

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO METODOLOGIA RCM
PARA LA FLOTA DE TRACTORES DE LLANTA MARCA CATERPILLAR
MODELO 854G DE CARBONES DEL CERREJON LTD.

SILVIA PATRICIA MARQUEZ ZARATE

JAIRO ANDRÉS MEZA MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO METODOLOGIA RCM
PARA LA FLOTA DE TRACTORES DE LLANTA MARCA CATERPILLAR
MODELO 854G DE CARBONES DEL CERREJON LTD.

SILVIA PATRICIA MARQUEZ ZARATE

JAIRO ANDRÉS MEZA MARTÍNEZ

Trabajo de Grado para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director
Ing. Alfredo Gutiérrez S.
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque diariamente me demuestra su infinito amor en mi vida.

A mi madre Margarita, por enseñarme a luchar por mis sueños y mantenerme de pie frente a las adversidades.

A mi padre Aquiles y mis hermanos, Natalia y Miguel José por ser mi motivo de lucha constante.

Al personal docente de la UIS que transmitieron su conocimiento para que, desde el campo laboral, aportemos al desarrollo de nuestra sociedad.

Y a todas las personas que de una u otra forma aportaron con su apoyo o conocimientos al desarrollo de esta monografía.

Mil gracias.

Silvia Márquez Zarate

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su infinita misericordia.

A mi familia por su incondicional apoyo.

A Katia Lucia, por su paciencia y amor.

Al cuerpo docente de la UIS que nos facilito el conocimiento a lo largo de los ciclos de especialización.

A nuestros compañeros de la Cohorte VII Barranquilla por su apoyo constante.

Jairo Meza Martínez.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	13
1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJON LTD.....	14
1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA CERREJON LTD.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
2. MARCO TEORICO.....	19
2.1. EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO.....	19
2.1.1.1. Funciones.....	25
2.1.1.2. Fallas Funcionales.	25
2.1.1.3. Análisis de modos de falla.....	26
2.1.1.4. Efectos de falla.....	26
2.1.1.5. Consecuencias de las fallas.....	27
2.1.1.6. Tareas de mantenimiento Preventivo y Predictivos.....	27
2.2. EL TRACTOR DE LLANTAS 854G CATERPILLAR.....	29
2.2.1 Motor.	32
2.2.2 Tren de Potencia..	33
2.2.2.1 Transmisión.	33
2.2.2.2 Convertidor de torque.....	33

2.2.2.3	Diferencial y mandos finales.	33
3.	POBLACION DE TRACTORES DE LLANTAS 854G EN CERREJON	34
4.	ANALISIS DE LA INFORMACION DE MANTENIMIENTO RECOPIADA PARA LA FLOTA DE TRACTORES DE LLANTAS CATERPILLAR 854G	35
4.1.	RECOPIACION DE DATOS PARA ANALISIS RCM.....	35
4.2.	ANALISIS DE EVENTOS DE MANTENIMIENTO.....	36
4.3.	ANALISIS DE MODOS DE FALLA GENERALES DE TREN DE POTENCIA	39
4.4.	ANALISIS DE MODOS DE FALLA POR COMPONENTES.....	44
4.5.	DETERMINACION DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO	59
5.	CONCLUSIONES.....	69
	BIBLIOGRAFIA.....	72

Lista de figuras.

Figura 1 Ubicacion de Cerrejon.	14
Figura 2 Proceso de extracción de carbón en Cerrejón.	16
Figura 3 Patrones de falla.	20
Figura 4 Expectativas de mantenimiento creciente.....	21
Figura 5 Cambio en los puntos de vistas sobre las fallas de los equipos	22
Figura 6 Evolución de las técnicas de mantenimiento	22
Figura 7 Tractor de Llantas 854G. 30-212 en Cerrejón.	29
Figura 8 Dimensiones del Tractor de llantas 854G	30
Figura 9 Tren de potencia. Ubicación de componentes.	31
Figura 10 Transacción MSEWOT en ELLIPSE 8.7	35
Figura 11 Diagrama de Pareto por eventos de mantenimiento.....	38
Figura 12 Diagrama de Pareto por horas down de equipo	39
Figura 13 Diagrama de Pareto modos de falla motor	40
Figura 14 Diagrama de Pareto modos de falla en la transmisión	41
Figura 15 Diagrama de Pareto modos de falla convertidor de torque.....	42
Figura 16 Diagrama de Pareto fallas en diferencial	43

Lista de tablas.

Tabla 1 Características del motor 3508B	32
Tabla 2 Población de tractores de llanta Caterpillar 854G en Cerrejón	34
Tabla 3 Función, Falla Funcional y Modos de Falla en los Tractores 854G	36
Tabla 4 Eventos down flota 854G enero-diciembre 2018 sistema de potencia	37
Tabla 5 Eventos y horas down por mantenimiento preventivo.....	37
Tabla 6 Modos de falla de motor.....	40
Tabla 7 Modos de falla transmisión	41
Tabla 8 Modos de falla en convertidor de torque	42
Tabla 9 Modos de falla en diferencial	43
Tabla 10 Análisis de modo de falla del sistema motor	45
Tabla 11 Análisis de modo de falla del sistema transmisión	54
Tabla 12 Análisis de modo de falla del sistema convertidor	55
Tabla 13 Análisis de modo de falla del sistema diferencial	57
Tabla 14 Análisis de modo de falla del sistema mandos finales	58
Tabla 15 Selección de tareas de mantenimiento componente motor	59
Tabla 16 Selección de tareas de mantenimiento componente transmisión	64
Tabla 17 Selección de tareas de mantenimiento componente convertidor	65
Tabla 18 Selección de tareas de mantenimiento componente diferencial	66
Tabla 19 Selección de tareas de mantenimiento componente mandos finales	67

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO METODOLOGIA RCM PARA LA FLOTA DE TRACTORES DE LLANTA MARCA CATERPILLAR MODELO 854G DE CARBONES DEL CERREJON LTD*

AUTORES:

JAIRO ANDRÉS MEZA MARTÍNEZ, SILVIA PATRICIA MÁRQUEZ ZARATE **

PALABRAS CLAVE:

Cerrejón, carbón, RCM, tractor sobre llanta, Caterpillar 854G.

DESCRIPCIÓN:

El principal objeto de esta monografía es la aplicación a nivel industrial de los conceptos y conocimientos adquiridos durante el curso de la especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Esta monografía se elaboró con el fin aplicar la metodología RCM a la flota de tractores de llanta Caterpillar 854G de propiedad de la compañía carbones del Cerrejón LTD, para mejorar el funcionamiento de los equipos y garantizar su continuidad operativa en la cadena de producción del carbón.

El diseño del plan gerencial de mantenimiento fue desarrollado tomando como referencia las recomendaciones del fabricante de los equipos, las condiciones operacionales en la mina, las sugerencias del personal técnico y operativo que asiste a este tipo de maquinaria y los modos de fallas identificados.

Durante el proceso del diseño del plan gerencial, fue necesario realizar la consulta de todos los datos históricos de falla de los equipos, el establecimiento de los diferentes modos y tipos de falla y manuales de servicio y mantenimiento.

Como resultado de esta monografía, se obtuvo un diagnostico del actual plan de mantenimiento de la flota de tractores 854G, un paso a paso para la medición, el análisis y el seguimiento de las diferentes actividades que involucra la metodología RCM y se propone a la compañía un nuevo plan de mantenimiento para los tractores basado en la metodología RCM; es potestad de Cerrejón LTD la implementación de esta propuesta.

* Monografía

** Facultad de Ciencias Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Ing. Alfredo Gutierrez S.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN OF MAINTENANCE PLAN APPLYING RCM METHODOLOGY FOR THE WHEEL TRACTORS CATERPILLAR MODEL 854G FLEET OF CARBONES DEL CERREJON LTD*

AUTHORS:

JAIRO ANDRÉS MEZA MARTÍNEZ, SILVIA PATRICIA MÁRQUEZ ZARATE**

KEY WORDS:

Cerrejón, coal, RCM, Wheel tractor, Caterpillar 854G.

DESCRIPTION:

The main purpose of this monograph is the application at industrial level of the concepts and knowledge acquired during the specialization in Maintenance Management.

This monograph was developed with the purpose of applying the RCM methodology to the Caterpillar 854G wheel tractors fleet owned by the company Carbones del Cerrejón LTD to improve the operation of the equipment and guarantee its operational continuity in the coal production chain.

The design of the maintenance management plan was developed taking as a reference the recommendations of the equipment manufacturer, the operational conditions in the mine, the suggestions of the technical and operational personnel that assist this type of machinery and the failure modes identified.

During the process of designing the management plan, it was necessary to consult all the historical data of equipment failure, the establishment of different modes and types of failure, and service and maintenance manuals.

As a result of this monograph, a diagnosis of the current maintenance plan for the 854G tractors fleet was obtained, a step by step for the measurement, analysis and monitoring of the different activities involved in the RCM methodology and proposed to the company. a new maintenance plan for the tractors based on the RCM methodology; the implementation of this proposal is left to Cerrejón LTD.

*Monograph

**Physical-Mechanical Engineer Faculty. Specialization in Maintenance Management
. Eng. Alfredo Gutierrez S

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del material que se extrae durante el proceso de minado de carbón en Cerrejón LTD, es material estéril. Este material que se ubica antes de llegar a la capa de carbón es removido por medio de palas hidráulicas y eléctricas, que cargan este material en camiones de 320t y 240t. Los camiones transportan este material estéril a zonas denominadas botaderos, donde es apilado por medio del uso de tractores de llantas de gran capacidad.

Los tractores de llantas utilizados para esta labor de apilamiento de material estéril son marca Caterpillar modelos 854G, los cuales han presentado durante el último año una disminución en la disponibilidad y confiabilidad de la flota y el incumplimiento de las metas de estos indicadores de mantenimiento.

Con el desarrollo de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) plasmado en este documento, se pretende aumentar el valor de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de esta flota, realizando el análisis de los factores de mayor incidencia en la pérdida de disponibilidad y confiabilidad y proponiendo estrategias de mantenimiento que generen el incremento de los indicadores, para de esta forma asegurar al proceso productivo equipos confiables.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJON LTD.

1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA CERREJON LTD.

Cerrejón es una de las operaciones mineras de exportación de carbón a cielo abierto más grandes del mundo, un importante actor de la economía en Colombia y motor de La Guajira, región en la que concentra su actividad productiva. Integra la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón de diversas calidades.

Durante el año 2018, Cerrejón fue productor de 30,5 millones de toneladas de carbón. Sus operaciones se extienden a 69.000 hectáreas aproximadamente lo que la hace una de las minas de carbón más grandes del mundo.

Figura 1. Ubicación de Cerrejón.



Fuente: <https://www.minminas.gov.co/pine-la-guajira>

El proceso de extracción a cielo abierto y producción del carbón en términos generales se lleva a cabo a través de los siguientes pasos:

- **Prospección:** proceso realizado para identificación de las zonas donde se concentra la mayor cantidad de carbón, es decir, para verificar en que lugares es viable costoefectivamente la actividad de extracción.

- **Rescate Y Relocalización De Fauna:** una vez se identifica la zona de extracción se realiza un inventario de especies vegetales y animales con el fin de trasladarlas a una zona de similares características a la zona donde habitaban.

- **Remoción De Suelos:** durante este paso se retira la capa vegetal y se almacena en condiciones controladas para su conservación y posterior reutilización en los trabajos de rehabilitación de tierras.

- **Perforación Y Voladura:** este paso comprende la perforación de pozos profundos donde se deposita el componente que permite fragmentar el manto rocoso estéril.

- **Remoción De Estéril:** después de la remoción del material fragmentado por las palas, el material estéril es cargado en camiones que los llevan hasta los botaderos donde se apilan mediante el uso de tractores de llanta. La mayor parte de material que es sacado de los tajos es estéril. La relación de descapote en Cerrejón es aproximadamente 6,5 a 1, es decir, por cada 6,5 toneladas de material estéril se extrae 1 tonelada de carbón. En este proceso, los equipos de cargue entran a un banco de aproximadamente 10 metros, que previamente ha sido abierto por equipos de menor tamaño, toman el estéril y lo cargan en camiones de 320 t y 240 t de capacidad que posteriormente lo llevan hasta los botaderos. Una vez los equipos de cargue llegan a un manto de carbón le dan paso al proceso de minería de carbón.

- **Remoción, Cargue Y Transporte De Carbón:** cuando es removido el material estéril, los mantos de carbón quedan a la vista y son removidos para ser cargados a los camiones con capacidad de 190 T que lo trasladarán hacia las pilas de almacenamiento o directamente hacia las trituradoras. Cerca del 70% del carbón minado es triturado inmediatamente y despachado en tren, mientras que el 30% restante es almacenado de acuerdo con su poder calorífico, contenido de cenizas y azufre. Este carbón es luego triturado e incorporado al flujo normal con el fin de ajustar la calidad del carbón despachado en un momento dado.
- **Trituración Y/O Apilamiento:** el carbón se transporta a las plantas de trituración o es apilado de acuerdo con su poder calorífico para posteriormente ser cargado en el tren y llevado a puerto.

Figura 2. Proceso de extracción de carbón en Cerrejón.



Fuente: www.cerrejon.com. Enero 2018

De todos los procesos mencionados anteriormente, es objeto de esta monografía el listado en quinto lugar, debido a que es donde se encuentra involucrado el equipo objeto de estudio.

Durante del proceso de apilado del material estéril llevado a cabo por los tractores, se encuentran una serie de factores tales como la abrasividad, los altos ciclos de trabajo y la constante exposición a materiales particulados que inducen al desgaste y reducción de la vida útil de los diferentes componentes de los equipos motivos del presente proyecto.

Los tractores de llantas utilizados para esta labor de apilamiento de material estéril son marca Caterpillar, modelo 854G, cuyas principales características son las siguientes:

- Este tractor es el más grande de los de la gama de tractores de rueda contruidos por Caterpillar, fue diseñado para trabajos de explanación de grandes volúmenes como los realizados en las labores de minería de carbón a cielo abierto.
- El tractor está provisto de un tren de fuerza de gran resistencia, combinado con un sistema de dos bastidores, uno trasero de sección en la caja y uno delantero de dos planchas que proporcionan en conjunto resistencia a los impactos y a los esfuerzos generados durante los trabajos de explanación y además absorben las cargas de impacto y las fuerzas de torsión.

