

DISEÑO DE UN MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO
RCM A LOS SISTEMAS DE MAYOR CRITICIDAD PARA LA MAQUINARIA DEL
BANCO DE MAQUINARIA DE LA GOBERNACIÓN DE CASANARE

OMAR FERNANDO MOLANO MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISIOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
YOPAL
2022

DISEÑO DE UN MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO
RCM A LOS SISTEMAS DE MAYOR CRITICIDAD PARA LA MAQUINARIA DEL
BANCO DE MAQUINARIA DE LA GOBERNACIÓN DE CASANARE

OMAR FERNANDO MOLANO MARTÍNEZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR:
DANIEL ORTÍZ PLATA
INGENIERO MECÁNICO
MAGISTER GERENCIA DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISIOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
YOPAL
2022

NOTA DE PROYECTO ESCANEADA

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UIS ESCANEADA

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios quien me permitió estudiar y cursar esta especialización guiándome en todo tiempo, a mis padres Omar Molano y Ana Judith Martínez, quienes me apoyaron y motivaron a continuar mis estudios profesionales, sin su dedicación y trabajo no sería quien soy hoy, así mismo a mi director de monografía el ingeniero Daniel Ortiz Plata por su dedicación y compromiso para ayudarme a culminar este proyecto de grado y a todos los profesores quienes compartieron de sus conocimientos y experiencias durante todo el proceso de formación académica.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	17
4.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	17
4.2 GENERALIDADES GOBERNACIÓN DE CASANARE	20
4.2.1 MISIÓN	21
4.2.2 VISIÓN.....	21
4.2.3 ORGANIGRAMA.....	22
4.3 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE MAQUINARIA	23
4.3.1 Operación de la maquinaria.	24
5. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO.....	25
5.1 DOCUMENTOS	25
5.2 PERSONAL.....	26
5.3 REPUESTOS.....	27
5.3.1 Almacén.	27
5.3.2 Compras.....	27
5.3.3 Proveedores.....	28
6. DESARROLLO METODOLOGICO	29
6.1 JERARQUIA Y FAMILIA DE EQUIPOS	29
6.1.1 LISTADO DE EQUIPOS.....	29
6.1.2 FAMILIA DE EQUIPOS.....	31

6.2	JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS	31
6.3	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO.....	32
7.	SELECCIÓN DE SISTEMA CRITICO PARA RCM.....	36
8.	DESARROLLO DEL RCM DEL SISTEMA CRITICO.....	38
8.1	TAXONOMIA DE EQUIPO.....	38
8.2	FUNCIONES, FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLA DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS.....	38
8.2.1	Sistema eléctrico	39
8.2.2	Sistema de frenos	40
8.2.3	Sistema de suspensión.	41
8.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA.....	42
8.4	ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE DECISIÓN LÓGICO.....	52
8.5	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DESARROLLADO A PARTIR DEL RCM.....	53
8.6	PROCEDIMIENTO INTERNO PARA REPLICAR EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM.....	63
9.	CONCLUSIONES.....	64
	BIBLIOGRAFIA.....	65

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Listado de equipos	29
Tabla 2. Familia de Equipos	31
Tabla 3. Promedio de máquinas operativas.....	32
Tabla 4. Equipos más importantes.....	32
Tabla 5. Valoración consecuencias de fallos	33
Tabla 6. Escala de valoración de criticidad	33
Tabla 7. Codificación por color.....	33
Tabla 8. Cantidad de horas en falla por maquinaria	34
Tabla 9. Evaluación de criticidad de los Equipos	35
Tabla 10. Matriz de criticidad para los sistemas de la volqueta sencilla	36
Tabla 11. Codificación por color de la matriz	36
Tabla 12. Matriz de selección sistema crítico	37
Tabla 13. Definición y funciones del sistema eléctrico.....	39
Tabla 14. Definiciones y funciones del sistema de frenos	40
Tabla 15. Definiciones y funciones del sistema de suspensión	41
Tabla 16. Función, falla funcional y modos de falla sistema eléctrico	42
Tabla 17. Función, falla funcional y modos de falla sistema de frenos	46
Tabla 18. Función, falla funcional y modos de falla sistema de suspensión.....	50
Tabla 19. Tareas de mantenimiento del sistema eléctrico.....	53
Tabla 20. Tareas de mantenimiento del sistema de frenos.....	57
Tabla 21. Tareas de mantenimiento del sistema de suspensión.....	61

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Organigrama Gobernación de Casanare	22
Figura 2. Taller de obras públicas de la Gobernación de Casanare	23
Figura 3. Taxonomía equipos	38
Figura 4. Árbol lógico de decisión	52

GLOSARIO

RCM: Reliability Centered Maintenance, siglas en inglés que significa, mantenimiento centrado en confiabilidad.

FMEA: Failure Mode and Effect Analysis, siglas en inglés que significa, análisis de modos de falla y efectos.

CM: Costos de mantenimiento.

EPP'S: Elementos de protección personal

OREDA: Norma internacional ISO 14224

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO RCM A LOS SISTEMAS DE MAYOR CRITICIDAD PARA LA MAQUINARIA DEL BANCO DE MAQUINARIA DE LA GOBERNACIÓN DE CASANARE

AUTOR: OMAR FERNANDO MOLANO MARTÍNEZ

PALABRAS CLAVE: CRITICIDAD, PLAN, MANTENIMIENTO, RCM, DISEÑO, MAQUINARIA, GOBERNACIÓN DE CASANARE

DESCRIPCIÓN: La presente monografía tiene como propósito identificar inicialmente cual es el equipo y posteriormente el sistema más crítico que se encuentra en operación del banco de maquinaria de la Gobernación de Casanare y que se encuentra realizando el mantenimiento a las vías secundarias y terciarias del departamento, para ello se realiza el análisis de criticidad identificando las prioridades de la misma, mediante este procedimiento se selecciona el equipo al que se le aplica la metodología RCM, para ello se hace uso la hoja de vida de la maquinaria, la experiencia del personal de mantenimiento y quienes operan las máquinas, así como también el conocimiento adquirido durante el proceso de formación. Al realizar la identificación preliminar de las fallas, se procede a diseñar el plan de mantenimiento del equipo en estudio, para socializarlo con el personal de mantenimiento y capacitarlo con el objetivo que los procesos al interior del taller sean más eficientes, y al finalizar el proyecto, se deja establecido el procedimiento para construir el plan de mantenimiento con el fin de replicarlo a los demás sistemas y equipos que constituyen la maquinaria del Departamento de Casanare.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Daniel Ortiz Plata. Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MODEL OF A MAINTENANCE PLAN APPLYING RCM TO THE GREATER CRITICALITY SYSTEM FOR THE MACHINERY OF THE MACHINERY BANK OF THE GOVERNMENT OF CASANARE

AUTHORS: OMAR FERNANDO MOLANO MARTÍNEZ

KEY WORDS: CRITICALITY, PLAN, MAINTENANCE, RCM, DESIGN, MACHINERY, GOVERNMENT OF CASANARE

DESCRIPTION: The purpose of this monograph is to identify initially what the equipment is and subsequently the most critical system that is in operation of the machinery bank of the Government of Casanare and that is performing maintenance on the secondary and tertiary roads of the department, for this the criticality analysis is carried out identifying its priorities, through this procedure the equipment to which the RCM methodology is applied is selected, for this the life sheet of the machinery is used, the experience of the maintenance personnel and those who operate the machines, as well as the knowledge acquired during the training process. When carrying out the preliminary identification of the failures, the maintenance plan of the equipment under study is designed, to socialize it with the maintenance personnel and train them with the objective that the processes within the workshop are more efficient, and at the end of the project, the procedure to build the maintenance plan is established in order to replicate it to the other systems and equipment that constitute the machinery of the Department of Casanare.

*Degree work

**Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: David Ortiz Plata. Mechanical Engineer

INTRODUCCIÓN

La Gobernación de Casanare en la actualidad cuenta con un Banco de Maquinaria en propiedad, para intervenir las vías de orden secundario y terciario de acuerdo con un cronograma anual y cuando lo requieran en caso de emergencias, estas vías conectan los diferentes municipios, veredas, corregimientos, caseríos y centros poblados del Departamento para el transporte de carga, insumos y personas. Dicha maquinaria no cuenta con un mantenimiento preventivo programado, por lo que generalmente se realizan mantenimientos correctivos, por lo tanto, no se conoce cuándo pueden fallar los equipos y esto repercute en la disponibilidad de estas para cumplir con las eventualidades que se presenten en las vías.

Todos los trabajos que se realizan en los vehículos son informados por el conductor del automotor, quien da conocimiento al jefe de taller o al asistente de mantenimiento.

Sumado a esto no se tienen establecidos tiempos de ejecución de cada trabajo diferente que debe realizar el personal de mantenimiento, lo que causa un valor incierto del costo horas-hombre del mantenimiento y su duración, así mismo el costo en repuestos.

Al momento de escribir el presente proyecto, el Banco de Maquinaria cuenta con 42 máquinas habilitadas de las cuales 19 son máquinas de trabajo pesado, allí se incluyen: 5 motoniveladoras, 3 retrocargadores, 4 Rodillos compactadores, 2 buldócer y 5 excavadoras; 23 vehículos de transporte y carga los cuales comprenden: 11 volquetas, 6 carrotanques, 2 carro-taller, 3 tractocamiones con su respectiva cama-baja, y 1 camión grúa. El mantenimiento actual de los vehículos se realiza bajo el criterio que cada conductor tenga, ya que se atiende según las fallas y no bajo un control o programa de mantenimiento preventivo, lo que causa más mantenimientos correctivos. El cambio de aceite y engrases es el mantenimiento más organizado con el que hoy cuenta la entidad, pues es el más controlado, basado en su kilometraje.

El objetivo de la presente monografía es la de disminuir la cantidad de trabajo correctivo que genera mucha indisponibilidad de los vehículos de transporte y de maquinaria amarilla, para evitar que estos incumplan con las metas pactadas durante la vigencia 2022.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La operación del Banco de Maquinaria que se encuentra adscrito a la secretaría de infraestructura se realiza en torno a un proyecto de inversión el cual puede tener una ejecución trimestral, semestral o anual. Aunque hay personal de planta, éste no es suficiente para operar toda la maquinaria, por lo tanto se contrata un personal operativo y administrativo para completar la nómina que lleva a cabo dicho proyecto, antes de eso se tiene en cuenta la maquinaria que está operativa de carácter minero o de carga y transporte y se relacionan con los operadores y conductores necesarios, a su vez se proyectan las vías a intervenir de orden secundario y terciario de los diferentes municipios del departamento de acuerdo a la necesidad que hay las vías con el fin de determinar los kilómetros a intervenir en cada proyecto, todo esto se realiza con el propósito de facilitar el acceso de las diferentes mercancías, insumos, herramientas y el transporte de personas entre los diferentes municipios, veredas, corregimientos y centros poblados del departamento de Casanare.

