

Plan de mantenimiento preventivo, para el equipo de movimiento de tubería CAT 938G de la empresa Tenaris del centro de servicio Yard Villavicencio, utilizando la metodología RCM

German Andrés Gutierrez Torres

Monografía de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Jabid Eduardo Quiroga Méndez

Doctorado en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

### **Dedicatoria**

Este capítulo de mi vida va dedicado primero a Dios. Padre amado gracias por la vida, por tu misericordia. Indudablemente mi hermosa familia mi esposa Karina, mi hija Emma Lucia y mis amados e incondicionales papás German Ignacio y Luisa Emma, ellos son mi inspiración.

### **Agradecimientos**

A Dios gracias, Padre gracias por permitirme culminar con éxito esta meta.

Al Ingeniero Jabid Quiroga quien me dió su voto de confianza, su orientación permitió culminar con éxito este trabajo. ¡Muchas gracias Profe!

Al Ingeniero Omar Andres Ardila que con su conocimiento, tiempo, apoyo y consejos me permitieron terminar este ciclo. Muchas Gracias Compañero.

A Dios, mi esposa Karina, mi Hija Emma Lucia, mis papás German Ignacio y Luisa Emma, mis hermanos Diego y Caro, mi sobrino Samuel. Gracitud siempre.

## Tabla de Contenido

<b>Introducción</b>	<b>12</b>
<b>1. Marco teórico</b>	<b>16</b>
1.1. Estado del arte . . . . .	16
1.2. Fundamentos del RCM . . . . .	19
1.2.1. Evolución de mantenimiento . . . . .	19
1.3. Diagrama de decisión del RCM . . . . .	21
<b>2. Cargador frontal CAT 938G</b>	<b>23</b>
2.1. Generalidades . . . . .	23
2.2. Dimensiones . . . . .	23
2.3. Motor . . . . .	23
2.4. Tren de potencia . . . . .	25
2.5. Transmisión . . . . .	26
2.6. Sistema hidráulico . . . . .	26
<b>3. Plan de mantenimiento RCM propuesto</b>	<b>28</b>
3.1. Contexto operacional del cargador CAT 938G . . . . .	28
3.1.1. Empresa Tenaris . . . . .	28
3.1.2. Descripción del Departamento de Mantenimiento . . . . .	30
3.1.3. Ubicación geográfica y entorno operativo . . . . .	30

3.2. Funciones del sistema . . . . .	32
3.3. Modos y efectos de falla . . . . .	38
3.4. Diagrama de decisión . . . . .	46
3.5. Plan de mantenimiento para el cargador CAT 938G . . . . .	48
3.6. Hoja de vida del cargador CAT 938G . . . . .	57
3.7. Inventario de repuestos . . . . .	61
<b>4. Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros</b>	<b>63</b>
4.1. Conclusiones . . . . .	65
4.2. Recomendaciones . . . . .	66
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>67</b>
<b>Apéndices</b>	<b>70</b>

### Lista de Figuras

Figura 1.	Diagrama de decisión simplificado del RCM . . . . .	22
Figura 2.	Dimensiones del cargador CAT 938G . . . . .	23
Figura 3.	Diferentes vistas del motor CAT 3116 . . . . .	24
Figura 4.	Tren de potencia del cargador CAT 938G . . . . .	25
Figura 5.	Estructura organizacional de Tenaris . . . . .	29
Figura 6.	Cargador frontal Caterpillar 938G en patio . . . . .	30
Figura 7.	Vista satelital de Tenaris . . . . .	31
Figura 8.	Cargador CAT 938G sujetando tubería mediante el Pole - Fork . . . . .	32
Figura 9.	Cargador CAT 938G cargando las unidades de tubería . . . . .	33
Figura 10.	Tractocamión listo para despacho . . . . .	33
Figura 11.	Taxonomía del cargador CAT 938G . . . . .	34
Figura 12.	Formato de lista de chequeo . . . . .	58
Figura 13.	Formato de la Ficha Técnica del cargador CAT 938G . . . . .	59
Figura 14.	Formato de orden de trabajo . . . . .	60

**Lista de Tablas**

Tabla 1.	Características técnicas del motor 3116 del cargador CAT 938G . . . . .	24
Tabla 2.	Velocidad máxima con neumáticos estándar . . . . .	26
Tabla 3.	Características del sistema hidráulico . . . . .	27
Tabla 4.	Funciones de los subsistemas presentes en el cargador CAT 938G . . . . .	35
Tabla 5.	Fallas asociadas a las funciones del sistema . . . . .	36
Tabla 6.	Modos de falla del sistema motriz . . . . .	39
Tabla 7.	Modos de falla del sistema hidráulico . . . . .	40
Tabla 8.	Modos de falla del sistema de cabina . . . . .	40
Tabla 9.	Modos de falla del sistema de dirección . . . . .	41
Tabla 10.	Modos de falla del sistema de diferencial . . . . .	41
Tabla 11.	Modos de falla del sistema estructural . . . . .	42
Tabla 12.	Modos de falla del sistema eléctrico . . . . .	43
Tabla 13.	Modos de falla del sistema de frenos . . . . .	44
Tabla 14.	Modos de falla del sistema de transmisión . . . . .	45
Tabla 15.	Modos de falla del sistema de refrigeración . . . . .	46
Tabla 16.	Ruta de decisión RCM para un modo de falla específico . . . . .	49
Tabla 17.	Plan de mantenimiento preventivo . . . . .	51
Tabla 18.	Inventario de repuestos según RCM . . . . .	61
Tabla 19.	Tareas periódicas del sistema motriz . . . . .	70

Tabla 20.	Tareas periódicas del sistema hidráulico . . . . .	71
Tabla 21.	Tareas periódicas del sistema de cabina . . . . .	71
Tabla 22.	Tareas periódicas del sistema de dirección . . . . .	72
Tabla 23.	Tareas periódicas del sistema del diferencial . . . . .	72
Tabla 24.	Tareas periódicas del sistema estructural . . . . .	73
Tabla 25.	Tareas periódicas del sistema eléctrico . . . . .	73
Tabla 26.	Tareas periódicas del sistema de frenos . . . . .	74
Tabla 27.	Tareas periódicas del sistema de transmisión . . . . .	75
Tabla 28.	Tareas periódicas del sistema de refrigeración . . . . .	76

**Lista de Apéndices**

	<b>pág.</b>
Apéndice A. Lista de tareas periódicas . . . . .	70

## Resumen

**TÍTULO:** PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PARA EL EQUIPO DE MOVIMIENTO DE TUBERÍA CAT 938G DE LA EMPRESA TENARIS DEL CENTRO DE SERVICIO YARD VILLAVICENCIO, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA RCM \*

**AUTOR:** GUTIÉRREZ TORRES, German Andrés \*\*

**Palabras Clave:** Mantenimiento basado en condición, mantenimiento preventivo, mantenimiento programado, cargador frontal, indicador de gestión de mantenimiento, Norma SAE JA1011.

**Descripción:** En la presente monografía se propuso y desarrolló el plan de mantenimiento preventivo para el equipo de movimiento de tubería cargador frontal CAT 938G de la empresa Tenaris del centro de servicio Yard Villavicencio, utilizando la metodología RCM (Reliability-Centered Maintenance) o mantenimiento centrado en la confiabilidad. Fueron seguidos los lineamientos establecidos en la Norma SAE JA1011 (Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad). Inicialmente, fueron caracterizados los principales modos, efectos y consecuencias de falla que afectan la confiabilidad del equipo CAT 938GF. Seguidamente, fueron seleccionadas las estrategias de mantenimiento destinadas a mitigar los efectos de falla. Finalmente, fueron establecidas las tareas e intervalos de tareas necesarios para prevenir cada tipo de falla, obteniendo como resultado la transición de una filosofía de mantenimiento correctivo a una de mantenimiento preventivo. Los resultados obtenidos mostraron que la metodología RCM pudo ser aplicada exitosamente al equipo CAT mediante el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo que permita mitigar fallas, disminuir costos de mantenimiento y minimizar el impacto que tienen los paros no programados en los procesos internos de la compañía.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: QUIROGA MÉNDEZ, Jabid Eduardo, Doctorado en Ingeniería Civil.

### Abstract

**TITLE:** PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE CAT 938G PIPE MOVEMENT EQUIPMENT OF THE TENARIS COMPANY OF THE YARD VILLAVICENCIO SERVICE CENTER, USING THE RCM METHODOLOGY \*

**AUTHOR:** GUTIÉRREZ TORRES, German Andrés \*\*

**Keywords:** Condition-based maintenance, preventive maintenance, scheduled maintenance, wheel loader, indicators of equipment maintenance, Standard SAE JA1011.

**Description:** In this monograph, a preventive maintenance plan was proposed and developed for the CATERPILLAR 938G Wheel Loader for pipe movement equipment of the Tenaris company at the Yard Villavicencio service center, using the RCM (Reliability-Centered Maintenance). The guidelines established in the SAE JA1011 Standard (Evaluation criteria for reliability-centered maintenance processes) were followed. Initially, the main failure modes, effects, and consequences that affect the reliability of the CAT 938G equipment were characterized. Next, the maintenance strategies aimed at mitigating the effects of failure were selected. Finally, the tasks and task intervals necessary to prevent each type of failure were established, resulting in the transition from a corrective maintenance philosophy to a preventive maintenance philosophy. The results obtained showed that the RCM methodology could be successfully applied to the CAT equipment through the design and implementation of a preventive maintenance plan that allows mitigating failures, reducing maintenance costs, and minimizing the impact that unscheduled stoppages have on internal maintenance processes in the company.

---

\* Monograph

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: QUIROGA MÉNDEZ, Jabid Eduardo, Doctorado en Ingeniería Civil.

## **Introducción**

### **Formulación del problema**

Tenaris es una empresa dedicada a la fabricación de tubos para diversas aplicaciones de energía, esta tiene presencia en Colombia dividida de la siguiente forma, en Cartagena se ubica la planta TuboCaribe, las oficinas comerciales se encuentran en la capital del país y en Barrancabermeja y Villavicencio se encuentra los centros de servicio y almacenamiento. Los centros de servicio (Yard) son un músculo importante y estratégico en las operaciones de Tenaris en Colombia, ya que desde allí se desarrollan las principales actividades para la venta de servicios y producto terminado ofrecido a los clientes ubicados en las diferentes zonas Bajo el esquema Rig Direct de la compañía.

Los servicios desarrollados como parte de la logística de suministro del centro de servicio Yards Villavicencio son los indicados a continuación:

- DemandSync: Es donde el centro logístico despacha a cliente únicamente la cantidad de material que va a usar el pozo.
- El servicio de Run Ready es donde el material procedente de planta pasa por una línea de acondicionamiento de conexiones e inspección y se despacha a pozo (cliente) lista para ser usada.

Para lograr que la cadena de suministro del centro de servicios Villavicencio es necesario contar con la continua disponibilidad del equipo de movimiento de tubería CAT 938G, ya que una parada no prevista puede ocasionar retrasos y generar paradas en la operación del centro de

servicio y a su vez incumplimientos a los clientes. A pesar de la criticidad de este equipo dentro de la operación este no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo que aumente la confiabilidad y disponibilidad del mismo, por esta razón se plantea la pregunta de investigación. ¿Qué alternativa existe para lograr que el equipo de movimiento de carga CAT 938G se encuentre disponible siempre y no se afecte la logística del centro de servicios de Tenaris en Villavicencio?

### **Objetivo General**

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo, para el equipo de movimiento de tubería CAT 938G de la empresa Tenaris del centro de servicio Yard Villavicencio, utilizando la metodología RCM.

### **Objetivos específicos**

- Realizar el análisis de modo y efecto de falla (AMEF), con el propósito de determinar la funciones, fallas funcionales y efecto de la falla en el sistema hidráulico y eléctrico de la máquina CAT 938G, utilizando la metodología RCM.
- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis de modo y efecto de falla (AMEF), con el propósito de estandarizar las actividades para los sistemas mecánico y eléctrico de la máquina CAT 938G identificando las tareas a realizar.
- Realizar un listado de repuestos críticos, con el propósito de identificar los insumos y costos del mantenimiento preventivo, según se establezca en el AMEF y utilizando un árbol lógico de fallas.

## **Justificación**

En la mayor parte de las organizaciones involucradas en procesos industriales es fundamental disponer de los equipos denominados críticos en condiciones funcionales y, si es posible, en condiciones óptimas. En el caso del equipo CAT 938G, contar con su disponibilidad es vital ya que éste se encarga adicionalmente de realizar descargue de material procedente de planta TuboCaribe en Cartagena y desde puerto en Cartagena, a donde llega un volumen aproximado del 30 % de producto que va a ser consumido. Por tanto, es fundamental que el equipo encargado de movimiento de tubería se encuentre en condiciones de operativas óptimas ya que una parada no prevista genera:

- Paradas el proceso de desarrollo de servicio de Run Ready, por lo cual se pueden generar retrasos en la entrega de material a Pozo y por ende una parada del taladro.
- Retrasos en la recepción de material proveniente de planta y de puerto, ocasionado costos de Stand By de vehículos.
- Incumplimiento a clientes en el servicio de entregas Just in time bajo esquema Rig direct. Tres clientes principales Ecopetrol, Geopark y Hocol con los cuales se tienen contratos de suministro de tubería bajo el esquema Rig Direct (Just in Time, Run Ready).
- Reclamos (claim críticos) por entregas tardías, pudiendo ocasionar paradas de equipo perforación/producción.
- Sobrecostos asociados a stand by generados por vehículos (20 % adicional del valor del flete por 24h) y retraso de operaciones.

Dicho esto, la presente monografía busca proponer y desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para el equipo CAT 938G basado en la metodología RCM, que permita mitigar el número de fallas y paros no previstos. Asimismo, la monografía busca generar información útil a la comunidad académica, que permita ampliar el conocimiento sobre el tema tratado, así como promover análisis conjuntos y comparaciones entre periodos temporales concretos. Finalmente, el desarrollo de la presente monografía, puede representar un aporte a la mejora en los procesos internos de la empresa Tenaris del centro de servicio Yard Villavicencio, al aplicar la metodología RCM a uno de sus equipos críticos, y por tanto aumentar su confiabilidad operativa.

### **Alcances y limitaciones**

La presente monografía tiene un alcance exploratorio. Se propondrá y desarrollará un plan de mantenimiento preventivo para el equipo CAT 938G, basado en la metodología RCM. Se analizará la información obtenida a partir de los manuales de mantenimiento del fabricante y del diagnóstico y situación actual del equipo. El plan de mantenimiento preventivo propuesto será desarrollado para las condiciones actuales del equipo en el marco geográfico correspondiente a la empresa Tenaris, sin embargo, podrá ser replicado para cualquier cargador frontal usado para movimiento de tubería, haciendo las consideraciones y ajustes pertinentes. No se espera que el tiempo de ejecución del proyecto y el presupuesto para el desarrollo del mismo sean limitantes.

## 1. Marco teórico

### 1.1. Estado del arte

Diversos trabajos previos han estudiado la posibilidad de aplicar la metodología del *mantenimiento centrado en la confiabilidad* en equipos de maquinaria pesada. En la literatura científica son reportados trabajos de investigación a nivel nacional e internacional, que abordan la temática del RCM.

Majumdar (1995) estudió los patrones de falla de una excavadora hidráulica usando la técnica FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). El enfoque metodológico usado en esta investigación fue cuantitativo de tipo exploratorio. Inicialmente, se comprobó que la confiabilidad del equipo era muy pobre durante la fase inicial de operación. Con ayuda de la técnica FMEA, fueron identificados los patrones de falla propensos de alto riesgo del sistema de excavadora y se iniciaron las medidas correctivas apropiadas. Los resultados mostraron que, luego de aplicar el método RCM, la confiabilidad del sistema mejoró considerablemente.

Samanta et al. (2001) analizó la confiabilidad y mantenibilidad de los HEMM o equipos de maquinaria pesada para el movimiento de tierras (Heavy Earth-Moving Machinery) en minas de carbón a cielo abierto. Fue evidenciado que las fallas no previstas del los HEMM tienen un fuerte impacto en los costos operativos y de producción. Los resultados confirmaron que la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad ofreció la mejor estrategia para optimizar el mantenimiento preventivo.

