial de los frenos delanteros permitiendo el paso proporcional de aire a las cámaras de freno menores de las ruedas

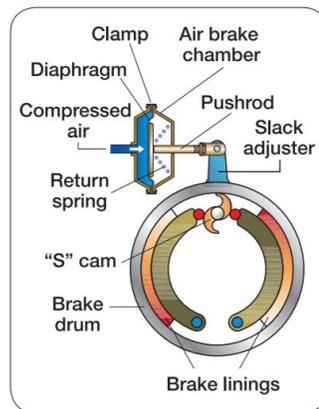
delanteras, la segunda envía flujo de aire a las válvulas relay ubicadas en los ejes traseros, estas permiten el paso proporcional de aire a las cámaras de freno mayores ubicadas en cada llanta trasera.⁶¹

El tanque de frenos de emergencia alimenta el puerto secundario de las cámaras de freno mayores permitiendo que el resorte interno permanezca contraído, las válvulas manuales de parqueo del tráiler y cabezote ubicadas en la cabina del tractocamión una vez pulsadas liberan el aire contenido permitiendo que el resorte elongue accionando el sistema de bandas, en consecuencia, el las ruedas quedan completamente bloqueadas.

6.2.3.1 Mecanismo de bandas

El sistema de frenos tiene como objeto principal el accionamiento del sistema de bandas que se aprecia en la siguiente imagen:

Figura 28. Sistema de bandas de freno II



Fuente: Mecanismo de bandas pág. 3, disponible en:

http://www.hpw.gov.vk.cal/pdf11_CommercialVehiclesHamdbook_Ch8_part-1-FinalWeb.pdf

El actuador encargado de la apertura de las bandas son las cámaras de freno mayores, estas funcionan mediante un resorte contraído por fuerza neumática, en efecto, cuando el operador oprime la válvula pedal la cámara libera aire, entonces, el resorte se elonga proporcionalmente sacando la horquilla, la cual abre las

⁶¹ KENWORTH: Manual del operador T660, T800, W900, sección 4 pág. 8

bandas frenando las ruedas en el momento en que las bandas tocan la campana.⁶²

⁶² Bendix, Servicio cámara de freno Boletín SD-02-4526, disponible en: https://www.bergeystruckcenters.com/docs/vendors/Bendix_service_data.pdf

7. Estrategia de mantenimiento RCM

El plan de mantenimiento está estructurado en base a la norma SAE J1739 y evaluado con la norma SAE JA 1012 contando con algunas modificaciones con el fin de ajustarse a los requerimientos de la empresa, la platilla empleada es la siguiente:

Figura 29. Plantilla de mantenimiento de la empresa

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA				
					Modelo del equipo									
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	N	Acciones recomendadas	Resultados			
											Acciones tomadas	S E V	O C T	D E P N

Fuente: Autor del proyecto, plantilla

Dentro de la plantilla se documentan los componentes relevantes de los sistemas del equipo, puede observarse que la valoración de la severidad se ubica posteriormente de modo que resalta directamente el impacto, los valores de los indicadores son tomados en base a las tablas propuestas por la norma documentadas en el marco teórico de la presente investigación, por otra parte tiene una valoración posterior a las acciones que mitigan los modos de fallo lo cual permite valorar el beneficio inmediato.

En la casilla de inspecciones de detección se documentan las acciones realizadas por el personal mantenedor que previenen el modo de fallo, por consiguiente, la casilla de acciones tomadas se documentan las frecuencias de los mantenimientos o si es necesario una evaluación de la condición del componente antes de realizar una acción de mantenimiento.

7.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO KENWORTH T800

7.1.1 Sistema eléctrico

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Eléctrico				1 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Motor de arranque 42MT	Mecanismo de solenoide atascado	EL circuito no se cierra impidiendo que el engranaje bendix empalme con el volante de motor	7	Desgaste del material protector/ Exceso de contaminación de los contactos	5	Probar el funcionamiento del motor accionando el arranque	Revisar las conexiones del solenoide y el estado del embolo metálico	3	105	Lijar el embolo para mejorar el contacto eléctrico / Reemplazar en caso de excesivo desgaste /comprobar conexiones	cada 100.000 Km	7	5	1	35
	Campos eléctricos desconectados	No se genera el campo magnético por lo que el rotor permanece estático	9	Desgaste por fricción del rotor	5	Probar el funcionamiento del motor accionando el arranque	Comprobar las conexiones de los campos	2	90	Reemplazo de los campos eléctricos / aplicar soldadura si la desconexión es leve	cada 100.000 Km	9	5	1	45
	Escobillas gastadas	El contacto con el rotor disminuye al mismo tiempo que la fuerza del torque	3	Desgaste por fricción	5	Revisar el tiempo de arranque no supere los 15 seg	Comprobar el nivel de desgaste de las escobillas y el estado del rotor	2	30	Reemplazo del conjunto de escobillas	cada 100.000 Km	3	5	1	15
	Bujes desgastados	El eje gira con mayor dificultad limitando la fuerza del motor	4	Desgaste normal del material	5	Comprobar ruido del motor	Analizar el desgaste del buje y su geometría	3	60	Reemplazo de bujes	cada 100.000 Km	4	5	1	20

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Eléctrico				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Alternador 22SI	Placa del regulador dañada	La bobina del estator puede quemarse produciendo una generación excesiva de tensión	8	Transistor averiado	5	Inspeccionar la lectura de voltaje	Comprobar la continuidad de los transistores empleando un multímetro	7	280	Reemplazo del transistor o de la placa de regulador en el caso de estar averiada por completo	Cada 60000Km	8	5	1	40
	Escobillas deterioradas	Perdida del 30% de capacidad de generación	5	Desgaste por fricción	5	Comprobar que el banco de baterías se cargue en un tiempo menor a 4 minutos	Comprobar el nivel de desgaste de las escobillas y el estado del rotor	2	50	Reemplazar el juego de escobillas	Cada 60000Km	5	5	1	25
	Rodamiento 6305 averiado	Aumento de vibraciones limitando el contacto con las escobillas	5	Desgaste normal	5	Revisar el nivel de ruido	Revisar el nivel de desgaste del rodamiento	2	50	Reemplazo del rodamiento	Cada 60000Km	5	5	1	25
Banco de baterías	Corrosión	Los contactos pierden conductividad impidiendo el paso de corriente	7	Alta temperatura en el compartimiento de baterías / carga excesiva	5	Revisar las conexiones del banco	Revisar si existen sobrecargas en el alternador	1	35	Limpiar los bornes de las baterías, Inspecciones frecuentes	Por inspección	7	5	1	35

7.1.2 Sistema de frenos

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Frenos neumáticos				1 de 4				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Governador de aire	Empaques desgastados	El compresor sufre de sobrecargas debido a fugas de aire en la válvula interna	8	Desgaste progresivo	5	Revisar la presión de aire	Desmontar el set de empaques	4	160	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	8	5	1	40
	Válvula de escape averiada	La descarga de aire se produce automáticamente desconectando el compresor	5	Desgaste progresivo	5	Revisar pérdidas de presión neumática en el manómetro	Desmontaje de empaques / Búsqueda de grietas	4	100	Reemplazo de empaques/ En caso de grietas reemplazo de válvula	Cada 60000Km	5	5	1	25
Válvula pedal	Empaques desgastados	Se pierde fuerza en los actuadores de freno debido a fugas de aire	4	Desgaste progresivo	5	Pulsar la válvula en búsqueda de ruido por fugas	Desmontaje y desarmado de válvula, remoción de empaques	4	80	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	4	5	1	20
	Desgaste del sello neumático	Dificulta el movimiento de la válvula / limita el paso de aire	4	Desgaste progresivo	5	Pulsar la válvula	Desmontaje y desarmado de válvula, remoción de sello	4	80	Reemplazo de sello	Cada 60000Km	4	5	1	20
Cámara de freno sencilla	Resorte elongado	Disminución de la fuerza de frenado, el mecanismo de la horquilla sufre vibraciones	3	Desgaste progresivo	6	Comprobar si el tiempo de frenado aumenta aun con el cambio de bandas	Desmontaje de la cámara de freno	5	90	Sustitución de resorte	Cada 60000Km	3	6	1	18
	Fuelle tipo 10 reventado	Perdidas de presión dentro de la cámara limitan la salida de la horquilla	3	Desgaste progresivo	6	Comprobar si el tiempo de frenado aumenta aun con el cambio de bandas	Desmontaje de la cámara de freno	5	90	Sustitución del fuelle	Cada 60000Km	3	6	1	18

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Frenos neumáticos				2 de 4				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Compresor Cummins mono piston	Rodamiento de eje desgastado	Aumenta la fricción en el movimiento del pistón produciendo un aumento en la tensión de la correa	8	Desgaste progresivo	5	Detección de ruido excesivo en el compresor	Evaluación del desgaste del rodamiento y dimensiones geométricas	5	200	Reemplazo del rodamiento	cada 100.000 Km	8	5	1	40
	Empaque de pistón desgastados	Se producen filtraciones de aire entre el cilindro y el pistón generando pérdidas de presión	4	Desgaste progresivo	5	No aplicable	Remover el empaque desgastado	5	100	Reemplazo de empaque	cada 100.000 Km	4	5	1	20
	Cilindro del pistón desgastado	El cilindro presenta holguras con el cilindro produciendo pérdidas de presión	8	Desgaste progresivo	5	Revisar los niveles de presión de aire y el tiempo de carga	Toma de medidas del cilindro y el pistón para medir el grado de desgaste	5	200	Reemplazo del pistón con nueva geometría	cada 100.000 Km	8	5	1	40
	Conjunto de válvulas cheque desgastado	El aceite de lubricación se filtra contaminando los acumuladores neumáticos	8	Desgaste progresivo	4	Purgar los acumuladores neumáticos en búsqueda de lubricante	Desmontar el conjunto de válvulas	4	128	Reemplazo del conjunto de válvulas	cada 100.000 Km	8	4	1	32
Secador de aire	Cartucho desgastado	La filtración de aire se ejecuta con muy baja eficiencia generando contaminación en los demás componentes	4	Desgaste progresivo	5	Purgar el secador	Extracción del cartucho revisando la cantidad de lubricante presente	3	60	Reemplazo del cartucho	cada 90.000 Km	4	5	1	20
	Válvula de Purga averiada	El secador no puede liberar la humedad acelerando el desgaste del cartucho	4	Desgaste de empaques internos	5	Revisar el nivel de agua del secador de aire / Ejecutar purgas periódicas para probar la válvula	Extracción de empaquetaduras de la válvula/ Búsqueda de grietas	3	60	Reemplazo del conjunto de empaques / Reemplazo de la válvula en caso de grietas	cada 90.000 Km	4	5	1	20