En los últimos tres proyectos se tenía como meta realizar el mantenimiento y la recuperación de la malla vial de 245 km, 90 km y 307 km respectivamente los cuales no se pudieron completar al 100% con la maquinaria propia, ya que recurrentemente los vehículos de carga pesada como las volquetas y tracto camiones permanecían en el taller para labores de mantenimiento correctivo, así como también la maquinaria amarilla encargada de la remoción de escombros, cargue de material de río y apertura de vías. Para dar cumplimiento a cada proyecto, se procedió a alquilar maquinaria de terceros, esto llevó a sobre costos en los proyectos de inversión de “fortalecimiento a la movilidad de las vías secundarias y terciarias del departamento de Casanare”.

2. JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto principalmente es la de disminuir los mantenimientos correctivos de los vehículos de transporte y de maquinaria amarilla, para evitar que estos incumplan con las metas pactadas en los proyectos de inversión “Fortalecimiento a la movilidad de las vías secundarias y terciarias del departamento de Casanare”, pertenecientes a la secretaría de infraestructura. A su vez, al ser la Gobernación de Casanare una entidad pública, ésta debe velar por el bienestar de la población casanareña, si la maquinaria se encuentra operativa y su disponibilidad aumenta, las vías serán intervenidas de acuerdo con la programación realizada al inicio de cada proyecto y las emergencias que ocasiona la temporada de lluvias en las zonas montañosas serán atendidas oportunamente.

La metodología que se utilizará para el desarrollo del programa de mantenimiento está basada en el análisis del mantenimiento actual que tiene la entidad, y de las correcciones que se puedan emplear para cumplir con las expectativas de la entidad oficial, utilizando los conocimientos adquiridos en el proceso de formación.

Adicionalmente al identificar el equipo y a su vez el sistema con mayor criticidad, se hará uso de la herramienta “mantenimiento centrado en confiabilidad” (RCM), para alcanzar los requerimientos de seguridad y disponibilidad del equipo que se encuentra en estudio, y al mismo tiempo esta metodología sentará las bases para replicarlo a la demás maquinaria que requiere implementar el plan de mantenimiento desarrollado en la presente monografía de grado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un plan de mantenimiento aplicando RCM a los sistemas de la máquina que resulte con mayor criticidad para el Banco de Maquinaria de la Gobernación de Casanare.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Jerarquizar equipos y familia de equipos.
- ❖ Identificar la máquina y sus sistemas más críticos Aplicar el modelo de criticidad de equipos a toda la maquinaria para seleccionar la máquina y los sistemas a los cuales se le aplicará RCM.
- ❖ Desarrollar el plan de mantenimiento a los sistemas de mayor criticidad basado en RCM.
- ❖ Establecer el procedimiento interno para formular el plan de mantenimiento, basado en RCM de tal forma que se pueda replicar a los demás sistemas y máquinas.

4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

4.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Dentro de las herramientas modernas para gestionar el mantenimiento, se encuentra el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), el cual, de acuerdo con la Norma IEC 60300-3-11 ¹, se expresa como “Un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación”.

Esta estrategia tiene las siguientes características:

- ❖ Enfoque en preservar las funciones de los equipos
- ❖ Evitar, reducir o eliminar las consecuencias de las fallas
- ❖ Construir defensas costo-efectivas razonables contra fallas y aceptar la ocurrencia de algunas fallas
- ❖ Priorizar técnicas predictivas, de monitorización de la condición
- ❖ Extender el ciclo de vida útil del equipo
- ❖ Establecer prioritariamente, y en su orden, actividades del tipo evaluación de la condición, cambios o reacondicionamientos programados, búsqueda de fallas, rediseños y correr a falla.
- ❖ Disponer de personas e información que permitan identificar los modos de falla de los equipos
- ❖ Los equipos modernos tienen múltiples formas de probabilidad de falla
- ❖ Definir la frecuencia de las tareas predictivas basada en los periodos de evolución de la falla

¹ IEC 60300-3-11, Application guide – Reliability centred maintenance, International Electrotechnical Commission, 1999.

- ❖ Optimizar la disponibilidad teniendo en cuenta la seguridad, el medio ambiente, los costos y cualquier otro factor empresarial crítico
- ❖ Desarrollar planes teniendo en cuenta condiciones ambientales, requerimientos de clientes y regulatorias, operativas, mantenibilidad
- ❖ Fijar tareas con base en la visión multidisciplinaria de los participantes del proceso
- ❖ Los fabricantes de los equipos juegan un papel limitado, pero deben participar

Se utilizó el término RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad por STANLEY NOWLAN y HOWARD F. HEAP ², quienes inicialmente construyeron la metodología para elaborar los planes de mantenimiento para la aerolínea United Airlines.

La metodología RCM contempla los siguientes pasos o respuestas a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones del equipo o sistema?
2. ¿En qué forma falla el equipo?
3. ¿Qué causa la falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando falla?
5. ¿De qué forma es importante si falla?
6. ¿Qué puede hacerse para evitar la falla?
7. ¿Qué puede hacerse si no se puede prevenir la falla?

Se analizaran las funciones de los sistemas, dado que cuando una de estas deja operar afectará directamente el desarrollo de las tareas para las cuales fue creada la máquina en su totalidad o alguno de sus sistemas, luego de identificar las funciones de los sistemas se procede a identificar la pérdida de dicha función a lo que se da el nombre de fallas funcionales; cuando se identifica que causa la falla o el evento que causa la falla de acuerdo a la Norma SAE JA1011 ³, conocemos los

² Nowlan, F. Stanley and Howard F. Heap, "Reliability-Centered Maintenance", Department of Defense, Washington, D.C, 1978, Report Number AD-A066579, Unclassified.

³ SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, Society of Automotive Engineering, 1999.

modos de falla. Dado que estas fallas que se presentan en los equipos, sistemas, partes y demás elementos que conforman la máquina, se presentaran consecuencias con efectos de mayor o menor gravedad, y estas consecuencias pueden ser sobre :

- ❖ La seguridad física
- ❖ El medio ambiente
- ❖ La imagen corporativa
- ❖ La confiación o resultados Operacional

Para identificar los efectos se realiza una matriz de valoración de riesgos, que puede basarse en lo indicado en la Norma MIL-STD-882E ⁴, con el propósito de establecer los niveles de riesgo al final las tareas de mantenimiento y así disminuir el riesgo o mitigarlo. El siguiente paso es el de determinar las tareas de mantenimiento con el cual se pretende reducir el riesgo identificado en la matriz de valoración de riesgos, las cuales pueden ser en su orden:

1. Monitoreo en línea
2. Análisis de condición
3. Recuperar condición
4. Cambio de partes
5. Búsqueda de fallas
6. Operar hasta que falle
7. Cambio de diseño

Al establecer las tareas de mantenimiento, es importante establecer las frecuencias con las cuales se realizarán, las cuales pueden ser predictivas haciendo uso de la curva P-F, preventivas o por búsqueda de fallas.

⁴ MIL-STD-882E, Department of Defense Standard Practice: System Safety, 2012.

Los recursos disponibles son la fuente de mayor importancia a la hora de establecer el plan de mantenimiento. Allí se tendrá en cuenta el personal que se encuentre capacitado, los materiales y las herramientas necesarias para el correcto desarrollo de cada actividad.

4.2 GENERALIDADES GOBERNACIÓN DE CASANARE

Casanare es uno de los departamentos que forman la República de Colombia, su capital es Yopal, está ubicado en la región Orinoquía, limitando al norte con Arauca, al este con Vichada, al sur con Meta, al oeste con Cundinamarca y al noroeste con Boyacá, con 44.490 km² es el décimo departamento más extenso.⁵ Su actual Gobernador es el ingeniero Salomón Andrés Sanabria Chacón, quien fue electo por voto popular en las pasadas elecciones del 27 de octubre de 2019. Está dividido por 19 municipios, once corregimientos, 106 inspecciones de policía y numerosos caseríos y centros poblados.⁶

Tradicionalmente la mayor actividad económica del departamento ha sido la ganadería, en particular en los municipios de Paz de Ariporo, Hato Corozal y Trinidad y el cultivo de arroz en los municipios de Aguazul y Yopal, pero a finales del siglo XX empezó la bonanza petrolera en los campos Cusiana y Cupiagua y con ello la mayor generación de ingresos. En la actualidad, además, el cultivo de aceite de palma ha tomado fuerza en los municipios de Villanueva y Yopal.

El departamento cuenta con 9 secretarías, entre ellas se sitúa la Secretaría de Infraestructura y entre sus funciones se encuentra la de gestionar la construcción, mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura física y vial del departamento de conformidad con la normatividad vigente. La Secretaría de Infraestructura posee un banco de maquinaria que cuenta con los diferentes vehículos de transporte y carga pesada, así como la maquinaria amarilla.

⁵ GOBERNACIÓN DE CASANARE. Presentación [En línea] <https://www.casanare.gov.co/ElCasanare/Paginas/Presentacion.aspx> [citado el 30 de mayo de 2022]

⁶ GOBERNACIÓN DE CASANARE. Información del departamento [En línea] <https://www.casanare.gov.co/ElCasanare/Paginas/Informacion-del-Departamento.aspx> [citado el 30 de mayo de 2022]

4.2.1 MISIÓN

Como entidad territorial, la Gobernación de Casanare, está orientada al cumplimiento de los fines del Estado, a través de robustos procesos de planificación y participación, que impulsen el desarrollo económico y social del departamento.⁷