Por otro lado, Deshpande y Modak (2002) investigó la posibilidad de aplicar la metodología RCM a equipos industriales de mediana escala. El enfoque metodológico usado en esta investigación fue de tipo exploratorio. Fueron analizados las fallas, sus causas y efectos. Fue confirmado, al igual que en el estudio de Samanta et al. (2001), que la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad ofreció la mejor estrategia disponible para la optimización del mantenimiento preventivo, mediante planes clasificados por tiempo y condición. Asimismo, fueron establecidas de forma generalizada las características del mantenimiento predictivo de la industria siderúrgica a mediana escala.

Siguiendo la temática de los HEMM, Morad et al. (2014) estudió la posibilidad de optimizar el mantenimiento de la maquinaria pesada en minas de cobre a cielo abierto, usando modelos matemáticos y estadísticos. El enfoque metodológico usado en esta investigación fue cuantitativo de tipo exploratorio. Fueron identificados los elementos con un impacto crítico en la disponibilidad y confiabilidad de los diferentes equipos HEMM. Los resultados confirmaron, nuevamente, que las técnicas RCM son fáciles de entender y aplicar por profesionales de mantenimiento, mejorando considerablemente la confiabilidad de los equipos.

Bach y Bach (2017) propuso un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para la flota de excavadoras hidráulicas 336DL de una empresa minera. De acuerdo con los resultados obtenidos, fue posible incrementar en un 70% el tiempo promedio operativo hasta el fallo. Asimismo, se logró disminuir la frecuencia de fallas en un 40%, y el tiempo promedio fuera de servicio en un 22%. Una evaluación financiera confirmó que fue viable la aplicación de los principios del RCM, logrando reducir los costos de mantenimiento en un 18%.

Siguiendo la línea de excavadoras hidráulicas, Sidiq y Suparno (2019) propuso mejorar los índices de disponibilidad y confiabilidad de las excavadoras Doosan S500-LCV en una empresa de construcción, mediante la implementación de la metodología RCM. En un análisis preliminar, se encontró que el tiempo de inactividad debido a fallos no previstos era alto. El autor rediseñó los procedimientos de mantenimiento y encontró que los componentes críticos fueron el cucharón, la válvula de control, el radiador, el alternador y el martillo hidráulico. Como resultado principal se obtuvo la hoja de trabajo de decisiones basadas en RCM.

A nivel nacional se han reportado trabajos de investigación cuyo propósito es el diseño de planes de mantenimiento preventivo usando RCM. Oviedo y Sepúlveda (2017) propusieron un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la flota de camiones de una compañía minera. Los resultados mostraron que al aplicar los fundamentos del RCM en el diseño del plan de mantenimiento, los costos asociados a paros no previstos fueron disminuidos.

Sarmiento (2018) propuso el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para un cargador frontal en una compañía de concretos, basado en las condiciones actuales del equipo. Inicialmente, fueron caracterizadas las principales fallas que afectaban la confiabilidad del equipo, mediante la metodología de análisis de modo y efectos de falla. Seguidamente, fueron aplicadas técnicas de mantenimiento predictivo junto con el análisis de indicadores de mantenimiento y operación del equipo. Finalmente, fueron propuestas las actividades concernientes al plan de mantenimiento preventivo. Los resultados mostraron que dicho plan fue efectivo para reducir el porcentaje de fallas y los costos asociados al mantenimiento.

Finalmente, Herrera (2021) propuso un plan de mantenimiento preventivo basado en los lineamientos del RCM para un cargador de bajo perfil perteneciente a una compañía minera. Los resultados mostraron que, luego de implementar el plan de mantenimiento preventivo propuesto, fue posible alcanzar un porcentaje de disponibilidad del 85 %, mejorando notablemente el indicador anterior, el cual era del 45 %.

De acuerdo al análisis realizado en el Estado del arte, se concluye que la metodología del *mantenimiento centrado en la confiabilidad* puede ser aplicada exitosamente en el diseño de planes de mantenimiento preventivo para diferentes equipos de maquinaria pesada, especialmente, excavadoras, camiones y cargadores frontales. Asimismo, se observó una notable mejora en los indicadores de disponibilidad y costos asociados al mantenimiento, luego de implementar los lineamientos establecidos en el RCM.

## **1.2. Fundamentos del RCM**

En términos generales, el mantenimiento centrado en la confiabilidad puede definirse como el proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben implementarse para gestionar los modos de falla que podrían causar la falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operativo dado. Los conceptos definidos en el presente capítulo fueron tomados de la Norma (?).

**1.2.1. Evolución de mantenimiento.** Moubray (2001) sostiene que la *primera generación* de mantenimiento abarca el periodo hasta la Segunda Guerra Mundial, época en la cual la industria no era altamente mecanizada, razón por la cual los tiempos de inactividad

debido a fallas no tenían demasiada importancia. Esto significaba que la prevención de fallas en equipos no eran relevantes desde el punto de vista de la gerencia. Como consecuencia, no había necesidad de lo que se conoce como un plan de mantenimiento sistemático, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina.

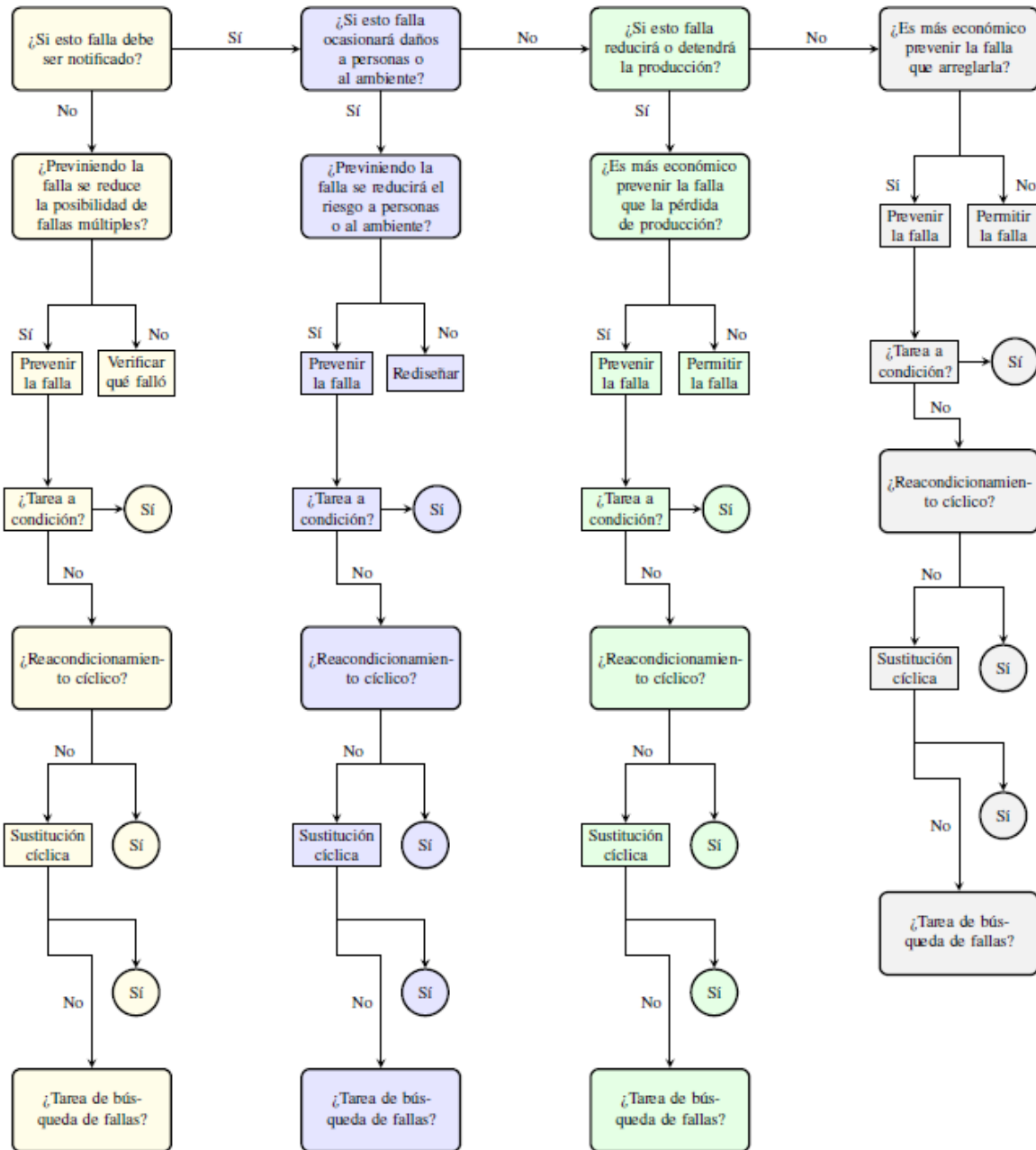
La situación descrita en la *primera generación* cambió drásticamente con la llegada de la guerra. Durante el conflicto bélico, la demanda de todo tipo de provisiones aumentó, mientras que la mano de obra disminuyó. Esto llevó a una mayor mecanización, y para 1950, el número de sistemas mecánicos de todo tipo habían aumentado considerablemente, y la industria comenzaba a mostrar una dependencia hacia las máquinas. A este periodo se le conoce como *segunda generación* (Moubray, 2001). A medida que dicha dependencia creció, surgió el concepto de *mantenimiento preventivo*, ya que resultó evidente que las fallas podían y debían ser prevenidas. Esto provocó que los costos de mantenimiento aumentaran considerablemente debido a que el reacondicionamiento de los equipos comenzó a llevarse a cabo en intervalos preestablecidos (y no cuando el equipo fallaba, como era el caso de la primera generación). Durante esta etapa, también surgió el concepto de planificación de mantenimiento y programas de control, lo cual representó una enorme contribución para comenzar a controlar las rutinas de mantenimiento. Como era de esperarse, la situación cambió nuevamente, y a mediados de la década de 1970 surgió lo que se conoce como la *tercera generación*. Durante este periodo, hubo un cambio en el paradigma propuesto en la segunda generación (en la cual las premisas eran mayor disponibilidad de plantas, vidas de equipos más extensa y costos más bajos), y en la filosofía del mantenimiento fueron incluidos factores tales como mayor seguridad, mejor calidad del producto, consecuencias medioambientales, y mejor relación costo-efectividad

(Moubray, 2001).

### **1.3. Diagrama de decisión del RCM**

Para determinar las tareas a realizar, debe seguirse el diagrama de decisión, también conocido como hoja de decisión. Aquí se formulan varias preguntas que deben responderse en un orden específico, de esta forma se encontraran las medidas a tomar para prevenir las fallas (Oviedo y Sepúlveda, 2017). En la Figura 1 es mostrado el diagrama de decisión del RCM.

Figura 1  
Diagrama de decisión simplificado del RCM



Fuente: El autor, basado en los trabajos de Moubray (2001) y Oviedo y Sepúlveda (2017).

## 2. Cargador frontal CAT 938G

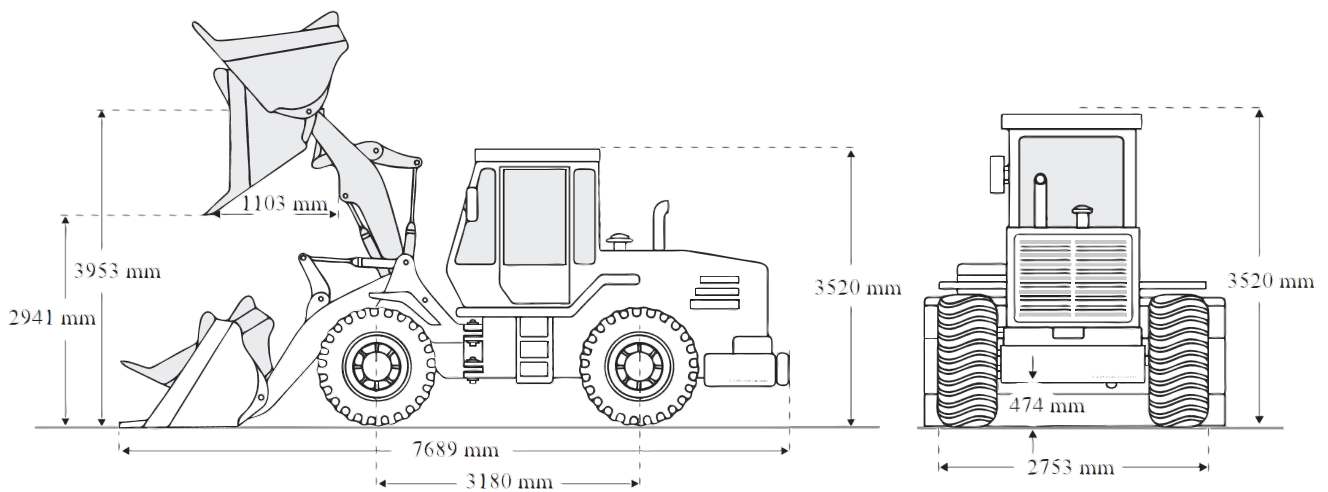
### 2.1. Generalidades

El equipo CAT 938G, es un cargador frontal diseñado y manufacturado por Caterpillar Inc, el fabricante más grande del mundo de maquinaria para la construcción y equipos de minería, motores diésel y turbinas industriales de gas. Posee un motor CAT3116, el cual es fabricado para alto desempeño, durabilidad y bajas emisiones.

### 2.2. Dimensiones

En la Figura 2, son mostradas las principales dimensiones del cargador CAT 938G.

Figura 2  
Dimensiones del cargador CAT 938G



*Nota:* el modelo 938G es considerado de capacidad media. Fuente: Caterpillar (2022).

### 2.3. Motor

El cargador CAT 938G está equipado con un motor diésel turbocargado 3116 de seis cilindros y ciclos de cuatro tiempos. El diseño del ciclo de cuatro tiempos ofrece carreras de potencia largas y una combustión eficiente. En la Figura 3, se muestran 3 vistas del motor 3116. En la

Tabla 1, se muestran las principales características técnicas del motor 3116.

Figura 3  
Diferentes vistas del motor CAT 3116



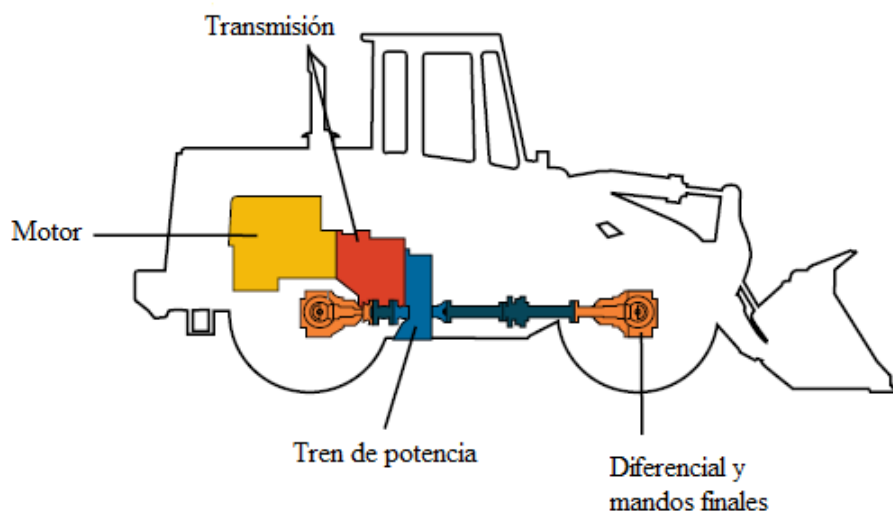
Tabla 1  
Características técnicas del motor 3116 del cargador CAT 938G

A 2200 RPM	kW	HP	PS	Condiciones de potencia nominal	
Potencia bruta	134	180	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Basados en condiciones de aire estándar 25° C y 100 kPa</li> <li>▪ Usado 35° API, 16° C (60° F), gravedad combustible.</li> <li>▪ Combustible tenía LHV de 42780 kJ/kg a 30° C (86° F)</li> <li>▪ Densidad de combustible de 838,9 g/L (7.001 lb/gal)</li> <li>▪ Las clasificaciones de potencia del volante son para motor equipado con ventilador, alternador, aire limpiador, bomba de agua, de combustible, y de aceite lubricante</li> <li>▪ No se requiere reducción de potencia hasta 2300m altitud</li> </ul>	
Potencia del volante	127	170	–		
DIN 70020	–	–	176		
ISO 1585	127	170	–		
ISO 3046-1	127	170	–		
EEC 80/1269	127	170	–		
ISO 9249	127	170	–		
<b>Dimensiones</b>				<b>Características</b>	
Diámetro del cilindro	105 mm	4.13 in		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de inyección directa de combustible con unidad individual sin ajuste inyectores para cilindros</li> <li>▪ 3 anillos de aleación de aluminio/acero forjado, pistones articulados de 2 piezas, camping, cónica y enfriada por aerosol de aceite</li> <li>▪ Enfriador de aceite estándar</li> <li>▪ Bielas cónicas</li> <li>▪ Diseño de culata de un flujo con dos válvulas de aleación de acero por cilindro</li> <li>▪ Bloque de cilindros fundido con faldón profundo</li> </ul>	
Carrera	127 mm	5.0 in			
Desplazamiento	6.6 litros	403 in <sup>3</sup>			
<b>Emisiones de escape</b>			<b>g/kWh</b>		<b>g/hp-hr</b>
Hidrocarburos	0.43	0.32			
Monóxido de carbono	1.81	1.35			
Óxidos nitrosos	8.16	6.09			

## 2.4. Tren de potencia

El tren de fuerza Cat hace que el rendimiento confiable sea una característica estándar. Los ejes y frenos de servicio pesado están diseñados para durar en todo tipo de condiciones de operación. Los mandos finales planetarios utilizan cojinetes de manguito de bronce completamente flotantes en los engranajes planetarios y el piñón del diferencial. Los frenos de disco en aceite no requieren ajuste y están completamente cerrados para bloquear los contaminantes. Los sellos Duo-Cone patentados entre los semiejes y las carcasas mantienen la lubricación y la suciedad fuera. El eje trasero oscilante asegura el contacto de las cuatro ruedas con el suelo para brindar tracción y estabilidad, incluso en terrenos accidentados. En la Figura 4, se muestra el esquema del tren de potencia.