Las áreas de trabajo más críticas para la producción donde se utilizan tractores de llantas en la mina Cerrejón son los Botaderos (área de almacenamiento del material estéril) en estas área se utilizan modelos Caterpillar 854G, actualmente estos equipos presentan problemas por incumplimiento del indicador de disponibilidad (A) por debajo de 80% y baja

confiabilidad (MTBF tiempo promedio entre fallas) por debajo de 90 horas, por lo que se hace necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento basada en la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que permita mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General. Diseñar un plan de mantenimiento mediante la aplicación de la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) para la flota de tractores sobre llanta Caterpillar 854G utilizados en las labores de apilamiento y explanación de material estéril producto del proceso de explotación de carbón mineral en la empresa carbones del Cerrejón LTD.

1.2.2 Objetivos Específicos. Identificar los componentes mayores de los equipos Caterpillar 854G que presentan mayor número de fallas y mayores tiempos de reparación durante el periodo comprendido entre 1 de enero y 31 de diciembre de 2018.

Tren De Fuerza: compuesto por el motor, convertidor de torque, la servotransmisión, diferencial y los mandos finales.

Establecer los modos de falla de cada componente por medio del análisis FMEA

Desarrollar el plan de mantenimiento específico para los componentes mayores de la flota de tractores CAT 854G basada en la metodología RCM de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis FMEA.

2. MARCO TEORICO

2.1 EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO

Las estrategias de mantenimiento han evolucionado a través de tres generaciones, ordenadas cronológicamente, que se han caracterizado por una metodología específica¹.

Desde los años treinta se puede registrar la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones. Siendo el RCM el pilar de la Tercera Generación, la cual solo puede entenderse tomando como referencia las dos generaciones precedentes (Primera y Segunda Generación).

A continuación, se describen brevemente cada una de ellas:

- **Primera generación:**

Esta generación contempla el periodo que se extiende hasta la II Guerra Mundial. Debido a que la industria de la época no contaba con un alto proceso de mecanizado, los periodos de paradas de los equipos no se tornaban de alta relevancia. Razón por la que las labores de mantenimiento se limitaban a la atención de fallas en los equipos, sin tener en cuenta el tiempo requerido para recuperar la funcionalidad de estos.

- **Segunda generación:**

Esta comprende desde la II Guerra Mundial hasta la década de los años setenta. En esta época los tiempos de la Guerra aumentaron la necesidad de todo tipo de productos y la mano de obra disminuyó considerablemente. Esto llevó a un aumento de la dependencia de la mecanización y por lo tanto los periodos improductivos de las máquinas tomaron mayor relevancia. Se llegó a la idea de que las fallas se podían y debían prevenir, con lo cual nació el mantenimiento preventivo. Ligado

¹ PEREZ JARAMILLO, Carlos Mario. Gestión de Mantenimiento. Medellín, Soporte y Cía. Ltda. 2002. Pp 11-14.

al nacimiento del mantenimiento preventivo y con el fin de optimizar los costos asociados a las actividades, llegó el desarrollo de sistemas de planeación y control de mantenimiento.

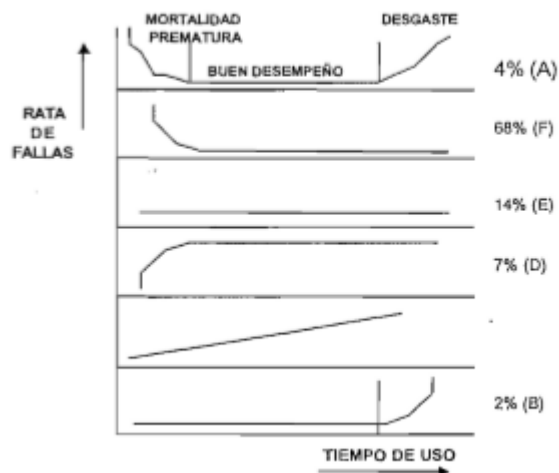
- Tercera generación:

El crecimiento de los procesos de manera exponencial ha hecho que los periodos improductivos de la maquinaria tomen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente.

Con el aumento de los sistemas automatizados, la relación entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto final es más estrecha. Esto crea más exigencia a las funciones de mantenimiento.

La figura 2 muestra, como ha evolucionado el concepto de la falla, en un principio se había pensado que los elementos físicos envejecen y tienen más probabilidades de falla. Mientras que el desgaste por el uso llevó a la creencia en la “curva de la bañera”. Sin embargo, las investigaciones actuales han encontrado seis modelos de fallas diferentes.

Figura 3. Patrones de falla.



Fuente: PEREZ JARAMILLO, Carlos Mario. Gestión de Mantenimiento. Medellín, Soporte y Cía. Ltda. 2002. Pp 11-14.

El tiempo de parada de los equipos afecta considerablemente la capacidad de producción de los activos físicos debido a su impacto negativo en la producción, aumentar los costos de operacionales, y afectar el servicio al cliente. Actualmente el crecimiento en la mecanización y la automatización han tornado a la confiabilidad y a la disponibilidad como factores claves en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones y la administración de edificios.

Figura 4. Expectativas de mantenimiento creciente

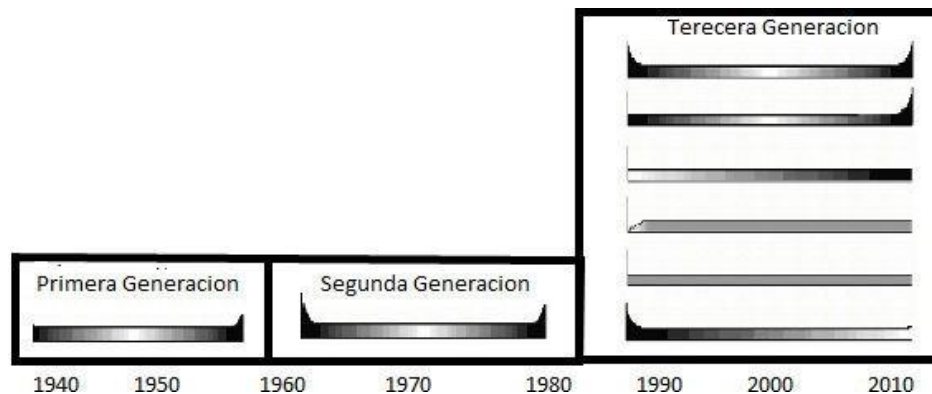


Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edicion en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.3.

-Nuevas investigaciones. Más allá de las exigencias de las mayores expectativas, las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras más arraigadas creencias referidas a la edad y las fallas de los equipos.

En particular, parece haber menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y de la probabilidad de que esto fallen. En la figura 5 se muestra cómo ha cambiado el pensamiento con respecto al comportamiento de las fallas en los activos con respecto al tiempo.

Figura 5. Cambio en los puntos de vistas sobre las fallas de los equipos

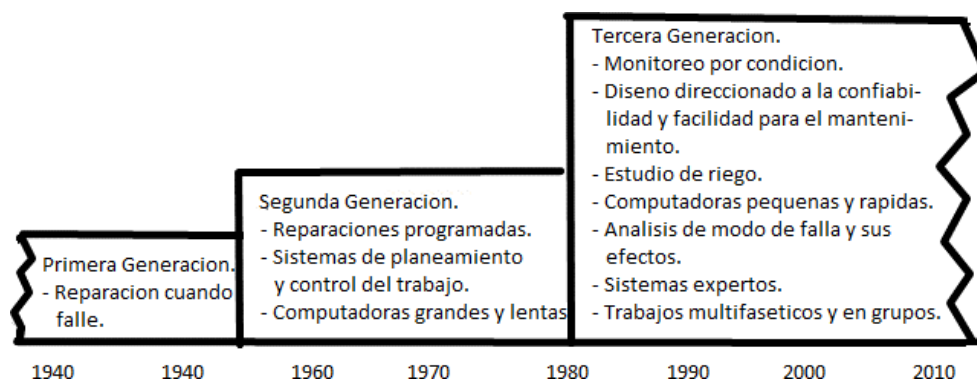


Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edicion en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.4.

-Técnicas actuales: Ha habido un gran crecimiento de nuevas ideas y nuevas técnicas para mantenimiento.

Cientos de ellas han sido desarrolladas en los últimos veinte años, y debido a las constantes investigaciones, nuevos conceptos emergen aún más cada semana. La figura 6 muestra como ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas.

Figura 6. Evolución de las técnicas de mantenimiento



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Edicion en español. Ashville, North Carolina: Aladon LLC. 2004. p.5.

2.1.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad. Según la Norma SAE JA1011 se define el RCM así:

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional²”.

Según Jhon Moubray en el texto de RCM II, se propone la siguiente definición:

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual³”.

Según la NASA, en su guía de mantenimiento centrado en confiabilidad, se define así:

“El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle⁴”

En resumen, el RCM es una herramienta a través de la cual podemos especificar un mínimo de tareas relacionadas con actividades de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo que son necesarias llevar a cabo para que los activos cumplan en su contexto operacional con la función para la que fueron diseñados. Se puede considerar entonces, el RCM como un proceso útil para especificar que se debe hacer con el objeto de asegurar que cualquier activo físico continúe

² SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999

³ MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 7.

⁴ NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. P. 1-1

realizando sin inconvenientes funcionales lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional.

Para que un proceso de mantenimiento se considere como un proceso de RCM, según la norma SAE, debe incluir los aspectos señalados a continuación:

- Definición del equipo o del sistema.
- Definición de funciones del equipo.
- Descripción de las fallas funcionales.
- Descripción de los modos de falla.
- Descripción de efectos de falla.
- Aplicación lógica de RCM: Metodología para elegir las acciones más apropiadas de mantenimiento y las frecuencias de aplicación.
- Documentación del programa de mantenimiento: enfocado en la operación del equipo o sistema.

Estos elementos se resumen en las siete preguntas básicas de un proceso de RCM:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

2.1.1.1 Funciones. Parámetros de Funcionamiento y Contexto Operacional, el primer paso en el proceso del RCM es identificar las funciones básicas de cada activo en su contexto operacional, es decir, determinar qué es lo que los usuarios quieren que haga y asegurar que es capaz de realizarlo sin inconvenientes.

Las funciones se dividen en dos categorías:

- Funciones primarias: están relacionadas con la razón de ser del activo, es decir, con la función para la cual el activo fue diseñado y construido y con las razones por la cual se adquirió.
- Funciones Secundarias: se refiere a las funciones adicionales que cumple el activo, estas están relacionadas con confort, seguridad, apariencia, protección, regulaciones ambientales, etc.

2.1.1.2 Fallas Funcionales. Se presentan cuando el activo no cumple una función primaria o secundaria de acuerdo con el parámetro de funcionamiento que el usuario considera permisible, se responde a la pregunta ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

2.1.1.3 Análisis de modos de falla. Una vez se identifican las fallas funcionales, es necesario conocer los hechos posibles que puedan haber causado cada estado de falla, se responde la pregunta ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, dentro de estos modos de fallas se incluyen las ocasionadas por efectos del deterioro o desgaste, las debidas a errores humanos (operadores y técnicos de mantenimiento) y las causadas por errores de diseño. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos:

- Cuando la capacidad del activo se reduce hasta encontrarse por debajo del funcionamiento deseado, las cinco causas de la perdida de la capacidad son, deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos
- Cuando el funcionamiento deseado del activo se lleva por encima de la capacidad nominal. es decir, con la presencia de sobrecarga deliberada y recurrente sobre el activo o sobrecarga no intencional constante o eventual
- Cuando desde la etapa de arranque inicial, el activo no cumple con la función requerida

2.1.1.4 Efectos de falla. En este paso se describe que pasa cuando ocurre un modo de falla, un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia de falla, el efecto de falla responde al interrogante ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? Mientras que una consecuencia de falla satisface a la pregunta ¿Qué Importancia Tiene? Cuando se describe un efecto de falla debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla
- La manera en que la falla supone una amenaza para la seguridad (física e industrial) o el ambiente
- La forma en que la falla afecta la producción o la operación

- Las afectaciones físicas ocasionadas por la falla
- Cuál es el mecanismo para implementar para reparar la falla.

2.1.1.5 Consecuencias de las fallas. En este paso se responde al interrogante ¿En qué sentido es importante cada falla? para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuáles no debido a sus consecuencias, se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente.

Las consecuencias se dividen en cuatro grupos, consecuencias por fallas ocultas, consecuencias ambientales y para la seguridad, consecuencias operacionales y No operacionales.

2.1.1.6 Tareas de mantenimiento Preventivo y Predictivos. En este paso se da respuesta a las preguntas ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir esta falla? y ¿Qué sucede si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva apropiada?, el objetivo de este paso es definir qué acciones pueden tomarse para manejar las fallas, las acciones pueden dividirse en dos categorías: Tareas proactivas y Acciones a falta de.

Las tareas proactivas se realizan previo a la ocurrencia de una falla, con el objetivo que el componente llegue a un estado de falla y abarcan las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo, pero cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva es necesario realizar “acciones a falta de” que incluyen procedimientos de búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura.

La factibilidad técnica de una tarea de mantenimiento se define como:

“Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al usuario del activo⁵”

Al conocer los modos y efectos de las fallas y sus consecuencias, podemos determinar si la falla es merecedora de prevención, esfuerzos para predecirla, algún tipo de intervención periódica para evitarla, rediseño para eliminarla, o simplemente ninguna acción. ⁶”

⁵ MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 132.

⁶ARZUAGA CHURIO, José Elías. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa minera Drummond LTD. Monografía. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 119p.