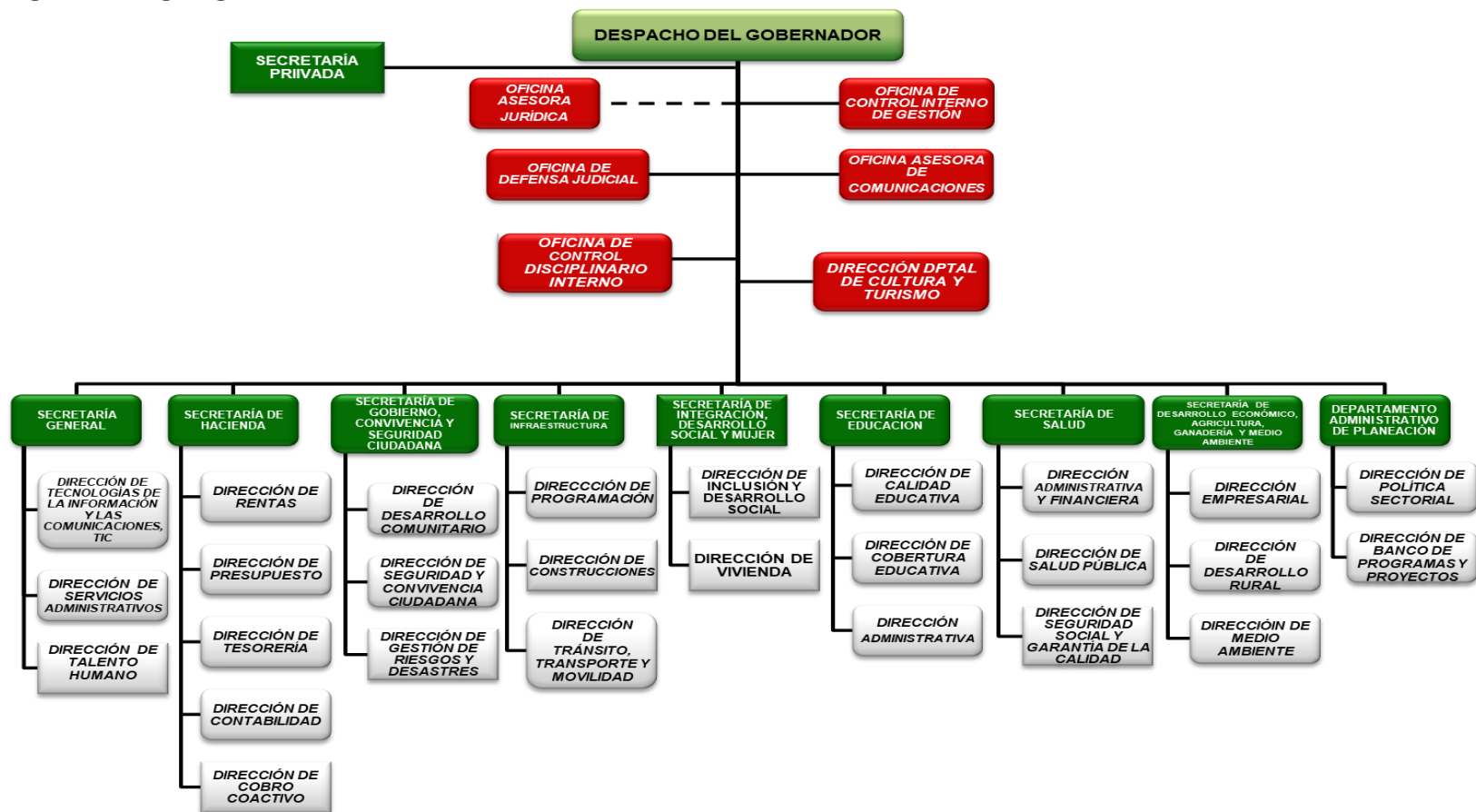
4.2.2 VISIÓN

La Gobernación de Casanare en el año 2030, será una entidad más eficiente en la gestión y ejecución de la inversión pública, basada en un modelo de gobierno innovador e incluyente que propenderá por la participación, la equidad, la productividad, prestando bienes y servicios que garanticen el desarrollo, crecimiento social, sostenibilidad y prosperidad del departamento.

⁷ RESOLUCIÓN No. 0017 de 2021 [Gobernación de Casanare]. Por medio de la cual se actualiza y adopta la misión y visión de la Gobernación de Casanare. 15 de febrero de 2021.

4.2.3 ORGANIGRAMA

Figura 1. Organigrama Gobernación de Casanare.



4.3 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE MAQUINARIA

La Gobernación de Casanare tiene dispuesto un taller de obras públicas en la ciudad de Yopal (Figura 2), capital del departamento, allí se encuentra el área administrativa y de mantenimiento, donde se cuenta con herramientas y bodega de repuestos, así como de áreas de mecánica, soldadura, torno y patio de maniobras. Además, goza de un grupo de trabajo conformado por conductores de vehículos de transporte, operadores de maquinaria pesada y obreros, con el fin de mantener las vías de segundo y tercer orden, y habilitar nuevas vías con el propósito de facilitar el paso de vehículos de carga y pasajeros, así como de turistas a los diferentes puntos del departamento en los cuales se hace necesario el acceso terrestre.

Figura 2. Taller de obras públicas de la Gobernación de Casanare



El banco de maquinaria funciona mediante trabajadores públicos oficiales y contratados mediante nómina temporal, los cuales son reclutados mediante un proyecto de intervención vial denominado “fortalecimiento a la movilidad de las vías secundarias y terciarias del departamento de Casanare” y se establecen diferentes frentes de trabajo de personal y maquinaria para cumplir con el mencionado proyecto.

4.3.1 Operación de la maquinaria.

De acuerdo con la programación realizada previamente por el coordinador del banco de maquinaria y el secretario de infraestructura, se delega a los ingenieros civiles, que tienen a cargo los diferentes frentes de trabajo, realizar las salidas de personal, maquinaria y herramientas necesarias para la intervención de las vías. En campo se encuentran inspectores viales quienes dirigen la operación de las máquinas de acuerdo con el plan a intervenir en la vía, a su vez acompañando la realización de la prueba preoperativa de las máquinas y reportando cualquier eventualidad con las mismas o con los operadores.

1.4.2 Explotación de material. El departamento dispone de 5 canteras de extracción de material rocoso para usar en las vías, en estas canteras se hace el proceso de selección del material dependiendo de la necesidad, ya sea para relleno, confirmación o rehabilitación de la vía.

5. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO

En la actualidad, el proceso de ejecutar un mantenimiento a un equipo, máquina o vehículo es muy sencillo. El proceso inicia cuando el operador y/o conductor da aviso mediante llamada telefónica, cuando este se encuentre en campo o diligenciando el formato solicitud de servicio al llegar al taller, en el cual informa las anomalías que presenta el automotor al supervisor de mantenimiento, al mismo tiempo, el supervisor de mantenimiento abre una orden de trabajo y dispone del personal y repuestos para atenderlas. Por otra parte, cuando la máquina tiene un mantenimiento programado, como los cambios periódicos de aceite y filtros, se coordina con antelación.

Al ingresar al taller, las máquinas son revisadas por el personal de mantenimiento, quienes pueden ser el jefe de taller o el supervisor de mantenimiento, acompañados del operador del vehículo quien da un reporte más detallado del sistema a intervenir, y los trabajos se ejecutan en función de la experiencia del personal de mantenimiento únicamente, dado que no se cuenta con manuales de mantenimiento para la mayoría de la maquinaria causando que en ocasiones los mantenimientos sean demorados y, por lo tanto, no se pueda tener un control en la duración de los tiempos ya que no están establecidos, así como de las horas de personal de mantenimiento.

El técnico asignado para la máquina se apoya en los auxiliares de mecánica para llevar a cabo los trabajos y también para solicitar los repuestos necesarios mediante el formato de solicitud de repuestos en insumos. Para habilitar el automotor en cuestión, al terminar, el técnico da salida al vehículo y diligencia el formato de reporte de mantenimiento y el supervisor de mantenimiento aprueba y cierra la orden de trabajo dando por terminado el mantenimiento.

Por último, el supervisor de mantenimiento actualiza la hoja de vida del equipo detallando los trabajos de mecánica, hidráulica, electricidad, o soldadura realizados, junto con el técnico asignado y la fecha de inicio y de terminación del trabajo.

5.1 DOCUMENTOS

La Gobernación de Casanare, a través de la plataforma MECI - CALIDAD ha implementado una serie de mapas de procesos, procedimientos y formatos debidamente codificados para llevar a cabo las operaciones diarias y de contratación con el departamento. En el caso particular del banco de maquinaria, se cuenta con los siguientes documentos:

- ❖ FO-IF-17 Lista de Chequeo y Rendimiento Diario de la Maquinaria
- ❖ FO-IF-19 Ficha de Entrega Maquinaria
- ❖ FO-IF-23 Reporte de Mantenimiento
- ❖ FO-IF-29 Control de Origen de Repuestos e Insumos
- ❖ FO-IF-30 Orden de Mantenimiento V.03
- ❖ FO-IF-31 Formato Hoja vida Maquinaria v2
- ❖ FO-IF-32 Acta de Inspección de Maquinaria Amarilla
- ❖ FO-IF-33 Solicitud de Repuestos e Insumos
- ❖ FO-IF-35 Acta de Entrega de Maquinaria V1
- ❖ PESV-FOR-15- PREOPERACIONAL DE VEHICULOS
- ❖ PESV-FOR-16-PREOPERACIONAL PARA MAQUINARIA

Los documentos se encuentran en físico en las oficinas del banco de maquinaria para cuando sean requeridos, así como también se pueden consultar en la página de la gobernación de Casanare. ⁸

5.2 PERSONAL

La Gobernación de Casanare dispone de una nómina temporal que complementa la nómina oficial, de manera que se cuenta con conductores de maquinaria pesada como volquetas, carrotanques y tracto camiones, y operadores de maquinaria amarilla, que manejan excavadoras, retrocargadores, motoniveladoras, buldóceres y vibro-compactadores. En cuanto al área de mantenimiento, el taller cuenta con técnicos mecánicos, técnicos eléctricos con énfasis automotriz, técnico soldador, los respectivos auxiliares, y en la dirección se encuentran el ingeniero mecánico como jefe de taller y el supervisor de mantenimiento, quienes atienden las necesidades que presentan la maquinaria, ya sea en el taller de Yopal, o en los

⁸ GOBERNACIÓN DE CASANARE. Presentación [En línea]
<https://www.casanare.gov.co/NuestraGestion/Paginas/Manual-Procesos-y-Procedimientos.aspx>
 [Citado el 20 de junio de 2022]

diferentes frentes de trabajo que se encuentren vigentes en el departamento y deban desplazar personal para realizar mantenimiento a las máquinas, cabe anotar que este personal hace parte de la nómina temporal.

Ocasionalmente se contrata un soldador externo cuando la demanda supera al técnico contratado o requiere de una soldadura especializada, y algunos trabajos específicos de torno y mecanizado de piezas específicas se realizan en talleres externos, con el fin de dar confiabilidad al mantenimiento que se lleva a cabo a determinada máquina.

5.3 REPUESTOS

La Gobernación de Casanare cuenta con un Almacén departamental en el cual se guardan todo tipo de insumos, repuestos, inmuebles, accesorios, herramientas y elementos afines, que son necesarios para la operación diaria de la entidad, así como de la recepción de suministros contratados, y es controlado por la oficina administrativa de la secretaría general.

5.3.1 Almacén.

Adicionalmente, en las instalaciones del taller de obras se cuenta con dos bodegas donde se almacenan los repuestos que salen del Almacén departamental, dado que el depósito de los insumos no puede ser de mayor tiempo como resultado del ingreso constante de nuevos suministros de las diferentes secretarías de la Gobernación. El control de estos se realiza mediante bases de datos en Excel y son actualizados por el jefe de taller o el supervisor de mantenimiento.

5.3.2 Compras.

La secretaría de infraestructura cuenta con una caja menor cuyo objeto es el de poseer un medio efectivo de disponibilidad inmediata de recursos que tengan el carácter de situaciones imprevistas, urgentes, imprescindibles o inaplazables para sufragar los gastos relacionados con: reparaciones menores por daños causados por el uso, compra de repuestos, insumos, herramientas, piezas de desgaste menores, así como compra de equipos pequeños, adquisición de servicios temporales relacionados al mantenimiento de la maquinaria, todo esto, dentro de la operación de la maquinaria amarilla, vehículos de carga pesada y equipos que se encuentran en el desarrollo y atención de las vías secundarias del Departamento.

Para realizar la compra de los respectivos repuestos se verifica la base de datos en Excel de los repuestos adquiridos previamente por contratación pública y si no se encuentran en stock se procede a diligenciar el formato de solicitud de repuestos e insumos, y se contacta con los proveedores solicitando los repuestos necesarios.