Figura 4  
*Tren de potencia del cargador CAT 938G*



## 2.5. Transmisión

El equipo cargador CAT 938G posee un sistema de servotransmisión planetaria con cuatro velocidades de avance y retroceso. Tiene una palanca única para controlar la velocidad y dirección, un control separado para bloquear en punto muerto, capacidad de cambio automático, y un interruptor de reducción de marcha rápida (Caterpillar, 2022). En la Tabla 2 se muestran las velocidades máximas de marcha con neumáticos estándar.

Tabla 2  
*Velocidad máxima con neumáticos estándar*

Tipo	Marcha	Velocidad [km/h]	Velocidad [MPH]
Marcha	1	7.40	4.60
	2	13.30	8.30
	3	23.10	14.40
	4	38.70	24.00
Reversa	1	8.20	5.10
	2	14.7	9.10
	3	25.50	15.80
	4	42.70	26.50

*Nota:* Tomado de Caterpillar (2022).

## 2.6. Sistema hidráulico

El cargador CAT 938G posee un sistema de serie interrumpida de centro abierto con filtrado de flujo total. El sistema está completamente sellado y posee controles operados por pilotos. Entre sus características más importantes destacan un sistema completamente cerrado, controles operados por pilotos de bajo esfuerzo, filtro de flujo completo, y acoplamientos reutilizables con O-Ring. En la Tabla 3, se muestran las características del sistema hidráulico del cargador CAT 938G. El sistema hidráulico rápido facilita el levantamiento de cargas pesadas de cucharones o pole-forks. El implemento vuelve automáticamente a una altura de elevación y un ángulo de ex-

Tabla 3

*Características del sistema hidráulico*

Bomba de paletas	Sistema Internacional (SI)	Sistema Americano (US)
Salida a 2280 RPM y 6890 kPa (1000 psi)	–	–
Con aceite SAE 10W a 66° C (150° F)	237 litros/min	63 gpm
Ajustes de la válvula de alivio	20700 kPa	3000 psi
Cilindros de doble efecto: elevación, diámetro y carrera	152.4×751mm	6.00×29.7in
Cilindros de doble efecto: inclinación, diámetro y carrera	177.8×536mm	7.00×21.1in
Sistema piloto	Sistema Internacional (SI)	Sistema Americano (US)
Salida a 2280 RPM y 6890 kPa (1000 psi)	–	–
Con aceite SAE 10W a 66° C (150° F)	19.2 litros/min	5 gpm
Ajustes de la válvula de alivio	2410 kPa	350 psi

cavación predeterminados, lo que garantiza la precisión y reduce las distracciones del operador.

El sistema de dirección hidráulica con bomba dedicada tiene una sensación de tipo automotriz para un control preciso y cómodo. Los cilindros de dirección de gran calibre permiten una excelente maniobrabilidad. Este sistema Caterpillar utiliza un acumulador de nitrógeno/aceite en el circuito de elevación hidráulica que actúa como amortiguador. Los beneficios del sistema de control automático de conducción incluyen una conducción más controlada, menos tensión dinámica en las estructuras y los componentes, menor flexión de los neumáticos y mayor retención de la carga útil. En conjunto, estos beneficios contribuyen a mejorar la eficiencia del operador, reducir los costos operativos y mejorar la productividad.

### 3. Plan de mantenimiento RCM propuesto

En este capítulo se muestra el proceso por el cual fue diseñado el plan de mantenimiento preventivo para el equipo de movimiento de tubería CAT 938G de la empresa Tenaris del centro de servicio Yard Villavicencio, utilizando la metodología RCM. Inicialmente, se describe el contexto operacional del equipo. Seguidamente, se hace un estudio de la taxonomía del cargador CAT 938G, mediante la clasificación de sus sistemas y componentes. Después de esto, se procede a hacer el análisis de modos y efectos de falla. Finalmente, se elaboran las listas de tareas, y se determinan las rutinas de mantenimiento, teniendo en cuenta la estructura del PM junto con los tiempos de duración del plan propuesto.

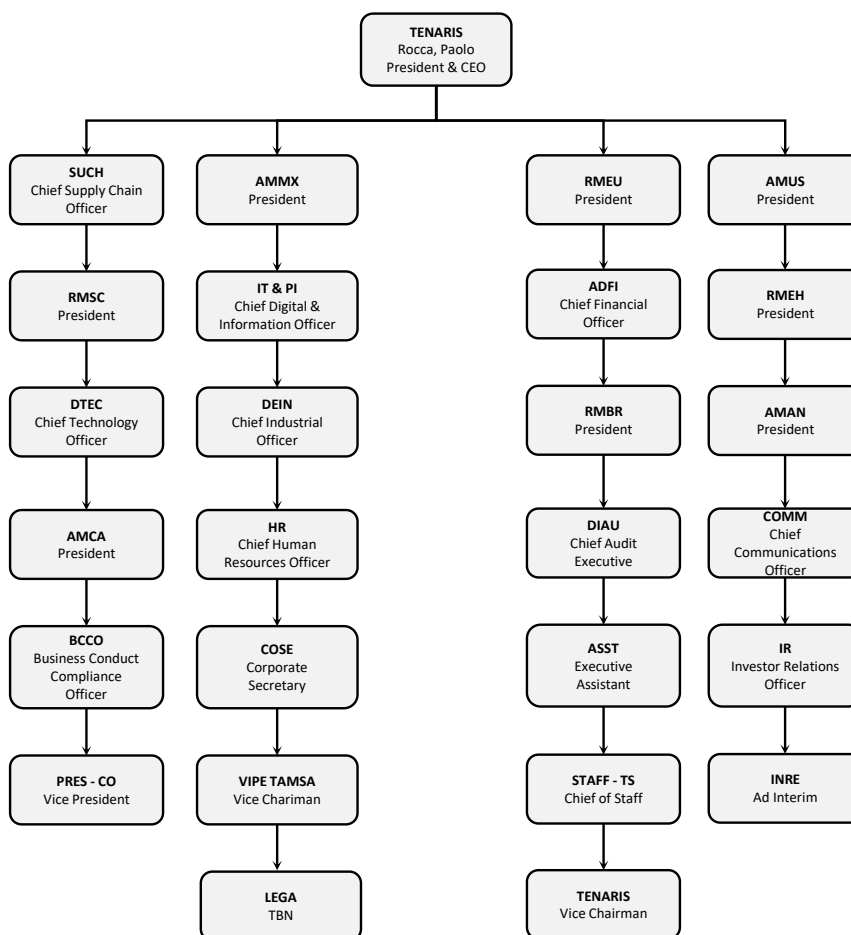
#### 3.1. Contexto operacional del cargador CAT 938G

El primer paso para aplicar exitosamente la metodología del *mantenimiento centrado en la confiabilidad* a un activo físico, implica definir su contexto operacional. Para definir correctamente el contexto operacional, el equipo de RCM debe describir las funciones, siguiendo esta estructura, de acuerdo con la norma ?. En esta sección, se describe el entorno en el cual opera el cargador CAT 938G, así como la estructura organizacional de la compañía y el rol del departamento de mantenimiento. El entorno operacional describe las condiciones operacionales actuales del equipo.

**3.1.1. Empresa Tenaris.** La empresa Tenaris es un fabricante líder de tubos y servicios relacionados para la industria de la energía del mundo y otras aplicaciones industriales. Su sistema de fabricación abarca los procesos de fabricación del acero, laminado y conformado

de tubos, tratamiento térmico, roscado y acabado en 16 países. Cuenta con una red de I+D centrada en la mejora de cartera de productos y procesos de producción. Su portafolio principal ofrece tubos de perforación, tubos para aplicación offshore, tubos para aplicación onshore, aplicaciones para tubería flexible, levantamiento artificial, aplicaciones de procesamiento y energía, aplicación industrial y mecánica, y aplicación automotriz. La compañía Tenaris del centro de servicio Yard Villavicencio, tiene una estructura organizacional piramidal, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5  
Estructura organizacional de Tenaris



Fuente: Tenaris.

**3.1.2. Descripción del Departamento de Mantenimiento.** Actualmente la empresa Tenaris emplea la modalidad de *Outsourcing* para el cargador CAT 938G, es decir, terceriza el servicio de mantenimiento, el cual es llevado a cabo por una compañía externa con el fin de reducir la carga de trabajos hechos internamente y escalar el alcance de la productividad de su línea de negocio. Los proveedores de servicios de mantenimiento son contratados en la zona local para intervenciones correctivas menores, y a nivel nacional para intervenciones especializadas.

**3.1.3. Ubicación geográfica y entorno operativo.** El cargador CAT 938G (ver Figura 6) opera en la zona rural de Villavicencio, Colombia (4.063 °N, 73.521 °W).

Figura 6

*Cargador frontal Caterpillar 938G en patio*



*Fuente: Tenaris.*

Figura 7

*Vista satelital de Tenaris**Fuente: Google Maps.*

El cargador CAT 938G trabaja 24 horas al día durante los 365 días del año, salvo que no se encuentre disponible. Es usado especialmente para el movimiento de tubería. Su función principal es el movimiento de tubería (cargue y descargue). Para esto usa el accesorio denominado *Pole - Forks*, el cual se encarga de asegurar las unidades de tubería que deben ser cargadas (o descargadas), tal y como se muestra en la Figura 8.

Una vez las unidades de tubería son aseguradas, el equipo se desplaza hasta la unidad de cargue, que usualmente es un tractocamión, y deposita la carga de forma organizada siguiendo los protocolos establecidos por la compañía (ver Figura 9). Finalmente, cuando todas las unidades de tubería han sido cargadas, el tractocamión se desplaza hasta el pozo petrolero que haya hecho el requerimiento (ver Figura 10).

Figura 8

*Cargador CAT 938G sujetando tubería mediante el Pole - Fork*



*Fuente: Tenaris.*

### **3.2. Funciones del sistema**

La taxonomía del Cargador CAT 938G se muestra en la Figura 11. Las funciones de cada subsistema se muestran en la Tabla 4.

Figura 9  
*Cargador CAT 938G cargando las unidades de tubería*



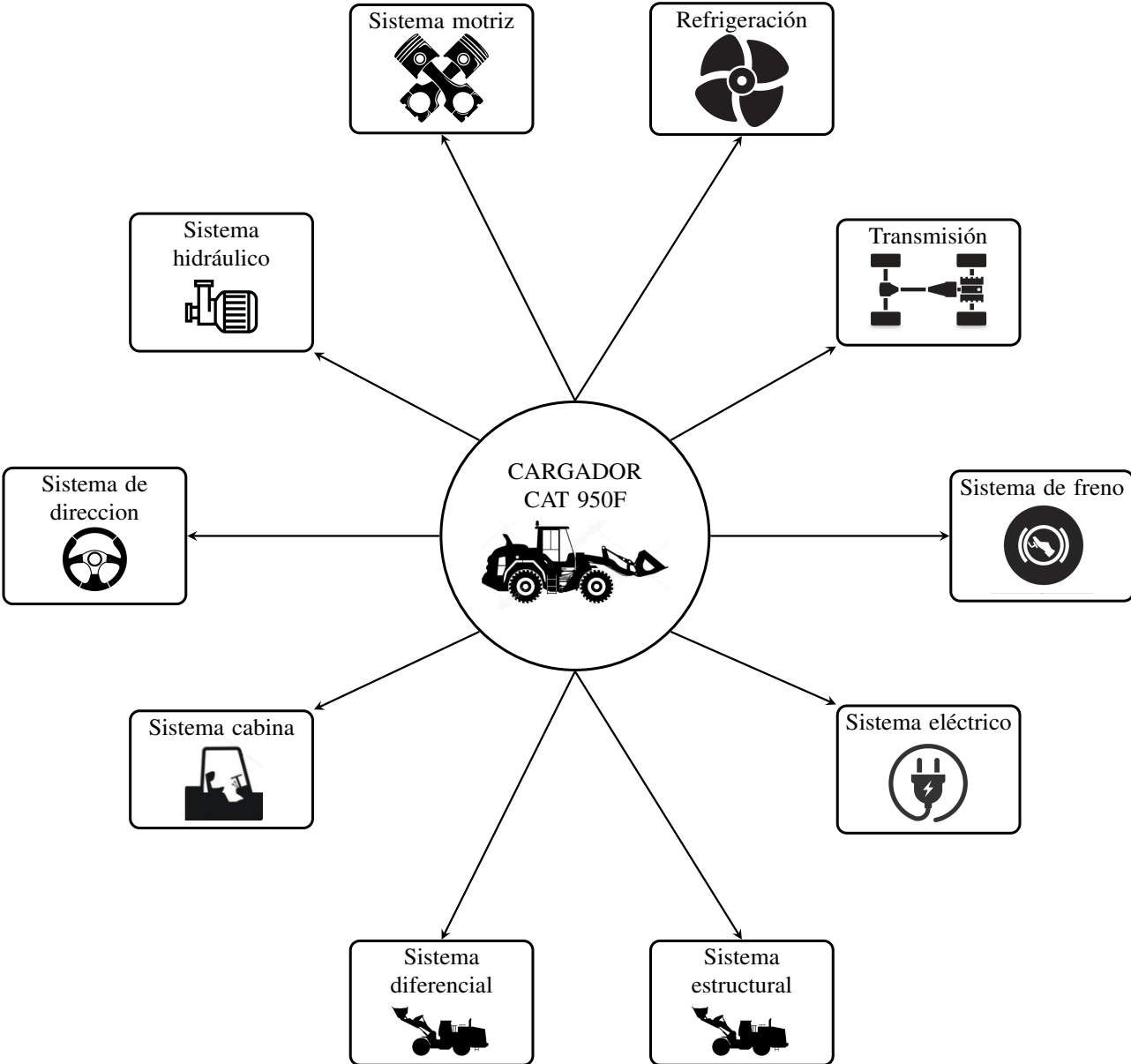
*Fuente: Tenaris.*

Figura 10  
*Tractocamión listo para despacho*



*Fuente: Tenaris.*

Figura 11  
Taxonomía del cargador CAT 938G



Fuente: El autor.