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Frenos neumáticos				3 de 4				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Camara de freno mayor	Resorte averiado	Se prolonga el tiempo de frenado debido a pérdidas de fuerza en el sistema de bandas	2	Desgaste progresivo	4	Revisar el tiempo de frenado del vehículo	Desmontar la cámara de freno y remover el resorte	3	24	Reemplazo del resorte	Cada 60000Km	2	4	1	8
	Fuelle tipo 20 reventado	Perdida de presión en la fuerza de freno/ Aumento del tiempo de frenado / Posible bloqueo del freno de parqueo	2	Desgaste progresivo	4	Revisar el tiempo de frenado del vehículo	Desmontar la cámara de freno y remover el fuelle	3	24	Reemplazo del fuelle	Cada 60000Km	2	4	1	8
	Orificios internos en cámara de servicio	El aire de la cámara de servicio se filtra a la de freno de parqueo bloqueando el vehículo	2	Presencia de humedad dentro de la cámara genera aberturas por corrosión	4	Probar el freno de parqueo para determinar si libera el vehículo rápidamente	Remover la cámara de freno	3	24	Reemplazo de la cámara de freno	Cada 60000Km	2	4	1	8
Válvula Relay	Empaques desgastados	Las fugas de aire disminuyen la fuerza ejercida en las cámaras de freno	6	Desgaste progresivo	6	Revisar el aumento del tiempo de frenado	Desmontar válvula y Remover el set de empaques	3	108	Reemplazo del juego de empaques	Cada 60000Km	6	6	1	36
	Sellos neumáticos desgastados	Limitan la salida de aire hacia las cámaras de freno	6	Desgaste progresivo	6	Revisar el aumento del tiempo de frenado	Desmontar válvula y remover sellos	3	108	Reemplazo de empaques de sellos	Cada 60000Km	6	6	1	36
Válvula de freno de parqueo	Empaques desgastados	Se producen fugas que retrasan la liberación de los frenos por pérdidas de presión	7	Desgaste progresivo	6	Accionar la válvula en búsqueda de ruidos por fugas	Desmontaje y desarmado de la válvula, remoción de empaques	5	210	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	7	6	1	42

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Frenos neumáticos			4 de 4					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Válvula de freno de emergencia (freno de parqueo del tráiler)	Empaques desgastados	Se pierde presión por fugas de aire lo cual dificulta que las cámaras de aire contraigan la horquilla	4	Desgaste progresivo	5	Probar el freno de emergencia para determinar si libera el tráiler rápidamente	Desmontaje de válvula de emergencia y remoción de empaques	4	80	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	4	5	1	20
Válvula moduladora	Empaques desgastados	Perdida de presión por fuga impide que los frenos sean liberados	8	Desgaste progresivo	6	No aplicable	Desmontar la válvula moduladora y remover empaques	5	240	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	8	6	1	48
Freno de tambor	Pastillas desgastadas	El tiempo de freno aumenta / cuando el desgaste es excesivo puede dañar el tambor de la rueda	2	Desgaste progresivo	5	Comprobar la rapidez del freno / Búsqueda de ruido una vez que se acciona el freno	Evaluación del nivel de desgaste de la banda	3	30	Cambio del juego de bandas si es desgaste es próximo al remache	Cada 60000Km	2	5	1	10

7.1.3 Sistema de inyección de combustible

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Inyección de combustible				1 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Inyector de combustible signature	Toberas obstruidas	Se anula la operación del cilindro	7	Partículas de suciedad presentes en el combustible tapan la tobera	3	No aplica	Desmontaje del inyector y desarmado	7	147	Limpieza de toberas y galerías internas (laboratorio de inyección de combustible)	cada 100.000 Km	7	3	1	21
	Aro sellos desgastados	Se producen fugas de combustible que no es atomizado / Aumento del consumo de combustible	7	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje del inyector y extracción de aro sellos	7	147	Reemplazo de aro sellos	cada 100.000 Km	7	3	1	21
	Deformación en las toberas	Perdida de potencia en la operación del cilindro	7	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje del inyector y desarmado / valoración del daño	7	147	Reemplazo de tobera	cada 100.000 Km	7	3	1	21
Filtro de combustible	Obstrucción del filtro	Permite el paso de partículas que pueden ocasionar obstrucciones en las galerías e inyectores	2	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje de filtro	6	60	Reemplazo del filtro	cada 15.000 Km	2	5	1	10
Actuador de dosificación de combustible	Bobina quemada	El combustible no llega al los inyectores anulando la operación de 3 cilindros	4	Falla aleatoria	3	No aplica	Desmontaje del actuador, comprobación de continuidad	7	84	Reemplazo del actuador	NA	4	3	7	84
Actuador de sincronización de combustible	Bobina quemada	Se anula la operación de 3 cilindros	7	Falla aleatoria	3	No aplica	Desmontaje del actuador, comprobación de continuidad	7	147	Reemplazo del actuador	NA	7	3	7	147

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Inyección de combustible			2 de 2					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	NPK	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Bomba de inyección de combustible	Aro sellos desgastados	Se producen fugas de combustible por el exterior de la bomba incrementando el consumo	6	Desgaste progresivo	4	Revisión de las superficies de la bomba de combustible en búsqueda de fugas	Desmontaje de bomba de combustible y extracción de aro sellos	5	120	Reemplazo de aro sellos	cada 100.000 Km	6	4	1	24
	Eje desgastado	Se producen fugas de combustible abundante exterior de la bomba incrementando el consumo	8	Desgaste progresivo	7	Revisión de las superficies de la bomba de combustible en búsqueda de fugas	Desmontaje de bomba de combustible	8	448	Reemplazo de la bomba de combustible	cada 100.000 Km	8	7	1	56
Regulador de presión de alta (320 Psi)	Fisuras internas	La presión excesiva del combustible genera daños para los inyectores	8	La presión de trabajo de combustible genera desgaste para el componente	4	No aplica	Desmontaje del regulador	8	256	Reemplazo del regulador de presión de alta	NA	8	4	8	256
Regulador de presión baja (250 Psi)	Fisuras internas	Permite un paso excesivo de combustible aumentando el consumo y afectando la mezcla	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje del regulador	8	224	Reemplazo del regulador de presión de baja	NA	7	4	8	224
Válvula de seguridad solenoide	Bobina quemada	Cuando el vehículo se apague el sistema de combustible sigue recibiendo suministro produciendo sobrepresiones	7	Falla aleatoria	5	Probar la continuidad del solenoide	Desmontaje de válvula	5	175	Reemplazo de válvula de seguridad	NA	7	5	5	175

7.1.4 Sistema de lubricación

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Lubricación			1 de 2					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Bomba de engranajes	Bomba bloqueada por contaminación	El flujo de lubricante disminuye considerablemente	8	Impurezas presentes en el fluido	3	Revisar la presión de operación en el tablero	Desmontaje de la tubería de succión	6	144	Limpieza de la tubería y de la bomba de engranes	cada 100.000 Km	8	3	1	24
	Flexión de eje	El flujo de lubricante no es uniforme generando baja presión	8	Diferencias de presiones dentro de la bomba	3	Variaciones en la lectura de presión	Desmontaje de la bomba y valoración de daños	6	144	Reemplazo de eje y engrane loco	cada 100.000 Km	8	3	1	24
	Sobrepresión en la bomba	Se desgasta el material de la carcasa	8	Presencia de virutas o astillas metálicas	3	Detección de ruido en la bomba de lubricación	Desmontaje de la bomba de lubricación	6	144	Desmontar la válvula de alivio al mínimo reajustando con ayuda del manómetro	cada 100.000 Km	8	3	1	24
	Bomba disminuye el caudal	fugas de lubricación en las líneas de alta y baja presión	8	Desgaste de sellos	3	Inspección visual de fugas de lubricante en la ubicación de la bomba	Desmontaje de la bomba de lubricación	6	144	Cambio de sellos de lubricación internos	cada 100.000 Km	8	3	1	24
Enfriador de aceite	Aumento de temperatura del aceite	El lubricante disminuye su viscosidad aumentando la fricción de los componentes	8	Contaminación excesiva dentro de las placas de enfriamiento	4	Revisar la temperatura de operación del motor	Desmontar el enfriador de aceite	3	96	Limpieza de placas de enfriamiento y entradas de lubricante	Cada 60000Km	8	4	1	32
	Fugas de lubricante	EL nivel del lubricante baja progresivamente	8	El empaque entre el enfriador y el bloque de motor esta desgastado	4	Revisar el enfriador de aceite en busca de fugas	Desmontar el enfriador de aceite	3	96	Reemplazo de empaque	Por inspección	8	4	3	96

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Lubricación			2 de 2					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Termostatos	Cámara de expansión bloqueada	Restricción de paso de lubricante	7	Desgaste de la capsula de expansión	3	Revisar la temperatura de operación	Desmontaje de componente	3	63	Cambio de termostato	Por inspección	7	3	3	63
Filtro de aceite	Saturación del filtro	Permite el paso de partículas al lubricante	7	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje de filtro	6	126	Cambio de filtro	cada 15.000 Km	7	3	1	21
Carter	Empaque desgastado	El nivel de lubricante disminuye por fuga	3	Desgaste de empaque	3	Revisar la superficie del Carter en búsqueda de fuga	Desmontar el Carter y remoción del empaque	4	36	Reemplazo de empaque	Por inspección	3	3	4	36