5.3.3 Proveedores.

El banco de maquinaria cuenta con diferentes aliados que suministran toda clase de repuestos, herramientas e insumos menores para los automotores, así como talleres especializados en maquinaria pesada. Los principales proveedores del banco de maquinaria son:

- ❖ FILTROS Y LUBRICANTES LOPEZ Y COMPAÑIA LIMITADA
- ❖ COMERCIALIZADORA IMPORTADORA DEL ORIENTE LTDA
- ❖ CARMOTOR
- ❖ ALMACEN Y TALLER FERTRAC
- ❖ TALLER BATERIAS Y ELECTRICOS
- ❖ RODAMIENTOS RETENEDORES Y REPUESTOS
- ❖ INDUSTRIA METALMECÁNICA LOGISTICA PETROLERA DE COLOMBIA S.A.S
- ❖ TUERCAS TORNILLOS Y REPUESTOS LTDA
- ❖ HIDRÁULICOS ESTEBAN S.A.S
- ❖ GRUPO SAMAR COLOMBIA S.A.S
- ❖ TRACTO PESADOS
- ❖ LLANO ACERO CAMPI
- ❖ BIOGASES DEL LLANO
- ❖ MANGUERAS Y RACORES
- ❖ MONTALLANTAS EL TERMINAL
- ❖ SOLUCIONES HIDRÁULICAS DE COLOMBIA LTDA

6. DESARROLLO METODOLOGICO

Para iniciar el desarrollo del plan de mantenimiento, se evaluará cuál de los sistemas de la maquinaria a estudiar se encuentra en un mayor estado crítico. Este proceso se realiza aplicando la metodología de análisis de criticidad, donde se identificará cómo afecta el rendimiento del trabajo, costos de mantenimiento, seguridad, higiene y ambiente y frecuencia de las fallas.

Luego de identificar cual es el sistema de mayor criticidad se procede a aplicar RCM, teniendo en cuenta la hoja de vida de la máquina, y las acciones tomadas para evitar las fallas, así como también se tendrá en cuenta el personal que ha realizado las intervenciones en la máquina y al operador quien conoce de primera mano el comportamiento de esta en campo.

Se finaliza con la actividad de identificar las áreas de mejora y la metodología para realizar el plan de mantenimiento basado en RCM, la cual se socializará con el personal de mantenimiento y así capacitarlo con el fin de que el conocimiento sea mayor y la operación sea más eficiente por parte del personal involucrado en el proyecto.

6.1 JERARQUIA Y FAMILIA DE EQUIPOS

6.1.1 LISTADO DE EQUIPOS

A continuación, se relaciona el listado completo de los equipos y máquinas con las que cuenta el Banco de Maquinaria de la Gobernación, los cuales detallan el tipo de máquina, la marca, el modelo, el año, la codificación interna y la placa de cada aparato.

Tabla 1. Listado de equipos

No.	TIPO DE MÁQUINA	MARCA	MODELO	AÑO	No. INTERNO	PLACA
1	EXCAVADORA	KOBELCO	SK210	2007	01-05	N/A
2	EXCAVADORA	KOBELCO	SK210	2007	01-07	N/A
3	EXCAVADORA	KOBELCO	SK210	2007	01-09	N/A
4	EXCAVADORA	LINK BELT	210X2	2013	01-10	N/A
5	EXCAVADORA	LINK BELT	210X2	2013	01-11	N/A
6	RETROCARGADOR	NEW HOLLAND	B110	2007	02-21	N/A
7	RETROCARGADOR	NEW HOLLAND	B110	2007	02-22	N/A
8	RETROCARGADOR	CATERPILLAR	416E	2013	02-26	N/A
9	MOTONIVELADORA	NEW HOLLAND	RG140	2007	03-16	N/A

Tabla 2. Listado de equipos. (Continuación)

No.	TIPO DE MÁQUINA	MARCA	MODELO	AÑO	No. INTERNO	PLACA
10	MOTONIVELADORA	NEW HOLLAND	RG140	2007	03-27	N/A
11	MOTONIVELADORA	NEW HOLLAND	RG140	2007	03-28	N/A
12	MOTONIVELADORA	CATERPILLAR	120G	2013	03-29	N/A
13	MOTONIVELADORA	CATERPILLAR	120G	2013	03-30	N/A
14	BULLDOZER	NEW HOLLAND	D170	2007	04-23	N/A
15	BULLDOZER	CATERPILLAR	D6K XL	2013	04-26	N/A
16	RODILLO COMPACTADOR	INGERSOLL RAND	SD700	2007	05-05	N/A
17	RODILLO COMPACTADOR	INGERSOLL RAND	SD700	2007	05-07	N/A
18	RODILLO COMPACTADOR	INGERSOLL RAND	D70	2007	DD-01	N/A
19	RODILLO COMPACTADOR	BOMAG	BW 177DH-4	2013	05-09	N/A
20	VOLQUETA SENCILLA	CHEVROLET	FTR	2007	07-08	OJA 049
21	VOLQUETA SENCILLA	CHEVROLET	FTR	2007	07-13	OJA 054
22	VOLQUETA SENCILLA	CHEVROLET	FTR	2007	07-15	OJA 056
23	VOLQUETA SENCILLA	CHEVROLET	FTR	2007	07-19	OJA 060
24	VOLQUETA SENCILLA	CHEVROLET	FTR	2014	07-26	ODS 530
25	VOLQUETA SENCILLA	CHEVROLET	FTR	2014	07-27	ODS 526
26	VOLQUETA SENCILLA	CHEVROLET	FTR	2014	07-28	ODS 527
27	CARROTANQUE DE AGUA	CHEVROLET	KODIAK	2007	08-02	OJA 078
28	CARROTANQUE DE AGUA	CHEVROLET	KODIAK	2007	08-03	OJA 080
29	CARROTANQUE DE AGUA	CHEVROLET	FVZ 700P	2015	08-04	ODS 581
30	CARROTANQUE DE AGUA	CHEVROLET	FVZ 700P	2015	08-05	ODS 579
31	CARROTANQUE DE AGUA	CHEVROLET	FVZ 700P	2015	08-06	ODS 574
32	CARROTANQUE DE AGUA	INTERNATIONAL	WORKST AR 7600	2012	08-08	OJX 250
33	CAMIÓN GRÚA	CHEVROLET	KODIAK	1997	CG-01	OFJ 865
34	CARROTALLER	CHEVROLET	NKR II	2007	CT-03	OJA 077
35	CARROTALLER	CHEVROLET	NKR II	2007	CT-04	OJA 079
36	VOLQUETA DOBLETROQUE	CHEVROLET	KODIAK	2007	DT-01	OJA-064

Tabla 2. Listado de equipos. (Continuación)

No.	TIPO DE MÁQUINA	MARCA	MODELO	AÑO	No. INTERNO	PLACA
37	VOLQUETA DOBLETROQUE	CHEVROLET	KODIAK	2007	DT-02	OJA 065
38	VOLQUETA DOBLETROQUE	CHEVROLET	KODIAK	2007	DT-06	OJA 069
39	VOLQUETA DOBLETROQUE	CHEVROLET	KODIAK	2007	DT-12	OJA 075
40	TRACTO CAMIÓN	VOLVO	NH12	2007	TC-03	OJA 082
41	TRACTO CAMIÓN	VOLVO	NH12	2007	TC-04	OJA 083
42	TRACTO CAMIÓN	INTERNATIONAL	WORKST AR 7600	2007	TC-05	ODS 572

Fuente: El autor

6.1.2 FAMILIA DE EQUIPOS

Para el desarrollo del presente trabajo la maquinaria se agrupó en dos familias de equipos, los cuales son, maquinaria amarilla y maquinaria de transporte y de carga, y se relacionan a continuación.

Tabla 2. Familia de Equipos

FAMILIA	TIPO DE MAQUINA	CANTIDAD
MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN	RETROEXCAVADORA	5
	RETROCARGADOR	3
	MOTONIVELADORA	5
	BULLDOCER	2
	RODILLO COMPACTADOR	4
VEHÍCULOS DE TRANSPORTE Y CARGA	VOLQUETAS SENCILLAS	7
	VOLQUETAS DOBLETROQUES	4
	CARRO TANQUES	6
	CARRO TALLER	2
	CAMIÓN GRÚA	1
	TRACTO CAMIÓN	3

Fuente: El autor

6.2 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS

Dentro del desarrollo del trabajo la jerarquización de los equipos se basa en el tiempo promedio de horas operativas del equipo durante el mes.

Tabla 3. Promedio de máquinas operativas

TIPO DE MAQUINARIA	PROMEDIO DÍAS OPERATIVAS / MÁQUINA / MES						TOTAL	Promedio Total
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN		
EXCAVADORA	19.5	13.8	19	13.33	12	14	91.63	15.27
RETROCARGADOR	12.5	7.5	13.5	9.5	10	18	71	11.83
MOTONIVELADORA	17	16	19	18.33	14.66	14.33	99.32	16.55
BULLDOZER	19	15.5	9	8	8	0	59.5	9.92
VOLQUETA SENCILLA	16	13.85	12	12.75	17	13	84.6	14.10
VOLQUETA DOBLE TROQUE	15.8	12	16.33	16.33	14	16	90.46	15.08
CARRO TANQUE	19	19	19.5	11.5	22	18	109	18.17
TRACTO CAMIÓN	16	15	14	19	18.5	19.5	102	17.00
CARRO TALLER	10.5	10	17.5	19	19.5	20	96.5	16.08
CAMIÓN GRÚA	18	16	0	0	0	20	54	9.00
RODILLO COMPACTADOR	21	15	21	17	17.66	19.5	111.16	18.53

Fuente: El autor

La tabla anterior muestra la cantidad de días que operó cada uno de los equipos separándolos en familias según su función en el periodo comprendido de enero 2022 a junio de 2022.

Esto da como resultado que por tiempo operativo los equipos más usados en el lote de maquinaria son:

Tabla 4. Equipos más importantes

MAQUINA	TOTAL DIAS	PROMEDIO MES
VIBROCOMPACTADOR	111.16	18.53
CARRO TANQUE	109	18.17
TRACTO CAMIÓN	102	17
MOTO NIVELADORA	99.32	16.55

Fuente: El autor

6.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO.