Tabla 4

*Funciones de los subsistemas presentes en el cargador CAT 938G*

<b>Subsistema</b>	<b>Código</b>	<b>Función</b>
Motor	C1F1	Transformar la energía química en energía mecánica en forma de torque.
	C1F2	Entregar al sistema de transmisión una potencia mecánica nominal de 134 kW a 2200 RPM.
Hidráulico	C2F1	Generar y mantener la presión de operación el circuito hidráulico para activar los cilindros hidráulicos.
	C2F2	Mantener la presión en válvulas de seguridad para controlar la sobre-presión del sistema.
Dirección	C3F1	Permitir los giros hacia la derecha o izquierda.
Cabina	C4F1	Permitir la seguridad, el control y la visualización del panel de control al operario del equipo.
Diferencial	C5F1	Transmitir la potencia mecánica generada por el motor a los mandos finales de la transmisión.
	C5F2	Permitir que las ruedas giren a diferentes velocidades cuando el equipo esté realizando un giro.
Estructural	C6F1	Cargar y soportar el peso de los demás subsistemas, y de las cargas relacionadas con las funciones del equipo.
	C6F2	Permitir el movimiento de los demás subsistemas e implemento, según sus funciones.
Eléctrico	C7F1	Energizar los diferentes actuadores y dispositivos eléctricos y electrónicos del equipo, suministrando el voltaje necesario en corriente directa.
	C7F2	Accionar la volanta del motor al recibir la señal de encendido.
Freno	C8F1	Reducir la velocidad y/o detener el equipo cuando sea requerido, accionando el freno de pedal.
	C8F2	Detener el equipo durante un tiempo determinado accionando el freno de parqueo.
Transmisión	C9F1	Transmitir potencia a los mandos finales para generar movimiento mediante un eje cardán.
	C9F2	Mantener una velocidad entre 1000 y 1200 RPM.
Refrigeración	C10F1	Mantener la temperatura de operación del motor entre los 80° y los 100°.
	C10F2	Mantener un flujo de aire constante del exterior hacia el interior con el fin de refrigerar las camisas.

Tabla 5  
Fallas asociadas a las funciones del sistema

Subsistema	Función	Código función	Descripción falla funcional	Código de falla
Motor	Transformar energía química contenida en el combustible, en energía mecánica en forma de torque.	C1F1	Motor no supera el rango por encima de las 1000 RPM. Se evidencia fuga de aceite de motor cerca del carter. Hay sobrecalentamiento y ruidos extraños. Combustible agotado, aceite de lubricación del motor insuficiente. Volanta del motor fatigada.	F1
	Entregar al sistema de transmisión una potencia mecánica nominal de 134 kW a 2200 RPM.	C1F2	Motor presenta pérdida de fuerza y ruido en las culatas. Palanca de cambios activada. Interruptor de encendido desgastado. Falla en el circuito de activación del starte. Cigüeñal y ejes de levas fatigados. Mecanismos internos del motor de arranque desgastados.	
Hidráulico	Generar y mantener una presión de trabajo de 16 Mpa en el circuito hidráulico (160 bar) para accionar todos los actuadores hidráulicos.	C2F1	No hay movimiento en los cilindros hidráulicos (o si lo hay es muy lento). Se evidencia fuga de aceite hidráulico en los sellos de los cilindros, o cerca al cuerpo de la bomba hidráulica y de la válvula direccional.	F2
	Mantener la presión en la válvula de descarga en 14 Mpa (140 bar) para controlar la sobrepresión del sistema.	C2F2	El cilindro hidráulico encargado de mover y levantar el balde no se acciona correctamente.	
Dirección	Permitir los giros hacia la derecha o izquierda de 0 - 34° en 6 segundos, garantizando los límites de radios de giro internos y externos.	C3F1	No hay movimiento (o si lo hay es muy lento) en el cilindro hidráulico encargado de la dirección. Ruptura de vástago y fuga de aceite hidráulico por tapa del cilindro de dirección. La presión piloto de la válvula de dirección es insuficiente.	F3
Cabina	Permitir la seguridad, el control y la visualización del panel de control al operario del equipo.	C4F1	Golpes en la estructura de la cabina y/o el parabrisas. Acumulación de suciedad en el filtro del aire acondicionado.	F4
Diferencial	Transmitir la potencia mecánica generada por el motor a los mandos finales de la transmisión.	C5F1	No hay una transferencia de potencia efectiva hacia los mandos finales.	F5
	Permitir que las ruedas giren a diferentes velocidades cuando el equipo esté realizando un giro.	C5F2	Eje cardán gira 360° sin restricción alguna.	
Estructura	Cargar y soportar el peso de los demás subsistemas, y de las cargas relacionadas con las funciones del equipo.	C6F1	El chasis y cuerpo del cargador irregularidades, como fisuras, golpes, abolladuras, oxidación, acumulación de suciedad.	F6
	Permitir el movimiento de los demás subsistemas e implemento, según sus funciones.	C6F2	El implemento presenta irregularidades, como fisuras, golpes, abolladuras, oxidación, acumulación de suciedad. Los pasadores que unen el implemento con los mecanismos de accionamiento, se encuentran desgastados o sin retenedores.	

Continúa en la página siguiente

Tabla 5 – Continuación de la página anterior

Subsistema	Función	Código función	Descripción falla funcional	Código de falla
Eléctrico	Energizar los diferentes actuadores y dispositivos eléctricos y electrónicos del equipo, suministrando un voltaje entre 24 y 27 voltios de corriente directa.	C7F1	El alternador no envía carga suficiente para mantener la carga de las baterías. Baterías desgastadas, bornes sulfatados, agua de batería insuficiente. Batería de mala calidad.	F7
	Accionar la volanta del motor al recibir la señal de switch durante el proceso de encendido.	C7F2	Problemas en el switch y/o motor al recibir la señal de encendido. Batería desconectada	
Freno	Reducir la velocidad y/o detener el equipo cuando sea requerido, accionando la válvula de freno de pie.	C8F1	La válvula de freno de pie no es accionada debido a daños internos en el sistema de frenos, como puede ser daño en los resortes internos.	F8
	Detener el equipo durante un tiempo determinado accionando el freno de parqueo.	C8F2	La electroválvula no abre el circuito para liberar los paquetes de disco. El seguro del pasador del pedal del freno está ausente. Bomba del sistema de frenos desgastada. Aireación en el sistema hidráulico de frenos. Sensor de posición del pedal de freno de servicio dañado.	
Transmisión	Transmitir potencia a los mandos finales para generar movimiento mediante un eje cardán.	C9F1	Eje cardán desalineado, eje cardán fatigado, conector del solenoide de los embargues sulfatado, tornillos de la cruceta del convertidor con torque inadecuado.	F9
	Mantener una velocidad entre 1000 y 1200 RPM de motor con un torque máximo de.	C9F2	Rodamientos de los ejes de transmisión desgastados, discos y plato del freno de servicio desgastados.	
Refrigeración	Mantener la temperatura de operación del motor entre los 80° y los 100°.	C9F1	Motor apagado y bloqueado por ruptura de las correas del ventilador.	F9
	Mantener un flujo de aire constante del exterior hacia el interior con el fin de refrigerar las camisas.	C9F2	Ruido en la polea tensora del motor por ventilador frenado. Incremento en la sensación térmica del operador por falla en el sistema de aire acondicionado.	

### 3.3. Modos y efectos de falla

Para el análisis de modos y efectos de falla, fueron consultados los manuales del fabricante, planos de ensamble, hidráulicos, mecánicos y eléctricos, así como la opinión de especialistas de mantenimiento. El análisis de modos y efectos de falla implica hacer un listado de las funciones principales de cada sistema 4, y establecer las fallas funcionales asociadas a cada función principal (ver Tabla 5).

En esta sección, fueron definidos los modos de falla y sus efectos para cada subsistema del equipo. Por ejemplo, al considerar el subsistema motriz, fue definida su función principal, la cual es transformar la energía química en mecánica y entregar una potencia mecánica nominal de 134 kW a 2200 RPM. Por lo tanto, la falla funcional (No transmitir una potencia de 134 kW a 2200 RPM), tuvo 39 modos de falla los cuales son mostrados en la Tabla 6 junto con los efectos (consecuencias) de falla. Del mismo modo, para los subsistemas hidráulico, de cabina, dirección, diferencial, estructural, eléctrico, de freno, transmisión y refrigeración, fueron listados los modos y efectos de falla, los cuales se muestran en las Tablas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15, respectivamente.

Tabla 6  
Modos de falla del sistema motriz

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Motor		
Función principal: Transmitir un torque de 839 Nm a 1000 RPM		
Código	Modo de falla	Consecuencia
C1F1001	Baja potencia por filtro de aire obstruido	El motor no produce las suficientes RPM para transmitir un torque de 839 Nm. En consecuencia, el operario debe detener el equipo y parar el proceso productivo.
C1F1002	Baja potencia por filtro de combustible obstruido	
C1F1003	Baja potencia por baja presión en combustible	
C1F1004	Baja potencia por inyector defectuoso	
C1F1005	Baja potencia por línea de combustible obstruido	
C1F1006	Baja potencia por falla de turbocompresor	
C1F1007	Baja potencia por falta de calibración en las válvulas	
C1F1008	Baja potencia por fugas en gases de escape	
C1F1009	Baja potencia por fuga en gases de admisión	
C1F1010	Baja potencia por desgaste en cilindros y anillos	
C1F1011	Alta temperatura por aletas del cilindro obstruidas	Temperatura del motor aumenta por encima de los 100°C y se activa el testigo alarma del motor. En consecuencia, el operador debe detener el equipo y parar el proceso productivo.
C1F1012	Alta temperatura por ducto de aire en mal estado	
C1F1013	Alta temperatura por aspas del ventilador dañadas	
C1F1014	Alta temperatura por obstrucción en posenfriador	
C1F1015	Alta temperatura por filtro de aire obstruido	
C1F1016	Alta temperatura por enfriador de aceite obstruido	
C1F1017	Alta temperatura por tubo de escape obstruido	
C1F1018	Baja presión de aceite por bajo nivel de aceite	La presión de aceite de motor cae por debajo de 30 PSI. En consecuencia, el operador debe detener el equipo y parar el proceso productivo.
C1F1019	Baja presión de aceite por fuga de aceite en tapa de llenado	
C1F1020	Baja presión de aceite por fuga en enfriador de aceite	
C1F1021	Baja presión de aceite por fuga en filtro de aceite de motor	
C1F1022	Baja presión de aceite por ductos de lubricación obstruidos	
C1F1023	Baja presión de aceite por falla en bomba de lubricación	El operario percibe ruido proveniente del motor. En consecuencia, debe detener el equipo y parar el proceso productivo.
C1F1024	Fuga de gases de escape por manifold suelto	
C1F1025	Fuga de gases de escape por unión de tubos con abrazaderas	
C1F1026	Fuga de gases de escape por tubo flexible	
C1F1027	Fuga de gases de escape por catalizador roto	La presión de aceite de motor cae por debajo de los 30 PSI.
C1F1028	Contaminación de aceite de motor con aceite hidráulico	
C1F1029	Contaminación de aceite de motor con combustible	No es posible encender el equipo. Proceso productivo detenido.
C1F1030	Motor no enciende por aireación en línea de combustible	
C1F1031	Motor no enciende por baja presión en línea de combustible	
C1F1032	Motor no enciende por falla en inyectores	
C1F1033	Motor no enciende por contaminación en combustible	
C1F1034	Motor no enciende por falla en motor de arranque	
C1F1035	Motor no enciende por voltaje de batería insuficiente	El motor requiere reparación. En consecuencia, debe ser ingresado al taller de servicio.
C1F1034	Motor no enciende por baja compresión en los cilindros	
C1F1035	Motor presenta ruido por elementos sueltos	
C1F1036	Motor con cigüeñal frenado por falta de lubricación	
C1F1037	Motor con cigüeñal frenado por pistón adherido a las camisas	

Tabla 7

*Modos del falla del sistema hidráulico*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Hidráulico		
Función principal: Generar y mantener una presión de 16 MPa en el circuito hidráulico		
Código	Modo de falla	Consecuencia
C2F1001	Bajo nivel de aceite hidráulico	Los cilindros hidráulicos no son accionados, por lo tanto el operador debe detener el equipo.
C2F1002	Baja presión en bomba piloto	
C2F1003	Fuga de aceite hidráulico en sellos internos	
C2F1004	Baja presión en la bomba principal	
C2F1005	Fuga en los spool de los joystick	
C2F1006	Válvula de descarga sin calibración	
C2F1007	Filtro de aceite hidráulico bloqueado	Incremento de la temperatura. El tablero de control registra alta temperatura en el sistema hidráulico. El operador debe detener el equipo.
C2F1008	Insuficiencia de aceite hidráulico en el sistema	
C2F1009	Aireación en el sistema hidráulico	
C2F1010	Radiador obstruido por exceso de suciedad	
C2F1011	Aspas del radiador rotas o en mal estado	
C2F1012	Exceso de aceite hidráulico en el sistema	
C2F1013	Obstrucción del sistema hidráulico	Disminuye la cantidad de aceite hidráulico del sistema. Los cilindros hidráulicos no son accionados. El operador debe detener el equipo.
C2F1014	Fuga de aceite por mirilla del tanque hidráulico	
C2F1015	Fugas de aceite por mangueras hidráulicas	
C2F1016	Fugas de aceite por sellos de cilindros hidráulicos	
C2F1017	Fuga de aceite por filtro de obstrucción en filtro de retorno	
C2F1018	Fuga de aceite por cuerpo en bomba de trabajo	
C2F1019	Fuga de aceite por radiador de aceite hidráulico	Exceso de ruido y vibración en el sistema hidráulico. El operador debe detener el equipo.
C2F1020	Fuga de aceite por daño en racores	
C2F1021	Ruido y vibración por obstrucción en tubería de succión	
C2F1022	Ruido y vibración por emulsificación y deterioro del aceite hidráulico	
C2F1023	Ruido y vibración en el sistema por vibración en la válvula de alivio	
C2F1024	Ruido y vibración por presencia de aire en el sistema	
C2F1025	Ruido y vibración por desgaste de la bomba principal	

Tabla 8

*Modos de falla del sistema de cabina*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Cabina		
Función principal: Permitir la seguridad, el control y la visualización del panel de control al operario.		
Código	Modo de falla	Consecuencia
C4F1001	Tapizado del asiento en mal estado	Falta de confort y seguridad. El operador debe parar el equipo.
C4F1002	Estructura de la cabina suelta o golpeada	
C4F1003	Cables sueltos o expuestos en el tablero de control	
C4F1004	Fuga de aceite por mandos del joystick	
C4F1005	Extintor vencido	
C4F1006	Pedal en mal estado	
C4F1007	Tornillos de fijación rotos	

Tabla 9

*Modos de falla del sistema de dirección*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Dirección		
Función principal: Permitir giros de 0 - 34° en 6 segundos		
<b>Código</b>	<b>Modo de falla</b>	<b>Consecuencia</b>
C3F1001	Presión insuficiente en bomba piloto	No hay movimiento y/o el movimiento es lento. El operador debe parar el equipo.
C3F1002	Fuga de aceite en sellos del cilindro	
C3F1003	Falla en válvula de seguridad	
C3F1004	Daño en bomba de aceite	
C3F1005	Bajo nivel de aceite hidráulico	No hay movimiento y/o el movimiento es lento. Sin dirección, el operador debe parar el equipo.
C3F1006	Obstrucción en líneas de aceite hidráulico	
C3F1007	Daño en sellos internos del cilindro	
C3F1008	Fuga de aceite hidráulico en válvula de control	
C3F1009	Daño en bomba principal	
C3F1010	Obstrucción en líneas de aceite hidráulico	
C3F1011	Fallas en bomba de dirección	Baja presión en el sistema de dirección. El operador debe parar el equipo.
C3F1012	Problemas en la regulación de la válvula de seguridad	
C3F1013	Fugas de aceite hidráulico en sellos de los cilindros	

Tabla 10

*Modos de falla del sistema de diferencial*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Diferencial		
Función principal: Transmitir la potencia mecánica generada por el motor a los mandos finales de la transmisión.		
<b>Código</b>	<b>Modo de falla</b>	<b>Consecuencia</b>
C5F1001	Presencia de dientes rotos en la corona y el speed, diferencial neutralizado	No hay movimiento y/o el movimiento es lento. El operador debe parar el equipo.
C5F1002	Ruptura de tornillos que sujetan el housing. Exceso de ruido en diferencial	