7.1.5 Sistema de admisión de aire

			PLANTA		EQUIPO			SISTEMA				HOJA			
			Bucaramanga		T800			Admisión de aire				1 de 2			
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Filtro de aire	Obstrucción del filtro	Paso de Suciedad al turbo cargador	2	Desgaste progresivo	5	No aplica	Remoción del filtro	3	30	Reemplazo del filtro	cada 45.000	2	5	3	30
Turbo cargador	Escape de aire en compresor	Perdida de potencia en la operación del motor	5	Sellos desgastados	5	Búsqueda de ruido en el turbo cargador	Desmontaje del turbo cargador	3	75	Cambio de sellos	Por inspección	5	5	3	75
	Obstrucción en la entrada de aceite	Perdida importante de aceite por sobrepresiones internas	8	Presencia de suciedad en el lubricante / Lubricante saturado	5	Búsqueda de fugas del lubricante	Desmontaje del turbo cargador	9	360	Limpieza de galería de admisión de lubricante	Por inspección	8	5	9	360
	Rueda del compresor bloqueada	El flujo de aire disminuye junto con la eficiencia del motor	8	Suciedad excesiva en la rueda impulsora	4	Busque de ruido y presencia de humo negro en el escape	Desmontaje del turbo cargador / búsqueda de desgaste en la carcasa por sobrecalentamientos	7	224	Limpieza de componentes internos y lubricación	cada 500.000 Km	8	4	1	32
	Desgaste bujes y eje del compresor	Perdida de flujo de aire	8	Contaminación en el lubricante	4	Busque de ruido y presencia de humo negro en el escape	Desmontaje del turbo cargador	7	224	Reemplazo de bujes y rueda del turbo cargador	cada 500.000 Km	8	4	1	32
Conductos de aire	Orificios en la superficie	Permite el ingreso de aire sin filtrar	5	Falla aleatoria por desgaste	5	Búsqueda de grietas o aberturas en la superficie de los conductos	Desmontaje de línea de admisión de aire	3	75	Aplicación de parches / En caso de desgaste excesivo se reemplaza el conducto	Por inspección	5	5	3	75

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Admisión de aire			2 de 2					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Intercooler	Daños externos por impacto	Perdida de capacidad de enfriamiento	3	Desmontaje defectuoso del componente / Golpes en mantos anteriores	5	Revisión del estado de las paletas del intercooler	Desmontaje del intercooler	3	45	Reparación de paletas / Daño mayúsculo requiere remplazo del intercooler	Por inspección	3	5	3	45
	Contaminación por lubricante	Se produce carbonilla dentro de las cámaras de cilindros y conductos	3	Fugas de aceite en el turbo cargador	5	Búsqueda de lubricante en las conexiones del intercooler y en el turbo cargador	Desmontaje del intercooler	6	90	Limpieza de los conductos internos del intercooler	cada 100.000 Km	3	5	1	15
	Conexiones de aire dañadas	Perdida de caudal de aire	3	Daños por golpes / mordazas desgastadas	5	Revisión visual de las conexiones para valoración de estado	Desmontaje de las líneas de alimentación de aire	5	75	Remplazo de mordazas	Por inspección	3	5	5	75
Múltiple de escape	Empaque desgastado	Fugas de gases por las paredes del bloque reduce la eficiencia del turbo cargador	3	Desgaste progresivo	7	Revisión de la conexión del múltiple con el bloque	Desmontaje del múltiple	3	63	Remplazo de empaque	Por inspección	3	7	3	63
	Grietas superficiales	Se produce una gran pérdida de gases de escape limitando el turbo cargador	3	Desgaste progresivo / Daños en el desmontaje	3	Revisión de la superficie del múltiple	Desmontaje del múltiple	3	27	Remplazo del múltiple de escape	Por inspección	3	3	3	27

7.1.6 Sistema de enfriamiento

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Enfriamiento				1 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Bomba hidráulica	Impeller desgastado	Perdida de caudal conduce a un incremento de la temperatura de operación	6	Desgaste progresivo	4	Revisar el nivel de temperatura no se eleve rápidamente después de operar el motor	Desmontaje de la bomba y valoración de desgaste interno	7	168	Cambio de impeller	cada 300.000 KM	6	4	1	24
	Sedimentación en la salida	Reducción de caudal y aumento de presión de trabajo	6	Refrigerante con impurezas	4	No aplica	Desmontaje de la bomba y valoración de desgaste interno	7	168	Raspado de sedimentos en la salida de la bomba y el impeller	cada 300.000 KM	6	4	1	24
	Rodamientos desgastados	El eje gira con dificultad reduciendo el caudal y elevando la temperatura	6	Desgaste progresivo	4	Búsqueda de ruido excesivo en la bomba	Desmontaje de la bomba y remoción de rodamientos	3	72	Cambio de rodamientos	cada 300.000 KM	6	4	1	24
	Sellos del eje desgastados	El refrigerante se filtra rápidamente desde el impeller hacia la polea de transmisión	6	Desgaste progresivo	4	Búsqueda goteos frecuentes en la bomba	Desmontaje de la bomba	2	48	Cambio de sellos del eje / Raspado de la superficie de unión y aplicación de silicona nueva	cada 300.000 KM	6	4	1	24
Radiador	Obstrucción de conductos	El paso de refrigerante disminuye dificultando la transferencia de calor	6	Sedimentos presentes en el refrigerante	6	Revisar el nivel de temperatura no se eleve rápidamente después de operar el motor	Desmontaje del radiador	7	252	sondear radiador	cada 100.000 Km	6	6	1	36

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Enfriamiento				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Mangueras	Grietas o aberturas	Perdida significativa de refrigerante	2	Desgaste progresivo	5	Revisar el estado de la superficie de las mangueras	Desmontaje de mangueras defectuosas	2	20	Reemplazo de mangueras	Por inspección	2	5	2	20
Termostatos	Cámara de expansión bloqueada	El refrigerante demora en ingresar al radiador aumentando la temperatura de trabajo	6	Desgaste de la capsula	5	Revisar si la temperatura se eleva rápidamente después de un corto periodo de operación del motor	Desmontaje de cámara de termostatos	7	210	Reemplazo de termostatos	Por inspección	6	5	7	210
Filtro de refrigerante	Contaminación excesiva	El material no es capaz de filtrar refrigerante eficazmente	7	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje del filtro	7	245	Reemplazo de filtro	cada 15.000 Km	7	5	1	35

7.1.7 Sistema de transmisión

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Transmisión				1 de 5				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Caja de transmisión EATON FULLER 16915	Rodamientos desgastados	Aumenta el esfuerzo mecánico entre los trenes de engranajes afectando la piñonería	7	Desgaste progresivo	3	Búsqueda de ruido en la transmisión	Desmontaje y desensamble de la transmisión / Realizar una valoración de desgaste de componentes	7	147	Reemplazo de rodamientos	cada 200.000 Km	7	3	1	21
	Engranajes rotos	Se desprenden virutas que dañan los demás engranajes / La fuerza del cambio se reduce	10	Falta de lubricación / Desgaste progresivo	3	Búsqueda de ruido en la transmisión / excesiva vibración en la palanca de cambios	Desmontaje de la transmisión y desarmado de trenes de engranajes	7	210	Reemplazo de juego de engranajes por cambio de velocidad	cada 200.000 Km	10	3	1	30
	Mecanismo de cambios atascado	La palanca de cambios permanece estática en un cambio determinado	10	Suciedad presente en los rieles o Lubricante desgastado	3	Revisar el movimiento de la palanca sea suave y manejable	Desmontaje de la caja y remoción de la palanca de cambios	7	210	Limpieza de rieles y cambio de bujes	cada 200.000 Km	10	3	1	30
	Bomba de lubricación averiada	Los engranajes se funden por la fricción dañando varios trenes de engranajes	10	Taponamiento por suciedad /piñón impulsor roto	3	Búsqueda de ruido excesivo de la piñonería	Desmontaje de la caja y desarmado de los trenes de engranajes, remoción de la bomba	7	210	Reemplazo de la bomba y trenes de engrane dañados	cada 200.000 Km	10	3	1	30
	Bujes de la prensa gastados	El operador tiene dificultad para ejecutar los cambios	7	Desgaste progresivo	3	Revisar el movimiento de la palanca sea suave y manejable	Desmontaje de la caja y el conjunto de prensa	7	147	Reemplazo de bujes	cada 200.000 Km	10	3	1	30

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Transmisión				2 de 5				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Mangueras hidráulicas de la transmisión	Grietas o aberturas	Perdida de lubricante	2	Impactos de sólidos en el trayecto	5	Revisar el estado de las líneas hidráulicas	Desmontaje de mangueras	2	20	Reemplazo de mangueras	Por inspección	2	5	2	20
Palanca de cambios	Yugos desgastados	La palanca se bloquea quedando en neutro	6	Desgaste progresivo	5	Revisar si la palanca presenta dificultad para accionar otras velocidades	Desmontaje de la palanca	4	120	Reemplazo de conjunto de yugos y resortes	Por inspección	6	5	4	120
	Baja presión en el regulador de aire	La palanca se bloquea quedando en neutro	6	Empaques desgastados o línea neumática perforada	5	Búsqueda de ruido por fuga de aire en la perilla de la palanca	Desmontaje de la palanca	4	120	Reemplazo de líneas neumáticas y empaques del regulador	Cada 60000Km	6	5	1	30
	Fugas de aire en la válvula maestra	Los cambios entran lentamente en operación	6	Líneas neumáticas gastadas / empaques desgastados	5	Búsqueda de ruido por fuga de aire transmisión	Desmontaje de la válvula en la transmisión	5	150	Reemplazo de empaque	Por inspección	6	5	5	150
	Cilindro de rango desgastado	Los cambios entran lentamente en operación	6	Seguros del cilindro desgastados	5	Revisar la respuesta de la transmisión después de ejecutar un cambio doble	Desmontaje de la válvula maestra de transmisión	5	150	Reemplazo del cilindro de rango	Cada 60000Km	6	5	1	30
Radiador de la transmisión	Incrustación en conductos	Disminuye la transferencia de calor permitiendo elevando la temperatura del lubricante	8	Sedimentos provenientes de la transmisión	4	No aplica	Desmontaje del radiador	7	224	desmontar radiador y sondear	cada 100.000 Km	8	4	1	32