Con base en el capítulo anterior, la valoración de consecuencias de fallos de equipos y la escala de criticidad se desarrolla la selección de la maquina critica para el estudio de MCC (mantenimiento centrado en confiabilidad)

Tabla 5. Valoración consecuencias de fallos

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN	HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMPACTO A LA IMAGEN
CRITICA	4	INCAPACIDAD PERMANENTE	EFFECTOS CONTROLADOS EN 1 MES	SUPERIORES A 100 M COP	RETRASO EN LA OBRA DE 1 SEMANA O MAS
ALTAMENTE REPRESENTATIVA	3	INCAPACIDAD TEMPORAL	EFFECTOS CONTROLADOS EN 2 SEMANAS	SUPERIORES A 10 M COP	RETRASO EN LA OBRA DE 3 DIAS A 5 DIAS
MEDIANAMENTE REPRESENTATIVA	2	LESIONES LEVES	EFFECTOS CONTROLADOS EN 1 DIA	SUPERIORES A 1 M COP	RETRASO EN LA OBRA DE 1 DIA
MENOR	1	NINGUNA	NO REPRESENTA AFECTACIÓN	MENORES A 1 M COP	NO RETRASA

Fuente: El autor

La tabla anterior muestra los criterios de valoración de los fallos que podría representar el fallo de cada uno de los equipos, entendiendo el tamaño de la maquinaria y que el costo de la reparación dependerá del daño que presente la maquina y la disponibilidad de sus repuestos, el criterio de impacto a la imagen del fallo toma gran relevancia en esta tabla.

Tabla 6. Escala de valoración de criticidad

CONSECUENCIA		PROBABILIDAD DE FALLO		
		6 meses a 1 año	1 mes a 6 mes	1 mes
		A	B	C
CRITICA	4			
ALTAMENTE REPRESENTATIVA	3			
MEDIANAMENTE REPRESENTATIVA	2			
MENOR	1			

Tabla 7. Codificación por color

COLOR	CRITICIDAD
	Muy alta
	Alta
	Media
	Baja

La tabla anterior representa por medio de una escala de colores la criticidad de la familia de equipos cruzando la valoración de consecuencia de un fallo con la probabilidad de que el mismo ocurra.

Tabla 8. Cantidad de horas en falla por maquinaria

No.	TIPO DE MÁQUINA	CANTIDAD	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		TOTAL FALLAS	HORAS EN FALLA	PROBABILIDAD DE FALLA
			CANTIDAD	HORAS	CANTIDAD	HORAS	CANTIDAD	HORAS	CANTIDAD	HORAS	CANTIDAD	HORAS	CANTIDAD	HORAS			
1	EXCAVADORA	5	6	35	8	69	2	16	5	64	9	168	7	63	37	415	42%
2	RETROCARGADOR	3	4	35	4	124	7	68	1	16	4	43	4	18	24	304	30%
3	MOTONIVELADORA	5	9	120	7	90	7	58	6	50	0	0	6	69	35	387	39%
4	BULLDOZER	2	2	24	5	64	5	96	6	72	2	16	0	0	20	272	27%
5	VOLQUETA SENCILLA	7	5	45	18	145	15	152	14	124	13	173	8	63	73	702	70%
6	VOLQUETA DOBLE TROQUE	4	5	48	11	117	9	109	9	79	5	50	14	155	53	558	56%
7	CARRO TANQUE	6	1	15	0	0	6	67	8	60	0	0	5	64	20	206	21%
8	TRACTO CAMIÓN	3	3	39	13	96	10	101	5	34	6	41	4	18	41	329	33%
9	CARRO TALLER	2	1	24	4	37	5	48	1	15	1	16	0	0	12	140	14%
10	CAMIÓN GRÚA	1	1	5	3	18	0	0	0	0	0	0	0	0	4	23	2%
11	RODILLO COMPACTADOR	4	0	0	6	50	3	19	3	16	4	63	1	5	17	153	15%

Fuente: El autor

Con la información de la tabla anterior se puede determinar que la cantidad de horas en falla de la maquinaria y por lo tanto tiene más probabilidad de fallar.

61% - 100% falla 1 mes (C).

31% - 60% falla 1 mes a 6 meses (B).

0% - 30% falla 6 meses a 1 año (A).

Tabla 9. Evaluación de criticidad de los Equipos

TIPO DE MAQUINARIA	PROBABILIDAD DE FALLA	CONSECUENCIAS				PROMEDIO CONSECUENCIAS	POSICIÓN EN MATRIZ	NIVEL CRITICIDAD
		HUMANAS	AMBIENTALES	ECONOMICAS	IMAGEN			
EXCAVADORA	B	4	1	3	2	2.5	B3	ALTA
RETROCARGADOR	A	3	1	3	2	2.25	A2	MEDIA
MOTONIVELADORA	B	2	2	3	3	2.5	B3	ALTA
BULLDOZER	A	3	3	4	2	3	A3	MEDIA
VOLQUETA SENCILLA	C	2	2	4	2	2.5	C3	MUY ALTA
VOLQUETA DOBLE TROQUE	B	2	3	4	3	3	B3	ALTA
CARRO TANQUE	A	2	4	3	2	2.75	A3	MEDIA
TRACTO CAMIÓN	B	2	2	3	2	2.25	B2	MEDIA
CARRO TALLER	A	3	3	4	2	3	A3	MEDIA
CAMIÓN GRÚA	A	3	2	2	3	2.5	A3	MEDIA
VIBROCOMPACTADOR	A	3	2	3	2	2.5	A3	MEDIA

Fuente: El autor

Con la evaluación de criticidad anterior se determina que la volqueta sencilla debido a su gran cantidad (7) su alto uso (84.6 días en lo recorrido del año) y su alta probabilidad de falla es la familia de maquinaria con mayor criticidad.

7. SELECCIÓN DE SISTEMA CRITICO PARA RCM

En el capítulo anterior con el análisis de criticidad, se llegó a la conclusión que la familia de equipos críticos es la familia de volquetas sencillas la cual está compuesta por los subsistemas mostrados en la tabla 13; que son: subsistema motriz, tren motriz, dirección, eléctrico, volco, suspensión, frenos y chasis.

Tabla 10. Matriz de criticidad para los sistemas de la volqueta sencilla

CONSECUENCIA		PROBABILIDAD DE FALLO		
		3 meses a 1 año	1 mes a 3 mes	1 mes
		A	B	C
CRITICA	4	Alta	Muy alta	Muy alta
ALTAMENTE REPRESENTATIVA	3	Media	Alta	Muy alta
MEDIANAMENTE REPRESENTATIVA	2	Media	Media	Alta
MENOR	1	Baja	Media	Media

Tabla 11. Codificación por color de la matriz

COLOR	CRITICIDAD
Rojo	Muy alta
Naranja	Alta
Amarillo	Media
Verde	Baja

Con base en las tablas tabla 12 y 13 mostradas anteriormente se completa la tabla siguiente.

Tabla 12. Matriz de selección sistema crítico

SUBSISTEMAS VOLQUETA SENCILLA	PROBABILIDAD DE FALLA	CONSECUENCIAS				PROMEDIO CONSECUENCIAS	POSICIÓN EN MATRIZ	NIVEL CRITICIDAD
		HUMANAS	AMBIENTALES	ECONOMICAS	IMAGEN EMPRESARIAL			
MOTRIZ	B	2	4	4	2	3	B3	ALTA
TREN MOTRIZ	B	3	3	4	2	3	B3	ALTA
DIRECCIÓN	A	4	2	2	2	2,5	A3	MEDIA
ELÉCTRICO	C	2	2	2	2	2	C2	ALTA
VOLCO	A	3	3	2	3	2,75	A3	MEDIA
SUSPENSIÓN	B	3	2	4	3	3	B3	ALTA
FRENOS	C	4	2	4	3	3,25	C3	MUY ALTA
CHASIS	A	3	1	3	2	2,25	A2	MEDIA

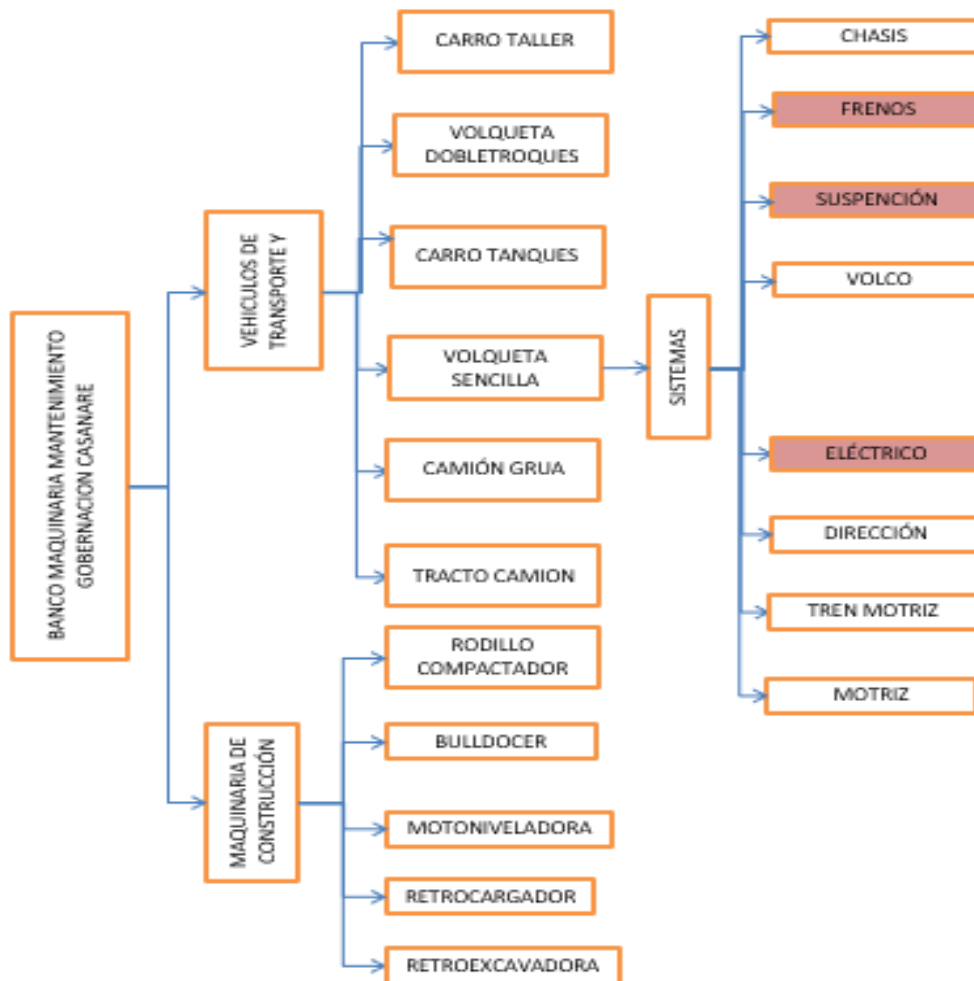
Fuente: El autor

En la tabla anterior se determina que los sistemas críticos de la volqueta sencilla son el sistema de frenos, suspensión y eléctrico por lo cual estos serán del caso para el desarrollo del RCM.

8. DESARROLLO DEL RCM DEL SUB- SISTEMA CRITICO.

8.1 TAXONOMIA DE EQUIPO

Figura 3. Taxonomía equipos



Fuente: El autor

8.2 FUNCIONES, FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLA DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS

Los tres sistemas de mayor criticidad de las volquetas sencillas son los mostrados en la siguiente tabla con sus respectivas funciones y condiciones de funcionamiento.

8.2.1 Sistema eléctrico

En las volquetas sencillas es el sistema encargado de proveer energía al motor de arranque, iluminación, ECU y los demás componentes eléctricos del vehículo.