Tabla 11

*Modos de falla del sistema estructural*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Estructural		
Función principal: Cargar y soportar el peso de los demás subsistemas.		
<b>Código</b>	<b>Modo de falla</b>	<b>Consecuencia</b>
C6F1001	Grietas en las juntas que aseguran el implemento	El operador no puede continuar con sus funciones y debe parar el equipo.
C6F1002	Presencia de grietas, ruptura o desgaste en bujes y pasadores que aseguran el implemento	
C6F1003	Presencia de grietas, ruptura o desgaste en bujes y pasadores en estructura del boom	
C6F1004	Presencia de grietas, ruptura o desgaste en bujes y pasadores de la estructura de soporte de los cilindros hidráulicos	
C6F1005	Desgaste de la cuchilla del balde	
C6F1006	Grietas y golpes en el chasis	
C6F1007	Desgaste en los topes del chasis para ecualización del equipo	
C6F1008	Desgaste en bujes de bronce en basculante del chasis por falta de lubricación	
C6F1009	Tornillos sueltos y/o rosca en mal estado	
C6F1010	Desgaste en bujes, rótulas, pasadores por falta de lubricación	
C6F1011	Espárragos rotos o sueltos encargados de asegurar la U del chasis basculante	

Tabla 12  
 Modos de falla del sistema eléctrico

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Eléctrico		
Función principal: Energizar los diferentes actuadores y dispositivos eléctricos y electrónicos del equipo		
Código	Modo de falla	Consecuencia
C7F1001	Baterías desgastadas	El equipo presenta problemas de encendido. Como consecuencia, el operario no puede utilizarlo.
C7F1002	Motor de arranque no funciona y por tanto, la volanta no gira	
C7F1003	Automático auxiliar en falla	
C7F1004	Línea de alimentación o fusible abierto para el paso de corriente al motor de arranque	
C7F1005	Baterías no reciben carga y/o el alternador no está enviando carga a las baterías. Baterías presentan bajo voltaje (menor a 9 Voltios DC) en el indicador de tablero	Se enciende alarma de bajo voltaje. El operador debe parar el equipo.
C7F1006	Alternador no regula la carga. Las baterías presentan alto voltaje (32 voltios DC) en el testigo del tablero de control	Se enciende alarma de alto voltaje. El operador debe parar el equipo.
C7F1007	Daño en arnés switch de encendido, fusibles, o lámparas. No funcionan las luces	Falta de visibilidad para el operador. El equipo debe ser detenido.
C7F1008	Corto-circuito en arnés, switch o bocina. Bocina no funciona	El operador no puede operar el equipo por políticas HSE.
C7F1009	Corto-circuito en arnés, switch o alarma. No funciona alarmar de retroceso	
C7F1010	Corto-circuito en la caja de fusibles. El tablero no registra ningún indicador	
C7F1011	Alta temperatura en motor, transmisión o sistema hidráulico por falla en sensor de temperatura.	El operador debe parar el equipo por las alertas presentes
C7F1012	Alta temperatura en motor, transmisión o sistema hidráulico por falla en el arnés del sensor de temperatura	
C7F1013	Alta temperatura en motor, transmisión o sistema hidráulico por falla en los indicadores del tablero de control	

Tabla 13

*Modos de falla del sistema de frenos*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Freno		
Función principal: Reducir la velocidad del equipo accionando la válvula de freno de pie.		
<b>Código</b>	<b>Modo de falla</b>	<b>Consecuencia</b>
C8F1001	Eje fatigado o partido. Rueda del mando final derecho no presenta tracción	El operador no puede mover el equipo.
C8F1002	Eje fatigado o partido. Rueda del mando final izquierdo no presenta tracción	
C8F1003	Falta de lubricación en engranajes planetarios. Engranajes rotos.	
C8F1004	Rosca en mal estado. Fuga de aceite por tapón de drenaje	El operador no puede mover el equipo. La falta de aceite y la contaminación podría causar daños internos en el sistema de engranajes.
C8F1005	Fuga de aceite por sello Duo-Cone	
C8F1006	Espárragos sueltos encargados de asegurar la carcasa del mando final	
C8F11007	Daño en sello de paquete de frenos. Contaminación de aceite de los mandos finales con aceite hidráulico.	
C8F1008	Falla en resortes internos de la válvula de freno de pie	Falla en el sistema hidráulico. En consecuencia, el operador no puede operar el equipo.
C8F1009	Baja presión (por debajo de los 7 MPa) en los acumuladores	
C8F1010	Falla en electroválvula	

Tabla 14

*Modos de falla del sistema de transmisión*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Transmisión		
Función principal: Transmitir potencia a los mandos finales para generar movimiento mediante un eje cardán.		
<b>Código</b>	<b>Modo de falla</b>	<b>Consecuencia</b>
C9F1001	Bajo nivel de aceite de motor	Se neutralizan los cambios. El equipo no puede ser movido por el operador. En consecuencia, se detiene el proceso productivo.
C9F1002	Varillaje de mandos suelto	
C9F1003	Aireación en la maguera de succión	
C9F1004	Fallo en la bomba de transmisión	
C9F1005	Válvula de alivio descalibrada	
C9F1006	Crucetas desarmadas	
C9F1007	Daño en la manguera hacia la válvula de alivio del convertidor	No se reciben los cambios y hay pérdidas de potencia. El operador no puede operar el equipo.
C9F1008	Daños en paquetes de discos internos de la transmisión	
C9F1009	Problemas de graduación en varillaje de marcha	
C9F1010	Ruptura en mangueras del sistema de transmisión	Fugas de aceite en el sistema de transmisión. Disminución del nivel de aceite, los cambios se neutralizan.
C9F1011	Ruptura de filtro de la transmisión	
C9F1012	Sobrenivel de aceite en la transmisión. Fuga por la válvula de alivio	
C9F1013	Ruptura de tornillos de sujeción de la base de la bomba de transmisión	
C9F1014	Daño en el racor del enfriador de aceite	
C9F1015	Fuga por sello que une el convertidor con la volante del motor	
C9F1016	Daño en el ventilador del enfriador de aceite	Sobrecalentamiento. Como consecuencia de las altas temperaturas el operador debe parar el equipo
C9F1017	Aireación en las tuberías de succión de aceite	
C9F1018	Desgaste en bomba de aceite	
C9F1019	Conexión incorrecta de las mangueras que llegan al enfriador de aceite	
C9F1020	Fricción en paquetes de discos internos	
C9F1021	Bajo nivel de aceite	Presión baja en el sistema. El equipo se vuelve lento y pierde fuerza. El operador debe detener el equipo.
C9F1022	Daño en sellos del convertidor	
C9F1023	Fallas en bomba de aceite	
C9F1024	Obstrucción en válvula de seguridad	
C9F1025	Contaminación en el aceite de transmisión	

Tabla 15

*Modos de falla del sistema de refrigeración*

Sistema: Cargador CAT 938G / Subsistema: Refrigeración		
Función principal: Mantener la temperatura de operación del motor entre los 80°C y los 100°C.		
Código	Modo de falla	Consecuencia
C10F1001	Fallas en rodamientos del ventilador	El ventilador no gira (o lo hace lentamente), elevación de la temperatura por encima de los 100°C
C10F1002	Ruptura en correas del ventilador	
C10F1003	El ventilador tiene aspas rotas	
C10F1004	Ductos de ventilación averiados	
C10F1005	Exceso de contaminación de carbón en las aletas del cilindro	Posenfriador y aletas del cilindro obstruidas. Elevación de la temperatura por encima de los 100°C
C10F1006	Posenfriador obstruido internamente	
C10F1007	Bajo nivel de refrigerante	
C10F1008	Posenfriador obstruido externamente	
C10F1009	Alta temperatura en el sistema	

### 3.4. Diagrama de decisión

Como se explicó en el Capítulo 1.3, una vez especificados todos los modos de falla, sus efectos y consecuencias, se hace uso del diagrama de decisión y hoja de decisión propuestos por Moubrey (2001), y por la metodología RCM. Dependiendo de las respuestas, el algoritmo propone más preguntas hasta encontrar la acción que debe tomarse. Hay cuatro tipos de consecuencias: fallo oculto, de seguridad y ambiente, operacionales, y no operacionales. Según RCM, para encontrar la acción a tomar ante un determinado modo de falla, es necesario seguir la ruta propuesta en el diagrama de decisión. Para entender mejor este proceso, como ejemplo fue seleccionado el modo de falla C2F1003, el cual corresponde a la ruptura de sellos internos en cilindro hidráulico. La ruta de decisión se muestra en la Tabla 16. Según el diagrama mostrado, la primera pregunta a responder es: *¿Es evidente para el operador que el equipo no está cumpliendo la función establecida?* La respuesta es *Sí* ya que según la Tabla 7, los cilindros hidráulicos no son accionados y se emitirán alarmas de bajo nivel de hidráulico y alta

temperatura, y por lo tanto, el operador claramente reconocerá la falla.

Al responder *Sí* a la primer pregunta, pasamos a la segunda, que según el diagrama es *¿El modo de falla anterior podría lesionar o matar a alguien?* La respuesta es *No*, teniendo en cuenta que en el peor de los casos el equipo se detiene y no puede cumplir sus funciones, lo cual no representa una amenaza para la seguridad e integridad física del operador o del personal circundante.

Al responder *No* a la pregunta dos, el diagrama indica que la tercer pregunta debe ser: *¿El modo de falla anterior podría infringir normativas o reglamento relacionado con el medio ambiente?* La respuesta es *Sí* ya que por un lado, el equipo no puede ser utilizado para cumplir sus funciones, y por otro lado, el derrame de aceite hidráulico es catalogado como contaminación ambiental.

Al responder *Sí* a la pregunta tres, el diagrama indica que la cuarta pregunta debe ser *¿Merece este modo de falla una tarea a condición para ser prevenida?* La respuesta es *Sí* ya que el correcto funcionamiento de los cilindros hidráulicos es esencial para cumplir con las tareas del equipo relacionadas con los objetivos de la compañía, por lo tanto, debe monitorearse la integridad de los sellos y del nivel del aceite hidráulico.

Finalmente, se establece la *tarea a condición programada*, la cual es definida por el programador de mantenimiento. En este caso, se determina que la falla prematura en los ellos del cilindro hidráulico son una consecuencia de otra falla subyacente como podría ser:

- Varillas del cilindro marcadas
- Vástagos del pistón con pandeo
- Barriles del cilindro con globo
- Degradación de fluidos
- Fluido hidráulico inadecuado
- Sobrecalentamiento o exposición al calor
- Componentes gastados como pistones y superficies de rodamientos

Por lo tanto, las acciones a tomar se clasifican en inspecciones diarias y tareas programadas cada determinado número de horas de motor. Para el caso de inspecciones diarias, se debe identificar posibles fallas en los componentes del cilindro, como fugas de aceite hidráulico, pandeo del vástago y presencia de rayaduras en el cromado del vástago. Cada 250 horas de motor, hacer análisis de aceite hidráulico y evaluar las ppm (partículas por millón) que evidencian el desgaste de componentes internos y contaminación en el sistema, cambiar aceite hidráulico y tomar muestra nuevamente (British Standards Institution, 2020). Nótese que las tareas a realizar y su frecuencia irán conformando el plan de mantenimiento preventivo basado en RCM. Todo el procedimiento descrito anteriormente se resume en la Tabla 16.

### **3.5. Plan de mantenimiento para el cargador CAT 938G**

Una vez establecidas todas las rutas de decisión para cada modo junto con sus acciones a tomar, se pueden conformar las rutinas de mantenimiento. El plan de mantenimiento RCM consta de un listado de tareas periódicas y no periódicas. Las tareas *periódicas* son aquellas para

Tabla 16  
Ruta de decisión RCM para un modo de falla específico

Sistema: Cargador frontal CAT 938G / Subsistema: Hidráulico		
Función: Generar y mantener una presión de 16 MPa en el circuito hidráulico		
Falla funcional	Modo de falla C2F1003	Efectos y consecuencias de la falla
No hay movimiento en los cilindros hidráulicos	Ruptura de sellos internos en cilindro hidráulico	La ruptura de sellos en los cilindros hidráulicos (fuga externa), con frecuencia causa operación lenta o irregular, hasta el punto de movimiento nulo. Si no se corrige la falla, el nivel de aceite hidráulico disminuirá gradualmente y habrá un aumento considerable de su temperatura. Se emitirán alarmas de alta temperatura y bajo nivel de hidráulico. Como consecuencia, se debe parar el equipo. Tiempo para desmonte de cilindro, cambio de sellos y suministro de aceite hidráulico: hasta 8 horas.
Ruta de decisión RCM		
<pre> graph TD     Q1[¿Es evidente para el operador que el equipo no está cumpliendo la función establecida?] -- Sí --&gt; Q2[¿El modo de falla anterior podría lesionar o matar a alguien?]     Q1 -- No --&gt; Q3[¿El modo de falla anterior podría infringir normativas o reglamento relacionado con el medio ambiente?]     Q2 -- Sí --&gt; Q4[¿Merece este modo de falla una tarea a condición para ser prevenida?]     Q2 -- No --&gt; Q4     Q3 -- Sí --&gt; Q4     Q4 -- Sí --&gt; Q5[¿Hay alguna clara condición de fallo potencial? ¿Cuál debería ser su frecuencia?]     Q4 -- No --&gt; Q6[Se debe definir tarea programada]     Q5 -- Sí --&gt; Q6     </pre>		
Acción a tomar		
<p><b>Diario.</b> Monitorear nivel del depósito de aceite hidráulico. Monitorear temperatura del aceite hidráulico. Revisar e identificar fugas de aceite hidráulico en los cilindros. Revisar e identificar visualmente posible pandeo en el vástago del cilindro. Revisar e identificar visualmente posibles rayaduras en el cromado del vástago. En caso de encontrar pandeo y/o rayaduras, programar desmonte del cilindro, corregir falla e instalar empaquetadura nueva.</p> <p><b>Cada 250 horas de motor.</b> Hacer análisis de aceite hidráulico y evaluar las ppm (partículas por millón) que evidencian el desgaste de componentes internos y contaminación en el sistema, en caso de encontrar contaminación, cambiar aceite hidráulico y tomar muestra nuevamente.</p>		

las cuales la ruta de decisión determinó que debe hacerse una tarea a condición programada, es decir, una tarea que implica *mantener* un componente con el propósito de que este pueda cumplir su función, y asignándole una frecuencia de ejecución. Las tareas periódicas son la base para el plan de mantenimiento preventivo, ya que se agrupan dependiendo de su frecuencia, independientemente del sistema o subsistema del equipo.

En contraste, las tareas *no periódicas* son aquellas para las cuales la ruta de decisión determinó que no debe hacerse ningún mantenimiento programado. Sin embargo, muchas de las tareas no periódicas constituyen la base de los inventarios, es decir de los componentes asociados a un determinado modo de falla que deben permanecer disponibles en bodega.