2.2 EL TRACTOR DE LLANTAS 854G CATERPILLAR

Fue diseñado para usar en trabajos exigentes de explanación. El tractor de llantas 85G es el más grande de la gama de tractores de Caterpillar y es ideal para trabajar en aplicaciones grandes de minería, generación de corriente eléctrica, la industria de construcción en general y donde quiera que se necesite movilidad, versatilidad y explanación a gran volumen. Con un tren de fuerza más resistente, combinado con un bastidor delantero de servicio pesado, proporciona larga vida útil y una operación económica.⁷

Figura 7. Tractor de Llantas 854G. 30-212 en Cerrejón.



Fuente: Archivo particular.

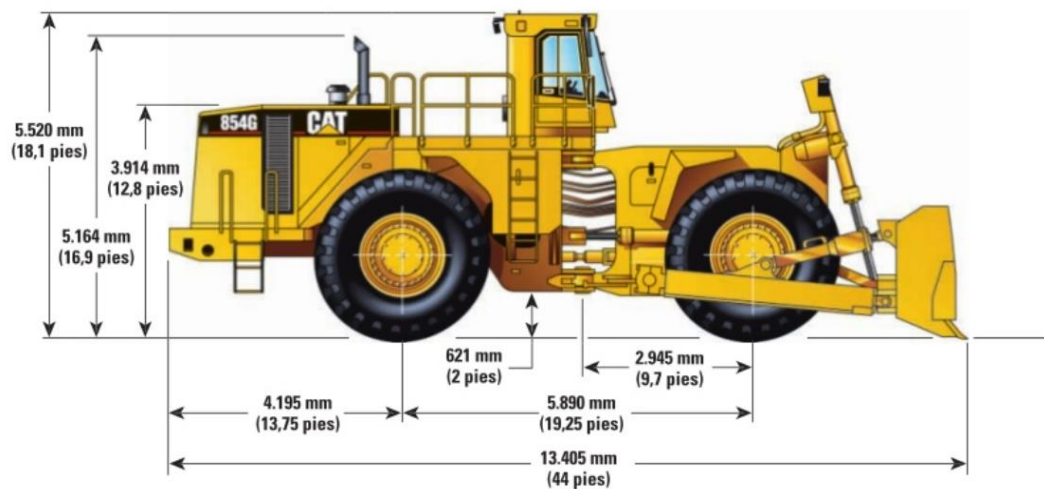
Algunas de las especificaciones del Tractor de llantas 854G son:

- Prefijo número de serie: A4W
- Peso en vacío: 99.395 kg

⁷ Caterpillar®. Catalogo Tractor Topador de Ruedas 854G. 2004.

- Capacidad de carga: 25-45m³
- Longitud: 13.405mm
- Ancho de la hoja: 7.200 mm
- Altura: 5.520 mm

Figura 8. Dimensiones del Tractor de llantas 854G



Dimensiones

■ Longitud con la cuchilla a nivel del suelo	13405 mm
■ Anchura entre neumáticos	4520 mm
■ Altura hasta la parte superior de la cabina	5520 mm
■ Eje de ruedas	5890 mm
■ Despeje sobre el suelo	1540 mm

Cuchilla

■ Capacidad de cuchilla	25.4 m ³
■ Ancho de la cuchilla	6321 mm
■ Altura de la cuchilla	2179 mm

Fuente: Catalogo Tractor Topador de Ruedas 854G. 2004 Caterpillar®

El tren de potencia del tractor de Llantas 854G se divide en los siguientes componentes básicos:

- Motor (1)
- Transmisión (3)
- Convertidor (4)
- Diferencial (5)
- Mandos Finales (6)
- Sistema de enfriamiento (2)

Figura 9. Tren de potencia. Ubicación de componentes.



Fuente: Catalogo Tractor Topador de Ruedas 854G. 2004 Caterpillar®

2.2.1 Motor. El Motor diésel Cat® 3508B EUI (Sistema de inyectores electrónicos) con turbo compresión cumple con la norma de Tier 2 y en conjunto con el sistema ADEM™ II (Sistema avanzado de administración de motores diésel) y el convertidor de par de embrague de rodete con traba, proporciona cambios de marcha suaves con la eficiencia de mando directo, a la vez que el sistema de control de tracción adapta la potencia a las condiciones del terreno. Tiene una cilindrada de 34,5 litros, que brindan una potencia bruta de 800 hp a 1750 RPM, proporciona toda la energía motriz necesaria para el funcionamiento del resto de los componentes del tren de fuerza y utiliza diésel como combustible.

Tabla 1. Características del motor 3508B

CLASIFICACION DE POTENCIA	
Potencia Mínima	746 hp
Máxima Potencia	820 hp
Régimen nominal	1800 rpm
NORMAS SOBRE EMISIONES	
Emisiones	Sin certificación
GENERALIDADES	
Configuración del motor	Diesel, 8 Cilindros en "V", 4 tiempos
Calibre	170 mm
Carrera	190 mm
Cilindrada	34,5 L
De aspiración	Turboalimentado y post-enfriado
Rotación	Hacia la izquierda
DIMENSIONES DEL MOTOR APROXIMADAS	
Altura	1720 mm
Ancho	1703 mm
Longitud	2462 mm
Peso seco neto (Sin accesorios)	4306 kg

Fuente: https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines-lesser-regulated-non-regulated/18397966.html

2.2.2 Tren de Potencia. Conformado por los subcomponentes transmisión, convertidor de torque, diferencial y mandos finales.

2.2.2.1 Transmisión. Es la encargada de permitir el desplazamiento a través de las secuencias de marchas en el equipo. El sistema planetario permite efectuar cambios de marchas suaves que ayudan a mantener más durables los componentes lo que a su vez mejora la facilidad del servicio del equipo. La servotransmisión del CAT 854G permite efectuar 3 marchas en avance y 3 marchas en retroceso al equipo.

2.2.2.2 Convertidor de torque. Combina la fuerza de tracción máxima y cambios amortiguados del mando del convertidor de par con la eficiencia y el rendimiento del mando directo. El convertidor de par de traba se conecta en aproximadamente 8km/h proporcionando más potencia a las ruedas. El embrague de traba se desconecta y conecta rápidamente para reducir las cargas de par de tren de fuerza permitiendo cambios más suaves, larga vida útil y un desplazamiento suave.

2.2.2.3 Diferencial y mandos finales. Dispone de enfriadores de aceite de eje estándar, juntas universales lubricadas permanentemente y componentes de ejes más resistentes para aumentar el rendimiento, capacidad de servicio y durabilidad. Los semiejes flotantes pueden quitarse independientemente de las ruedas y planetarios para realizar servicio de manera rápida. El sistema de enfriamiento de aceite del eje transfiere el aceite de los frenos y diferenciales a través de un enfriador oleoneumático que prolonga la vida útil del aceite.

3. POBLACION DE TRACTORES DE LLANTAS 854G EN CERREJON

De acuerdo al plan minero 2018, donde la compañía realizo la extracción de 30,8 millones de toneladas de carbón y por lo tanto, se removieron aproximadamente 198,25 toneladas de material estéril, para el soporte de la operación de apilamiento y explanación de todo este material en los botaderos, son necesarios 14 tractores de llantas distribuidos de 1 por botadero. De estos 14 Tractores de Llantita disponibles para la operación de soporte de la mina, 7 corresponden a modelo 854G.

Tabla 2. Población de tractores de llanta Caterpillar 854G en Cerrejón

POBLACION DE TRACTORES 854G EN CERREJON		
Item	Asset ID	Serial Number
1	030-206	A4W00242
2	030-207	A4W00244
3	030-208	A4W00251
4	030-209	A4W00252
5	030-210	A4W00274
6	030-211	A4W00276
7	030-212	A4W00284

Fuente: Archivo de inventario de equipos Superintendencia de Mantenimiento de Equipo Auxiliar de Llantitas Cerrejón.

4. ANALISIS DE LA INFORMACION DE MANTENIMIENTO RECOPIADA PARA LA FLOTA DE TRACTORES DE LLANTAS CATERPILLAR 854G

4.1. RECOPIACION DE DATOS PARA ANALISIS RCM

La empresa Carbones del Cerrejón, dentro del marco de su estrategia de mantenimiento, utiliza el software Ellipse para generar las ordenes de trabajo tipo EV (evento) de las flotas de acuerdo con las órdenes de trabajo cargadas en Ellipse realizadas a cada uno de los equipos de las distintas flotas de maquinaria amarilla.

Una orden tipo EV corresponde a un evento de mantenimiento no programado (Falla correctiva). Dentro de la transacción MSEWOT, se puede crear y consultar, filtrando por diferentes parámetros, las ordenes de mantenimiento planeadas, programadas y ejecutadas. De esta manera se lleva la trazabilidad de las reparaciones realizadas por el personal de ejecución.

Figura 10. Transacción MSEWOT en Elipse 8.7

PESEWOT - Search Work Order | MSEWOT - Create Work Order | Submit | Refresh | Open | New Search | Process Model | Navigate | Actions

[New Work Order] *

Work Order
 District Code > K390 - AUD/USD
 Equipment Reference
 Component Code Component Modifier Code
 Work Segment From Work Segment To
 Standard Job
 Work Order Desc
 User Status

Initiation Planning Map Location Location Extended Text Risk Scheduling Costs Job Codes Completion Completion Comments History Reference Codes

Work Order Type Maintenance Type
 Work Group
 Account Code
 Related Work Order
 Originator > ELBRAD
 Originating Document Type Originating Document Number
 Work Request
 Raised Date Raised Time
 HSSS Status Lock Integration Updates ☐

Tasks

WO Task	WO Task Desc	Task Dur Hours	Task Status	Plan Start Date	Plan Start

Fuente: Scalable Standard Jobs Functional Overview Ellipse EAM® 8.7. © Copyright 2015 ABB

Para el ejercicio del RCM, se definen en la siguiente tabla los parámetros de funcionalidad generales de un tractor de llantas 854 teniendo en cuenta su función en los botaderos de material estéril, asignándole a cada función un código ID y enfocándonos en los componentes mayores listados anteriormente.

Tabla 3. Función, falla funcional y modos de falla en los tractores 854G

Cod. Función	Función	Descripción falla funcional	ID modo de falla Nivel I	Modo de falla Nivel 1	ID Modo de falla Nivel II	Modo de falla Nivel II
1	Empujar y apilar material estéril descargado por los camiones de 320ton (793) con una disponibilidad mínima mensual para el año 2019 de 84.2%	No empuja ni apila material estéril descargado por los camiones de 320ton (793) y no cumple disponibilidad mínima mensual para el año 2019 de 84.2%	1	Falla en sistema de potencia	1.1	Falla en Motor Básico
					1.2	Falla en Motor- Sist. Lubricación
					1.3	Falla en Motor- Sist. De Enfriamiento
					1.4	Falla en Motor- sist. De combustible
					1.5	Falla en Motor- Sist. De Admisión y Escape
					1.7	Falla en Convertidor
					1.8	Falla en Transmisión
					1.9	Falla en diferencial
					1.10	Falla en Mandos finales

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

4.2. ANALISIS DE EVENTOS DE MANTENIMIENTO

Tomando los datos de Ellipse para toda la flota de tractores 854, se realiza el análisis de eventos de mantenimiento reportados de los tractores desde enero a diciembre de 2018 codificados con Sistema de Potencia. Se determinaron las fallas más frecuentes en los componentes mayores los cuales determinan la confiabilidad y el MTBS de los equipos por mantenimiento.

Tabla 4. Eventos down flota 854G enero-diciembre de 2018 sistema de potencia

Componente	# Eventos	Hrs Down
CONV-CONVERTIDOR	29	367,99
DIFE-DIFERENCIAL	3	462,15
MOTC-MOTOR-SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE	19	526,02
MOTD-MOTOR-SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	18	438,39
MOTE-MOTOR-SISTEMA DE LUBRICACION	18	156,52
MOTF-MOTOR-SISTEMA DE COMBUSTIBLE	41	179,36
MOTR-MOTOR BASICO	1	319,36
RADI-RADIADOR	1	2,79
TRAN-TRANSMISION	40	1696,89
TOTAL	170	4149,47

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 5. Eventos y horas down por mantenimiento preventivo

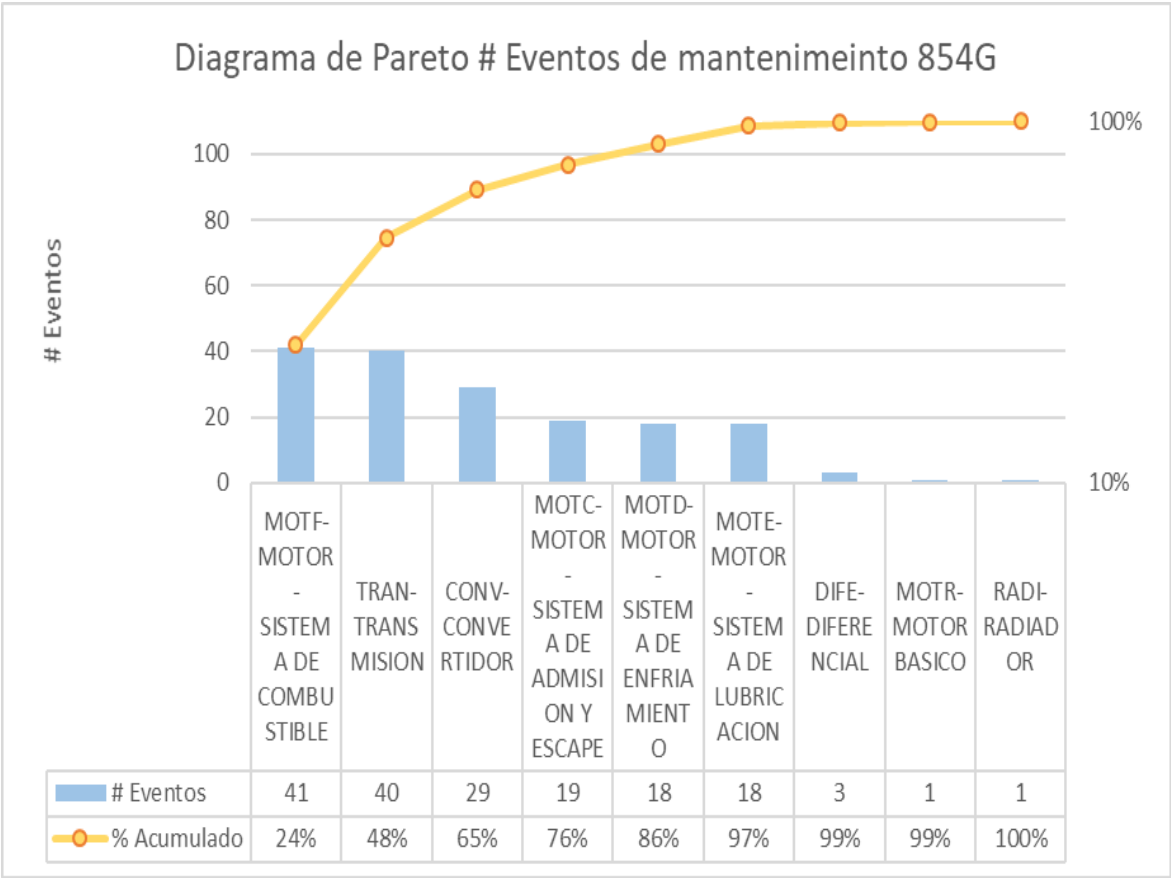
Componente	# Eventos	Hrs Down
PM- REALIZAR SEIS	73	1621,9

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Al realizar el análisis de la información de la tabla 4, para los eventos de mantenimiento de enero a diciembre de 2018, se determinan los componentes del sistema de potencia que presentan mayor número de eventos y mayor número de horas down del equipo, los dos parámetros que afectan directamente el % de disponibilidad y % de confiabilidad de la flota. De un total de 170 eventos correctivos de mantenimiento para los siete tractores 854G que representan un 6,86% puntos menos de disponibilidad, las fallas de motor suman 97 eventos, lo que representa un 57% del total de las fallas, seguido por 40 eventos en la transmisión que representa 24% del total de los imprevistos por sistema de potencia.

