



**Optimización del plan de mantenimiento
usando la metodología de
Mantenimiento centrado en confiabilidad
viviente (L-RCM) para los equipos de la
flota de tractores orugas de Carbones
del Cerrejón Limited.**

Henry Alberto Diaz

**Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ciudad, Colombia
2021**

**Optimización del plan de mantenimiento
usando la metodología de
Mantenimiento centrado en confiabilidad
- viviente (L-RCM) para los equipos de la
flota de tractores orugas de Carbones
del Cerrejón Limited.**

Henry Alberto Diaz

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al

título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Ing. Wilman Orozco

Línea de Investigación:

Mantenimiento Industrial.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2021

Dedicatoria

Dedico esta tesis A DIOS y a mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos le dedico es desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

Agradecimientos

En primera instancia agradecer a mi director de tesis, el ingeniero Wilman Orozco, por toda la orientación y apoyo que proporcionó a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias y la redirección de mis ideas, así mismo, con el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias a mis amigos y todas las personas que intervinieron de manera directa o indirecta en mi proceso de formación profesional.

henrydiaz@uan.edu.co

RESUMEN

En la presente investigación se propone desarrollar la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad viviente (I-RCM), para el caso de estudio se trabajará el mantenimiento de equipos de oruga, específicamente a la flota de Tractores (D9T, D10T, D11T) de la empresa Carbones del Cerrejón Limited, en el cual se presenta una baja confiabilidad y disponibilidad. Como objetivo general se Optimizar el plan de mantenimiento usando la metodología de Mantenimiento centrado en confiabilidad - viviente (L-RCM). En relación a la metodología para el proceso de implementación del LRCM incluye varias fases, inicialmente se actualizó los análisis RCM de la flota de Tractores, en segunda instancia se documentó en el software RCMCost los análisis RCM de la flota, finalmente, se codificaron los diferentes sistemas, componentes y partes, funciones, fallas funcionales y causas definidas en los análisis RCM.

Se determinó en el análisis de criticidad del Tractor a Orugas CAT D9T podemos notar que el subsistema de combustible, Cilindro de brazo y lubricación son los sistemas críticos, así mismo, para el Tractor a Orugas CAT D10T podemos notar que el subsistema de combustible, Bomba hidráulica y lubricación son los sistemas críticos. Finalmente, el Tractor a Orugas CAT D9T podemos notar que el subsistema de combustible, Cilindro de brazo y lubricación son los sistemas críticos. En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro del filtro de combustible.

Palabras clave: *Mantenimiento, Equipo Minero, Tractor de Oruga, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).*

SUMMARY

In this research, it is proposed to develop the methodology of Living Reliability Centered Maintenance (I-RCM), for the case study the maintenance of caterpillar equipment will be worked, specifically to the fleet of Tractors (D9T, D10T, D11T) of the Carbones del Cerrejón Limited company, in which there is low reliability and availability. The general objective is to Optimize the maintenance plan using the Reliability Centered Maintenance - Living (L-RCM) methodology. In relation to the methodology for the LRCM implementation process, it includes several phases, initially it is intended to update the RCM analyzes of the Tractor fleet, in the second instance documenting in the RCMCost software the RCM analyzes of the fleet, finally, the different systems, components and parts, functions, functional failures and causes defined in the RCM analyzes.

It was determined in the criticality analysis of the CAT D9T Crawler Tractor we can note that the fuel subsystem, Arm cylinder and lubrication are the critical systems, likewise, for the CAT D10T Crawler Tractor we can note that the fuel subsystem, Pump Hydraulics and lubrication are critical systems. Finally, the CAT D9T Crawler Tractor we can note that the fuel, boom cylinder and lubrication subsystem are the critical systems. In the table we show the fault record according to the fuel filter hour meter

Keywords: *Maintenance, Mining Equipment, Crawler Tractor, Reliability Centered Maintenance (RCM).*