Las listas de tareas periódicas resultantes de aplicar el diagrama de decisión RCM son mostradas en los anexos. El plan de mantenimiento preventivo basado en RCM se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17  
Plan de mantenimiento preventivo

ítem	Cada 250 horas	Cada 1000 horas	Cada 2000 horas	Cada 5000 horas	Cada 10000 horas
<b>Filtros</b>	Filtro de aceite de motor Filtro sedimentador Filtro de combustible x 2 Filtro de aire interno Filtro de aire externo	Filtro de aceite de motor Filtro sedimentador Filtro de combustible x 2 Filtro de aire interno Filtro de aire externo Filtro de Transmisión Filtro del aceite hidráulico Filtro de desfogue	Filtro de aceite de motor Filtro sedimentador Filtro de combustible x 2 Filtro de aire interno Filtro de aire externo Filtro de Transmisión Filtro del aceite hidráulico Filtro de desfogue	Filtro de aceite de motor Filtro sedimentador Filtro de combustible x 2 Filtro de aire interno Filtro de aire externo Filtro de Transmisión Filtro del aceite hidráulico Filtro de desfogue	Filtro de aceite de motor Filtro sedimentador Filtro de combustible x 2 Filtro de aire interno Filtro de aire externo Filtro de Transmisión Filtro del aceite hidráulico Filtro de desfogue
<b>Fluidos</b>	Aceite de motor 5.1G 15W40	Aceite de motor 5.1G 15W40 Aceite de transmisión 2.9G 80W90 Ejes 18.5G 80W90	Aceite de motor 5.1G 15W40 Aceite de transmisión 2.9G 80W90 Ejes 18.5G 80W90 Hidráulico ISO68 23.8G Refrigerante 8.8G	Aceite de motor 5.1G 15W40 Aceite de transmisión 2.9G 80W90 Ejes 18.5G 80W90 Hidráulico ISO68 23.8G Refrigerante 8.8G	Aceite de motor 5.1G 15W40 Aceite de transmisión 2.9G 80W90 Ejes 18.5G 80W90 Hidráulico ISO68 23.8G Refrigerante 8.8G
<b>Revisiones del sistema motriz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato</li> <li>■ Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes. Identificar presencia de partículas de Silicio, Cobre, Hierro</li> <li>■ Verificar estado de los tornillos y accesorios del soporte del motor</li> <li>■ Verificar tensión de la correa del ventilador y del alternador</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de aceite de motor</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de combustible</li> <li>■ Ajustar tapón de la culata</li> <li>■ Verificar juego radial y axial del turbocompresor y ajustar</li> <li>■ Limpiar el posenfriador para remover material particulado adherido</li> <li>■ Verificar estado del cable de aceleración. Verificar puntas del cable. En caso de encontrar desgaste o ruptura, cambiar de inmediato</li> <li>■ Limpiar el catalizador de gases para remover material particulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato</li> <li>■ Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes. Identificar presencia de partículas de Silicio, Cobre, Hierro</li> <li>■ Verificar estado de los tornillos y accesorios del soporte del motor</li> <li>■ Verificar tensión de la correa del ventilador y del alternador</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de aceite de motor</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de combustible</li> <li>■ Ajustar tapón de la culata</li> <li>■ Verificar juego radial y axial del turbocompresor y ajustar</li> <li>■ Limpiar el posenfriador para remover material particulado adherido</li> <li>■ Verificar estado del cable de aceleración. Verificar puntas del cable. En caso de encontrar desgaste o ruptura, cambiar de inmediato</li> <li>■ Limpiar el catalizador de gases para remover material particulado</li> <li>■ Realizar prueba de compresión del motor, siguiendo el procedimiento estándar. Verificar estado de la bomba de transferencia</li> <li>■ Calibrar válvulas de admisión y escape</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato</li> <li>■ Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes. Identificar presencia de partículas de Silicio, Cobre, Hierro</li> <li>■ Verificar estado de los tornillos y accesorios del soporte del motor</li> <li>■ Verificar tensión de la correa del ventilador y del alternador</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de aceite de motor</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de combustible</li> <li>■ Ajustar tapón de la culata</li> <li>■ Verificar juego radial y axial del turbocompresor y ajustar</li> <li>■ Limpiar el posenfriador para remover material particulado adherido</li> <li>■ Verificar estado del cable de aceleración. Verificar puntas del cable. En caso de encontrar desgaste o ruptura, cambiar de inmediato</li> <li>■ Limpiar el catalizador de gases para remover material particulado</li> <li>■ Realizar prueba de compresión del motor, siguiendo el procedimiento estándar. Verificar estado de la bomba de transferencia</li> <li>■ Calibrar válvulas de admisión y escape</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato</li> <li>■ Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes. Identificar presencia de partículas de Silicio, Cobre, Hierro</li> <li>■ Verificar estado de los tornillos y accesorios del soporte del motor</li> <li>■ Verificar tensión de la correa del ventilador y del alternador</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de aceite de motor</li> <li>■ Verificar visualmente presencia de fugas de combustible</li> <li>■ Ajustar tapón de la culata</li> <li>■ Verificar juego radial y axial del turbocompresor y ajustar</li> <li>■ Limpiar el posenfriador para remover material particulado adherido</li> <li>■ Verificar estado del cable de aceleración. Verificar puntas del cable. En caso de encontrar desgaste o ruptura, cambiar de inmediato</li> <li>■ Limpiar el catalizador de gases para remover material particulado</li> <li>■ Realizar prueba de compresión del motor, siguiendo el procedimiento estándar. Verificar estado de la bomba de transferencia</li> <li>■ Calibrar válvulas de admisión y escape</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250, 1000 y 2000 horas</li> <li>■ Reparación completa de motor</li> </ul>

Tabla 17 – Continuación de la página anterior

ítem	Cada 250 horas	Cada 1000 horas	Cada 2000 horas	Cada 5000 horas	Cada 10000 horas
<p><b>Revisiones del sistema hidráulico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en cilindros</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en el cuerpo de la válvula principal</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en válvula direccional</li> <li>■ Verificar estado de aspas del ventilador en el sistema de radiador del aceite hidráulico</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en mangueras y racores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en cilindros</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en el cuerpo de la válvula principal</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en válvula direccional</li> <li>■ Verificar estado de aspas del ventilador en el sistema de radiador del aceite hidráulico</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en mangueras y racores</li> <li>■ Hacer análisis de aceite hidráulico para buscar desgaste de componentes. Identificar presencia de partículas de Silicio, Cobre, Hierro</li> <li>■ Ajustar tornillos de sujeción del visor de nivel del depósito del aceite hidráulico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250 y 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250 y 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250 y 1000 horas</li> </ul>
<p><b>Revisiones del sistema de cabina</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar sujeción del freno de parqueo</li> <li>■ Inspeccionar sujeción del switch de encendido</li> <li>■ Inspeccionar funcionamiento del manómetro del tablero de control</li> <li>■ Inspeccionar estado de la silla. De encontrarse en mal estado, solicitar cambio</li> <li>■ Verificar estado y fecha de carga del extintor</li> <li>■ Inspeccionar estado de tornillería de la cabina</li> <li>■ Inspeccionar estado del cinturón de seguridad. De encontrarse en mal estado, solicitar cambio</li> <li>■ Inspeccionar resorte del pedal de aceleración y frenos</li> <li>■ Inspeccionar sujeción y estado general del tablero de control</li> <li>■ Verificar estado de luz estroboscópica</li> <li>■ Verificar estado y funcionamiento de la bocina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspecciones de 250 horas</li> </ul>

Tabla 17 – Continuación de la página anterior

ítem	Cada 250 horas	Cada 1000 horas	Cada 2000 horas	Cada 5000 horas	Cada 10000 horas
<p><b>Revisiones del sistema de dirección</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite en joystick de mandos</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite en cilindro de dirección</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en válvula de dirección</li> <li>■ Monitorear presión hidráulica que envía la bomba piloto</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en racores de cilindro de dirección y bomba piloto</li> <li>■ Inspeccionar estado de mangueras del sistema de dirección</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en cuerpo de la bomba principal</li> <li>■ Inspeccionar tornillos de sujeción de la base del cilindro de dirección</li> <li>■ Lubricar rótulas de las articulaciones del cilindro de dirección</li> <li>■ Verificar taraje de la válvula de seguridad</li> <li>■ Medir la presión del sistema de dirección</li> <li>■ Cambiar filtro de aceite de la bomba piloto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Cambiar aceite hidráulico de la dirección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>
<p><b>Revisiones del sistema de diferencial</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite del diferencial por retenedor del speed</li> <li>■ Revisar nivel de aceite del diferencial</li> <li>■ Revisar tornillos de sujeción del diferencial. Ajustar de ser necesario</li> <li>■ Revisar esparragos de sujeción del housing del diferencial. Ajustar de ser necesario</li> <li>■ Verificar juegos en los rodamientos en el speed. Cambiar de ser necesario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Cambiar aceite del diferencial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>

Tabla 17 – Continuación de la página anterior

ítem	Cada 250 horas	Cada 1000 horas	Cada 2000 horas	Cada 5000 horas	Cada 10000 horas
<p><b>Revisiones del sistema estructural</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar presencia de grietas en las juntas del pole-forks</li> <li>■ Verificar presencia de grietas en la estructura del boom</li> <li>■ Revisar los topes de ecuilización del chasis</li> <li>■ Lubricar las articulaciones del pole-forks y del chasis</li> <li>■ Verificar estado de mangueras de lubricación del basculante</li> <li>■ Verificar estado de los esparragos de sujeción de la tapa en U del basculante y justar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Revisar y corregir grietas en el chasis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> <li>■ Tareas de 2000 horas</li> <li>■ Cambiar rótula, shims de ajuste y pasador de la articulación central</li> <li>■ Cambiar bujes del basculante del eje trasero</li> <li>■ Cambiar bujes, rótulas y pasadores del cilindro de dirección</li> <li>■ Cambiar bujes y pasadores que soportan la cuchilla del dumping</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 5000 horas</li> </ul>
<p><b>Revisiones del sistema eléctrico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hacer inspección visual de la superficie de correa del alternador, si la encuentra agrietada reportar de inmediato</li> <li>■ Verificar correcto funcionamiento de luz estroboscópica</li> <li>■ Verificar correcto funcionamiento del alarma de reversa</li> <li>■ Verificar correcto funcionamiento de luces y pito</li> <li>■ Limpiar conectores del arnés eléctrico</li> <li>■ Revisar nivel de agua de batería. Completar</li> <li>■ Rotar baterías</li> <li>■ Limpiar caja de fusibles y portarelés. Identificar posibles fallas</li> <li>■ Verificar que el cableado de energía se encuentre en buen estado. De no ser así, reportar de inmediato</li> <li>■ Limpiar conexiones del motor de arranque y alternador</li> <li>■ Limpiar conexiones de bornes de las baterías</li> <li>■ Monitorear conexión y correcto funcionamiento de la electroválvula de freno de parqueo</li> <li>■ Hacer prueba de continuidad del cableado eléctrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Desmontar y hacer mantenimiento del alternador</li> <li>■ Desmontar y hacer mantenimiento del motor de arranque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>

Tabla 17 – Continuación de la página anterior

ítem	Cada 250 horas	Cada 1000 horas	Cada 2000 horas	Cada 5000 horas	Cada 10000 horas
<p><b>Revisiones del sistema de frenos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite en mandos finales</li> <li>■ Revisar estado de esparragos de sujeción de las ruedas. Ajustar si es necesario</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite en sello duo-cone de las ruedas. Corregir</li> <li>■ Revisar nivel de aceite en los mandos finales</li> <li>■ Revisar funcionamiento de la válvula de freno del pie</li> <li>■ Hacer análisis de aceite de frenos. Reportar si se encuentran más de 50 ppm</li> <li>■ Hacer prueba de presión de la bomba de frenos y programar cambio se está un 20% por debajo de su valor de trabajo nominal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Cambiar aceite de los mandos finales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 2000 horas</li> <li>■ Cambiar sellos del paquete de frenos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 5000 horas</li> <li>■ Cambiar kit disco de frenos</li> <li>■ Cambiar rodamientos de mandos finales</li> <li>■ Cambiar tuerca y pin de seguridad de mandos finales</li> </ul>
<p><b>Revisiones del sistema de transmisión</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite en transmisión y convertidor</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite en bomba de lubricación del convertidor</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite en spool de la transmisión</li> <li>■ Revisar estado del varillaje de mando de los cambios de la transmisión</li> <li>■ Revisar nivel de aceite de la transmisión</li> <li>■ Revisar estado de la tornillería de sujeción de la carcasa de la transmisión y convertidor</li> <li>■ Verificar presencia de fugas de aceite por válvula de alivio del convertidor</li> <li>■ Monitorear temperatura del aceite de la transmisión</li> <li>■ Verificar presencia de aceite entre el motor y el convertidor</li> <li>■ Verificar estado de tornillería de sujeción del enfriador de aceite</li> <li>■ Hacer análisis de aceite de la transmisión para identificar presencia de contaminación y/o desgaste de componentes internos</li> <li>■ Hacer prueba de presión de la bomba de lubricación. Notificar al departamento de servicio si está por debajo del 20% de su punto nominal</li> <li>■ Limpiar el enfriador de aceite de la transmisión para remover material particulado</li> <li>■ Verificar presencia de fugas por retenedor de la transmisión y convertidor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> <li>■ Cambiar aceite de la transmisión</li> <li>■ Cambiar filtro de aceite de la transmisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 1000 horas</li> </ul>

Tabla 17 – Continuación de la página anterior

ítem	Cada 250 horas	Cada 1000 horas	Cada 2000 horas	Cada 5000 horas	Cada 10000 horas
<b>Revisiones del sistema de refrigeración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inspeccionar el lado del aire de enfriamiento del posenfriador. Identificar presencia de aletas dañadas, corrosión, tierra, grasa, insectos, hojas, aceite y otro tipo de residuos. Limpiar de ser necesario</li> <li>■ Comprobar nivel de refrigerante del sistema de enfriamiento</li> <li>■ Verificar estado del termostato</li> <li>■ Inspeccionar sistema de enfriamiento en busca de fugas</li> <li>■ Limpiar aletas del radiador usando aire comprimido. La máxima presión del aire para limpieza debe ser inferior a 30 PSI</li> <li>■ Cambiar termostato</li> <li>■ Verificar estado de juego y aspas del ventilador</li> <li>■ Verificar estado de las correas de accionamiento del ventilador</li> <li>■ Verificar estado de la polea del ventilador Limpiar aletas del cilindro del motor</li> <li>■ Cambiar rodamientos del ventilador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tareas de 250 horas</li> </ul>


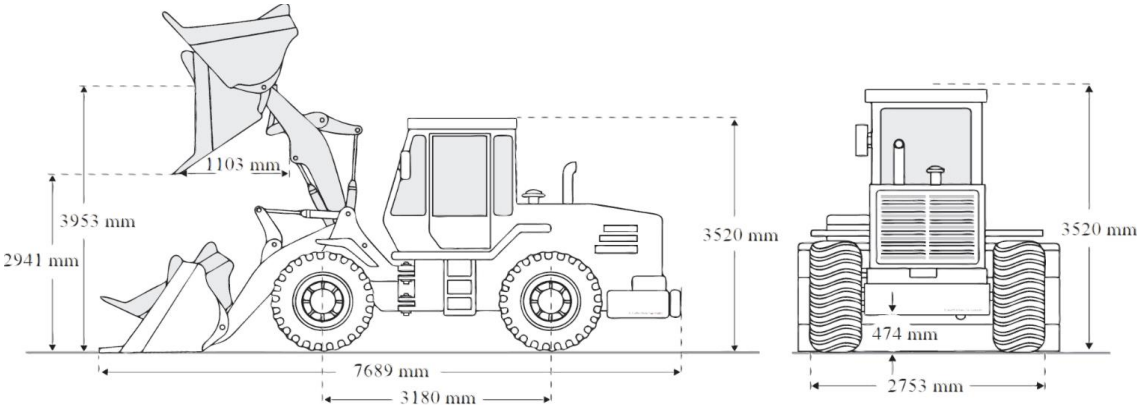
### **3.6. Hoja de vida del cargador CAT 938G**

Una vez constituido el plan de mantenimiento, es necesario crear un repositorio denominado *hoja de vida del equipo*, en el cual se almacena el historial de intervenciones correspondientes a mantenimiento. Este repositorio debe incluir la ficha técnica con un resumen global de la información más relevante del equipo. En la hoja de vida, se debe archivar todos los documentos e información relacionada con las intervenciones de mantenimiento, entre ellos check list, ficha técnica del equipo y órdenes de trabajo. Los formatos correspondientes son mostrados en las figuras 12, 13 y 14, respectivamente.