Tabla 13. Definición y funciones del sistema eléctrico

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	Cód. Fun.	FUNCIONES
Sistema Eléctrico	La batería es de 12v y 1100 amp, el suiche de encendido funciona con 70 amp, el arranque usa 90 amp y el alternador 80 amp, ambos trabajan a 24v, las luces, el pito y la alarma de reversa consumen 24.5 v aproximadamente, y son conectadas a través de cables No. 18 al No. 4, a su vez están protegidos por fusibles de 5 amp hasta 100 amp.	El sistema eléctrico está encargado de dar una corriente eléctrica desde la batería hacia el arranque de 80 amp aproximadamente para poner en marcha el motor de combustión. Para mantener la carga en la batería se usa un alternador para regular dicho voltaje, así como su corriente en 12 v y 1100 amp por batería. Adicionalmente el sistema debe mantener energizado la iluminación del vehículo a 24.5 v, y darle un voltaje a la ECU constante quien electrónicamente gestiona los sensores del vehículo.	Agua - Humedad - Temperaturas elevadas - Rocas - Polvo - Barro - Carreteras resbaladizas	Para el análisis de RCM se define como frontera inicial desde el suich donde ingresa la llave del vehículo y envía carga al arranque hasta la ECU del motor y las luces.	Entrada: Suich abierto - Corriente eléctrica al arranque	SE - F1	Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v con y corriente de 1100 amp máximo.
					Salidas: Voltaje para la iluminación - Voltaje para la batería - Voltaje para la ECU	SE - F2	Proveer energía a los bombillos del vehículo con un voltaje de 24.5 v máximo.
						SE - F3	Enviar un voltaje máx. 24.5v a la ECU quien regula los sensores del motor.
						SE - F4	Mantener y regular la carga de la batería en un rango comprendido entre 12.7 a 14.5v.
						SE - F5	Accionar el pito y la alarma de reversa.

Fuente: El autor

8.2.2 Sistema de frenos

Sistema en su mayoría neumático encargado de frenar total o parcialmente el vehículo; compuesto por compresor, secador, válvulas, mangueras y actuadores.

Tabla 14. Definiciones y funciones del sistema de frenos

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	Cód. Fun.	FUNCIONES
Sistema de Frenos	El compresor comprime el aire hasta los 130 psi, el gobernador actúa a los 130 psi, la bomba de freno actúa con una presión máxima de 130 psi, el espesor de la zapata mínimo debe ser de 1/4", y la distancia entre la zapata y la campana o tambor debe ser mayor a 1.3 mm, el juego del pedal está entre 10 mm y 18 mm.	El sistema de frenos está en función de reducir la velocidad parcial o total de un automotor en las diferentes vías por las cuales transita, para ello hay un compresor de aire conectado al motor quien empieza a comprimir el aire hasta 130 psi y lo envía a un secador para limpiarlo del aceite, el agua y la humedad, los tanques de almacenamiento pueden soportar una presión máxima de 130 psi, en ese momento el gobernador o regulador de presión de aire acciona una válvula para que el compresor trabaje en vacío y no sobre cargue los tanques, en caso que sea así la válvula de alivio libera la presión cuando llega a 130 psi, así cuando el conductor acciona el pedal de freno el aire circule por la tubería y la válvula relay libere la presión de aire que hay en los tanques de almacenamiento hacia las cámaras de freno quienes accionan un rache moviendo las zapatas contra las campanas de las ruedas frenando el vehículo.	Agua - Humedad - Temperaturas elevadas - Rocas - Polvo - Barro - Carreteras resbaladizas	Para el análisis de RCM se definió como frontera inicial desde el compresor de aire hasta el freno de campana de la rueda.	Entradas: Presión al pedal de freno - Carga de aire en el compresor - Tanques de almacenamiento	SF - F1	Frenar parcial o total el automotor con un PBV de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado.
					Salidas: Paso de aire por las válvulas de freno - Candado moviendo zapatas - Frenado sobre las ruedas	SF - F2	Mantener en posición el vehículo cuando esté apagado con un PBV máximo de 14 Ton.
						SF - F3	Liberar el freno de seguridad para iniciar la marcha.
						SF - F4	No frenar el vehículo cuando va en movimiento.

Fuente: El autor

8.2.3 Sistema de suspensión.

Sistema encargado de dar confort a la conducción y evitar posibles lesiones en el conductor; compuesto por hojas de acero, muelles, bujes y sistemas articulados.

Tabla 15. Definiciones y funciones del sistema de suspensión

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	Cód. Fun.	FUNCIONES
Sistema de Suspensión	Para el caso de estudio la Volqueta cuenta con una suspensión delantera con eje rígido y ballestas semi elípticas con amortiguadores de doble efecto, la suspensión trasera es de ballesta semi elíptica, las ballestas tienen un ancho mínimo de 3", los pasadores son de 32 mm de diámetro x 170 mm de largo en el resorte delantero y 332 mm de diámetro x 196 mm de largo, la distancia entre el pasador y el buje no debe exceder 1 mm.	El sistema de suspensión está en servicio de mantener principalmente la estabilidad del vehículo en movimiento conservando su centro de gravedad incluido el PBV de 14 TON, y recuperando al altura del vehículo respecto al piso luego de pasar por las diferentes imperfecciones de las vías del departamento de Casanare, para ello interactúan los amortiguadores de doble efecto en el eje delantero junto a ballestas semi elípticas y en el eje trasero tan solo se cuenta con ballestas semi elípticas, cuando el vehículo pasa por baches o terrenos sinuosos la barra estabilizadora del eje delantero debe recuperar el nivel de las ruedas para que el vehículo no sufra un volcamiento.	Agua - Humedad - Temperaturas elevadas - Rocas - Polvo - Barro - Carreteras resbaladizas	Para el análisis de RCM se definió como frontera inicial los soportes del chasis hasta el housing.	Entrada: Punto de anclaje del amortiguador y del soporte del muelle con el chasis	SS - F1	Preservar la estabilidad de la máquina estando en operación.
						SS - F2	Mantener la altura al piso mínimo de 450 mm.
						SS - F3	Conservar una distancia entre ejes de 5.050 mm.
					Salida: Ejes del automotor	SS - F4	Absorber imperfecciones de la carretera, evitando que alguna pieza del vehículo se rompa o se agriete incluso cuando esté totalmente cargado.

Fuente: El autor

8.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA

Con base en estas funciones y las de cada uno de los sistemas descritos anteriormente se determinan los modos de falla presentes en los diferentes sistemas y se clasifican, esto basado en la experiencia del personal técnico y las hojas de vida de los equipos estos modos de falla se presentan a continuación.

Tabla 16. Función, falla funcional y modos de falla sistema eléctrico

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v y una corriente de 1100 amp máximo	SE - FF1	Incapaz de iniciar el motor de combustión	SE - MF1	Escobillas del arranque quemadas
Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v y una corriente de 1100 amp máximo	SE - FF1	Incapaz de iniciar el motor de combustión	SE - MF2	Rodamientos del arranque pegados
Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v y una corriente de 1100 amp máximo	SE - FF1	Incapaz de iniciar el motor de combustión	SE - MF3	Inducido empapado de agua
Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v y una corriente de 1100 amp máximo	SE - FF1	Incapaz de iniciar el motor de combustión	SE - MF4	Dientes del piñón desgastados
Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v y una corriente de 1100 amp máximo	SE - FF1	Incapaz de iniciar el motor de combustión	SE - MF5	Automático en corto

Tabla 16. Función, falla funcional y modos de falla sistema eléctrico (continuación)

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v y una corriente de 1100 amp máximo	SE - FF1	Provee menos de 24v al motor de arranque	SE - MF6	Cables de batería sulfatados
Proveer energía para el motor de arranque del motor de combustión interna con un voltaje de 24v y una corriente de 1100 amp máximo	SE - FF1	Provee menos de 24v al motor de arranque	SE - MF7	Bornes de batería sulfatados
Proveer energía a los bombillos del vehículo con un voltaje de 24.5 v máximo	SE - FF2	No provee iluminación a los bombillos	SE - MF8	Instalación en corto
Proveer energía a los bombillos del vehículo con un voltaje de 24.5 v máximo	SE - FF2	No provee iluminación a los bombillos	SE - MF9	Suich cambia luces quemado
Proveer energía a los bombillos del vehículo con un voltaje de 24.5 v máximo	SE - FF2	No provee iluminación a los bombillos	SE - MF10	Bombillos quemados
Proveer energía a los bombillos del vehículo con un voltaje de 24.5 v máximo	SE - FF2	No provee iluminación a los bombillos	SE - MF11	Fusibles quemados
Proveer energía a los bombillos del vehículo con un voltaje de 24.5 v máximo	SE - FF2	Provee un voltaje mayor a 24.5 v	SE - MF12	Alternador sobrecargado

Tabla 16. Función, falla funcional y modos de falla sistema eléctrico (continuación)

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Enviar un voltaje máx. 24.5v a la ECU quien regula los sensores del motor	SE - FF3	Envía un voltaje mayor a 24.5v a la ECU	SE - MF13	Alternador sobrecargado
Enviar un voltaje máx. 24.5v a la ECU quien regula los sensores del motor	SE - FF3	Envía un voltaje menor de 24.5v a la ECU	SE - MF14	Alternador quemado
Enviar un voltaje máx. 24.5v a la ECU quien regula los sensores del motor	SE - FF3	No envía voltaje a la ECU	SE - MF15	Paso de carga interrumpido
Enviar un voltaje máx. 24.5v a la ECU quien regula los sensores del motor	SE - FF3	No envía voltaje a la ECU	SE - MF16	Cable de masa desconectada
Mantener y regular la carga de la batería en un rango comprendido entre 12.7 a 14.5v.	SE - FF4	La batería no mantiene la carga	SE - MF17	Celdas de la batería dañadas
Mantener y regular la carga de la batería en un rango comprendido entre 12.7 a 14.5v.	SE - FF4	La batería no mantiene la carga	SE - MF18	Correa del alternador suelta
Mantener y regular la carga de la batería en un rango comprendido entre 12.7 a 14.5v.	SE - FF4	La batería no mantiene la carga	SE - MF19	Rodamiento del patín frenado
Mantener y regular la carga de la batería en un rango comprendido entre 12.7 a 14.5v.	SE - FF4	La batería no mantiene la carga	SE - MF20	Alternador quemado

Tabla 16. Función, falla funcional y modos de falla sistema eléctrico (continuación)

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Mantener y regular la carga de la batería en un rango comprendido entre 12.7 a 14.5v.	SE - FF4	La carga de la batería es mayor a 14.5v	SE - MF21	Alternador sobrecargado
Mantener y regular la carga de la batería en un rango comprendido entre 12.7 a 14.5v.	SE - FF4	La carga de la batería es menor a 12.75v	SE - MF22	Alternador quemado
Accionar el pito y la alarma de reversa	SE - FF5	El automotor no pita	SE - MF23	Pito quemado
Accionar el pito y la alarma de reversa	SE - FF5	El automotor no pita	SE - MF24	Interruptor del pito desgastado
Accionar el pito y la alarma de reversa	SE - FF5	Incapaz de accionar parcial o totalmente la alarma de reversa	SE - MF25	Pera de reversa quemada
Accionar el pito y la alarma de reversa	SE - FF5	Incapaz de accionar parcial o totalmente la alarma de reversa	SE - MF26	Instalación en corto