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 OBJETIVO GENERAL	16
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
5. ALCANCE Y LIMITACIONES	17
6. MARCO TEORICO	18
6.1. MARCO TEORICO	18
6.2 DEFINICION DE MANTENIMIENTO LRCM	23
7. METODOLOGIA	26
7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
7.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	26
7.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	26
7.4 ANÁLISIS DE DATOS	27
7.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
7.SISTEMAS Y APLICACIONES UTILIZADAS PARA EL PLAN DE OPTIMIZACIÓN LRCM.	27
8. CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA DE EQUIPOS EN LA FLOTA TRACTORES DE ORUGAS.	31
8.1 DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA FLOTA TRACTORES DE ORUGAS.	31
8.2 DESCRIPCION TECNICA DE FLOTA TRACTORES DE ORUGAS (D9T, D10T, D11T).	32
8.3 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MODELOS DE TRACTORES ORUGAS (D9T, D10T, D11T).....	35
8.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)	37
8.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE ACTIVOS	53
8.6 DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE INTERVENCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	62
9. ACTIVIDADES PARA EL FORTALECIMIENTO EL CAMBIO CULTURAL EN LOS PROCESOS SISTEMÁTICOS DE ACTUALIZACIÓN DEL L-RCM VIVIENTE.	73
9.1 TALLERES DE CULTURA DE MANTENIMIENTO.....	73
10. CONSLUSIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipos Operativos para optimizar: flota tractores de orugas (D9T, D10T, D11T).....	31
Tabla 2. Características del motor.....	33
Tabla 3. Característica tren de rodaje.....	33
Tabla 4. Controles hidráulicos.....	33
Tabla 5. Capacidades de llenado.....	34
Tabla 6. Características de las hojas.....	34
Tabla 7. Dimensiones de los diferentes modelos de tractores orugas (D9T, D10T, D11T).....	35
Tabla 8 Escala evaluación factor de estado.....	36
Tabla 9. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350051.....	39
Tabla 10. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350053.....	40
Tabla 11. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350054.....	41
Tabla 12. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350055.....	42
Tabla 13. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350115.....	43
Tabla 14. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350116.....	44
Tabla 15. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350117.....	45
Tabla 16. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350123.....	46
Tabla 17. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350124.....	47
Tabla 18. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350310.....	48
Tabla 19. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350311.....	49
Tabla 20. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350312.....	50
Tabla 21. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350313.....	51
Tabla 22. Criterios de Evaluación de Criticidad de Equipos.....	53
Tabla 23. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350050.....	54
Tabla 24. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350051.....	54
Tabla 25. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350053.....	55
Tabla 26. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350054.....	55
Tabla 27. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350055.....	56
Tabla 28. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350115.....	56
Tabla 29. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350116.....	57
Tabla 30. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350117.....	57
Tabla 31. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350123.....	58
Tabla 32. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350124.....	58
Tabla 33. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T : 0350310.....	59
Tabla 34. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T : 0350311.....	59
Tabla 35. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T : 0350312.....	60
Tabla 36. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T: 0350313.....	60
Tabla 37. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T: 0350315.....	61
Tabla 38. Registro de fallas filtro combustible Tractor D9T.....	62
Tabla 39. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D9T.....	63
Tabla 40. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T.....	63
Tabla 41. Registro de sistema de lubricación D9T.....	63
Tabla 42. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D9T.....	64
Tabla 43. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T.....	64
Tabla 44. Registro de fallas filtro combustible Tractor D9T Serie 0350053.....	64
Tabla 45. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D9T.....	65
Tabla 46. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T.....	65
Tabla 47. Registro de fallas filtro combustible Tractor D9T Serie 0350054.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 48. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D9T.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 49. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T.....	¡Error! Marcador no definido.