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Transmisión			3 de 5					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Conjunto de diferenciales	Rodamientos desgastados	Aumenta la fricción en el giro de la corona / Los rodillos desgastados pueden dañar la guía del rodamiento	10	Desgaste progresivo / lubricante saturado de sedimentos	7	Búsqueda de exceso de ruido en el diferencial	Desmontaje del diferencial y Remoción de rodamientos	7	490	Cambio de rodamientos	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Piñonera rota	EL mecanismo trabaja con dificultad dañando componentes cercanos	10	Desgaste progresivo/Arranques bruscos	7	Búsqueda de exceso de ruido en el diferencial	Desmontaje del diferencial, extracción e inspección de corono, diferencial y planetarios	7	490	Reemplazo de piñones	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Lubricante desgastado	Los piñones puede sobrecalentar produciendo grandes deformaciones en los dientes	5	Tiempo de remplazo vencido	5	No aplica	Abrir el tapón de lubricación hasta depurar la cámara/ Limpieza del mecanismo corona piñones	4	100	Cambio de lubricante	Cada 60000Km	5	5	1	25
	Piñón motriz fracturado	Se anula la tracción del vehículo, el sistema no es capaz de moverse	10	Arranques bruscos	7	No aplica	Desmontaje del conjunto diferencial/ valoración del estado de la piñonera	7	490	Cambio del piñón motriz y remplazo de componentes afectados	cada 200.000 Km	10	7	1	70

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Transmisión				4 de 5				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Conjunto de diferenciales	Corona fracturada	La tracción queda parcialmente interrumpida dificultando la movilidad del vehículo	10	Arranques bruscos	7	Búsqueda de ruido excesivo en los diferenciales	Desmontaje del mecanismo diferencial/ valoración de daños	7	490	Reemplazo de la corona	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Rodamientos desgastados	El mecanismo opera con una leve dificultad	10	Desgaste progresivo	7	Búsqueda de ruido leve dentro del diferencial	Desmontaje del diferencial/ valoración de estado del rodamiento	7	490	Cambio de rodamientos	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Sellos desgastados	Perdida importante de lubricante desgastando la piñonería rápidamente	10	Desgaste progresivo	7	Inspección visual fugas de lubricante en el diferencial	Desmontaje del diferencial, remoción de sellos	7	490	Cambio de sellos y silicona	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Engrane lateral picado	Pueden astillarse los piñones planetarios desgastando el conjunto completo	10	Desgaste excesivo	7	Búsqueda de ruido leve dentro del diferencial	Desmontaje del diferencial/ valoración de estado de piñones	7	490	Reemplazo de engrane lateral	cada 200.000 Km	10	7	1	70

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Transmisión			5 de 5					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Ruedas	Rodamientos desgastados	Los componentes móviles pueden llegar a fundirse bloqueando parcialmente la rueda	3	Desgaste progresivo	5	Búsqueda de ruido una vez el vehículo se desplace	Desmontaje de la rueda / valoración del estado del rodamiento	7	105	Cambio de rodamiento	Cada 60000Km	3	5	1	15
	Retenedor de lubricante desgastado	El lubricante se contamina ocasionando que pierda viscosidad	3	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje de la rueda/ extracción del retenedor	4	60	Cambio del retenedor	Cada 60000Km	3	5	1	15
	Buje de dirección desgastado	La rueda delantera presenta dificultad para girar	3	Desgaste progresivo	5	Búsqueda de ruido en la rueda una vez toma dirección el operador	Desmontaje de la rueda/ extracción del buje	7	105	Cambio del buje	Cada 60000Km	3	5	1	15
Prensa de embrague	Disco de embrague gastado	Aumento del esfuerzo mecánico entre el disco y el volante puede afectar otras piezas de la prensa	3	Desgaste progresivo	4	Revisar en el momento de soltar el embrague el nivel de ruido y vibración	Desmontaje de la transmisión y remoción del conjunto prensa / realizar valoración de daños	5	60	Reemplazo del disco y lijado del volante del motor	cada 200.000 Km	3	4	1	12
	Muelle de diafragma averiado	Perdida de fuerza de fricción entre el disco y el volante	3	Desgaste progresivo	4	Revisar en el momento de soltar el embrague el nivel de ruido y vibración	Desmontaje de la transmisión y remoción del conjunto prensa / realizar valoración de daños	5	60	Reemplazo de muelle de diafragma	cada 200.000 Km	3	4	1	12

7.1.8 Bloque de motor (mantenimiento mayor)

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Bloque de motor (Mantenimiento mayor)			1 de 2					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Pistones	Fractura de cabeza	Se produce una fuga abundante de aceite ingresando por la cámara a todo el sistema	10	Falla del material por tiempo de vida	4	No aplica	Desmontaje del bloque y remoción de pistones/ Valoración de daños	9	360	Reemplazo de pistones y anillos	Cada 1400000Km	3	4	9	108
Biela	Casquetes desgastados	Las bielas deslizan con dificultad, produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de bielas y casquetes	8	224	Reemplazo de casquetes	Cada 1400000Km	2	4	10	80
Bancada	Casquetes desgastados	El los ejes conjunto de válvulas deslizan con dificultad produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de ejes de válvulas y reemplazo de casquetes	8	224	Reemplazo de casquetes /Lubricación de superficies/ Calibración de válvulas y freno de motor	Cada 1400000Km	2	4	10	80
Camisas de cilindros	Superficie rayada	Aumento de pérdidas mecánicas / fugas de lubricante dentro de las cámaras de combustión	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de camisas de motor	8	224	Reemplazo de camisas de motor	Cada 1400000Km	2	3	10	60
Empaque de motor	Porosidad interna	Perdida de lubricante / Perdida de refrigerante / ingreso de aceite dentro de la cámara	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje del bloque y desmontaje del empaque	7	196	Reemplazo de empaque de motor	Cada 1400000Km	3	4	7	84

El mantenimiento mayor requiere un desmontaje completo del motor para todas las tareas, se realiza una profunda limpieza de las galerías internas una vez extraído el motor el vehículo.

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Bloque de motor (Mantenimiento mayor)				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Empaque de la carcasa de distribución	Porosidad interna	Fugas de lubricante incrementando pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de la tapa y remoción del empaque	8	224	Reemplazo de empaque	Cada 1400000Km	3	4	8	96
Válvulas de escape	Grietas en el platillo	La combustión no se realiza eficientemente permitiendo la formación de hollín/ pérdida de la potencia nominal del motor	9	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje de válvulas y valoración de daños	9	243	Reemplazo de válvulas de escape	Cada 1400000Km	2	3	9	54
Válvulas de admisión	Grietas en el platillo	La combustión no se realiza eficientemente permitiendo la formación de hollín/ pérdida de la potencia nominal del motor	9	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje de válvulas y valoración de daños	9	243	Reemplazo de válvulas de admisión	Cada 1400000Km	2	3	9	54
Casquetes de cigüeñal	Superficie rayada	Aumento de pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de casquetes del bloque inferior del cigüeñal /limpieza de superficies internas	8	224	Reemplazo de casquetes	Cada 1400000Km	2	4	8	64

7.1.9 Bloque de motor (mantenimiento menor)

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Bloque de motor (Mantenimiento menor)			1 de 2					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Pistones	Anillos desgastados	Se producen fugas de lubricante dentro de la cámara / Perdidas de presión en el cilindro aumentando las pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de la culata y anillos de pistón/ valoración del estado del pistón	9		Reemplazo de anillos	Cada 800000Km	2	2	9	36
Biela	Casquetes desgastados	Las bielas deslizan con dificultad, produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de bielas y casquetes	8	112	Reemplazo de casquetes	Cada 800000Km	2	4	10	80
Bancada	Casquetes desgastados	El los ejes conjunto de válvulas deslizan con dificultad produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de ejes de válvulas y reemplazo de casquetes	8	112	Reemplazo de casquetes /Lubricación de superficies/ Calibración de válvulas y freno de motor	Cada 800000Km	2	4	10	80
Camisas de cilindros	Superficie rayada	Aumento de pérdidas mecánicas / fugas de lubricante dentro de las cámaras de combustión	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de camisas de motor	8	112	Reemplazo de camisas de motor	Cada 800000Km	2	3	10	60
Empaque de motor	Porosidad interna	Perdida de lubricante / Perdida de refrigerante / ingreso de aceite dentro de la cámara	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje del bloque y desmontaje del empaque	7	98	Reemplazo de empaque de motor	Cada 800000Km	3	4	7	84

Las tareas de mantenimiento corresponden a una semi reparación del motor, el motor no es removido del vehículo.