Comparando el total de horas down por imprevistos de mantenimiento, este valor esta 256% por encima de las horas down de la flota por mantenimiento preventivo.

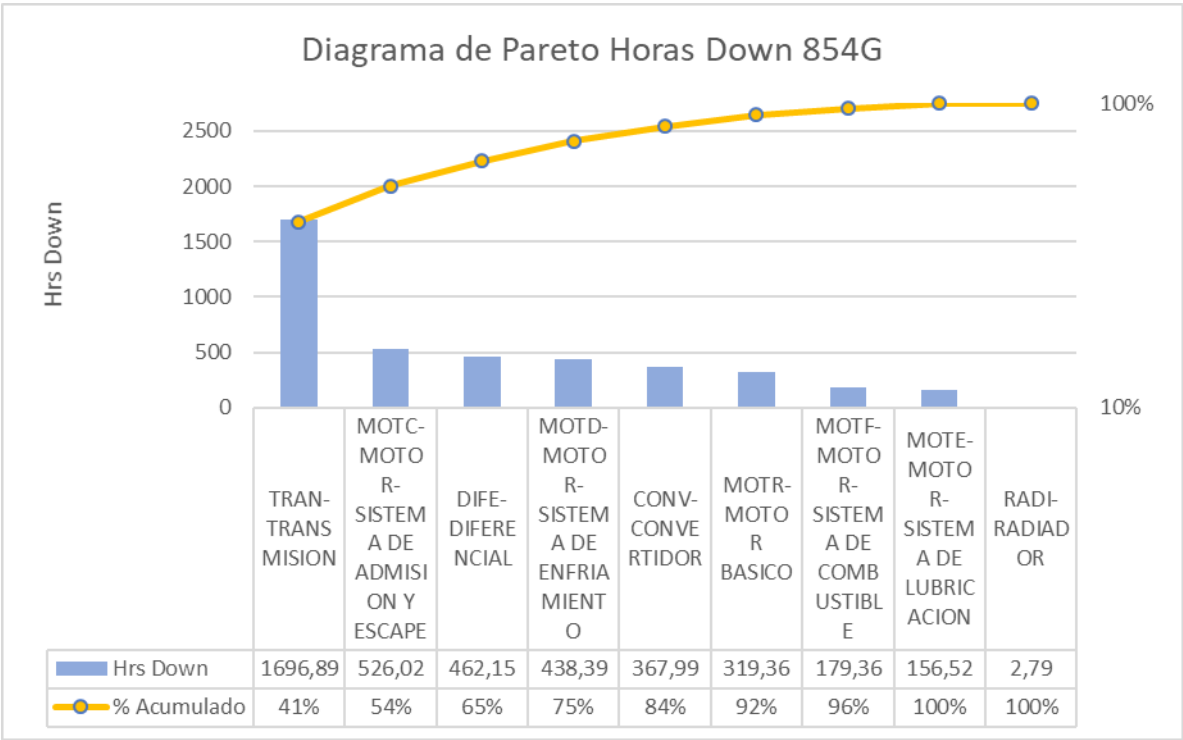
Figura 11. Diagrama de Pareto por eventos de mantenimiento



Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Realizando el análisis por horas down del equipo, la transmisión representa el 41% del total de las horas down del equipo, seguido por el sistema de admisión de motor.

Figura 12. Diagrama de Pareto por horas down de equipo



Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

4.3. ANALISIS DE MODOS DE FALLA GENERALES DE TREN DE POTENCIA

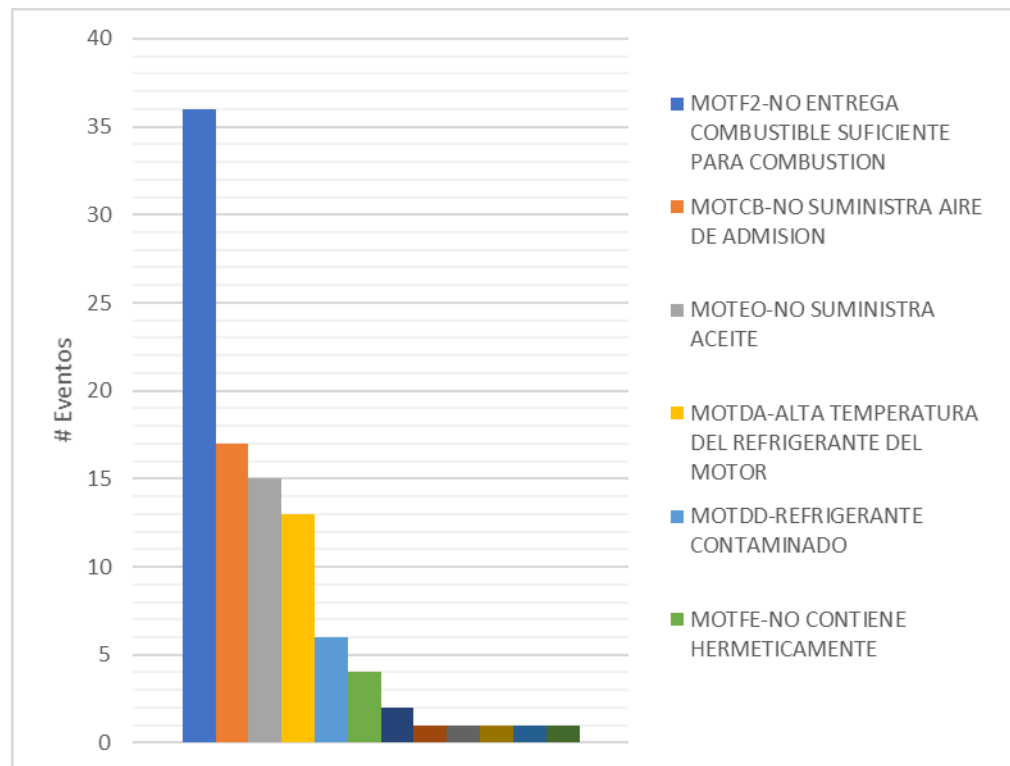
Realizando el análisis más detallado de las fallas en los diferentes componentes del sistema de potencia, se puede ver en la tabla 6 el resumen de las fallas asociadas al sistema de motor donde el mayor porcentaje (36%) de numero de eventos se encuentra asociado con el sistema de combustible.

Tabla 6. Modos de falla de motor

Modo de falla	# Eventos	%
MOTF2-NO ENTREGA COMBUSTIBLE SUFICIENTE PARA COMBUSTION	36	37%
MOTCB-NO SUMINISTRA AIRE DE ADMISION	17	17%
MOTEO-NO SUMINISTRA ACEITE	15	15%
MOTDA-ALTA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR	13	13%
MOTDD-REFRIGERANTE CONTAMINADO	6	6%
MOTFE-NO CONTIENE HERMETICAMENTE	4	4%
MOTCD-FUGAS EN EL SISTEMA DE ESCAPE	2	2%
MOTEB-LUBRICA CON ACEITE CONTAMINADO	1	1%
MOTEK-NO PREVEE ENTRADA DE PARTICULAS MAYORES AL MOTOR	1	1%
MOTEL-NO CONTIENE ACEITE LUBRICANTE	1	1%
MOTFF-NO PULVERIZA Y DOSIFICA EL COMBUSTIBLE	1	1%
MOTRA-MOTOR BASICO - BAJA POTENCIA	1	1%
Total	98	100%

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Figura 13. Diagrama de Pareto modos de falla motor



Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

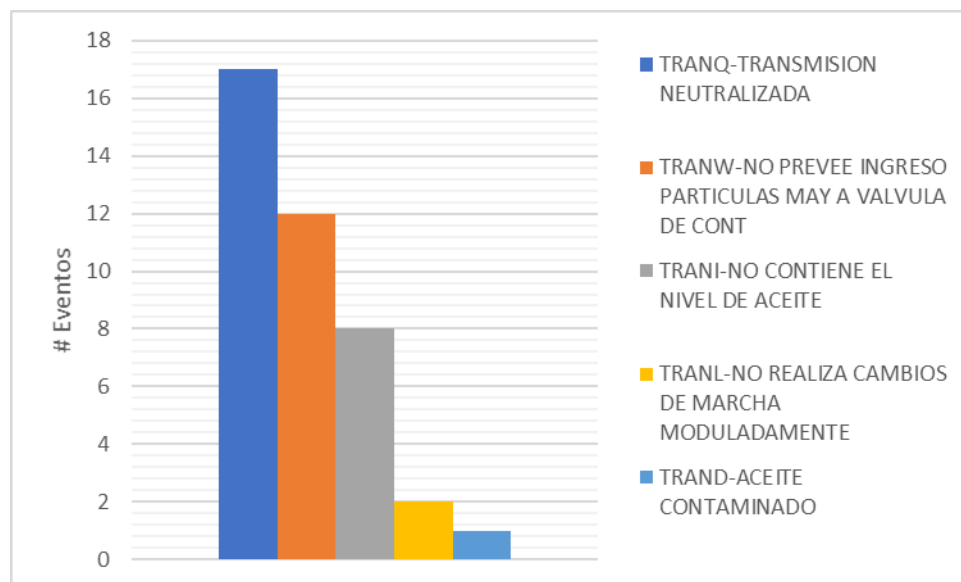
El modo de falla predominante en la Transmisión es por transmisión neutralizada con un 43% del total de las fallas, seguido por un 30% de presencia de partículas metálicas en el screen de Transmisión.

Tabla 7. Modos de falla transmisión

Modo de falla	# Eventos	%
TRANQ-TRANSMISION NEUTRALIZADA	17	43%
TRANW-NO PREVEE INGRESO PARTICULAS MAY A VALVULA DE CONT	12	30%
TRANI-NO CONTIENE EL NIVEL DE ACEITE	8	20%
TRANL-NO REALIZA CAMBIOS DE MARCHA MODULADAMENTE	2	5%
TRAND-ACEITE CONTAMINADO	1	3%
Total	40	100%

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Figura 14. Diagrama de Pareto modos de falla en la transmisión



Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

En la tabla 8, se observa que el mayor problema asociado a falla en el Convertidor de torque es la perdida de potencia con el 52%, seguido de no multiplica el torque

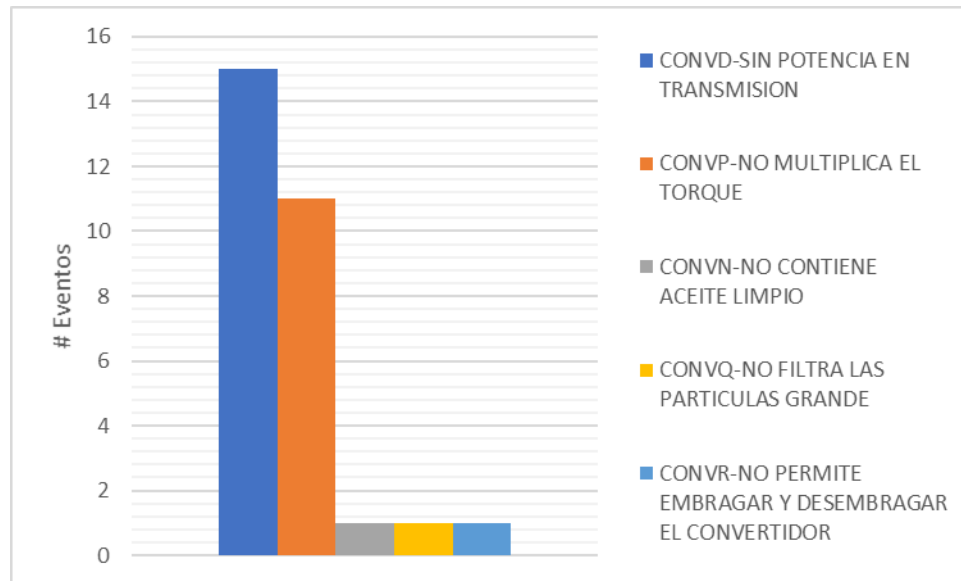
con un 38%. Los problemas de contaminación y filtrado en este componente son bajos.