Fuente: El autor

Tabla 17. Función, falla funcional y modos de falla sistema de frenos

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	El automotor no frena	SF - MF1	Válvulas de freno pegadas
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	El automotor no frena	SF - MF2	Mangueras de aire rotas
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF3	diafragma de cámara roto
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF4	Resorte de cámara roto
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF5	Empaquetadura de bomba de freno rota

Tabla 17. Función, falla funcional y modos de falla sistema de frenos (continuación)

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF6	Asbesto de zapatas desgastadas
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF7	Asbesto de zapata suelto
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF8	Campana desgastada
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF9	Candado o rache desgastado

Tabla 17. Función, falla funcional y modos de falla sistema de frenos (continuación)

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF10	Bujes del rache abiertos
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF11	Levas desgastadas
Frenar parcial o totalmente el automotor con un PVB de 14 Ton, a una velocidad máxima de 80 Km/h en una distancia de 110 mts en condiciones ideales de carreteras sin pendientes y llantas en buen estado de presión y labrado	SF - FF1	La Volqueta tarda en frenar	SF - MF12	Rodillos o rodajas pegadas
Mantener en posición de estacionamiento el vehículo cuando esté apagado o parqueado con un PBV máximo de 14 Ton	SF - FF2	Incapaz de mantener la posición de estacionamiento	SF - MF13	Asbesto de zapatas desgastadas
Mantener en posición de estacionamiento el vehículo cuando esté apagado o parqueado con un PBV máximo de 14 Ton	SF - FF2	Incapaz de mantener la posición de estacionamiento	SF - MF14	Candado o rache desgraduado

Tabla 17. Función, falla funcional y modos de falla sistema de frenos (continuación)

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Liberar el freno de seguridad para iniciar la marcha	SF - FF3	Incapaz de liberar el freno de seguridad	SF - MF15	Válvula de freno de seguridad pegada
Liberar el freno de seguridad para iniciar la marcha	SF - FF3	Incapaz de liberar el freno de seguridad	SF - MF16	Cámara de alta pegada
Liberar el freno de seguridad para iniciar la marcha	SF - FF3	Incapaz de liberar el freno de seguridad	SF - MF17	El compresor no carga
Liberar el freno de seguridad para iniciar la marcha	SF - FF3	Incapaz de liberar el freno de seguridad	SF - MF18	Secador de aire obstruido
Liberar el freno de seguridad para iniciar la marcha	SF - FF3	Incapaz de liberar el freno de seguridad	SF - MF19	Gobernador o regulador de presión obstruido
Liberar el freno de seguridad para iniciar la marcha	SF - FF3	Incapaz de liberar el freno de seguridad	SF - MF20	Válvula de liberación de aire de los tanques de almacenamiento dañada
No frenar el vehículo cuando va en movimiento	SF - FF4	Frena el vehículo en movimiento	SF - MF21	Secador de aire obstruido
No frenar el vehículo cuando va en movimiento	SF - FF4	Frena el vehículo en movimiento	SF - MF22	Gobernador o regulador de presión obstruido
No frenar el vehículo cuando va en movimiento	SF - FF4	Frena el vehículo en movimiento	SF - MF23	Fuga de aire por la Válvula de freno de seguridad

Fuente: El autor

Tabla 18. Función, falla funcional y modos de falla sistema de suspensión

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Preservar la estabilidad de la máquina estando en operación	SS - FF1	Máquina inestable	SS - MF1	Bujes de muelle abiertos
Preservar la estabilidad de la máquina estando en operación	SS - FF1	Máquina inestable	SS - MF2	Pasadores de muelle desgastados
Preservar la estabilidad de la máquina estando en operación	SS - FF1	Máquina inestable	SS - MF3	Tornillo de centro roto
Preservar la estabilidad de la máquina estando en operación	SS - FF1	Máquina inestable	SS - MF4	Bujes de barra estabilizadora abiertos
Preservar la estabilidad de la máquina estando en operación	SS - FF1	Máquina inestable	SS - MF5	Barra estabilizadora rota
Preservar la estabilidad de la máquina estando en operación	SS - FF1	Máquina inestable	SS - MF6	Muelle roto
Mantener la altura al piso mínimo de 450 mm	SS - FF2	La altura al piso es inferior a 450 mm	SS - MF7	Hojas de muelle desgastadas
Mantener la altura al piso mínimo de 450 mm	SS - FF2	La altura al piso es inferior a 450 mm	SS - MF8	Amortiguadores estallados
Conservar una distancia entre ejes de 5.050 mm	SS - FF3	Distancia entre ejes menor a 5.050 mm	SS - MF9	Tornillo de centro roto
Conservar una distancia entre ejes de 5.050 mm	SS - FF3	Distancia entre ejes menor a 5.050 mm	SS - MF10	Soporte de muelle roto
Conservar una distancia entre ejes de 5.050 mm	SS - FF3	Distancia entre ejes mayor a 5.050 mm	SS - MF11	Balancín de muelle roto

Tabla 18. Función, falla funcional y modos de falla sistema de suspensión (continuación)

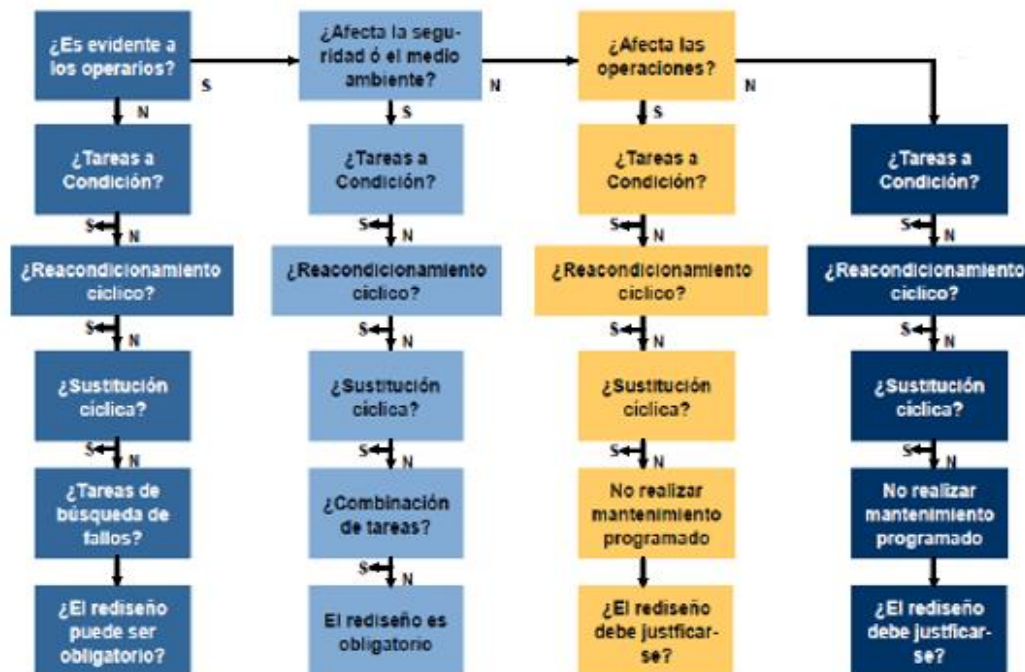
Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla
Absorber imperfecciones de la carretera, evitando que alguna pieza del vehículo se rompa o se agriete incluso cuando esté totalmente cargado.	SS - FF4	Incapaz de absorber las imperfecciones de la carretera	SS - MF12	Muelle roto
Absorber imperfecciones de la carretera, evitando que alguna pieza del vehículo se rompa o se agriete incluso cuando esté totalmente cargado.	SS - FF4	Incapaz de absorber las imperfecciones de la carretera	SS - MF13	Amortiguadores estallados
Absorber imperfecciones de la carretera, evitando que alguna pieza del vehículo se rompa o se agriete incluso cuando esté totalmente cargado.	SS - FF4	Incapaz de absorber las imperfecciones de la carretera	SS - MF14	Grapa de muelle suelta

Fuente: El autor

8.4 ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE DECISIÓN LÓGICO.

Con base en el árbol lógico de decisión de la siguiente figura, donde se basa en las fallas ocultas y no ocultas en condiciones de operación normal, con el fin de definir las tareas de mantenimiento.

Figura 4. Árbol lógico de decisión.



Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Sevilla: Ingeman. 2012. p136.

8.5 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DESARROLLADO A PARTIR DEL RCM

A continuación, se listan el tipo de decisión, descripción de la tarea, frecuencia y recursos de producto del análisis de los diferentes modos de fallas y su valoración.

Tabla 19. Tareas de mantenimiento del sistema eléctrico

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Monitorizar	Bajar el arranque del vehículo y verificar el estado de las escobillas	12	Técnico electricista - Herramienta de mano - Banco de prueba	TM - SE - MF1
Monitorizar	Bajar el arranque del vehículo y verificar el estado de los rodamientos	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Banco de prueba	TM - SE - MF2
Cambiar	Bajar el arranque del vehículo y cambiar el inducido	6	Técnico electricista - Herramienta de mano - Banco de prueba - Inducido	TM - SE - MF3
Monitorizar	Bajar el arranque del vehículo y verificar el estado del piñón	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Banco de prueba	TM - SE - MF4
Cambiar	Bajar el arranque del vehículo y cambiar el automático	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Banco de prueba - Automático	TM - SE - MF5
Monitorizar	Revisar el estado de los cables de la batería	3	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF6

Tabla 19. Tareas de mantenimiento del sistema eléctrico (continuación)

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Monitorizar	Revisar el estado de los bornes de la batería	1	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF7
Buscar las fallas	Revisar instalación y sus conexiones	3	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF8
Monitorizar	Revisar el suich cambia luces de la Volqueta	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF9
Buscar las fallas	Revisar los bombillos y la intensidad de cada uno	3	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF10
Buscar las fallas	Revisar el estado de los fusibles y la porta fusilera	1	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF11
Buscar las fallas	Inspeccionar las conexiones y terminales de corriente de la batería, fusibles y funcionamiento del regulador del alternador	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF12

Tabla 19. Tareas de mantenimiento del sistema eléctrico (continuación)

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Buscar las fallas	Verificar el estado de la instalación desde la batería del automotor hasta la ECU y comprobar su voltaje de entrada	12	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF13
Buscar las fallas	Desmontar el alternador y verificar el estado del inducido, portadiodo y la bobina	18	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF14
Buscar las fallas	Inspeccionar la instalación desde la salida del alternador a la ECU	36	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF15
Buscar las fallas	Verificar el estado de la instalación desde la batería del automotor hasta la ECU	18	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF16
Cambiar	Cambiar las baterías del automotor	18	Técnico electricista - Herramienta de mano - Baterías 12v	TM - SE - MF17
Cambiar	Cambiar la correa del alternador	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Correa alternador	TM - SE - MF18
Cambiar	Bajar el patín revisarlo y cambiar el rodamiento	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Rodamiento del patín	TM - SE - MF19