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Bloque de motor (Mantenimiento menor)				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	N P R	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Empaque de la carcasa de distribución	Porosidad interna	Fugas de lubricante incrementando perdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de la tapa y remoción del empaque	8	112	Reemplazo de empaque	Cada 800000Km	2	2	8	32
Casquetes de cigüeñal	Superficie rayada	Aumento de perdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de casquetes del bloque inferior del cigüeñal /limpieza de	8	112	Reemplazo de casquetes	Cada 800000Km	2	4	8	64

7.2 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO KENWORTH T660

7.2.1 Sistema eléctrico

			PLANTA			EQUIPO		SISTEMA				HOJA			
			Bucaramanga			T660		Eléctrico				1 de 2			
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Motor de arranque	Mecanismo de solenoide atascado	El circuito no se cierra impidiendo que el engranaje bendix empalme con el volante de motor	7	Desgaste del material protector/ Exceso de contaminación de los contactos	5	Probar el funcionamiento del motor accionando el arranque	Revisar las conexiones del solenoide y el estado del embolo metálico	3	105	Lijar el embolo para mejorar el contacto eléctrico / Reemplazar en caso de excesivo desgaste /comprobar conexiones	cada 100.000 Km	7	5	1	35
	Campos eléctricos desconectados	No se genera el campo magnético por lo que el rotor permanece estático	9	Desgaste por fricción del rotor	5	Probar el funcionamiento del motor accionando el arranque	Comprobar las conexiones de los campos	2	90	Reemplazo de los campos eléctricos / aplicar soldadura si la desconexión es leve	cada 100.000 Km	9	5	1	45
	Escobillas gastadas	El contacto con el rotor disminuye al mismo tiempo que la fuerza del torque	3	Desgaste por fricción	5	Revisar el tiempo de arranque no supere los 15 seg	Comprobar el nivel de desgaste de las escobillas y el estado del rotor	2	30	Reemplazo del conjunto de escobillas	cada 100.000 Km	3	5	1	15
	Bujes desgastados	El eje gira con mayor dificultad limitando la fuerza del motor	4	Desgaste normal del material	5	Comprobar ruido del motor	Analizar el desgaste del buje y su geometría	3	60	Reemplazo de bujes	cada 100.000 Km	4	5	1	20
Banco de baterías	Corrosión	Los contactos pierden conductividad impidiendo el paso de corriente	7	Alta temperatura en el compartimiento de baterías / carga excesiva	5	Revisar las conexiones del banco	Revisar si existen sobrecargas en el alternador	1	35	Limpiar los bornes de las baterías, Inspecciones frecuentes	Por inspección	7	5	1	35

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T660		Eléctrico				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Alternador	Placa del regulador dañada	La bobina del estator puede quemarse produciendo una generación excesiva de tensión	8	Transistor averiado	5	Inspeccionar la lectura de voltaje	Comprobar la continuidad de los transistores empleando un multímetro	7	280	Reemplazo del transistor o de la placa de regulador, en el caso de estar averiada por completo	Cada 60000Km	8	5	1	40
	Escobillas deterioradas	Perdida del 30% de capacidad de generación	5	Desgaste por fricción	5	Comprobar que el banco de baterías se cargue en un tiempo menor a 4 minutos	Comprobar el nivel de desgaste de las escobillas y el estado del rotor	2	50	Reemplazar el juego de escobillas	Cada 60000Km	5	5	1	25
	Rodamiento 6305 averiado	Aumento de vibraciones limitando el contacto con las escobillas	5	Desgaste normal	5	Revisar el nivel de ruido	Revisar el nivel de desgaste del rodamiento	2	50	Reemplazo del rodamiento	Cada 60000Km	5	5	1	25

7.2.2 Sistema de frenos

			PLANTA			EQUIPO		SISTEMA				HOJA			
			Bucaramanga			T660		Frenos				1 de 4			
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Compresor Cummins doble pistón	Rodamiento de eje desgastado	Aumenta la fricción en el movimiento del pistón produciendo un aumento en la tensión de la correa	8	Desgaste progresivo	5	Detección de ruido excesivo en el compresor	Evaluación del desgaste del rodamiento y dimensiones geométricas	5	200	Reemplazo del rodamiento	cada 100.000 Km	8	5	1	40
	Empaque de pistones desgastados	Se producen filtraciones de aire entre el cilindro y el pistón generando pérdidas de presión	4	Desgaste progresivo	5	No aplica	Remover el empaque desgastado	5	100	Reemplazo de empaque	cada 100.000 Km	4	5	1	20
	Cilindro del pistón desgastado	El cilindro presenta holguras con el cilindro produciendo pérdidas de presión	8	Desgaste progresivo	5	Revisar los niveles de presión de aire y el tiempo de carga	Toma de medidas del cilindro y el pistón para medir el grado de desgaste	5	200	Reemplazo del pistón con nueva geometría / reemplazo de casquetes	cada 100.000 Km	8	5	1	40
	Filtro de aire contaminado	La suciedad y el lubricante pueden filtrarse por el sistema contaminando el sistema	4	Desgaste progresivo	5	Desconectar la salida del compresor y acelerar el motor para medir el nivel de contaminación	Desmontaje del filtro	5	100	Cambio de filtro de aire	cada 30.000 Km	4	5	1	20
	Conjunto de válvulas cheque desgastado	El aceite de lubricación se filtra contaminando los acumuladores neumáticos	8	Desgaste progresivo	4	Purgar los acumuladores neumáticos en búsqueda de lubricante	Desmontar el conjunto de válvulas	4	128	Reemplazo del conjunto de válvulas	cada 100.000 Km	8	4	1	32

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T660		Frenos				2 de 4				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Válvula pedal	Empaques desgastados	Se pierde fuerza en los actuadores del freno debido a fugas de aire	4	Desgaste progresivo	5	Pulsar la válvula en búsqueda de ruido por fugas	Desmontaje y desarmado de válvula, remoción de empaques	4	80	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	4	5	1	20
	Desgaste del sello neumático	Dificulta el movimiento de la válvula / limita el paso de aire	4	Desgaste progresivo	5	Pulsar la válvula	Desmontaje y desarmado de válvula, remoción de sello	4	80	Reemplazo de sello	Cada 60000Km	4	5	1	20
Cámara de freno sencilla	Resorte elongado	Disminución de la fuerza de frenado, el mecanismo de la horquilla sufre vibraciones	3	Desgaste progresivo	6	Comprobar si el tiempo de frenado aumenta aun con el cambio de bandas	Desmontaje de la cámara de freno	5	90	Sustitución de resorte	Cada 60000Km	3	6	1	18
	Fuelle tipo 10 reventado	Perdidas de presión dentro de la cámara limitan la salida de la horquilla	3	Desgaste progresivo	6	Comprobar si el tiempo de frenado aumenta aun con el cambio de bandas	Desmontaje de la cámara de freno	5	90	Sustitución del fuelle	Cada 60000Km	3	6	1	18
Gobernador de aire	Empaques desgastados	El compresor sufre de sobrecargas debido a fugas de aire en la válvula interna	8	Desgaste progresivo	5	Revisar la presión de aire	Desmontar el set de empaques	4	160	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	8	5	1	40
	Válvula de escape averiada	La descarga de aire se produce automáticamente desconectando el compresor	5	Desgaste progresivo	5	Revisar pérdidas de presión neumática en el manómetro	Desmontaje de empaques / Búsqueda de grietas	4	100	Reemplazo de empaques/ En caso de grietas reemplazo de válvula	Cada 60000Km	5	5	1	25

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T660		Frenos				3 de 4				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Válvula Relay	Empaques desgastados	Las fugas de aire disminuyen la fuerza ejercida en las cámaras de freno	6	Desgaste progresivo	6	Revisar el aumento del tiempo de frenado	Desmontar válvula y Remover el set de empaques	3	108	Reemplazo del juego de empaques	Cada 60000Km	6	6	1	36
	Sellos neumáticos desgastados	Limitan la salida de aire hacia las cámaras de freno	6	Desgaste progresivo	6	Revisar el aumento del tiempo de frenado	Desmontar válvula y remover sellos	3	108	Reemplazo de empaques de sellos	Cada 60000Km	6	6	1	36
Válvula de freno de parqueo	Empaques desgastados	Se producen fugas que retrasan la liberación de los frenos por pérdidas de presión	4	Desgaste progresivo	5	Accionar la válvula en búsqueda de ruidos por fugas	Desmontaje y desarmado de la válvula, remoción de empaques	4	80	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	4	5	1	20
Cámara de freno mayor	Resorte elongado	Se prolonga el tiempo de frenado debido a pérdidas de fuerza en el sistema de bandas	2	Desgaste progresivo	4	Revisar el tiempo de frenado del vehículo	Desmontar la cámara de freno y remover el resorte	3	24	Reemplazo del resorte	Cada 60000Km	2	4	1	8
	Fuelle tipo 20 reventado	Perdida de presión en la fuerza de freno/ Aumento del tiempo de frenado / Posible bloqueo del freno de parqueo	2	Desgaste progresivo	4	Revisar el tiempo de frenado del vehículo	Desmontar la cámara de freno y remover el fuelle	3	24	Reemplazo del fuelle	Cada 60000Km	2	4	1	8
	Aberturas internas en la cámara interna de servicio	El aire de la cámara de servicio se filtra a la de freno de parqueo bloqueando el vehículo	2	Presencia de humedad dentro de la cámara genera aberturas por corrosión	4	Probar el freno de parqueo para determinar si libera el vehículo rápidamente	Remover la cámara de freno	3	24	Reemplazo de la cámara de freno	Cada 60000Km	2	4	1	8

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T660		Frenos				4 de 4				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Válvula moduladora	Empaques desgastados	Perdida de presión por fuga impide, que los frenos sean liberados	8	Desgaste progresivo	6	No aplica	Desmontar la válvula moduladora y remover empaques	5	240	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	8	6	1	48
Freno de tambor	Pastillas desgastadas	El tiempo de freno aumenta / cuando el desgaste es excesivo puede dañar el tambor de la rueda	2	Desgaste progresivo	5	Comprobar la rapidez del freno / Búsqueda de ruido una vez que se acciona el freno	Evaluación del nivel de desgaste de la banda	3	30	Cambio del juego de bandas si es desgaste es próximo al remache	Cada 60000Km	8	6	1	48
Válvula de freno de emergencia (freno de parqueo del tráiler)	Empaques desgastados	Se pierde presión por fugas de aire lo cual dificulta que las cámaras de aire contraigan la horquilla	4	Desgaste progresivo	5	Probar el freno de emergencia para determinar si libera el tráiler rápidamente	Desmontaje de válvula de emergencia y remoción de empaques	4	80	Reemplazo de empaques	Cada 60000Km	4	5	1	20
Secador de aire	Cartucho desgastado	La filtración de aire se ejecuta con muy baja eficiencia generando contaminación en los demás componentes	4	Desgaste progresivo	5	Purgar el secador	Extracción del cartucho revisando la cantidad de lubricante presente	3	60	Reemplazo del cartucho	cada 90.000 Km	4	5	1	20
	Válvula de Purga averiada	El secador no puede liberar la humedad acelerando el desgaste del cartucho	4	Desgaste de empaques internos	5	Revisar el nivel de agua del secador de aire / Ejecutar purgas periódicas para probar la válvula	Extracción de empaquetaduras de la válvula/ Búsqueda de grietas	3	60	Reemplazo del conjunto de empaques / Reemplazo de la válvula en caso de grietas	cada 90.000 Km	4	5	1	20