Tabla 8. Modos de falla en convertidor de torque

Modo de falla	# Eventos	%
CONVD-SIN POTENCIA EN TRANSMISION	15	52%
CONVP-NO MULTIPLICA EL TORQUE	11	38%
CONVN-NO CONTIENE ACEITE LIMPIO	1	3%
CONVQ-NO FILTRA LAS PARTICULAS GRANDE	1	3%
CONVR-NO PERMITE EMBRAGAR Y DESEMBRAGAR EL CONVERTIDOR	1	3%
TOTAL	29	

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llant 854G.

Figura 15. Diagrama de Pareto modos de falla convertidor de torque



Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llant 854G.

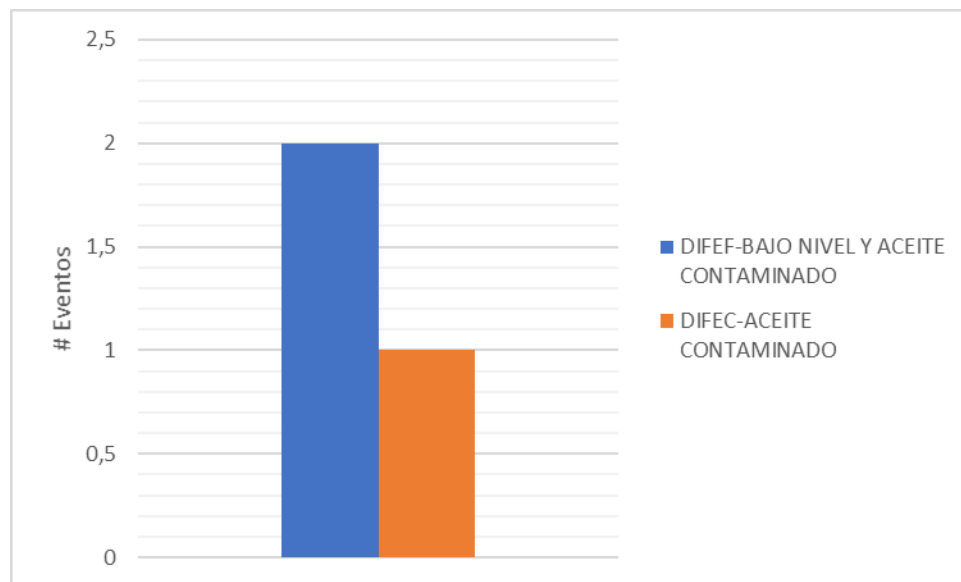
En el Diferencial, se puede observar que sus modos de falla reportador durante el año 2018 están asociados a contaminación de aceite y bajo nivel con el 100% de sus fallas relacionadas a este concepto. Ver tabla 9.

Tabla 9. Modos de falla en diferencial

Modo de falla	# Eventos	%
DIFEF-BAJO NIVEL Y ACEITE CONTAMINADO	2	67%
DIFEC-ACEITE CONTAMINADO	1	33%
TOTAL	3	100%

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Figura 16. Diagrama de Pareto fallas en diferencial



Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

4.4. ANALISIS DE MODOS DE FALLA POR COMPONENTES

Para realizar el análisis RCM según la metodología, a continuación, de la tabla 10 a la tabla 14 se muestran las funciones de cada componente, sus modos de falla asociados y las consecuencias de estas (Método FMECA). De esta manera se pueden identificar detalladamente las causas de los modos de falla y así determinar las actividades de mantenimiento a realizar.

Tabla 10. Análisis de modo de falla del sistema motor

LocationDescription	FunctionDescription	Parent	FunctionalFailureescription	Id	RcmCauses.Description
MOTR - MOTOR BÁSICO	Suministrar 800 HP a 1750 RPM	1.1.1.A	No suministra potencia	1.1.1.A.5	Motor atascado por bloqueo hidráulico debido a culata agrietada
MOTR - MOTOR BÁSICO	Suministrar 800 HP a 1750 RPM	1.1.1.A	No suministra potencia	1.1.1.A.6	Motor atascado por bloqueo hidráulico debido empaque de culata cristalizados
MOTR - MOTOR BÁSICO	Suministrar 800 HP a 1750 RPM	1.1.1.B	Suministra menos de 800 HP	1.1.1.B.1	Asiento de las válvulas desgastados por vida útil
MOTR - MOTOR BÁSICO	Suministrar 800 HP a 1750 RPM	1.1.1.B	Suministra menos de 800 HP	1.1.1.B.3	Desgaste de anillos y camisas del motor por operación normal
MOTR - MOTOR BÁSICO	Suministrar 800 HP a 1750 RPM	1.1.1.B	Suministra menos de 800 HP	1.1.1.B.3	Desgaste de anillos y camisas del motor por operación normal
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.1	Motor del ventilador defectuoso
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.10	Bomba de propulsión del ventilador del radiador defectuosa
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.2	Radiador obstruido externamente
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.4	Bombas de agua principal defectuosas
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.6	Bajo nivel de refrigerante en el radiador
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.6	Bajo nivel de refrigerante en el radiador
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.7	Tanque de expansión roto y/o con fugas

MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Mantener la temperatura de operación del motor entre 80 y 102 C	1.2.1.A	La temperatura del motor sobrepasa los 102 C	1.2.1.A.8	Bomba auxiliar defectuosa
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.A	Refrigerante contaminado y/o degradado	1.2.2.A.1	Contaminación con aceite por enfriador de la transmisión o motor roto
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.A	Refrigerante contaminado y/o degradado	1.2.2.A.2	Refrigerante degradado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.A	Refrigerante contaminado y/o degradado	1.2.2.A.4	Tapa del radiador dañada abierta o asiento en mal estado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.A	Refrigerante contaminado y/o degradado	1.2.2.A.5	Wiggins sucio por tapa de wiggins ausente
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.A	Refrigerante contaminado y/o degradado	1.2.2.A.5	Wiggins sucio por tapa de wiggins ausente
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.1	Radiador roto por golpe externo
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.2	Mangueras del sistema de refrigerante rotas por cristalización
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.3	Mangueras del sistema de refrigerante sueltas por abrazaderas desajustadas
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.4	Sellos del cuerpo de la bomba de agua, caja de termostatos y deposito inferior del radiador cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.4	Sellos del cuerpo de la bomba de agua, caja de termostatos y deposito inferior del radiador cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.5	wiggins desgastado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.6	Mirilla rota
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.7	Fuga por chismoso de la bomba de agua
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.8	Sellos del radiador rotos o cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Contener refrigerante limpio	1.2.2.B	No es capaz de contener refrigerante (xx galones)	1.2.2.B.9	Empaque de la tubería de enfriamiento de los turbos cristalizados

MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Aliviar la presión del tanque de expansión cuando la presión alcance 7 PSI	1.2.3.A	No alivia la presión del tanque de expansión cuando la presión alcance 11 PSI	1.2.3.A.1	Tapa del radiador dañada abierta o asiento en mal estado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Indicar el nivel de refrigerante	1.2.4.A	No indica el nivel de refrigerante	1.2.4.A.1	Mirilla en mal estado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.1	Mangueras del sistema de combustible rotas por roce
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.10	Racores y acoples del sistema de combustible flojos
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.2	Manguera de combustible rotas por cristalización
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.3	Sellos de bomba de transferencia, válvula reguladora de presión cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.4	fuga de combustible por wiggins acople desgastado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.4	fuga de combustible por wiggins acople desgastado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.5	Sellos de los inyectores y el solenoide rotos por cristalización
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.6	Sellos de la tapa del tanque de combustible cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.A	No es capaz de contener combustible	1.3.1.A.9	Sellos de los sensores de presión diferencial de filtros, temperatura y flujo de combustible cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.B	No contiene combustible limpio	1.3.1.B.1	Wiggings de llenado sucio por ausencia de tapa protectora
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.B	No contiene combustible limpio	1.3.1.B.1	Wiggings de llenado sucio por ausencia de tapa protectora
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Contener herméticamente hasta 413 galones de combustible limpio	1.3.1.B	No contiene combustible limpio	1.3.1.B.2	Excesiva cantidad de agua presente en el sistema de combustible

MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Suministrar combustible entre 55 y 110 PSI a los inyectores en máximas revoluciones (Bomba Transferencia)	1.3.2.A	No suministra combustible o lo hace por fuera de especificaciones	1.3.2.A.1	Bomba de transferencia defectuosa
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Suministrar combustible entre 55 y 110 PSI a los inyectores en máximas revoluciones (Bomba Transferencia)	1.3.2.A	No suministra combustible o lo hace por fuera de especificaciones	1.3.2.A.2	Filtros primarios de combustible obstruidos
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Suministrar combustible entre 55 y 110 PSI a los inyectores en máximas revoluciones (Bomba Transferencia)	1.3.2.A	No suministra combustible o lo hace por fuera de especificaciones	1.3.2.A.3	Muy bajo nivel de combustible en el tanque
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Suministrar combustible entre 55 y 110 PSI a los inyectores en máximas revoluciones (Bomba Transferencia)	1.3.2.A	No suministra combustible o lo hace por fuera de especificaciones	1.3.2.A.3	Muy bajo nivel de combustible en el tanque
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Suministrar combustible entre 55 y 110 PSI a los inyectores en máximas revoluciones (Bomba Transferencia)	1.3.2.A	No suministra combustible o lo hace por fuera de especificaciones	1.3.2.A.5	Filtro secundario de combustible obstruidos
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Suministrar combustible entre 55 y 110 PSI a los inyectores en máximas revoluciones (Bomba Transferencia)	1.3.2.A	No suministra combustible o lo hace por fuera de especificaciones	1.3.2.A.6	Válvula reguladora de presión descalibrada por desgaste normal o pegada abierta
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Entregar combustible pulverizado a la cámara de combustión (Inyectores)	1.3.3.A	No pulveriza el combustible	1.3.3.A.1	Inyector defectuoso
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Entregar combustible pulverizado a la cámara de combustión (Inyectores)	1.3.3.A	No pulveriza el combustible	1.3.3.A.2	Inyector descalibrado por desgaste normal
MOTR - MOTOR SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Evacuar los gases generados en el depósito de combustible y suspender el tanqueo de	1.3.5.A	No evacua los gases generados en el depósito de combustible ni suspende el tanqueo de combustible	1.3.5.A.1	Respiradero del tanque de combustible obstruido por contaminación

	combustible				
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.1	Filtros de aire primario obstruidos
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.11	Filtros obstruidos por caja de filtros rota o tapa abierta
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.12	Filtros obstruidos por sellos de la tapa de caja de filtros defectuoso
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.12	Filtros obstruidos por sellos de la tapa de caja de filtros defectuoso
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.13	Filtro obstruido por eyector de polvo defectuoso
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.2	Filtro primario de aire obstruido por mangueras del eyector de polvo rotas
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.3	Precleaner obstruido
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.A	No suministra aire o lo hace por debajo de especificación	1.4.1.A.5	Filtros de aire secundarios obstruidos
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 54.8 in Hg a una temperatura de xx C	1.4.1.B	No mantenga la temperatura de admisión por debajo de xx C	1.4.1.B.3	Bomba auxiliar de agua defectuosa
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.1	Tubería de admisión y/o abrazaderas flojas

MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.2	Empaques de post enfriador cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.3	Sellos de empalmes de tubería de admisión cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.5	Empaque del múltiple de admisión quemado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.6	Sellos de los sensores de presión salida de turbo, temperatura admisión cristalizado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.7	Mangueras de entrada de los posts enfriadores rotas por roce
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.8	Sellos del codo del turbo dañados por cristalización
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener el aire del sistema de admisión	1.4.2.A	No contiene el aire de admisión	1.4.2.A.9	Mangueras de entrada de los posts enfriadores rotas por cristalización
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Extraer las partículas depositadas a la entrada de los filtros	1.4.3.A	No extrae las partículas depositadas a la entrada de los filtros	1.4.3.A.1	tubería de la caja ciclónica obstruida por operación normal
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Extraer las partículas depositadas a la entrada de los filtros	1.4.3.A	No extrae las partículas depositadas a la entrada de los filtros	1.4.3.A.2	Codo de la caja de humo roto por erosión
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Extraer las partículas depositadas a la entrada de los filtros	1.4.3.A	No extrae las partículas depositadas a la entrada de los filtros	1.4.3.A.4	Eyector de polvo defectuoso
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Conducir sin restricción los gases productos de la combustión para impulsar las aspas de la turbina del turbocompresor.	1.4.4.A	No conduce sin restricción los gases productos de la combustión para impulsar las aspas de la turbina del turbocompresor.	1.4.4.A.2	Caja de humo rota por corrosión o alta vibración debido a tornillos desajustados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener los gases de escape	1.4.5.A	No contiene los gases de escape	1.4.5.A.1	Múltiple de escape con fugas
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener los gases de escape	1.4.5.A	No contiene los gases de escape	1.4.5.A.10	Acople entre caja de humo y tubo de escape suelto por abrazadera desajustada
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener los gases de escape	1.4.5.A	No contiene los gases de escape	1.4.5.A.2	Tornillos de soporte de tubería del turbo partidos, ausentes o flojos
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener los gases de escape	1.4.5.A	No contiene los gases de escape	1.4.5.A.3	Fuga de gases por daño en los empaques, ductos, tornillos y/o acoples

MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener los gases de escape	1.4.5.A	No contiene los gases de escape	1.4.5.A.5	Tornillos del múltiple de escape desajustados o ausentes
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener los gases de escape	1.4.5.A	No contiene los gases de escape	1.4.5.A.7	Tornillos de soporte del turbo desajustados o ausentes
MOTR - MOTOR SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	Contener los gases de escape	1.4.5.A	No contiene los gases de escape	1.4.5.A.9	Tornillos del soporte entre la caja de humo y capot desajustados o ausentes
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.11	Aceite motor emulsionado por enfriador de aceite roto
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.14	Desgaste de casquetes por operación normal
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.15	Aceite motor emulsionado por culata agrietada
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.16	Aceite motor emulsionado por el sello del buje del turbo compresor cristalizado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.17	Aceite motor emulsionado por sello de la bomba de agua cristalizado

MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.18	Aceite motor emulsionado por sellos frontal de la bomba de transferencia de combustible cristalizado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.3	Muy bajo nivel de aceite del motor
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.3	Muy bajo nivel de aceite del motor
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.4	Degradación del aceite por vida útil
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.4	Degradación del aceite por vida útil
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.8	Aceite motor diluido por inyector de combustible con fuga

MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Suministrar aceite a una presión hasta 87 PSI (Según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor y a los bujes del turbo	1.6.1.A	No suministra aceite o lo hace por debajo de lo especificado para el nivel revoluciones del motor	1.6.1.A.9	Casquetes y bujes desgastados por operación normal
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.1	Empaque y sellos del turbo cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.1	Empaque y sellos del turbo cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.10	Sellos de la bomba de aceite cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.11	tubería bypass del enfriador de aceite rota por roce
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.12	Sellos de los ejes de los piñones intermedios de los engranajes frontales rotos por cristalización
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.3	Empaques del carter cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.7	Sellos de la caja de balancines (Culatín) cristalizados
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.8	Empaque y sellos de la culata cristalizado
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.A	No contiene aceite motor	1.6.2.A.9	Mangueras y tubería de lubricación de turbos rotas por roce
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.B	Contiene aceite contaminado	1.6.2.B.2	Manguera del respiradero de los desfuegos obstruida por contaminación
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Contener aceite motor limpio (27 Gal)	1.6.2.B	Contiene aceite contaminado	1.6.2.B.3	Filtro del desfogue obstruido
MOTR - MOTOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Prevenir que ingresen partículas mayores a xx micras al la galería principal del motor	1.6.3.A	No previene que ingresen partículas mayores a xx micras al la galería principal del motor	1.6.3.A.1	Filtros de aceite obstruidos por operación normal

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 11. Análisis del modo de falla del sistema transmisión

LocationDescription	FunctionDescription	Parent	FunctionalFailureDescription	Id	RcmCauses.Description
TRANSMISIÓN	Lubricar con aceite limpio, a una presión aprox. de 16 PSI los rodamientos de los engranajes de transferencia y grupos de válvulas	1.9.1.A	Lubrica con aceite contaminado	1.9.1.A.1	Aceite de la transmisión degradado
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.1	Mirilla de nivel de aceite transmisión partida o sellos cristalizados
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.2	Sellos del tapón de drenaje cristalizados
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.3	Mangueras de la mirilla rotas por cristalización
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.4	Sellos de las mangueras de la transmisión cristalizados
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.5	Sellos de la bomba de la transmisión cristalizados
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.6	Manguera de la transmisión cristalizadas
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.7	Sellos de las tapas de mallas magnéticas de la transmisión cristalizados
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.8	Sellos del filtro de la transmisión cristalizado
TRANSMISIÓN	Contener el aceite del circuito de la transmisión	1.9.2.A	No contiene 45 galones de aceite	1.9.2.A.9	Empaque de la tapa de la transmisión cristalizados
TRANSMISIÓN	Transmitir la potencia del convertidor a los diferenciales en los diferentes regimenes de dirección (Forward y reverse) y velocidad	1.9.4.A	Transmisión neutralizada	1.9.4.A.11	Rodamiento de la transmisión agarrotados o destruidos por operación normal
TRANSMISIÓN	Transmitir la potencia del convertidor a los diferenciales en los diferentes regimenes de dirección (Forward y reverse) y velocidad	1.9.4.A	Transmisión neutralizada	1.9.4.A.2	Ausencia de aceite de la transmisión
TRANSMISIÓN	Transmitir la potencia del convertidor a los diferenciales en los diferentes regimenes de dirección (Forward y reverse) y velocidad	1.9.4.A	Transmisión neutralizada	1.9.4.A.2	Ausencia de aceite de la transmisión

TRANSMISIÓN	Transmitir la potencia del convertidor a los diferenciales en los diferentes regimenes de dirección (Forward y reverse) y velocidad	1.9.4.A	Transmisión neutralizada	1.9.4.A.5	Engranajes de la transmisión rotos o partidos
TRANSMISIÓN	Transmitir la potencia del convertidor a los diferenciales en los diferentes regimenes de dirección (Forward y reverse) y velocidad	1.9.4.A	Transmisión neutralizada	1.9.4.A.5	Engranajes de la transmisión rotos o partidos
TRANSMISIÓN	Prevenir que ingrese partículas mayores a 2 micras a las válvulas de control de la transmisión	1.9.5.A	No previene que ingrese partículas mayores a 2 micras ingresen a las válvulas de control de la transmisión	1.9.5.A.1	Filtro de la transmisión obstruido
TRANSMISIÓN	Prevenir que ingrese partículas mayores a 2 micras a las válvulas de control de la transmisión	1.9.5.A	No previene que ingrese partículas mayores a 2 micras ingresen a las válvulas de control de la transmisión	1.9.5.A.2	Válvula bypass dañada abierta por contaminación
TRANSMISIÓN	Indicar el nivel de aceite de la transmisión	1.9.6.A	No indica el nivel de aceite de la transmisión	1.9.6.A.1	Mirilla de nivel de aceite manchada u opaca

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 12. Análisis de modo de falla del sistema convertidor

LocationDescription	FunctionDescription	Parent	FunctionalFailureDescription	Id	RcmCauses.Description
CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A	No transmite la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A.1	Bajo nivel de aceite
CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A	No transmite la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A.1	Bajo nivel de aceite
CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A	No transmite la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A.5	Crucetas del cardan dañadas por vida útil
CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A	No transmite la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.A.7	Tornillos de sujeción de las crucetas partidos y/o flojos
CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.B	Transmite pero no multiplica la potencia hacia la transmisión	1.10.1.B.1	Convertidor desgastado internamente por operación normal
CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.B	Transmite pero no multiplica la potencia hacia la transmisión	1.10.1.B.2	Embragues del impeler del convertidor desgastados

CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.B	Transmite pero no multiplica la potencia hacia la transmisión	1.10.1.B.3	Tiempo de llenado del impeler descalibrado por operación normal
CONVERTIDOR	Transmitir y multiplicar la potencia del motor hacia la transmisión	1.10.1.B	Transmite pero no multiplica la potencia hacia la transmisión	1.10.1.B.5	Aceite del convertidor degradado
CONVERTIDOR	Contener aceite	1.10.2.A	No contiene aceite	1.10.2.A.1	Manguera de succión de la bomba de barrido del convertido rotas por roce
CONVERTIDOR	Contener aceite	1.10.2.A	No contiene aceite	1.10.2.A.2	Manguera de succión de la bomba de barrido del convertido rotas por cristalización
CONVERTIDOR	Contener aceite	1.10.2.A	No contiene aceite	1.10.2.A.3	Sellos de la bomba de barrido cristalizados
CONVERTIDOR	Contener aceite	1.10.2.A	No contiene aceite	1.10.2.A.4	Manguera del convertidor al enfriador rota por roce
CONVERTIDOR	Contener aceite	1.10.2.A	No contiene aceite	1.10.2.A.5	Manguera del convertidor al enfriador rota por cristalización
CONVERTIDOR	Contener aceite	1.10.2.A	No contiene aceite	1.10.2.A.6	Sellos de la válvula del impeler y lock up cristalizados
CONVERTIDOR	Contener aceite	1.10.2.A	No contiene aceite	1.10.2.A.7	Sellos del enfriador de la transmisión y convertidor cristalizados
CONVERTIDOR	Prevenir que ingrese partículas mayores a 2 micras al enfriador de aceite del convertidor	1.10.5.A	No previene que ingrese partículas mayores a 2 micras ingresen al enfriador de aceite del convertidor	1.10.5.A.1	Filtro del convertidor obstruido
CONVERTIDOR	Prevenir que ingrese partículas mayores a 2 micras al enfriador de aceite del convertidor	1.10.5.A	No previene que ingrese partículas mayores a 2 micras ingresen al enfriador de aceite del convertidor	1.10.5.A.2	Válvula bypass dañada abierta por contaminación
CONVERTIDOR	Permitir la entrada de aire al convertidor y salida de los vapores generados en el hidráulico	1.10.6.A	No permite el venteo en el convertidor	1.10.6.A.1	Filtro del respiradero del convertidor obstruidos por operación normal

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 13. Análisis de modo de falla del sistema diferencial

LocationDescription	FunctionDescription	Parent	FunctionalFailureDescription	Id	RcmCauses.Description
DIFERENCIAL	Transmitir la potencia desde la transmisión hasta los mandos finales	1.7.1.A	No transmite potencia	1.7.1.A.1	Daño en engranajes y/o rodamientos por vida útil
DIFERENCIAL	Transmitir la potencia desde la transmisión hasta los mandos finales	1.7.1.A	No transmite potencia	1.7.1.A.1	Daño en engranajes y/o rodamientos por vida útil
DIFERENCIAL	Transmitir la potencia desde la transmisión hasta los mandos finales	1.7.1.A	No transmite potencia	1.7.1.A.2	Diferencial dañado por falta de lubricación
DIFERENCIAL	Transmitir la potencia desde la transmisión hasta los mandos finales	1.7.1.A	No transmite potencia	1.7.1.A.2	Diferencial dañado por falta de lubricación
DIFERENCIAL	Contener en conjunto con los mandos finales 95 galones de aceite SAE 60 limpio	1.7.2.A	Contiene aceite contaminado	1.7.2.A.1	Pase de aceite del grupo de frenos por daño en sello de pistón de frenos
DIFERENCIAL	Contener en conjunto con los mandos finales 95 galones de aceite SAE 60 limpio	1.7.2.A	Contiene aceite contaminado	1.7.2.A.1	Pase de aceite del grupo de frenos por daño en sello de pistón de frenos
DIFERENCIAL	Contener en conjunto con los mandos finales 95 galones de aceite SAE 60 limpio	1.7.2.A	Contiene aceite contaminado	1.7.2.A.2	Entrada de contaminantes por el respiradero
DIFERENCIAL	Contener en conjunto con los mandos finales 95 galones de aceite SAE 60 limpio	1.7.2.A	Contiene aceite contaminado	1.7.2.A.2	Entrada de contaminantes por el respiradero
DIFERENCIAL	Contener en conjunto con los mandos finales 95 galones de aceite SAE 60 limpio	1.7.2.B	Contiene menos de 95 galones de aceite	1.7.2.B.1	Fugas externas
DIFERENCIAL	Contener en conjunto con los mandos finales 95 galones de aceite SAE 60 limpio	1.7.2.B	Contiene menos de 95 galones de aceite	1.7.2.B.1	Fugas externas

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 14. Análisis de modo de falla sistema mandos finales

LocationDescription	FunctionDescription	Parent	FunctionalFailureDescription	Id	RcmCauses.Description
MANDOS FINALES	Transferir la potencia desde el diferencial hasta la rueda	1.8.1.A	No transfiere la potencia desde el diferencial hasta las ruedas	1.8.1.A.1	Engranajes y/o rodamientos desgastados
MANDOS FINALES	Transferir la potencia desde el diferencial hasta la rueda	1.8.1.A	No transfiere la potencia desde el diferencial hasta las ruedas	1.8.1.A.1	Engranajes y/o rodamientos desgastados
MANDOS FINALES	Transferir la potencia desde el diferencial hasta la rueda	1.8.1.A	No transfiere la potencia desde el diferencial hasta las ruedas	1.8.1.A.2	Semiejes rotos y/o estrías desgastadas
MANDOS FINALES	Transferir la potencia desde el diferencial hasta la rueda	1.8.1.A	No transfiere la potencia desde el diferencial hasta las ruedas	1.8.1.A.2	Semiejes rotos y/o estrías desgastadas
MANDOS FINALES	Contener en conjunto con el diferencial hasta 95 gal de aceite SAE 60	1.8.2.A	No contiene el aceite del mando final	1.8.2.A.1	Sello dúo-cone externo deteriorado
MANDOS FINALES	Contener en conjunto con el diferencial hasta 95 gal de aceite SAE 60	1.8.2.A	No contiene el aceite del mando final	1.8.2.A.1	Sello dúo-cone externo deteriorado
MANDOS FINALES	Contener en conjunto con el diferencial hasta 95 gal de aceite SAE 60	1.8.2.A	No contiene el aceite del mando final	1.8.2.A.2	Sello de la tapa central del mando final deteriorado
MANDOS FINALES	Contener en conjunto con el diferencial hasta 95 gal de aceite SAE 60	1.8.2.A	No contiene el aceite del mando final	1.8.2.A.2	Sello de la tapa central del mando final deteriorado
MANDOS FINALES	Contener en conjunto con el diferencial hasta 95 gal de aceite SAE 60	1.8.2.A	No contiene el aceite del mando final	1.8.2.A.3	Tapones de llenado y/o vaciado flojos por mala instalación
MANDOS FINALES	Contener en conjunto con el diferencial hasta 95 gal de aceite SAE 60	1.8.2.A	No contiene el aceite del mando final	1.8.2.A.3	Tapones de llenado y/o vaciado flojos por mala instalación

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

4.5. DETERMINACION DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO

Con la identificación de las funciones, fallas, modos de falla y sus consecuencias, es posible determinar para cada una de las fallas, su respectiva acción de mantenimiento que apunte a reducir las incidencias de estas fallas en los down por imprevistos en los equipos de la flota.