Figura 12  
Formato de lista de chequeo

<b>CHECK LIST CARGADOR CAT 938G</b>					Fecha:				
<b>CÓDIGO DE ACTIVO:</b>					Horómetro:				
					Orden de trabajo:				
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>EQUIPO DE SEGURIDAD Y CABINA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1 Calcomanías de seguridad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	48 Líneas y mangueras
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	2 Manual del operador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	49 Control y enlace
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	3 ROPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	50 Enfriador de aceite
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	4 Alarma de retroceso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	51 Cilindros y válvulas
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	5 Cinturón de seguridad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	52 Depósito, tapa y respiradero
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	6 Montajes de cabina	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	53 Prueba operacional
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	7 Limpiaparabrisas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	54 Filtros hidráulicos
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	8 Aire acondicionado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	55 Aceite hidráulico
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	9 Luces direccionales	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	56 Análisis de aceite hidráulico
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	10 Luces de freno	<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	11 Instrumentación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	57 Interruptor de arranque
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	12 Filtros de cabina	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	58 Conexiones
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	13 GPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	59 Retención de batería
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	14 Controles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	60 Starter
<b>MOTOR</b>					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	61 Alternador
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	15 Estado y tensión de correas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	62 Return-to-Dig
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	16 Gases de escape	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	63 Desembargar
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	17 Ruidos inusuales	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	64 Códigos falla, borrar y probar
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	18 Turbocompresor	<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	19 Sistema de admisión	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	65 Enfriador de aceite
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	20 Silenciador /Sistema de escape	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	66 Ejes de accionamiento
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	21 Bombas de combustible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	67 Orejetas de rueda
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	22 Líneas de combustible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	68 Neumáticos
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	23 Sistema cierre de combustible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	69 Prueba operacional
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	24 Funcionamiento del acelerador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	70 Rodamientos
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	25 Depósito de combustible	<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	26 Inyectores de combustible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	71 Chasis
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	27 Fugas de combustible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	72 Bujes y pasadores
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	28 Filtros de combustible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	73 Latonería
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	29 Filtros de aceite	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	74 Rótulas y articulaciones
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	30 Fugas de aceite	<b>SISTEMA DEL DIFERENCIAL</b>				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	31 Filtros de aire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	75 Tornillos de sujeción
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	32 Ajuste de válvula de motor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	76 Esparragos del housing
<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	77 Rodamientos
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	33 Nucleo del radiador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	78 Juego de rodamientos
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	34 Ventilador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	79 Aceite del diferencial
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	35 Mangueras / abrazaderas / tapa	<b>MANTENIMIENTO ADICIONAL</b>				
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	36 Bomba de agua	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	80
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	37 Nivel de refrigerante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	81
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	38 Fugas de refrigerante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	82
<b>SISTEMA DE FRENOS</b>					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	83
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	39 Medir el paquete de discos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	84
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	40 Función del pedal de freno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	85
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	41 Líneas y mangueras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	86
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	42 Prueba de freno de parqueo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	87
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	43 Operación del freno de servicio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	88
<b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b>					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	89
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	44 Mangueras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	90
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	45 Cilindros y válvulas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	91
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	46 Varillaje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	92
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	47 Prueba operacional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Comentarios					<b>A</b>	<b>CRÍTICO - REPARACIÓN NECESARIA</b>			
					<b>B</b>	<b>OPERACIONAL - SEÑALES DE DESGASTE</b>			
					<b>C</b>	<b>OK</b>			
					<b>S</b>	<b>INSPECCIÓN APROBADA</b>			

Figura 13  
Formato de la Ficha Técnica del cargador CAT 938G

<b>FICHA TÉCNICA CARGADOR CAT 938G</b>				
<b>CÓDIGO DE ACTIVO:</b>				
<b>INFORMACIÓN DEL EQUIPO</b>				
N° Serie	RTB01047			
Marca	CATERPILLAR			
Modelo	938G			
N° de motor	3116			
Clase	--			
Año de fabricación	--			
Color	Amarillo			
Combustible	Diesel			
Tarjeta de registro	--			
Propietario	--			
Manifiesto de aduana	--			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>				
<b>MOTOR DIESEL</b>			<b>CAPACIDADES</b>	
Marca	CATERPILLAR	Carter de aceite	20 L	
Modelo	3116	Refrigerante	49 L	
Número de serie		Aceite de transmisión	34 L	
Cilindrada	6.6 L	Aceite eje delantero	36 L	
Revoluciones	2600 RPM	Tensión de funcionamiento	24 V	
Potencia	180 HP	Balanceo eje trasero	26 grados	
Depósito	222 L	Tamaño neumático	23.5 - 25 - 12PR	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>		<b>VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO</b>		
Caudal bomba	237 L/min	Selector	4 velocidades	
Presión	20684 kPa	Avance	39.3 km/h	
Depósito	153 L	Retroceso	43 km/h	
<b>DIMENSIONES</b>		<b>DIMENSIONES EN SERVICIO</b>		
Longitud total	7689 mm	Longitud total	10290 mm	
Ancho máximo	3180 mm	Ancho aproximado	2859 mm	
Altura total	3520 mm	Altura total	3760 mm	
Peso aproximado	15730 kg	Ancho de pala	2811 mm	
<b>CONSUMOS APROXIMADOS</b>				
Combustible	343 L	Hidráulico	153 L	
Lubricantes	200 L	Transmisión	97.3 L	
<b>ESQUEMA</b>				
 <p>The technical drawing includes two views of the loader. The side view shows a total length of 7689 mm, a maximum width of 3180 mm, a height to the top of the bucket of 3953 mm, and a height to the top of the cab of 3520 mm. The front view shows a total width of 2753 mm, a height to the top of the cab of 3520 mm, and a height to the top of the bucket of 474 mm. A bucket width of 1103 mm is also indicated.</p>				



### 3.7. Inventario de repuestos

Una vez fueron determinadas todas las tareas periódicas y no periódicas, fueron identificadas todas aquellas que clasificaran en inventarios, es decir en tareas que requieren un repuesto físico disponible en la bodega de la empresa para atender cualquier eventualidad. Dicho esto, fue desarrollado un listado de repuestos con los componentes de stock de cada subsistema, teniendo en cuenta el espacio en la bodega, el tamaño de la flota, los costos de almacenaje, el tiempo que tarda un componente en llegar a campo una vez comprado, y las recomendaciones sugeridas por el departamento de mantenimiento y el operador. El inventario completo de repuestos es mostrado en la Tabla 18.

Tabla 18

*Inventario de repuestos según RCM*

Sistema	Descripción	Cantidad instalada	Stock mínimo
Motor	Filtro de aire externo	1	2
	Filtro de aire interno	1	2
	Filtro de aceite	2	2
	Filtro de combustible primario	2	2
	Filtro de combustible separador	2	2
	Correa del ventilador	1	1
	Correa del alternador	1	1
	Empaque tapa válvula	6	6
	Retenedor delantero del cigueñal	1	1
	Carcasa del filtro de aire	1	1
	O-ring línea de desfogue	1	1
	Retenedor delantero del cigueñal	1	1
	Manguera de admisión de 2 pulgadas x 1.30m	2	2
	Abrazadera de 2 pulgadas	4	4
	Turbocompresor	1	1
	Posenfriador	1	1
	Polea tensora	1	1
	Bomba de combustible auxiliar	1	1
	Tapa de aceite de motor	1	1
	Soporte delantero de motor	2	4
	Soporte trasero de motor	4	8
Tornillo de sujeción de soporte delantero 1/2 pulgada x 5 pulgadas	2	8	
Tornillo de sujeción de soporte trasero 1/2 pulgada x 5 pulgadas	4	16	
Tapa tanque de combustible	1	1	

Tabla 18 - continuación de la página anterior

Sistema	Descripción	Cantidad instalada	Stock mínimo
Hidráulico	Cilindro del Boom	1	2
	Cilindro escualización del implemento	1	2
	Cilindro de accionamiento del dumping	2	4
	Banco válvula de trabajo principal	1	1
	Bomba hidráulica	1	1
	Josctick	4	4
	Radiador de aceite hidráulico	1	1
	Aspas del ventilador	1	2
	Filtro de aceite de retorno del tanque hidráulico	1	2
	Filtro del respiradero del tanque hidráulico	1	2
	Indicador de nivel y temperatura del tanque hidráulico	1	2
	Filtro de aceite de succión superior	1	2
	Filtro de aceite de succión inferior	1	2
	Filtro de aceite de bomba piloto	1	2
	Manguera flexible de retorno	1	2
	Abrazadera de 1 pulgada	2	4
	Manguera hidráulica del cilindro del dumping	4	12
	Manguera hidráulica de succión de bomba	1	4
Manguera hidráulica de articulación central	1	4	
Cabina	Silla	1	1
	Medidor de temperatura del convertidor	1	1
	Medidor de temperatura del motor	1	1
	Voltímetro	1	1
	Horómetro digital	1	1
	Manómetro de presión de aceite de motor	1	1
	Manómetro de presión de aceite de bomba piloto	1	1
	Manómetro de presión de aceite del convertidor	1	1
	Manómetro de presión de acumuladores de frenos	1	1
	Botón freno de parqueo	1	1
	Cinturón de seguridad	1	1
	Extintor	1	1
	Switch direccional	1	1
Dirección	Cilindro de dirección	1	1
	Pasador del cilindro	2	2
	Rótulas	4	4
	Bujes de ajuste	4	4
	Bomba de trabajo	1	1
	Bomba piloto	1	1
	Válvula de control	1	1
	Válvula de seguridad	1	1
	Spool del josctick de dirección	2	4
	Racor del cilindro de dirección	2	2
Diferencial	Corona	2	4
	Planetarios	4	8
	Satélites	8	16
	Speed	2	4
	Semiejes	4	8
	Housing	2	2
	Rodamiento semieje	4	8
	Retenedor eje	2	4
	Rodamiento speed	2	2
	Shim de ajuste	12	24

Tabla 18 - continuación de la página anterior

Sistema	Descripción	Cantidad instalada	Stock mínimo
Estructural	Buje de articulación central	6	12
	Rótula de articulación central	2	4
	Pasador de articulación central	2	4
	Buje del cilindro de levante del Boom	2	4
	Pasador del cilindro de levante del Boom	2	4
	Buje del cilindro de la articulación del balde	2	4
	Pasador del cilindro de la articulación del balde	2	4
	Buje de la H	4	8
	Buje de la articulación del implemento	4	8
	Pasador de la articulación del implemento	2	4
	Rótula del cilindro del dumping	4	8
	Pasador del cilindro del dumping	4	8
	Buje soporte de la cuchilla del dumping	8	16
	Buje de bronce del basculante delantero	1	2
	Buje de bronce del basculante trasero	1	2
Tornillos de sujeción de la cabina 3/4 pulgada x 1 pulgada	6	12	
Eléctrico	Pito de 24V	1	2
	Exploradora tipo LED 24V	4	6
	Fusible de 10AMP	10	30
	Fusible de 20AMP	10	30
	Fusible de 30AMP	10	30
	Portafusibles	10	20
	Relé de 24V	12	24
	Portarelé	12	24
	Cable 3X10	60m	120m
	Alternador	1	1
	Motor de arranque	1	1
	Sensor de presión de aceite de motor	1	1
	Sensor de temperatura del convertidor	1	1
	Baterías	2	4
	Switch universal de ignición	1	2
Bombillo LED	4	8	
Luz estroboscópica	1	1	
Frenos	O-ring del paquete de frenos	8	16
	Kit paquete de disco	4	4
	Rodamiento exterior	4	8
	Rodamiento interior	4	8
	Neumático	4	8
	Llanta	4	8
	Tuerca pinadora	4	8
	Pin de seguridad	4	8
	Resorte paquete de freno	40	80
	Mando final	4	4
	Válvula freno de pie	1	1
	Válvula electromagnética	1	1
	Válvula de seguridad	1	1
	Válvula de llenado	1	1
	Acumuladores	3	6

Tabla 18 - continuación de la página anterior

Sistema	Descripción	Cantidad instalada	Stock mínimo
Transmisión	Filtro de aceite	2	2
	Bomba de transmisión	1	1
	Convertidor de torque	1	1
	Retenedor spool de la transmisión	2	2
	Retenedor del convertidor	1	1
	Retenedor de la transmisión	1	1
	Eje cardam inferior	1	1
	Tornillo sujeción base 1 pulgada x 1 1/2 pulgada	8	8
	Aspas de sujeción de la volante	10	10
Varilla barra de cambios	4	4	
Refrigeración	Rodamiento exterior del ventilador	1	1
	Ventilador	1	1
	Rodamiento interior del ventilador	1	1
	Sensor de temperatura del motor	1	1
	Sensor de tensión de la correa del ventilador	1	1
	Tapa protectora	1	1
Consumibles	Grasa	8 kg (diarios)	8k (diarios)
	Oxígeno	-	1 cilindro
	Kit disco de corte	-	1
	Kit soldadura	-	1
	Kit disco de pulir	-	1
Fluidos	Aceite de motor	7 galones	1 cuñete de 55 galones
	Aceite hidráulico	23.8 galones	1 cuñete de 55 galones
	Aceite de transmisión	7 galones	1 cuñete de 55 galones
	Aceite del diferencial	16 galones	1 cuñete de 55 galones

## **4. Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros**

### **4.1. Conclusiones**

Durante el desarrollo de la presente monografía, fue diseñado un plan de mantenimiento preventivo para el cargador frontal CAT 938G, basado en la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad. Los resultados obtenidos mostraron que es posible aplicar exitosamente el método RCM al equipo estudiado.

Al hacer el análisis de modos y efectos de falla, se determinó que el cargador CAT 938G puede dividirse en 10 subsistemas, tal y como fue descrito en el Capítulo 3.2. Así mismo, para el alcance de la presente monografía fueron identificados 37 modos de falla para el sistema motriz, 25 para el sistema hidráulico, 7 para el sistema de cabina, 13 para el sistema de dirección, 2 para el sistema del diferencial, 11 para el sistema estructural, 13 para el sistema eléctrico, 10 para el sistema de freno, 25 para el sistema de transmisión y 9 para el sistema de refrigeración. Según este análisis, el sistema motriz y el sistema hidráulico son los más propensos a fallar.

El plan de mantenimiento propuesto contiene una lista de tareas clasificadas de acuerdo a su frecuencia y su naturaleza. Con respecto a la frecuencia, las tareas fueron ordenadas así: diarias, cada 250 horas, cada 1000 horas, cada 2000 horas, cada 5000 horas y cada 10000 horas. En términos de la naturaleza de la tarea, fueron clasificadas en tres categorías: cambio de filtros, cambio de fluidos y revisiones. Lo descrito anteriormente, permitió establecer rutinas de mantenimiento más uniformes y estructuradas con respecto a las que se usan actualmente.

Por otro lado, el plan de mantenimiento propuesto contiene un análisis de monitoreo basado en condición, el cual es análisis de aceite, tanto para el sistema motriz como para el sistema hidráulico.

Fue creado un repositorio de información de mantenimiento llamado *hoja de vida del equipo*, el cual contiene la ficha técnica, los check-list y las ordenes de trabajo relacionadas con el equipo. La hoja de vida permite visualizar de forma rápida y eficiente el historial de reparaciones, lo cual ayuda a identificar tendencias de falla y, por lo tanto, a prevenirlas y corregirlas.

Al aplicar la metodología RCM, se pudo establecer el inventario mínimo de repuestos que debe existir en bodega para garantizar la operación confiable del cargador CAT 938G. Dicho inventario fue clasificado de acuerdo a cada uno de los subsistemas que se definieron en la taxonomía mencionada en el Capítulo 3.2.

#### **4.2. Recomendaciones**

En la presente monografía se diseñó un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para ser aplicado a un cargador frontal de marca CATERPILLAR. Si bien se cumplieron los objetivos específicos planteados, aún queda mucho trabajo por hacer y varias líneas de investigación por explorar, razón por la cual se hacen las siguientes recomendaciones que a juicio del autor podrían tener un impacto positivo en trabajos futuros.

En primer lugar, el plan de mantenimiento diseñado para el cargador CAT 938G está sujeto a las condiciones ambientales y operativas de la empresa Tenaris, de modo que no es

posible replicarlo a otras marcas de fabricante o a otras condiciones de trabajo. Dicho esto, se recomienda estudiar los cambios en el plan de mantenimiento en entornos ambientales más agresivos y de mayor carga operativa (minas de carbón, etc).

Por otro lado, el plan de mantenimiento propuesto fue diseñado para el cargador CAT 938G modificado especialmente para el movimiento de tubería (con el pole-forks instalado), de modo que tanto las rutinas de mantenimiento como los listados de repuestos no aplican para iguales equipos con el balde instalado. Por lo tanto, se recomienda hacer el estudio correspondiente para cargadores frontales cuya operación se enfoca en movimiento de material con el balde.

### Referencias Bibliográficas

- Bach, Y. y Bach, C. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la flota de excavadoras hidráulicas 336DL para reducir costos de reparación en la empresa Coansa del Perú Ingenieros S.A.C. Cajamarca 2017*. Universidad Privada del Norte.
- British Standards Institution (2020). *BS ISO 4406. Hydraulic Fluid Power. Fluids. Method for Coding the Level of Contamination by Solid Particles*. British Standards Institution, London, England.
- Caterpillar (2022). Caterpillar 950f wheel loader - ritchiespecs. Recuperado de: <https://www.ritchiespecs.com/model/caterpillar-950f-wheel-loader>.
- Deshpande, V. y Modak, J. (2002). Application of rcm to a medium scale industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 77(1):31–43.
- Herrera, J. (2021). *Plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad (RCM) para cargador bajo perfil LHD DERUI WJ-2 de la empresa Frontier Coal*. Universidad Industrial de Santander.
- Majumdar, S. K. (1995). Study on reliability modelling of a hydraulic excavator system. *Quality and Reliability Engineering International*, 11(1):49–63.
- Morad, A. M., Pourgol-Mohammad, M., y Sattarvand, J. (2014). Application of reliability-centered maintenance for productivity improvement of open pit mining equipment: Case study of sungun copper mine. *Journal of Central South University*, 21:2372–2382.