7.2.3 Sistema de inyección de combustible

			PLANTA			EQUIPO			SISTEMA				HOJA		
			Bucaramanga			T660			Inyección de combustible				1 de 2		
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Bomba de inyección de combustible	Aro sellos desgastados	Se producen fugas de combustible por el exterior de la bomba incrementando el consumo	6	Desgaste progresivo	4	Revisión de las superficies de la bomba de combustible en búsqueda de fugas	Desmontaje de bomba de combustible y extracción de aro sellos	5	120	Reemplazo de aro sellos	cada 100.000 Km	6	4	1	24
	Eje desgastado	Se producen fugas de combustible abundante exterior de la bomba incrementando el consumo	8	Desgaste progresivo	7	Revisión de las superficies de la bomba de combustible en búsqueda de fugas	Desmontaje de bomba de combustible	8	448	Reemplazo de la bomba de combustible	cada 100.000 Km	8	7	1	56
Válvula de seguridad solenoide	Bobina quemada	Cuando el vehículo se apague el sistema de combustible sigue recibiendo suministro produciendo sobrepresiones	7	Falla aleatoria	5	Probar la continuidad del solenoide	Desmontaje de válvula	5	175	Reemplazo de válvula de seguridad	NA	7	5	5	175
Sensor de presión	Fisuras internas	El sensor es incapaz de operar permitiendo sobrepresiones	8	Falla aleatoria	4	No aplica	Desmontaje del sensor	8	256	Cambio de sensor	NA	8	4	8	256
Válvula de cierre de combustible	Empaques desgastados	Perdida de combustible por fugas/ sobrepresiones en el sistema por exceso de combustible	7	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje de la válvula de combustible	5	175	Cambio de empaques y valoración del estado	cada 100.000 Km	7	5	1	35

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T660		Inyección de combustible				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Inyector de combustible signature	Toberas obstruidas	Se anula la operación del cilindro	7	Partículas de suciedad presentes en el combustible tapan la tobera	3	No aplica	Desmontaje del inyector y desarmado	7	147	Limpieza de toberas y galerías internas (laboratorio de inyección de combustible)	cada 100.000 Km	7	3	1	21
	Aro sellos desgastados	Se producen fugas de combustible que no es atomizado / Aumento del consumo de combustible	7	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje del inyector y extracción de aro sellos	7	147	Reemplazo de aro sellos	cada 100.000 Km	7	3	1	21
	Deformación en las toberas	Perdida de potencia en la operación del cilindro	7	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje del inyector y desarmado / valoración del daño	7	147	Reemplazo de tobera	cada 100.000 Km	7	3	1	21
Filtro de combustible	Obstrucción del filtro	Permite el paso de partículas que pueden ocasionar obstrucciones en las galerías e inyectores	2	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje de filtro	6	60	Reemplazo del filtro	cada 15.000 Km	2	5	1	10

7.2.4 Sistema de admisión de aire

			PLANTA			EQUIPO		SISTEMA				HOJA			
			Bucaramanga			T660		Admisión de aire				1 de 2			
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Filtro de aire	Obstrucción del filtro	Paso de Suciedad al turbo cargador	2	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje del filtro	3	30	Reemplazo del filtro	cada 45.000	2	5	3	30
Turbo cargador	Escape de aire en compresor	Perdida de potencia en la operación del motor	5	Sellos desgastados	5	Búsqueda de ruido en el turbo cargador	Desmontaje del turbo cargador	3	75	Cambio de sellos	Por inspección	5	5	3	75
	Obstrucción en la entrada de aceite	Perdida importante de aceite por sobre presiones internas	8	Presencia de suciedad en el lubricante / Lubricante saturado	5	Búsqueda de fugas del lubricante	Desmontaje del turbo cargador	9	360	Limpieza de galería de admisión de lubricante	Por inspección	8	5	9	360
	Rueda del compresor bloqueada	El flujo de aire disminuye junto con la eficiencia del motor	8	Suciedad excesiva en la rueda impulsora	4	Busque de ruido y presencia de humo negro en el escape	Desmontaje del turbo cargador / búsqueda de desgaste en la carcasa por sobrecalentamientos	7	224	Limpieza de componentes internos y lubricación	cada 500.000 Km	8	4	1	32
	Desgaste bujes y eje del compresor	Perdida de flujo de aire	8	Contaminación en el lubricante	4	Busque de ruido y presencia de humo negro en el escape	Desmontaje del turbo cargador	7	224	Reemplazo de bujes y rueda del turbo cargador	cada 500.000 Km	8	4	1	32
	Válvula de control de cierra obstruida	Los flujos de gases no se regulan desgastando la turbina	4	Filtro de aire interno saturado	5	No aplica	Desmontaje de la válvula de control	9	180	Cambio de empaques y filtro	cada 500.000 Km	8	4	1	32

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T660		Admisión de aire			2 de 2					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Conductos de aire	Orificios en la superficie	Permite el ingreso de aire sin filtrar	5	Falla aleatoria por desgaste	5	Búsqueda de grietas o aberturas en la superficie de los conductos	Desmontaje de línea de admisión de aire	3	75	Aplicación de parches / En caso de desgaste excesivo se reemplaza el conducto	Por inspección	5	5	3	75
Intercooler	Daños externos por impacto	Perdida de capacidad de enfriamiento	3	Desmontaje defectuoso del componente / Golpes en mantos anteriores	5	Revisión del estado de las paletas del intercooler	Desmontaje del interpolar	3	45	Reparación de paletas/ Daño mayúsculo requiere reemplazo del intercooler	Por inspección	3	5	3	45
	Contaminación por lubricante	Se produce carbonilla dentro de las cámaras de cilindros y conductos	3	Fugas de aceite en el turbo cargador	5	Búsqueda de lubricante en las conexiones del intercooler y en el turbo cargador	Desmontaje del intercooler	6	90	Limpieza de los conductos internos del interpolar	cada 100.000 Km	3	5	1	15
	Conexiones de aire dañadas	Perdida de caudal de aire	3	Daños por golpes / mordazas desgastadas	5	Revisión visual de las conexiones para valoración de estado	Desmontaje de las líneas de alimentación de aire	5	75	Reemplazo de mordazas	Por inspección	3	5	5	75
Múltiple de escape	Empaque desgastado	Fugas de gases por las paredes del bloque reduce la eficiencia del turbo cargador	3	Desgaste progresivo	7	Revisión de la conexión del múltiple con el bloque	Desmontaje del múltiple	3	63	Reemplazo de empaque	Por inspección	3	7	3	63
	Grietas superficiales	Se produce una gran pérdida de gases de escape limitando el turbo cargador	3	Desgaste progresivo / Daños en el desmontaje	3	Revisión de la superficie del múltiple	Desmontaje del múltiple	3	27	Reemplazo del múltiple de escape	Por inspección	3	3	3	27

7.2.5 Sistema de enfriamiento

			PLANTA			EQUIPO			SISTEMA				HOJA		
			Bucaramanga			T660			Enfriamiento				1 de 2		
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Bomba hidráulica	Impeller desgastado	Perdida de caudal conduce a un incremento de la temperatura de operación	6	Desgaste progresivo	4	Revisar el nivel de temperatura no se eleve rápidamente después de operar el motor	Desmontaje de la bomba y valoración de desgaste interno	7	168	Cambio de impeller	cada 300.000 KM	6	4	1	24
	Sedimentación en la salida	Reducción de caudal y aumento de presión de trabajo	6	Refrigerante con impurezas	4	No aplica	Desmontaje de la bomba y valoración de desgaste interno	7	168	Raspado de sedimentos en la salida de la bomba y el impeller	cada 300.000 KM	6	4	1	24
	Rodamientos desgastados	El eje gira con dificultad e reduciendo el caudal y elevando la temperatura	6	Desgaste progresivo	4	Búsqueda de ruido excesivo en la bomba	Desmontaje de la bomba y remoción de rodamientos	3	72	Cambio de rodamientos	cada 300.000 KM	6	4	1	24
	Sellos del eje desgastados	EL refrigerante se filtra rápidamente desde el impeller hacia la polea de transmisión	6	Desgaste progresivo	4	Búsqueda goteos frecuentes en la bomba	Desmontaje de la bomba	2	48	Cambio de sellos del eje / Raspado de la superficie de unión y aplicación de silicona nueva	cada 300.000 KM	6	4	1	24
Radiador	Obstrucción de conductos	El paso de refrigerante disminuye dificultando la transferencia de calor	6	Sedimentos presentes en el refrigerante	6	Revisar el nivel de temperatura no se eleve rápidamente después de operar el motor	Desmontaje del radiador	7	252	sondear radiador	cada 100.000 Km	6	6	1	36

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T660		Enfriamiento				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Mangueras	Grietas o aberturas	Perdida significativa de refrigerante	2	Desgaste progresivo	5	Revisar el estado de la superficie de las mangueras	Desmontaje de mangueras defectuosas	2	20	Reemplazo de mangueras	Por inspección	2	5	2	20
Termostatos	Cámara de expansión bloqueada	El refrigerante demora en ingresar al radiador aumentando la temperatura de trabajo	6	Desgaste de la capsula	5	Revisar si la temperatura se eleva rápidamente después de un corto periodo de operación del motor	Desmontaje de cámara de termostatos	7	210	Reemplazo de termostatos	Por inspección	6	5	7	210
Filtro de refrigerante	Contaminación excesiva	El material no es capaz de filtrar refrigerante eficazmente	7	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje del filtro	7	245	Reemplazo de filtro	cada 15.000 Km	7	5	1	35
Enfriador EGR	Contaminación excesiva	La transferencia de calor pierde efectividad	7	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje del enfriador	7	245	realizar sondeo	cada 100.000 Km	7	5	1	35