Tabla 50. Registro de fallas filtro combustible Tractor D9T Serie 0350055 ¡Error! Marcador no definido.
Tabla 51. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D9T ¡Error! Marcador no definido.
Tabla 52. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T..... ¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Ubicación geográfica de la mina carbones de cerrejón.....	24
Ilustración 2.Tractor oruga modelo	25
Ilustración 3 Medidas Tractor oruga CAT D11T.....	34

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La industria de la minería en todo el mundo ha sido objeto de importantes revisiones y reformas en la última década, lo que ha dado lugar a demandas cambiantes con respecto a una mayor seguridad, confiabilidad, seguridad ambiental y competencia comercial. En un entorno así es fundamental que el personal y la planta y el equipo involucrados, se desempeñen a sus niveles óptimos de capacidad [1], [2].

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una herramienta de optimización del mantenimiento que tiene papel en la provisión de una respuesta eficaz a tales demandas en la industria, mejorando la efectividad de los programas de operación y mantenimiento[3], [4].

El funcionamiento del sistema en este tipo de mantenimiento es lo esencial y no establece un enfoque individual en cada equipo, en ese punto se busca la falla a partir del principio de confiabilidad (*reliability*). Esta metodología de mantenimiento está basada generalmente en la característica Fiabilidad que posee un equipo y la capacidad de poder evaluarlo en términos cuantitativos. El conocimiento de la confiabilidad y la disponibilidad (*Availibility*) de un equipo permite planear y predecir la producción e incluso tener planes de contingencia [3]–[5].

Los requisitos de un análisis LRCM incluyen:

(i) definir los límites del sistema; (ii) definir las funciones importantes del sistema; (iii) identificar los modos de falla dominantes y los efectos de estos fracasos; (iv) determinar la criticidad de estos modos de falla y los asociados componentes críticos; (v) basado en mecanismos de falla del equipo reales o potenciales, identificando tareas aplicables y efectivas que pueden prevenir las fallas o reducir su probabilidad[3], [4], [6].

Diferentes implementaciones en muchos sectores de la industria han permitido validar la metodología Centrado en Confiabilidad Viviente (LRCM), los resultados de su aplicación que permite mejorar la confiabilidad de los equipos, todo esto es posible por el levantamiento de información cuantitativa o datos de los equipos, mediante la integración del RCM inicial (o clásico) con las actividades y tareas diarias de mantenimiento. Se fundamenta básicamente en la correlación que existe entre el sistema de ordenes de trabajo y la gestión de conocimiento que se da a través de los análisis RCM.

La empresa ***Carbones del Cerrejón Limited*** posee una flota de 51 tractores de oruga (D9T, D10T, D11T) marca Caterpillar operativos hasta la fecha del estudio, en la actualidad no existen reportes puntos de referencia ni modelos operativos en el

territorio que permitan desarrollar estrategias de mantenimiento similares para este tipo de equipos, por esta razón es importante establecer estrategias de mantenimiento propias y pertinentes al nivel de operación del área de producción y que a su vez estén encaminadas a lograr el propósito de confiabilidad y disponibilidad requeridos por el área de producción [7].

Se pretende implementar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad viviente (LRCM) puesto que la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos está por debajo de los estándares mínimos determinados por el departamento de confiabilidad y los determinados por Caterpillar para este tipo de maquinaria; la actualización y optimización de estos tractores modelo (D9T, D10T, D11T) ubicados en los Tajos (ANEX, LA PUENTE, 100, OREGANAL, PATILLA).

Actualmente la flota cuenta con 51 equipos, se pretende intervenir alrededor de (15) a estos se les realizó y redefinió las funciones requeridas, se actualizaron las fallas funcionales y los modos de falla asociados a las fallas funcionales utilizando la metodología AMEF, con el diagrama lógico de decisión se definió cuáles eran las actividades, frecuencias y recursos de mantenimiento necesarios para optimizar la confiabilidad y disponibilidad de la flota.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en la flota de tractores orugas (D9T, D10T, D11T) que desempeñan su labor áreas de trabajo de los tajos el mantenimiento correctivo no está respondiendo a las condiciones cambiantes y confiabilidad requerida en los equipos de esta línea. Se ha venido observando un crecimiento del grado y el número de fallas en la maquinaria, afectando la seguridad del empleado, la productividad de la planta y finalmente los altos costos que se incurren al suspender la producción por las paradas y la baja disponibilidad de los equipos.