- Moubray, J. (2001). *Reliability-centered Maintenance*. G - Reference, Information and Interdisciplinary Subjects Series. Industrial Press.
- Oviedo, S. y Sepúlveda, Y. (2017). Diseño de un programa de mantenimiento para la flota de camiones Caterpillar 777G de Cerro Matoso, utilizando la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Master's thesis, Universidad del Norte, Colombia.
- Samanta, B., Sarkar, B., y Mukherjee, S. K. (2001). Reliability centred maintenance (RCM) for heavy earth-moving machinery in an open cast coal mine. *Cim Bulletin*, 94:104–108.
- Sarmiento, D. (2018). *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para cargador frontal LIU GONG CLG 862 de la planta de concretos de ULTRACEM*. [Monografía, Universidad Industrial de Santander]. Biblioteca Universidad Industrial de Santander.
- Sidiq, A. y Suparno (2019). The analysis of Doosan S500-LCV excavator maintenance planning to reduce downtime using reliability centered maintenance (RCM) method. *IPTEK Journal of Proceedings Series No. (5)*.

## Apéndices

### Apéndice A. Lista de tareas periódicas

Tabla 19

*Tareas periódicas del sistema motriz*

Modo de falla	Tarea a realizar	Frecuencia (horas)	Responsable	Duración (horas)
C1F1035	Verificar estado de los espárragos que sujetan el manífol.	24	Operador	0.1
C1F1035	Verificar estado de los tubos de gases de escape.	24	Operador	0.1
C1F1024	Verificar presencia de formación de hollín en la estructura del motor.	24	Operador	0.1
C1F1021	Verificar presencia de fugas de aceite de motor y/o de combustible en la estructura del motor.	24	Operador	0.1
C1F1001	Limpiar el filtro de admisión de aire primario con 30 psi aire comprimido y cambiar con una frecuencia de 250 horas de motor.	24	Operador	0.5
C1F1002	Cambio de filtro de combustible.	250	Técnico	0.5
C1F1002	Cambio de filtro de combustible separador.	250	Técnico	0.5
C1F1003	Inspeccionar si el testigo de daño de bomba de combustible está activada, si lo está cambiar la bomba de inmediato.	250	Técnico	2
C1F1028	Hacer análisis de aceite del motor para buscar desgaste de componentes. Identificar presencia de partículas de Silicio, Cobre, Hierro.	250	Técnico	48
C1F1035	Verificar estado de los tornillos y accesorios del soporte del motor.	250	Técnico	0.5
C1F1034	Verificar tensión de la correa del ventilador y del alternador.	250	Técnico	0.5
C1F1019	Verificar visualmente presencia de fugas de aceite de motor.	250	Técnico	0.5
C1F1031	Verificar visualmente presencia de fugas de combustible.	250	Técnico	0.5
C1F1021	Cambio de filtro de aceite.	250	Técnico	1.0
C1F1035	Ajustar tapón de la culata	250	Técnico	1.0
C1F1035	Verificar juego radial y axial del turbocompresor. Ajustar.	250	Técnico	1.0
C1F1011	Limpiar el posenfriador para remover material particulado adherido.	250	Técnico	0.5
C1F1035	Verificar estado del cable de aceleración. Verificar puntas del cable. En caso de encontrar desgaste o ruptura, cambiar de inmediato.	250	Técnico	0.5
C1F1017	Limpiar el catalizador de gases para remover material particulado	250	Técnico	0.5
C1F1034	Realizar prueba de compresión del motor, siguiendo el procedimiento estándar. Verificar estado de la bomba de transferencia.	500	Técnico	2.0
C1F1007	Calibrar válvulas de admisión y escape	1000	Técnico	5
C1F1037	Reparación completa del motor	2000	Taller externo	72

Tabla 20

*Tareas periódicas del sistema hidráulico*

<b>Modo de falla</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia (horas)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Duración (horas)</b>
C2F1001	Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en cilindros.	24	Operador	0.1
C2F1018	Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en el cuerpo de la válvula principal.	24	Operador	0.1
C2F1018	Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en válvula direccional.	24	Operador	0.1
C2F1011	Verificar estado de aspas del ventilador en el sistema de radiador del aceite hidráulico.	24	Operador	0.1
C2F1001	Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en mangueras y racores.	24	Operador	0.1
C2F1013	Cambiar filtro de retorno del tanque hidráulico.	1000	Técnico	1.0
C2F1021	Cambiar filtros de succión del tanque hidráulico.	1000	Técnico	1.0
C2F1013	Cambiar filtro del respiradero del tanque hidráulico.	1000	Técnico	1.0
C2F1022	Cambiar aceite hidráulico.	1000	Técnico	3.0
C2F1022	Hacer análisis de aceite hidráulico para buscar desgaste de componentes. Identificar presencia de partículas de Silicio, Cobre, Hierro.	1000	Técnico	48
C2F1014	Ajustar tornillos de sujeción del visor de nivel del depósito del aceite hidráulico.	1000	Técnico	0.1

Tabla 21

*Tareas periódicas del sistema de cabina*

<b>Modo de falla</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia (horas)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Duración (horas)</b>
C4F1007	Verificar sujeción del freno de parqueo.	24	Operador	0.1
C4F1007	Inspeccionar sujeción del switch de encendido.	24	Operador	0.1
C4F1002	Inspeccionar funcionamiento del manómetro del tablero de control.	24	Operador	0.1
C4F1007	Inspeccionar estado de la silla. De encontrarse en mal estado, solicitar cambio.	24	Operador	0.1
C4F1005	Verificar estado y fecha de carga del extintor.	24	Operador	0.1
C4F1002	Inspeccionar estado de tornillería de la cabina.	24	Operador	0.1
C4F1001	Inspeccionar estado del cinturón de seguridad. De encontrarse en mal estado, solicitar cambio.	24	Operador	0.1
C4F1006	Inspeccionar resorte del pedal de aceleración y frenos.	24	Operador	0.1
C4F1003	Inspeccionar sujeción y estado general del tablero de control.	24	Operador	0.1
C4F1003	Verificar estado de luz estroboscópica.	24	Operador	0.1
C4F1002	Verificar estado y funcionamiento de la bocina.	24	Operador	0.1

Tabla 22

*Tareas periódicas del sistema de dirección*

<b>Modo de falla</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia (horas)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Duración (horas)</b>
C3F1001	Verificar presencia de fugas de aceite en joystick de mandos.	24	Operador	0.1
C3F1002	Verificar presencia de fugas de aceite en cilindro de dirección.	24	Operador	0.1
C3F1008	Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en válvula de dirección.	24	Operador	0.1
C3F1001	Monitorear presión hidráulica que envía la bomba piloto.	24	Operador	0.1
C3F1005	Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en racores de cilindro de dirección y bomba piloto.	24	Operador	0.1
C3F1005	Inspeccionar estado de mangueras del sistema de dirección.	24	Operador	0.1
C3F1011	Verificar presencia de fugas de aceite hidráulico en cuerpo de la bomba principal.	24	Operador	0.1
C3F1002	Inspeccionar tornillos de sujeción de la base del cilindro de dirección.	24	Operador	0.1
C3F1002	Lubricar rótulas de las articulaciones del cilindro de dirección.	24	Operador	0.1
C3F1012	Verificar taraje de la válvula de seguridad.	250	Técnico	0.1
C3F1001	Medir la presión del sistema de dirección.	250	Técnico	1.0
C3F1006	Cambiar filtro de aceite de la bomba piloto.	250	Técnico	1.0
C3F1007	Cambiar aceite hidráulico de la dirección.	1000	Técnico	1.0

Tabla 23

*Tareas periódicas del sistema del diferencial*

<b>Modo de falla</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia (horas)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Duración (horas)</b>
C5F1001	Verificar presencia de fugas de aceite del diferencial por retenedor del speed.	24	Operador	0.1
C5F1001	Revisar nivel de aceite del diferencial	250	Técnico	0.5
C5F1002	Revisar tornillos de sujeción del diferencial. Ajustar de ser necesario.	250	Técnico	0.5
C5F1002	Revisar esparragos de sujeción del housing del diferencial. Ajustar de ser necesario.	250	Técnico	1.0
C5F1002	Verificar juegos en los rodamientos en el speed. Cambiar de ser necesario.	250	Técnico	2.0
C5F1001	Cambiar aceite del diferencial	1000	Técnico	2.0

Tabla 24  
Tareas periódicas del sistema estructural

Modo de falla	Tarea a realizar	Frecuencia (horas)	Responsable	Duración (horas)
C6F1001	Verificar presencia de grietas en las juntas del balde.	24	Operador	0.1
C6F1003	Verificar presencia de grietas en la estructura del boom.	24	Operador	0.1
C6F1007	Revisar los topes de eculización del chasis.	24	Operador	0.1
C6F1006	Lubricar las articulaciones del balde y del chasis	24	Operador	0.1
C6F1008	Verificar estado de mangueras de lubricación del basculante.	250	Técnico	0.1
C6F1011	Verificar estado de los esparragos de sujeción de la tapa en U del basculante. Ajustar.	250	Técnico	0.5
C6F1006	Revisar y corregir grietas en el chasis.	2000	Taller externo	24
C6F1005	Cambiar cuchilla del balde.	5000	Técnico	2.0
	Cambiar rótula, shims de ajuste y pasador de la articulación central.	5000	Técnico	5.0
C6F1010	Cambiar bujes del basculante del eje trasero.	5000	Técnico	2.0
C6F1004	Cambiar bujes, rótulas y pasadores del cilindro de dirección.	5000	Técnico	2.0
C6F1005	Cambiar bujes y pasadores que soportan la cuchilla del dumping.	5000	Técnico	2.0

Tabla 25  
Tareas periódicas del sistema eléctrico

Modo de falla	Tarea a realizar	Frecuencia (horas)	Responsable	Duración (horas)
C7F1005	Hacer inspección visual de la superficie de correa del alternador, si la encuentra agrietada reportar de inmediato.	24	Operador	0.1
C7F1006	Verificar correcto funcionamiento de luz estroboscópica.	24	Operador	0.1
C7F1009	Verificar correcto funcionamiento del alarma de reversa	24	Operador	0.1
	Verificar correcto funcionamiento de luces y pito.	24	Operador	0.1
C7F1008	Limpiar conectores del arnés eléctrico.	120	Técnico	0.5
C7F1001	Revisar nivel de agua de batería. Completar.	120	Técnico	0.5
C7F1001	Rotar baterías.	120	Técnico	0.1
C7F1010	Limpiar caja de fusibles y porta-relés. Identificar posibles fallas.	120	Técnico	0.5
C7F1010	Verificar que el cableado de energía se encuentre en buen estado. De no ser así, reportar de inmediato.	120	Técnico	0.1
C7F1004	Limpiar conexiones del motor de arranque y alternador.	250	Técnico	0.5
C7F1005	Limpiar conexiones de bornes de las baterías.	250	Técnico	0.5
C7F1005	Monitorear conexión y correcto funcionamiento de la electroválvula de freno de parqueo.	250	Técnico	0.5
C7F1005	Hacer prueba de continuidad del cableado eléctrico.	250	Técnico	1.0
C7F1005	Desmontar y hacer mantenimiento del alternador.	1000	Técnico	2.0
C7F1005	Desmontar y hacer mantenimiento del motor de arranque.	Técnico	2.0	

Tabla 26

*Tareas periódicas del sistema de frenos*

<b>Modo de falla</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia (horas)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Duración (horas)</b>
C8F11007	Verificar presencia de fugas de aceite en mandos finales.	24	Operador	0.1
C8F1006	Revisar estado de esparragos de sujeción de las ruedas. Ajustar si es necesario.	24	Operador	0.1
C8F1005	Verificar presencia de fugas de aceite en sello duo-cone de las ruedas. Corregir.	24	Operador	0.1
C8F1005	Revisar nivel de aceite en los mandos finales.	250	Técnico	0.1
C8F1008	Revisar funcionamiento de la válvula de freno del pie.	250	Técnico	0.1
C8F11007	Hacer análisis de aceite de frenos. Reportar si se encuentran más de 50 ppm.	250	Técnico	48
C8F1009	Hacer prueba de presión de la bomba de frenos y programar cambio se está un 20% por debajo de su valor de trabajo nominal.	250	Técnico	3.0
C8F11007	Cambiar aceite de los mandos finales.	1000	Técnico	2.0
C8F11007	Cambiar sellos del paquete de frenos.	5000	Técnico	3.0
C8F11007	Cambiar kit disco de frenos.	10000	Técnico	5.0
C8F1006	Cambiar rodamientos de mandos finales.	10000	Técnico	3.0
C8F1006	Cambiar tuerca y pin de seguridad de mandos finales.	10000	Técnico	3.0

Tabla 27

*Tareas periódicas del sistema de transmisión*

<b>Modo de falla</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia (horas)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Duración (horas)</b>
C9F1001	Verificar presencia de fugas de aceite en transmisión y convertidor.	24	Operador	0.1
C9F1001	Verificar presencia de fugas de aceite en bomba de lubricación del convertidor..	24	Operador	0.1
C9F1001	Verificar presencia de fugas de aceite en spool de la transmisión..	24	Operador	0.1
C9F1002	Revisar estado del varillaje de mando de los cambios de la transmisión..	24	Operador	0.1
C9F1021	Revisar nivel de aceite de la transmisión..	24	Operador	0.1
C9F1013	Revisar estado de la tornillería de sujeción de la carcasa de la transmisión y convertidor..	24	Operador	0.1
C9F1012	Verificar presencia de fugas de aceite por válvula de alivio del convertidor..	24	Operador	0.1
C9F1016	Monitorear temperatura del aceite de la transmisión..	24	Operador	0.1
C9F1022	Verificar presencia de aceite entre el motor y el convertidor..	24	Operador	0.1
C9F1016	Verificar estado de tornillería de sujeción del enfriador de aceite..	24	Operador	0.1
C9F1024	Hacer análisis de aceite de la transmisión para identificar presencia de contaminación y/o desgaste de componentes internos.	250	Técnico	48
C9F1023	Hacer prueba de presión de la bomba de lubricación. Notificar al departamento de servicio si está por debajo del 20% de su punto nominal.	250	Técnico	1.0
C9F1016	Limpiar el enfriador de aceite de la transmisión para remover material particulado.	250	Técnico	0.5
C9F1015	Verificar presencia de fugas por retenedor de la transmisión y convertidor.	250	Técnico	0.1
C9F1025	Cambiar aceite de la transmisión.	1000	Técnico	1.0
C9F1025	Cambiar filtro de aceite de la transmisión.	1000	Técnico	0.5

Tabla 28  
*Tareas periódicas del sistema de refrigeración*

<b>Modo de falla</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia (horas)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Duración (horas)</b>
C10F1008	Inspeccionar el lado del aire de enfriamiento del posenfriador. Identificar presencia de aletas dañadas, corrosión, tierra, grasa, insectos, hojas, aceite y otro tipo de residuos. Limpiar de ser necesario.	24	Operador	0.5
C10F1007	Comprobar nivel de refrigerante del sistema de enfriamiento.	24	Operador	0.1
C10F1009	Verificar estado del termostato.	24	Operador	0.1
C10F1009	Inspeccionar sistema de enfriamiento en busca de fugas.	24	Operador	0.1
C10F1009	Limpiar aletas del radiador usando aire comprimido. La máxima presión del aire para limpieza debe ser inferior a 30 PSI.	250	Técnico	0.5
C10F1009	Cambiar termostato.	250	Técnico	0.5
C10F1003	Verificar estado de juego y aspas del ventilador.	250	Técnico	0.1
C10F1002	Verificar estado de las correas de accionamiento del ventilador.	250	Técnico	0.1
C10F1001	Verificar estado de la polea del ventilador.	250	Técnico	0.1
C10F1005	Limpiar aletas del cilindro del motor.	250	Técnico	0.5
C10F1001	Cambiar rodamientos del ventilador.	250	Técnico	1.0