Los intervalos de aplicación de cada acción de mantenimiento fueron determinados de acuerdo a lo recomendado por el fabricante en el documento SEBU7979 Manual de Operación y Mantenimiento, tractor de llantas 854G, para serie A4W0001-up

Tabla 15. Selección de tareas de mantenimiento componente motor

Id	Type	RcmScheduledTasks.Description	TaskInterval	TaskGroup	LaborDescriptions
1.1.1.A.5	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar Na y H2O fuera de especificaciones, verificar motor por fuga de refrigerante	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.1.1.A.6	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar Na y H2O fuera de especificaciones, verificar motor por fuga de refrigerante	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.1.1.B.1	Inspection	Verificar la calibración del motor mediante análisis Windrock	4000H	Tipo E	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.1.1.B.3	Inspection	Tomar y analizar muestras de aceite. En caso de encontrar Cr y Fe, hacer seguimiento a la presión de carter para descartar desgaste de anillos y camisas	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad
1.1.1.B.3	Inspection	Realizar prueba de desempeño del motor	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.2.1.A.1	Inspection	Verificar las revoluciones del ventilador desconectando la válvula solenoide proporcional a través del ET (Revoluciones máximas: 885 rpm). En caso de encontrar revoluciones por debajo de especificación, verificar estado de motor, válvula y bomba.	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.2.1.A.10	Inspection	Medir presión en el circuito de propulsión del ventilador. En caso de que la presión sea inferior a 1800 PSI en máximas revoluciones, calibrar la válvula compensadora del circuito	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.2.1.A.2	Planned	Lavar externamente los cores del radiador	1000H	Tipo C	Contratista de lavado
1.2.1.A.4	Inspection	Inspección del chismoso de la bomba de agua principal. En caso de encontrar fuga excesiva, cambiar bomba de agua	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.2.1.A.6	Inspection	Verificar nivel de refrigerante en el tanque de expansión	12H	I.Operacional	Operador

1.2.1.A.6	Inspection	Verificar nivel de refrigerante en el tanque de expansión	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.2.1.A.7	Inspection	Inspección por fugas de refrigerante en el motor	12H	I.Operacional	Operador
1.2.1.A.8	Inspection	Inspección visual por fugas de refrigerante a través del chismoso de la bomba auxiliar. En caso de encontrar fuga excesiva, cambiar bomba auxiliar	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.2.2.A.1	Inspection	Inspección del refrigerante. En caso de evidenciar contaminación de aceite con refrigerante, identificar fuente de contaminación y cambiar refrigerante	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.2.2.A.2	Planned	Cambiar refrigerante del motor	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.2.2.A.4	Inspection	Realizar prueba hidrostática a la tapa del radiador. En caso de que la tapa abra a una presión inferior a 7 PSI, cambiar tapa	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.2.2.A.5	Inspection	Verificar la presencia de las tapas protectoras de los wiggins	12H	I.Operacional	Operador
1.2.2.A.5	Inspection	Verificar la presencia de las tapas protectoras de los wiggins	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.1	Inspection	Realizar prueba de hermeticidad en el sistema de refrigerante motor. En caso de detectar fugas a través del radiador, reparar el núcleo roto	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.2	Inspection	Inspección visual de las mangueras del sistema de refrigerante motor. En caso de evidenciar, humedad o deterioro anormal de su superficie, cambiar manguera defectuosa	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.3	Inspection	Inspección visual de ajuste y estado de los soportes y abrazaderas de las mangueras del sistema de refrigerante	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.4	Inspection	Inspección por fugas alrededor del cuerpo de la bomba de agua, caja de termostato	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.4	Inspection	Verificar por fugas en el circuito de refrigerante motor	12H	I.Operacional	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.5	Inspection	Inspección por fugas de aceite en el wiggins	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.6	Inspection	Inspección por fugas de refrigerante alrededor de la mirilla y el estado de esta	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.7	Inspection	Inspección por fugas alrededor de la bomba de agua auxiliar	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.8	Inspection	Inspección por fugas de refrigerante alrededor de los sellos del radiador	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.2.2.B.9	Inspection	Inspección por fugas en los empaques de la tubería de enfriamiento de los turbos	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.2.3.A.1	Inspection	Realizar prueba hidrostática a la tapa del radiador. En caso de que la tapa abra a una presión inferior a 7 PSI, cambiar tapa	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.2.4.A.1	Inspection	Inspección visual del estado de la mirilla (opaco, sucia)	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.3.1.A.1	Inspection	Inspección del correcto enrutamiento y estado de soportes de las mangueras del sistema de combustible	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.3.1.A.10	Inspection	Inspección por fugas en acoples del sistema de combustible	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.3.1.A.2	Inspection	Inspección visual del estado de mangueras del sistema de combustible	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.3.1.A.3	Inspection	Inspección visual por fugas en el cuerpo de la bomba de transferencia, válvula reguladora	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico

1.3.1.A.4	Inspection	Inspeccionar por fugas de combustible el motor (mangueras, acoples, componentes y wiggins)	12H	I.Operacional	Operador
1.3.1.A.4	Inspection	Inspección visual del estado del wiggins de combustible	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.3.1.A.5	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar dilución por combustible, evaluar inyectores	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad
1.3.1.A.6	Inspection	Inspección visual por fuga de la tapa del tanque de combustible	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.3.1.A.9	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor del cuerpo de los sensores de presión diferencial de filtros, temperatura y flujo de combustible	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.3.1.B.1	Inspection	Verificar que Wiggins estén limpios y con su protector instalado	12H	I.Operacional	Operador
1.3.1.B.1	Inspection	Verificar que Wiggins estén limpios y con su protector instalado	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.3.1.B.2	Planned	Drenar el exceso de agua presente en el sistema de combustible	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.3.2.A.1	Inspection	Hacer seguimiento a la tendencia del flujo de la bomba de transferencia de combustible. En caso de evidenciar una disminución significativa del volumen entregado, programar cambio de la bomba	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico, Analista de Confiabilidad
1.3.2.A.2	Planned	Cambiar filtros de combustible secundarios	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.3.2.A.3	Inspection	Verificar nivel de combustible en el panel del operador	12H	I.Operacional	Operador
1.3.2.A.3	Inspection	Verificar el nivel de combustible	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.3.2.A.5	Planned	Cambiar filtros de combustible secundarios	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.3.2.A.6	Inspection	Medir la presión de combustible en el riel de inyección. En caso de que la presión se encuentre por debajo de 80 PSI, evaluar estado de la válvula reguladora de presión	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.3.3.A.1	Inspection	Realizar análisis de aceite. En caso de evidenciar dilución por combustible, realizar inspección por fuga en los sellos de los inyectores y/o prueba de corte de inyección para identificar el puesto con fuga	250H	Inspección GI&T	Técnico Electromecánico, Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad
1.3.3.A.2	Inspection	Realizar análisis de aceite. En caso de evidenciar dilución por combustible, realizar inspección por fuga en los sellos de los inyectores y/o prueba de corte de inyección para identificar el puesto con fuga	250H	Inspección GI&T	Técnico Electromecánico
1.3.5.A.1	Planned	Cambiar el filtro del respiradero	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.4.1.A.1	Planned	Cambiar filtros primarios	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.4.1.A.11	Inspection	Inspeccionar estado de la caja de filtros y estado de seguros	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.4.1.A.12	Inspection	Inspeccionar el estado del sello de la tapa de filtros	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.4.1.A.12	Planned	Cambiar el sello de la tapa de la caja de filtros	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico

1.4.1.A.13	Inspection	Verificar el correcto funcionamiento del eyector de polvo (con el motor prendido desconectar la manguera del eyector y verificar que exista succión en esta línea)	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.4.1.A.2	Inspection	Verificar el estado y correcto enrutamiento de las mangueras del eyector de polvo	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.4.1.A.3	Planned	Lavar y verificar estado de los precleaner	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.4.1.A.5	Planned	Cambio programado de filtros secundarios	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.4.1.B.3	Inspection	Inspección visual por fuga de agua en el chismoso de la bomba auxiliar. En caso de encontrar fuga excesiva de agua, cambiar bomba auxiliar	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.4.2.A.1	Inspection	Verificar ajuste de los tornillos y abrazaderas del sistema de admisión y realizar prueba de hermeticidad mediante la prueba de ultrasonido	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico, Grupo de inspecciones y tecnologías
1.4.2.A.2	Inspection	Realizar prueba de hermeticidad al circuito de admisión mediante ultrasonido	2000H	Tipo D	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.4.2.A.3	Inspection	Realizar prueba de hermeticidad al circuito de admisión mediante ultrasonido	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.4.2.A.5	Inspection	Realizar prueba de hermeticidad al circuito de admisión mediante ultrasonido	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.4.2.A.6	Inspection	Realizar prueba de hermeticidad al circuito de admisión mediante ultrasonido	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.4.2.A.7	Inspection	Inspeccionar estado y correcto enrutamiento de las mangueras de entrada del post-enfriador	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.4.2.A.8	Inspection	Realizar prueba de hermeticidad al circuito de admisión mediante ultrasonido	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.4.2.A.9	Inspection	Inspeccionar estado y correcto enrutamiento de las mangueras de entrada del post-enfriador	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.4.3.A.1	Planned	Limpiar la caja ciclónica	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.4.3.A.2	Inspection	Inspeccionar el estado del codo de la línea de eyector de polvo en la caja de humo	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.4.3.A.4	Inspection	Verificar el correcto funcionamiento del eyector de polvo (con el motor prendido desconectar la manguera del eyector y verificar que exista succión en esta línea)	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.4.4.A.2	Inspection	Inspección visual de la caja de humo y de los pernos que la soportan. En caso de encontrar grietas o excesiva corrosión, programar cambio de la caja de humo	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.4.5.A.1	Inspection	Verificar fugas por el múltiple de escape y estado de la tortillería	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.4.5.A.10	Inspection	Verificar el ajuste de las abrazaderas de la caja de humo	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.4.5.A.2	Inspection	Inspeccionar presencia y ajuste de los tornillos de soporte del turbo	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.4.5.A.3	Inspection	Verificar y corregir fugas por los múltiples de escape, tuberías y codos	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.4.5.A.5	Inspection	Inspeccionar presencia y ajuste de los tornillos del múltiple de escape	4000H		Técnico Electromecánico
1.4.5.A.7	Inspection	Verificar la presencia de los tornillos de soporte del turbo	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico

1.4.5.A.9	Inspection	Inspeccionar presencia y ajuste de los tornillos del soporte entre la caja de humo y capot	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.5.1.A.2	Inspection	Verificar nivel de aceite en el tanque de compensación hacer completar si es necesario	12H	I.Operacional	Operador
1.5.1.A.2	Inspection	Verificar nivel de aceite en el tanque de compensación hacer completar si es necesario y hacer análisis de rellenos repetitivos de aceite	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico, Analista de Confiabilidad
1.5.2.A.1	Inspection	Inspeccionar por fugas en los componentes del sistema ORS	12H	I.Operacional	Operador
1.5.2.A.2	Inspection	Inspección visual del estado de las mangueras del sistema ORS	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.5.2.A.3	Inspection	Inspección del correcto enrutamiento y estado de los soportes de las mangueras del ORS	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.5.2.A.4	Inspection	Inspección por fugas alrededor de la válvula ORS	12H	I.Operacional	Operador
1.6.1.A.11	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar Na y/o H2O, inspección de presencia de aceite en la superficie de refrigerante y/o presurizar sistema para identificar foco de contaminación del aceite	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Técnico Electromecánico, Analista de Confiabilidad
1.6.1.A.14	Inspection	Análisis de aceite motor. En caso de encontrar PB y Fe por encima de especificaciones realizar seguimiento y/o programar cambio motor	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad
1.6.1.A.15	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar Na y/o H2O, inspección de presencia de aceite en la superficie de refrigerante y/o presurizar sistema para identificar foco de contaminación del aceite	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Técnico Electromecánico, Analista de Confiabilidad
1.6.1.A.16	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar Na y/o H2O, inspección de presencia de aceite en la superficie de refrigerante y/o presurizar sistema para identificar foco de contaminación del aceite	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Técnico Electromecánico, Analista de Confiabilidad
1.6.1.A.17	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar Na y/o H2O, inspección de presencia de aceite en la superficie de refrigerante y/o presurizar sistema para identificar foco de contaminación del aceite	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Técnico Electromecánico, Analista de Confiabilidad
1.6.1.A.18	Inspection	Análisis de aceite. En caso de encontrar Na y/o H2O, inspección de presencia de aceite en la superficie de refrigerante y/o presurizar sistema para identificar foco de contaminación del aceite	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Técnico Electromecánico, Analista de Confiabilidad
1.6.1.A.3	Inspection	Verificar el nivel de aceite del motor	12H	I.Operacional	Técnico Electromecánico
1.6.1.A.3	Inspection	Verificar el nivel de aceite del motor	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.6.1.A.4	Planned	Cambio programado del aceite de motor	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.6.1.A.4	Inspection	Tomar y analizar muestras de aceite de motor. En caso de mostrar evidencias de degradación, cambiar el aceite	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad
1.6.1.A.8	Inspection	Realizar análisis de aceite. En caso de encontrar presencia de contaminación con combustible, cambiar aceite y realizar inspección por fuga de inyectores y prueba de	250H	Inspección GI&T	Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad

		corte de inyección			
1.6.1.A.9	Inspection	Realizar análisis de aceite. En caso de encontrar alto contenido de Pb y Fe, realizar prueba de desempeño motor para descartar deterioro o desgaste del motor	250H	Inspección GI&T	Analista de Confiabilidad, Contratista A/A (Aire Caribe)
1.6.2.A.1	Inspection	Inspección visual en busca de fugas de aceite en los empaques y sellos de los turbos	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.A.1	Inspection	Inspección general por fugas de aceite motor	12H	I.Operacional	Operador
1.6.2.A.10	Inspection	Inspección visual por fuga de aceite alrededor del cuerpo de la bomba de aceite	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.A.11	Inspection	Inspección del ajuste de la abrazadera de la tubería bypass del enfriador y fugas a través de esta	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.A.12	Inspection	Inspección por visual por fuga alrededor de los sellos de los ejes de los piñones intermedios de los engranajes frontales	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.A.3	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor del empaque del carter	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.A.7	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor de los sellos de la caja de balancines	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.A.8	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor del empaque y sellos de culata	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.A.9	Inspection	Verificar el correcto enrutamiento de la tubería del sistema de lubricación	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.6.2.B.2	Planned	Limpiar la línea de desfogue	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.6.2.B.3	Planned	Limpiar el filtro del desfogue del carter	4000H	Tipo E	Técnico Electromecánico
1.6.3.A.1	Planned	Cambio programado de filtros de aceite de motor	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 16. Selección de tareas de mantenimiento componente transmisión