7.2.6 Sistema de lubricación

			PLANTA			EQUIPO			SISTEMA				HOJA		
			Bucaramanga			T800			Lubricación				1 de 2		
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Bomba de engranajes	Bomba bloqueada por contaminación	El flujo de lubricante disminuye considerablemente	8	Impurezas presentes en el fluido	3	Revisar la presión de operación en el tablero	Desmontaje de la tubería de succión	6	144	Limpieza de la tubería y de la bomba de engranes	cada 100.000 Km	8	3	1	24
	Flexión de eje	El flujo de lubricante no es uniforme generando baja presión	8	Diferencias de presiones dentro de la bomba	3	Variaciones en la lectura de presión	Desmontaje de la bomba y valoración de daños	6	144	Reemplazo de eje y engrane loco	cada 100.000 Km	8	3	1	24
	Sobrepresión en la bomba	Se desgasta el material de la carcasa	8	Presencia de virutas o astillas metálicas	3	Detección de ruido en la bomba de lubricación	Desmontaje de la bomba de lubricación	6	144	Desmontar la válvula de alivio al mínimo reajustando con ayuda del manómetro	cada 100.000 Km	8	3	1	24
	Bomba disminuye el caudal	fugas de lubricación en las líneas de alta y baja presión	8	Desgaste de sellos	3	Inspección visual de fugas de lubricante en la ubicación de la bomba	Desmontaje de la bomba de lubricación	6	144	Cambio de sellos de lubricación internos	cada 100.000 Km	8	3	1	24
Enfriador de aceite	Aumento de temperatura del aceite	El lubricante disminuye su viscosidad aumentando la fricción de los componentes	8	Contaminación excesiva dentro de las placas de enfriamiento	4	Revisar la temperatura de operación del motor	Desmontar el enfriador de aceite	3	96	Limpieza de placas de enfriamiento y entradas de lubricante	Cada 60000Km	8	4	1	32
	Fugas de lubricante	EL nivel del lubricante baja progresivamente	8	El empaque entre el enfriador y el bloque de motor esta desgastado	4	Revisar el enfriador de aceite en busca de fugas	Desmontar el enfriador de aceite	3	96	Reemplazo de empaque	Por inspección	8	4	3	96

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Lubricación				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Termostatos	Cámara de expansión bloqueada	Restricción de paso de lubricante	7	Desgaste de la capsula de expansión	3	Revisar la temperatura de operación	Desmontaje de componente	3	63	Cambio de termostato	Por inspección	7	3	3	63
Filtro de aceite	Saturación del filtro	Permite el paso de partículas al lubricante	7	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje de filtro	6	126	Cambio de filtro	cada 15.000 Km	7	3	1	21
Carter	Empaque desgastado	El nivel de lubricante disminuye por fuga	3	Desgaste de empaque	3	Revisar la superficie del Carter en búsqueda de fuga	Desmontar el Carter y remoción del empaque	4	36	Reemplazo de empaque	Por inspección	3	3	4	36

7.2.7 Sistema de transmisión

			PLANTA			EQUIPO			SISTEMA				HOJA		
			Bucaramanga			T800			Transmisión				1 de 5		
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Caja de transmisión EATON FULLER 16918	Rodamientos desgastados	Aumenta el esfuerzo mecánico entre los trenes de engranajes afectando la piñonería	7	Desgaste progresivo	3	Búsqueda de ruido en la transmisión	Desmontaje y desensamble de la transmisión / Realizar una valoración de desgastados de componentes	7	147	Reemplazo de rodamientos	cada 200.000 Km	7	3	1	21
	Engranajes rotos	Se desprenden virutas que dañan los demás engranajes / La fuerza del cambio se reduce	10	Falta de lubricación / Desgaste progresivo	3	Búsqueda de ruido en la transmisión / excesiva vibración en la palanca de cambios	Desmontaje de la transmisión y desarmado de trenes de engranajes	7	210	Reemplazo de juego de engranajes por cambio de velocidad	cada 200.000 Km	10	3	1	30
	Mecanismo de cambios atascado	La palanca de cambios permanece estática en un cambio determinado	10	Suciedad presente en los rieles o Lubricante desgastado	3	Revisar el movimiento de la palanca sea suave y manejable	Desmontaje de la caja y remoción de la palanca de cambios	7	210	Limpieza de rieles y cambio de bujes	cada 200.000 Km	10	3	1	30
	Bomba de lubricación averiada	Los engranajes se funden por la fricción dañando varios trenes de engranajes	10	Taponamiento por suciedad /piñón impulsor roto	3	Búsqueda de ruido excesivo de la piñonería	Desmontaje de la caja y desarmado de los trenes de engranajes, remoción de la bomba	7	210	Reemplazo de la bomba y trenes de engrane dañados	cada 200.000 Km	10	3	1	30
	Bujes de la prensa gastados	El operador tiene dificultad para ejecutar los cambios	7	Desgaste progresivo	3	Revisar el movimiento de la palanca sea suave y manejable	Desmontaje de la caja y el conjunto de prensa	7	147	Reemplazo de bujes	cada 200.000 Km	10	3	1	30

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Transmisión				2 de 5				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Mangueras hidráulicas de la transmisión	Grietas o aberturas	Perdida de lubricante	2	Impactos de solidos en el trayecto	5	Revisar el estado de las líneas hidráulicas	Desmontaje de mangueras	2	20	Reemplazo de mangueras	Por inspección	2	5	2	20
Palanca de cambios	Yugos desgastados	La palanca se bloquea quedando en neutro	6	Desgaste progresivo	5	Revisar si la palanca presenta dificultad para accionar otras velocidades	Desmontaje de la palanca	4	120	Reemplazo de conjunto de yugos y resortes	Por inspección	6	5	4	120
	Baja presión en el regulador de aire	La palanca se bloquea quedando en neutro	6	Empaques desgastados o línea neumática perforada	5	Búsqueda de ruido por fuga de aire en la perilla de la palanca	Desmontaje de la palanca	4	120	Reemplazo de líneas neumáticas y empaques del regulador	Cada 60000Km	6	5	1	30
	Fugas de aire en la válvula maestra	Los cambios entran lentamente en operación	6	Líneas neumáticas gastadas / empaques desgastados	5	Búsqueda de ruido por fuga de aire transmisión	Desmontaje de la válvula en la transmisión	5	150	Reemplazo de empaque	Por inspección	6	5	5	150
	Cilindro de rango desgastado	Los cambios entran lentamente en operación	6	Seguros del cilindro desgastados	5	Revisar la respuesta de la transmisión después de ejecutar un cambio doble	Desmontaje de la válvula maestra de transmisión	5	150	Reemplazo del cilindro de rango	Cada 60000Km	6	5	1	30
Radiador de la transmisión	Incrustación en conductos	Disminuye la transferencia de calor permitiendo elevando la temperatura del lubricante	8	Sedimentos provenientes de la transmisión	4	No aplica	Desmontaje del radiador	7	224	desmontar radiador y sondear	cada 100.000 Km	8	4	1	32

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA			HOJA					
			Bucaramanga		T800		Transmisión			3 de 5					
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	SEV	Potencial causa de falla	OCC	Controles preventivos	Inspecciones de detección	DET	RPN	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Conjunto de diferenciales	Rodamientos desgastados	Aumenta la fricción en el giro de la corona / Los rodillos desgastados pueden dañar la guía del rodamiento	10	Desgaste progresivo / lubricante saturado de sedimentos	7	Búsqueda de exceso de ruido en el diferencial	Desmontaje del diferencial y Remoción de rodamientos	7	490	Cambio de rodamientos	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Piñonera rota	EL mecanismo trabaja con dificultad dañando componentes cercanos	10	Desgaste progresivo/Arranques bruscos	7	Búsqueda de exceso de ruido en el diferencial	Desmontaje del diferencial, extracción e inspección de corona, diferencial y planetarios	7	490	Reemplazo de piñones	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Lubricante desgastado	Los piñones puede sobrecalentar produciendo grandes deformaciones en los dientes	5	Tiempo de reemplazo vencido	5	No aplica	Abrir el tapón de lubricación hasta depurar la cámara/ Limpieza del mecanismo corona piñones	4	100	Cambio de lubricante	Cada 60000Km	5	5	1	25
	Piñón motriz fracturado	Se anula la tracción del vehículo, el sistema no es capaz de moverse	10	Arranques bruscos	7	No aplica	Desmontaje del conjunto diferencial/ valoración del estado de la piñonera	7	490	Cambio del piñón motriz y reemplazo de componentes afectados	cada 200.000 Km	10	7	1	70

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Transmisión				4 de 5				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Conjunto de diferenciales	Corona fracturada	La tracción queda parcialmente interrumpida dificultando la movilidad del vehículo	10	Arranques bruscos	7	Búsqueda de ruido excesivo en los diferenciales	Desmontaje del mecanismo diferencial/ valoración de daños	7	490	Reemplazo de la corona	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Rodamientos desgastados	El mecanismo opera con una leve dificultad	10	Desgaste progresivo	7	Búsqueda de ruido leve dentro del diferencial	Desmontaje del diferencial/ valoración de estado del rodamiento	7	490	Cambio de rodamientos	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Sellos desgastados	Perdida importante de lubricante desgastando la piñonera rápidamente	10	Desgaste progresivo	7	Inspección visual fugas de lubricante en el diferencial	Desmontaje del diferencial, remoción de sellos	7	490	Cambio de sellos y silicona	cada 200.000 Km	10	7	1	70
	Engrane lateral picado	Pueden astillarse los piñones planetarios desgastando el conjunto completo	10	Desgaste excesivo	7	Búsqueda de ruido leve dentro del diferencial	Desmontaje del diferencial/ valoración de estado de piñones	7	490	Reemplazo de engrane lateral	cada 200.000 Km	10	7	1	70