Tabla 19. Tareas de mantenimiento del sistema eléctrico (continuación)

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Monitorizar	Desmontar el alternador y verificar el estado del inducido, portadiodo y la bobina	18	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF20
Buscar las fallas	Inspeccionar las conexiones y terminales de corriente de la batería, fusibles y funcionamiento del regulador del alternador	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF21
Buscar las fallas	Desmontar el alternador y verificar el estado del inducido, portadiodo y la bobina	18	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF22
Monitorizar	Verificar la instalación e inspeccionar el pito	18	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF23
Monitorizar	Verificar la instalación e inspeccionar el pito	18	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF24
Cambiar	Cambiar la pera de la reversa	9	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro - Pera de reversa 24v	TM - SE - MF25
Monitorizar	Verificar la instalación desde la batería hasta la pera de reversa	3	Técnico electricista - Herramienta de mano - Multímetro	TM - SE - MF26

Fuente: El autor

Tabla 20. Tareas de mantenimiento del sistema de frenos

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Cambiar	Cambiar la válvula de freno	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Válvula de freno	TM - SF - MF1
Monitorizar	Inspeccionar las mangueras del aire desde la salida del compresor pasando por lo tanques de almacenamiento hasta el rache	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Manguera de aire	TM - SF - MF2
Cambiar	Realizar el cambio del diafragma de la cámara de freno	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - diafragma T30	TM - SF - MF3
Monitorizar	Desmontar la cámara de freno y verificando la elasticidad del resorte	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SF - MF4
Cambiar	Desmontar la bomba de freno y cambiar la empaquetadura	9	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Empaquetadura a bomba de freno	TM - SF - MF5
Monitorizar	Verificar el distanciamiento entre la zapata y la campana de las ruedas que no supere 1.3mm, graduar frenos	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Galga	TM - SF - MF6

Tabla 20. Tareas de mantenimiento del sistema de frenos (continuación)

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Monitorizar	Desmontar las zapatas de freno y verificar el estado de los remaches, si se encuentran sueltos se debe remachar la zapata	9	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SF - MF7
Monitorizar	Verificar el distanciamiento entre la zapata y la campana de las ruedas que no supere 1.3mm, graduar frenos	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Galga	TM - SF - MF8
Monitorizar	Inspeccionar el candado del freno, si está accionando correctamente, si no es así se procede a cambiarlo	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SF - MF9
Monitorizar	Verificar el accionamiento del freno desde el rache hasta las zapatas de freno, quienes deben asentar en la campana uniformemente	1	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SF - MF10
Monitorizar	Verificar el accionamiento del freno desde el rache hasta las zapatas de freno, quienes deben asentar en la campana uniformemente	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SF - MF11

Tabla 20. Tareas de mantenimiento del sistema de frenos (continuación)

DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA
Monitorizar	Verificar el accionamiento de las zapatas, quienes deben asentar en la campana uniformemente	1	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SF - MF12
Monitorizar	Verificar el distanciamiento entre la zapata y la campana de las ruedas que no supere 1.3mm, graduar frenos	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Galga	TM - SF - MF13
Cambiar	Cambiar el rache o candado del freno	9	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Rache de freno	TM - SF - MF14
Cambiar	Realizar el cambio de la válvula de freno de seguridad	18	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Válvula de freno de seguridad	TM - SF - MF15
Cambiar	Buscar la cámara de seguridad que se mantiene pegada y no libera las campanas de freno y cambiarla	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Galga - Cámara de freno	TM - SF - MF16
Monitorizar	Desmontar la culata del compresor y verificar el funcionamiento de las válvulas	9	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SF - MF17

Tabla 20. Tareas de mantenimiento del sistema de frenos (continuación)

DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA
Cambiar	Desmontar el secador del aire y cambiar el filtro	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Filtro	TM - SF - MF18
Cambiar	Desmontar el regulador de presión y cambiar la empaquetadura	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Filtro	TM - SF - MF19
Monitorizar	Verificar el estado de los tanques de almacenamiento comprobando las fugas y cambiando los racores y conexiones abiertas	48	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Mangueras y racores	TM - SF - MF20
Cambiar	Desmontar el secador del aire y cambiar el filtro	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Filtro	TM - SF - MF21
Cambiar	Desmontar el regulador de presión y cambiar la empaquetadura	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Filtro	TM - SF - MF22
Cambiar	Realizar el cambio de la válvula de freno de seguridad	18	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Válvula de freno de seguridad	TM - SF - MF23

Fuente: El autor

Tabla 21. Tareas de mantenimiento del sistema de suspensión

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Cambiar	Cambiar los bujes que se encuentren abiertos y los que no reciben grasa y verificar que la tolerancia entre el buje y el pasador no exceda 1 mm	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Engrasadora manual - Bujes de muelle	TM - SS - MF1
Cambiar	Cambiar los pasadores que se encuentren desgastados y verificar que la tolerancia entre el buje y el pasador no exceda 1 mm	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Engrasadora manual - Pasadores de muelle	TM - SS - MF2
Cambiar	Desmontar el muelle y cambiar el tornillo de centro, verificar el estado de las hojas de resorte	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Engrasadora manual - Tornillo de centro	TM - SS - MF3
Monitorizar	Desmontar la barra estabilizadora y verificar los bujes	15	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SS - MF4
Monitorizar	Verificar el estado de la barra tensora	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SS - MF5
Cambiar	Desmontar el muelle y cambiar las hojas rotas y fisuradas	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Hojas de muelle	TM - SS - MF6
Buscar las fallas	Verificar la altura del muelle en su centro, esta no debe ser menor a 5" 1/2	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Pie de rey o cinta métrica	TM - SS - MF7

Tabla 21. Tareas de mantenimiento del sistema de suspensión (continuación)

TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
Buscar las fallas	Verificar el estado de los amortiguadores y medir la distancia de la punta chasis al piso	6	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Pie de rey o cinta métrica	TM - SS - MF8
Buscar las fallas	Realizar la verificación de la distancia entre ejes, no debe ser menor a 5.050 mm	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Pie de rey o cinta métrica	TM - SS - MF9
Buscar las fallas	Realizar la verificación de la distancia entre ejes, no debe ser menor a 5.050 mm	9	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Pie de rey o cinta métrica	TM - SS - MF10
Buscar las fallas	Realizar la verificación de la distancia entre ejes, no debe ser menor a 5.050 mm, a su vez inspeccionar el estado de los balancines de los muelles	9	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Pie de rey o cinta métrica	TM - SS - MF11
Cambiar	Desmontar el muelle y cambiar las hojas rotas y fisuradas	3	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Hojas de muelle	TM - SS - MF12
Cambiar	Cambiar los amortiguadores delanteros	9	Técnico mecánico - Herramienta de mano - Amortiguadores de doble efecto	TM - SS - MF13
Monitorizar	Inspeccionar el estado físico de la grapa de los muelles	18	Técnico mecánico - Herramienta de mano	TM - SS - MF14

Fuente: El autor

8.6 PROCEDIMIENTO INTERNO PARA REPLICAR EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM

El programa de mantenimiento centrado en confiabilidad se puede replicar a toda la maquinaria suscrita a la secretaría de infraestructura, para ello se debe solicitar al equipo de MECI-CALIDAD la incorporación de un nuevo formato en el cual se describirán las tareas de mantenimiento para cada familia de equipos y sus respectivos subsistemas.

Este formato estará dirigido por el supervisor de mantenimiento y será construido por el profesional encargado del inventario de repuestos, los técnicos mecánicos, eléctricos y los propios conductores y operadores quienes aportarán su experiencia desde cada área de trabajo para nutrir las tareas de mantenimiento de cada máquina. A su vez se dará a conocer las tareas de mantenimiento centrado en confiabilidad del presente trabajo al personal del taller para llevar una hoja de ruta y poder personalizarlo a cada familia de equipos.

La implementación del nuevo formato será revisada por el profesional delegado por MECI-CALIDAD y el secretario de infraestructura lo aprobará.

Así se dará cumplimiento al decreto 1599 de 2005.⁹

⁹ DECRETO No. 1599 de 2005. [Presidencia de Colombia] Por medio del cual se adopta el modelo estándar de control interno para entidades del estado colombiano. 20 de mayo de 2005.

9. CONCLUSIONES

- El análisis de criticidad desarrollado durante este proyecto permitió identificar de manera sistemática dentro de todas las familias de equipos del banco de maquinaria de la gobernación de Casanare el más crítico, debido a su gran probabilidad de falla como se observa en la tabla 9. y así llegar a definir tareas puntuales que garanticen disminuir los mantenimientos correctivos del equipo.
- Mediante la aplicación del mantenimiento basado en RCM se logró reconocer las funciones de los sistemas de frenos, suspensión y eléctrico, así como las formas en que éstas se pueden perder y las acciones correctivas para subsanarlas.
- Al realizar el análisis de modos de falla y sus efectos, se pudo identificar las causas de las fallas, para el caso de estudio, en las volquetas sencillas se analizaron 3 sistemas críticos, los cuales fueron, frenos, suspensión y eléctrico y a través del árbol lógico de decisión de RCM se pudieron definir el tipo de decisión, la frecuencia, las tareas de mantenimiento y los recursos necesarios.
- Con el plan de mantenimiento basado en RCM se optimizó el recurso humano y las herramientas necesarias para realizar las tareas programadas.

BIBLIOGRAFIA

- BATANELO, Nelson. Estudio y diseño de un programa mcc (mantenimiento centrado en confiabilidad) para el sistema de aire de instrumentación de una central de generación de energía con motores de combustión a gas natural. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga,2017.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 14224. Industrias del Petróleo y del gas natural – Recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipo. 1era Edición, 1999.
- GOBERNACIÓN DE CASANARE. Presentación [En línea] <https://www.casanare.gov.co/EICasanare/Paginas/Presentacion.aspx> [citado el 30 de mayo de 2022]
- GOBERNACIÓN DE CASANARE. Información del departamento [En línea] <https://www.casanare.gov.co/EICasanare/Paginas/Informacion-del-Departamento.aspx> [citado el 30 de mayo de 2022]
- GONZALEZ JAIMES, Isnardo. Seminario II: Monografía de la especialización. Universidad Industrial de Santander, 2017.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Edición en español. Lutterwoth, United Kingdom: Aldon Ltd. 2004.
- ORTIZ, Daniel. “Guía Práctica de Mantenimiento Centrado en confiabilidad” - Memorias. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2016; 28 p.
- RESOLUCIÓN No. 0017 de 2021 [Gobernación de Casanare]. Por medio de la cual se actualiza y adopta la misión y visión de la Gobernación de Casanare. 15 de febrero de 2021.
- PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestion de activos. Sevilla: Ingeman. 2012. p136.
- SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, Society of Automotive Engineering, 1999.
- SAE JA1012, Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, Society of Automotive Engineering, 199