Id	Type	RcmScheduledTasks.Description	TaskInterval	TaskGroup	LaborDescriptions
1.9.1.A.1	Planned	Cambiar aceite de la transmisión	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.1	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor de los sellos de la mirilla	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.2	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor de los sellos del tapón de drenaje	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.3	Inspection	Inspección visual del estado de la manguera de la mirilla. En caso de evidenciar deterioro o cristalización, cambiar manguera	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.4	Inspection	Inspección por fugas alrededor de los sellos de las mangueras de la transmisión. En caso de evidenciar fugas, cambiar sellos	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.5	Inspection	Inspección visual por fuga en el cuerpo de la bomba de la transmisión. En caso de encontrar fugas, cambiar sellos	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico

1.9.2.A.6	Inspection	Inspección visual del estado de las mangueras de la transmisión. En caso de evidenciar deterioro o cristalización, cambiar línea	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.7	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor de los sellos de las tapas de mallas magnéticas	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.8	Inspection	Inspección por fugas alrededor de los sellos del filtro de la transmisión	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.2.A.9	Inspection	Inspección por fugas alrededor de la tapa de la transmisión	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.4.A.11	Inspection	Realizar análisis de aceite de la transmisión. En caso de encontrar alto Fe y Cr , cambiar aceite y hacer seguimiento al resultado del análisis de aceite	500H	Tipo B	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.9.4.A.2	Inspection	Inspección del nivel de aceite de la transmisión	12H	I.Operacional	Operador
1.9.4.A.2	Inspection	Inspección del nivel de aceite de la transmisión	500H	Tipo B	Técnico Electromecánico
1.9.4.A.5	Inspection	Inspección visual de las partículas almacenadas en los tapones y mallas magnéticas. En caso de evidenciar rotura de los engranajes, programar cambio de transmisión	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.9.4.A.5	Inspection	Realizar análisis de aceite. En caso de encontrar alto Fe, inspección del grado de contaminación en las mallas y cambiar el aceite de la transmisión	500H	Tipo B	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.9.5.A.1	Planned	Cambiar filtro de la transmisión	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.9.5.A.2	Inspection	Realizar seguimiento al contenido de metales presente en el análisis de aceite. En caso de encontrar metales por encima de especificación, verificar estado de la válvula de bypass	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.9.6.A.1	Inspection	Inspección visual del estado de la mirilla. En caso de encontrarla deteriorada, programar cambio	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 17. Selección de tareas de mantenimiento componente convertidor

Id	Type	RcmScheduledTasks.Description	TaskInterval	TaskGroup	LaborDescriptions
1.10.1.A.1	Inspection	Verificar el nivel de aceite de la transmisión	12H	I.Operacional	Operador
1.10.1.A.1	Inspection	Verificar el nivel de aceite de la transmisión	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.1.A.5	Planned	Cambiar crucetas del cardan convertidor	6000H	PM Anual	Técnico Electromecánico
1.10.1.A.7	Inspection	Verificar el torque y presencia de los tornillos de sujeción de las crucetas del convertidor (220 +/- 30 lb-ft)	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.10.1.B.1	Planned	Realizar prueba de calado para evaluar eficiencia del convertidor. En caso de encontrar deficiencia en el convertidor, programar cambio convertidor	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico

1.10.1.B.2	Planned	Realizar prueba de calado para evaluar eficiencia del convertidor. En caso de encontrar deficiencia en el convertidor, programar cambio convertidor	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.10.1.B.3	Planned	Calibrar el tiempo de llenado del convertidor	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.10.1.B.5	Planned	Cambiar aceite de la transmisión	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.10.2.A.1	Inspection	Verificar estado de los soportes y correcto enrutamiento de la línea de succión de la bomba de barrido del convertidor	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.2.A.2	Inspection	Inspección visual del estado de las mangueras en la succión del convertidor. En caso de evidenciar deterioro, humedad o cristalización cambiar mangueras	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.2.A.3	Inspection	Inspección por fuga en el cuerpo de la bomba de barrido. En caso de encontrar fugas, cambiar sellos de la bomba	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.2.A.4	Inspection	Verificar estado de los soportes y correcto enrutamiento de la línea del convertidor al enfriador	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.2.A.5	Inspection	Inspección visual del estado de las mangueras del convertidor al enfriador. En caso de evidenciar deterioro, humedad o cristalización cambiar mangueras	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.2.A.6	Inspection	Inspección visual por fugas alrededor de las válvulas de impeler y lock up. En caso de encontrar fugas, cambiar sellos	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.2.A.7	Inspection	Diagnosticar fugas alrededor del enfriador de la transmisión y convertidor. En caso de detectar fugas, cambiar sellos del enfriador	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.5.A.1	Planned	Cambiar filtro del convertidor	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico
1.10.5.A.2	Inspection	Realizar seguimiento al contenido de metales presente en el análisis de aceite. En caso de encontrar metales por encima de especificación, verificar estado de la válvula de bypass	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.10.6.A.1	Planned	Cambiar respiradero del convertidor	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 18. Selección de tareas de mantenimiento componente diferencial

Id	Type	RcmScheduledTasks.Description	TaskInterval	TaskGroup	LaborDescriptions
1.7.1.A.1	Planned	Cambiar aceite del diferencial	2000H	Tipo D	Técnico Electromecánico

1.7.1.A.1	Inspection	Tomar y analizar muestras de aceite al diferencial	1000H	Tipo C	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.7.1.A.2	Planned	Inspeccionar por fugas en los diferenciales	250H	Inspección GI&T	Técnico Electromecánico, Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad
1.7.1.A.2	Inspection	Inspeccionar por fugas en los diferenciales	12H	I.Operacional	Operador
1.7.2.A.1	Planned	Tomar y analizar muestras de aceite del diferencial	1000H	Tipo C	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.7.2.A.1	Inspection	Verificar nivel de aceite del sistema de freno	12H	I.Operacional	Operador
1.7.2.A.2	Inspection	Tomar y analizar muestra de aceite del diferencial	1000H	Tipo C	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.7.2.B.1	Planned	Verificar fugas externas por el diferencial	250H	Inspección GI&T	Técnico Electromecánico, Grupo de inspecciones y tecnologías, Analista de Confiabilidad
1.7.2.B.1	Inspection	Verificar fugas externas por el diferencial	12H	I.Operacional	Operador

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

Tabla 19. Selección de tareas de mantenimiento componentes mandos finales

Id	Type	RcmScheduledTasks.Description	TaskInterval	TaskGroup	LaborDescriptions
1.8.1.A.1	Planned	Remover tapon magnetico de llenado de Mandos finales e inspeccionar por limalla y particulas metalicas	1000H	Tipo C	Técnico Electromecánico
1.8.1.A.1	Inspection	Tomar y analizar muestras de aceite de los mandos finales	500H	Tipo B	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.8.1.A.2	Inspection	Tomar y analizar muestras de aceite de los mandos finales	500H	Tipo B	Grupo de inspecciones y tecnologías

1.8.2.A.1	Planned	Tomar y analizar muestras de aceite del mando final	500H	Tipo B	Grupo de inspecciones y tecnologías
1.8.2.A.1	Inspection	Verificar fugas externas en los mandos finales	250H	Inspección GI&T	Técnico Electromecánico
1.8.2.A.2	Inspection	Verificar si hay fugas por el mando final	250H	Inspección GI&T	Técnico Electromecánico
1.8.2.A.3	Planned	Verificar si hay fugas por los tapones de los mandos finales y/o si los tapones están flojos	250H	Inspección GI&T	Técnico Electromecánico
1.8.2.A.3	Inspection	Verificar si hay fugas por los tapones de los mandos finales	12H	I.Operacional	Operador

Fuente: Hoja de Análisis RCM Tractores de Llanta 854G.

5. CONCLUSIONES

- El diseño de este plan de mantenimiento aplicando la metodología RCM, se constituye en un gran aporte para el cumplimiento de la misión de la Universidad Industrial de Santander de contribuir al fortalecimiento de la interacción industria-universidad y aportar a la solución de problemas y necesidades de la industria.
- El presente modelo de mantenimiento basado en RCM, representa una herramienta que permite identificar las rutinas específicas de mantenimiento a aplicar a los equipos que componen la flota CAT 854G de la empresa Cerrejón LTD, con el objetivo de garantizar los porcentajes de disponibilidad y confiabilidad especificados por la compañía, al igual que la reducción de daños intempestivos y paradas no programadas de los equipos durante su jornada de producción.
- El proyecto presentó como reto asimilar las condiciones operativas de los equipos para poder analizar los modos de falla de cada uno de sus sistemas y establecer con exactitud las causas de falla. Para el caso de la flota de 854G las fallas más frecuentes se presentan en los componentes mayores de estos equipos, representando el 8.16% de disponibilidad en 2018. Estas fallas generan paradas indeseadas en el proceso, que se traducen en tiempos muertos de producción y lucro cesante para la producción.
- Es necesario empoderar e involucrar a todos los implicados en el proceso operativo y de mantenimiento de la flota (operadores, líderes de mantenimiento, personal de supervisión, técnicos de mantenimiento), con el fin de que estas partes interesadas tengan claridad en los objetivos y necesidades que requiere el plan de mantenimiento basado en RCM, aportando su compromiso para la consecución de las metas.

- La correcta elaboración e implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM, ayuda a garantizar la ejecución de las tareas mínimas necesarias de mantenimiento a los equipos que componen la flota. Lo cual se traduce en optimización de recursos de la flota, de la mano de obra, en la adquisición de partes de recambio y en los demás gastos relacionados con las tareas de mantenimiento.
- Aplicando las tareas de mantenimiento descritas en el plan de trabajo plasmado en la sección 4.4 de este documento, se han podido obtener los siguientes resultados en la flota durante lo recorrido del año 2019.

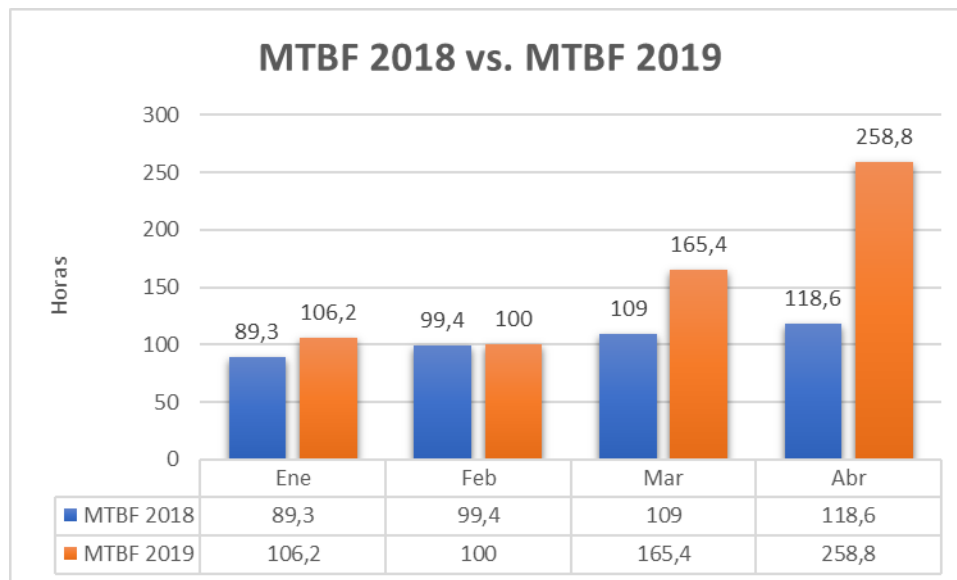
Tabla 20. Valores de MTBF flota 854G Enero - Abril 2019

Mes	MTBF 2019 (hrs)
Ene	106,2
Feb	100
Mar	165,4
Abr	258,8

Fuente: Cerrejon Bussines Operation (BO) Tableros de control. Flota Equipo Auxiliar de Llantas.

Comparando con los mismos meses del año anterior (2018) se obtuvieron los siguientes datos:

Figura 17. Comparación de MTBF 2018 vs. MTBF 2018



Fuente: Cerrejon Bussines Operation (BO) Tableros de control. Flota Equipo Auxiliar de Llantas.

Como se observa en la figura, en el año 2019 ha tenido tendencia ascendente las horas de tiempo medio entre fallas, lo que asegura que las acciones de mantenimiento implementadas resultantes del RCM en este documento han tenido influencia positiva en el indicador, haciendo que los equipos trabajen más horas antes de presentar un evento de mantenimiento correctivo.

BIBLIOGRAFÍA

ARZUAGA CHURIO, José Elías. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa minera Drummond LTD. Monografía. Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 119p.

CATERPILLAR INC. Manual de operación y mantenimiento para cargadores de ruedas 854G SEBU7979. Miami: 2012.

CATERPILLAR INC. Catalogo Tractor Topador de Ruedas 854G. 2004.

DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. La Productividad en el mantenimiento Industrial. Compañía Editorial Continental. México: 2003

DUFFUAA RAOUF, Dixon. Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. Editorial Limusa S.A. de C.V. México: 2006

FERRANS TEPEDINO, Orlando Enrique y SALAS FERNANDEZ, Carlos Miguel. Metodología para la implementación de RCM como filosofía de mantenimiento para la estación turbocompresora de gas natural Palomino. Monografía. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 230p.

<http://safety.cat.com>

<https://www.cerrejon.com/index.php/2019/02/07/cerrejon-cerro-2018-con-305-millones-de-toneladas-de-carbon-exportadas/>

https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines-lesser-regulated-non-regulated/18397966.html

<https://sisweb.cat.com>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. NTC 1486: 2008, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Santa Fe de Bogotá.: ICONTEC, 2008. 36p. NTC 1486

JIMENEZ, Felix; QUINTERO, Andres. Establecimiento de vida optima de los componentes de la flota 777F de la mina Calenturitas usando Weibull. Monografía. Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 115p.

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

PEREZ JARAMILLO, Carlos Mario. Gestión de Mantenimiento. Medellín, Soporte y Cía. Ltda. 2002.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999. 30p.