			PLANTA			EQUIPO			SISTEMA				HOJA		
			Bucaramanga			T800			Transmisión				5 de 5		
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Ruedas	Rodamientos desgastados	Los componentes móviles pueden llegar a fundirse bloqueando parcialmente la rueda	3	Desgaste progresivo	5	Búsqueda de ruido una vez el vehículo se desplace	Desmontaje de la rueda / valoración del estado del rodamiento	7	105	Cambio de rodamiento	Cada 60000Km	3	5	1	15
	Retenedor de lubricante desgastado	El lubricante se contamina ocasionando que pierda viscosidad	3	Desgaste progresivo	5	No aplica	Desmontaje de la rueda/ extracción del retenedor	4	60	Cambio del retenedor	Cada 60000Km	3	5	1	15
	Buje de dirección desgastado	La rueda delantera presenta dificultad para girar	3	Desgaste progresivo	5	Búsqueda de ruido en la rueda una vez toma dirección el operador	Desmontaje de la rueda/ extracción del buje	7	105	Cambio del buje	Cada 60000Km	3	5	1	15
Prensa de embrague	Disco de embrague gastado	Aumento del esfuerzo mecánico entre el disco y el volante puede afectar otras piezas de la prensa	3	Desgaste progresivo	4	Revisar en el momento de soltar el embrague el nivel de ruido y vibración	Desmontaje de la transmisión y remoción del conjunto prensa / realizar valoración de daños	5	60	Reemplazo del disco y lijado del volante del motor	cada 200.000 Km	3	4	1	12
	Muelle de diafragma averiado	Perdida de fuerza de fricción entre el disco y el volante	3	Desgaste progresivo	4	Revisar en el momento de soltar el embrague el nivel de ruido y vibración	Desmontaje de la transmisión y remoción del conjunto prensa / realizar valoración de daños	5	60	Reemplazo de muelle de diafragma	cada 200.000 Km	3	4	1	12

7.2.8 Bloque de motor (mantenimiento Mayor)

			PLANTA			EQUIPO		SISTEMA				HOJA			
			Bucaramanga			T800		Bloque de motor (Mantenimiento mayor)				1 de 2			
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Pistones	Fractura de cabeza	Se produce una fuga abundante de aceite ingresando por la cámara a todo el sistema	10	Falla del material por tiempo de vida	4	No aplica	Desmontaje del bloque y remoción de pistones/ Valoración de daños	9	360	Reemplazo de pistones y anillos	Cada 1400000Km	3	4	9	108
Biela	Casquetes desgastados	Las bielas deslizan con dificultad, produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de bielas y casquetes	8	224	Reemplazo de casquetes	Cada 1400000Km	2	4	10	80
Bancada	Casquetes desgastados	El los ejes conjunto de válvulas deslizan con dificultad produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de ejes de válvulas y reemplazo de casquetes	8	224	Reemplazo de casquetes /Lubricación de superficies/ Calibración de válvulas y frasco de	Cada 1400000Km	2	4	10	80
Camisas de cilindros	Superficie rayada	Aumento de pérdidas mecánicas / fugas de lubricante dentro de las cámaras de combustión	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de camisas de motor	8	224	Reemplazo de camisas de motor	Cada 1400000Km	2	3	10	60
Empaque de motor	Porosidad interna	Perdida de lubricante / Perdida de refrigerante / ingreso de aceite dentro de la cámara	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje del bloque y desmontaje del empaque	7	196	Reemplazo de empaque de motor	Cada 1400000Km	3	4	7	84

El mantenimiento mayor requiere un desmontaje completo del motor para todas las tareas, se realiza una profunda limpieza de las galerías internas una vez extraído el motor el vehículo.

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Bloque de motor (Mantenimiento mayor)				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Empaque de la carcasa de distribución	Porosidad interna	Fugas de lubricante incrementando perdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de la tapa y remoción del empaque	8	224	Reemplazo de empaque	Cada 1400000Km	3	4	8	96
Válvulas de escape	Grietas en el platillo	La combustión no se realiza eficientemente permitiendo la formación de hollín/ pérdida de la potencia nominal del	9	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje de válvulas y valoración de daños	9	243	Reemplazo de válvulas de escape	Cada 1400000Km	2	3	9	54
Válvulas de admisión	Grietas en el platillo	La combustión no se realiza eficientemente permitiendo la formación de hollín/ pérdida de la potencia nominal del	9	Desgaste progresivo	3	No aplica	Desmontaje de válvulas y valoración de daños	9	243	Reemplazo de válvulas de admisión	Cada 1400000Km	2	3	9	54
Casquetes de cigüeñal	Superficie rayada	Aumento de perdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	4	No aplica	Desmontaje de casquetes del bloque inferior del cigüeñal /limpieza de superficies internas	8	224	Reemplazo de casquetes	Cada 1400000Km	2	4	8	64

7.2.9 Bloque de cilindros (mantenimiento menor)

			PLANTA			EQUIPO		SISTEMA				HOJA			
			Bucaramanga			T800		Bloque de motor (Mantenimiento menor)				1 de 2			
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Pistones	Anillos desgastados	Se producen fugas de lubricante dentro de la cámara / Perdidas de presión en el cilindro aumentando las pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de la culata y anillos de pistón/ valoración del estado del pistón	9		Reemplazo de anillos	Cada 800000Km	2	2	9	36
Biela	Casquetes desgastados	Las bielas deslizan con dificultad, produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de bielas y casquetes	8	112	Reemplazo de casquetes	Cada 800000Km	2	4	10	80
Bancada	Casquetes desgastados	El los ejes conjunto de válvulas deslizan con dificultad produciendo pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de ejes de válvulas y reemplazo de casquetes	8	112	Reemplazo de casquetes /Lubricación de superficies/ Calibración de válvulas y freno de	Cada 800000Km	2	4	10	80
Camisas de cilindros	Superficie rayada	Aumento de pérdidas mecánicas / fugas de lubricante dentro de las cámaras de combustión	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de camisas de motor	8	112	Reemplazo de camisas de motor	Cada 800000Km	2	3	10	60
Empaque de motor	Porosidad interna	Perdida de lubricante / Perdida de refrigerante / ingreso de aceite dentro de la cámara	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje del bloque y desmontaje del empaque	7	98	Reemplazo de empaque de motor	Cada 800000Km	3	4	7	84

Las tareas de mantenimiento corresponden a una semi reparación del motor, el motor no es removido del vehículo.

			PLANTA		EQUIPO		SISTEMA				HOJA				
			Bucaramanga		T800		Bloque de motor (Mantenimiento menor)				2 de 2				
Componente	Potencial modo de falla	Potenciales efectos de falla	S E V	Potencial causa de falla	O C C	Controles preventivos	Inspecciones de detección	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Resultados				
											Acciones tomadas	S E V	O C C	D E T	R P N
Empaque de la carcasa de distribución	Porosidad interna	Fugas de lubricante incrementando pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de la tapa y remoción del empaque	8	112	Reemplazo de empaque	Cada 800000Km	2	2	8	32
Casquetes de cigüeñal	Superficie rayada	Aumento de pérdidas mecánicas	7	Desgaste progresivo	2	No aplica	Desmontaje de casquetes del bloque inferior del cigüeñal /limpieza de superficies internas	8	112	Reemplazo de casquetes	Cada 800000Km	2	4	8	64

8. CONCLUSIONES

- La indagación en los tractocamiones T800 y T660 de la flota pesada de transporte permitió caracterizar de manera detallada cada uno de los sistemas que los conforman, esto aporta un conocimiento profundo al personal logístico de mantenimiento, de este modo, pueden ejercer un mayor control en el funcionamiento y mantenimiento de la flota.
- La investigación de los modos de fallo fue hallada mediante manuales y visitas de campo, esto permite comprender la composición del equipo desde un punto de vista práctico y teórico, sin embargo, los manuales presentan limitaciones al encontrarse tareas de sustitución simples, por esa razón, las visitas de campo resultaron más enriquecedoras para la investigación.
- El indicador más relevante para la priorización de las tareas de mantenimiento es la severidad debido a que esta relacionada con las consecuencias económicas, medioambientales y de seguridad del personal, de ahí, la importancia de mitigar los modos de falla que presenten alta severidad.
- Las tareas de mantenimiento se consolidaron en base a las documentaciones de los modos de fallo hallando las frecuencias mediante la experiencia del ingeniero jefe del departamento de mantenimiento, personal mantenedor y diversos manuales de los equipos, en efecto, están relacionadas con tiempos de trabajo traducidos en distancias recorridas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIR BRAKE HANDBOOK, tratamiento de aire 2004.
2. BENDIX COMERCIAL VEHICLE SYSTEMS, Manual de frenos de aire.
3. BENDIX, Brake Chamber, ficha técnica boletín SD-02T4566.
4. CUMMIS ENGINE COMPANY. Manual de diagnóstico de fallas motores signature ISX y QISX.
5. CUMMIS ENGINE COMPANY. Manual operación y mantenimiento ISM y ISMe.
6. DANNA SPICER, Manual de transmisiones pesadas.
7. DOMINGO F SARMIENTO, Departamento de automotores IPET.
8. EATON FULLER, Manual de servicio, Transmisiones de servicio pesado.
9. FICHAS TÉCNICAS KEWORTH DE LA MONTAÑA, modelos T660 y T800. 2017 [en línea], disponible en: <http://www.kenworthcolombia.com/>.
10. FRANCISCO CAMARENA, proyecto de grado, Diseño de embrague de un vehículo.
11. GONZALES FERNANDO, Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, Madrid FC 2010.
12. GUZMÁN CARLOS, proyecto de grado, Plan de mantenimiento para maquina lavadora, 2011 Universidad Santiago de Chile.
13. KENWORTH DE LA MONTAÑA, manual del operador T600, T800, W900.
14. KNEZEVIC JEZDIMIR, Mantenimiento, Barcelona 2007.
15. LUIS NAVARRO ELOLA, A. P, Gestión integral de mantenimiento, Barcelona 2008.
16. MANUAL SACHS, tren de transmisión y sistema de suspensión 2013.
17. MERITOR, Manual de mantenimiento de ejes diferenciales, series 180,185,186.
18. MOURBAY JHON, Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2011
19. NORMA SAE J 1739 Surface Vehicle Standard

20. NORMA SAE JA 1011 Evaluation Criteria for reability centered Maintenance
RCM processer

21. NORMA SAE JA 1012 Reability Centered Maintenance RCM