Las áreas donde desarrollan estos equipos sus actividades de producción son los tajos (ver figura 1) en estas área se utilizan modelos de oruga (D9T, D10T,D11T) ya que son los modelos más apropiados para desarrollar funciones específicas que requieren mucha exigencia de trabajo por las características propias del modelo de producción, en la actualidad estos equipos registran problemas disponibilidad (A) con unos indicadores por debajo de 75% y una baja confiabilidad (MTBS tiempo promedio entre paradas) menor a 28 horas, esta problemática apunta a desarrollar una optimización y actualización del plan de mantenimiento de estos equipos basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad viviente (LRCM) que permita mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

Con lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál sería la actualización plan de mantenimiento basado en centrado en confiabilidad - viviente (L-RCM) para los equipos de la flota de tractores orugas de Carbones del Cerrejón Limited?

3. JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista académico se considera relevante el tema de mantenimiento industrial, puesto que esta es una actividad propia de la ingeniería y del campo de aplicación propio de la carrera profesional cursada.

La relevancia de este estudio para la universidad radica en el producto esperado que constituye una guía técnica educativa en mantenimiento para equipos tractores orugas (D9T, D10T, D11T), material educativo importante para de apoyo a la asignatura de Manteniendo industrial de la Universidad Antonio Nariño.

Se considera de suma importancia los equipos de tractores orugas (D9T, D10T, D11T) que desempeñan su labor áreas de trabajo de los tajos, hacen parte de una línea crítica de producción y dentro de sus funciones en el esquema productivo es importante brindar una eficaz confiabilidad a la producción, por lo cual necesitan de un nuevo plan de mantenimiento que permita disminuir las posibles fallas aumentando así la disponibilidad de estos.

Desde el punto de vista económico el plan de mantenimiento basado en LRCM pretende reducir costos de mantenimiento, implementar procedimientos estandarizados para cada equipo y reducir los tiempos de parada de estos equipos.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el plan de mantenimiento basado en L-RCM para equipos en la flota de tractores de orugas la empresa ***Carbones del Cerrejón Limited.***

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el total de máquinas y causas de fallas de la línea de equipos en la flota tractores de orugas.
- Actualizar las funciones, fallas funcionales, modos y consecuencias de las fallas, de los equipos analizados de acuerdo con sus especificaciones técnicas.
- Proponer lineamientos del cambio cultural en los procesos sistemáticos de actualización del LRCM viviente.

5. ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance de este proyecto comprende:

- Levantamiento de información de 10 equipos de orugas como prueba piloto del plan de mantenimiento basado en RCM.
- Solo se tendrán en cuenta los equipos que prestan su servicio en las siguientes zonas: Tajos (ANEX, LA PUENTE, 100, OREGANAL, PATILLA).
- El trabajo se limitará al diseño del plan de mantenimiento, el documento será entregado a la empresa **Carbones del Cerrejón Limited** como propuesta para su evaluación y posterior implementación.

Resultado de análisis de costos de mantenimiento.

Algunas de las limitaciones presentes en el proyecto:

- Acceso a alguna información de los equipos, indicadores y más datos.
- Falta de tiempo suficiente para el estudio de todos los casos.
- Recursos económicos y físicos para realizar tipo de pruebas especiales diagnósticas.

6. MARCO TEORICO

6.1. MARCO TEORICO

6.1.1 Generalidades mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Las organizaciones han introducido el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) con el fin de cambiar su forma general de realizar el mantenimiento. Sin embargo, muchas veces estas organizaciones han experimentado una introducción de RCM engorrosa o incluso fallida [1].

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) recibe ese nombre debido a sus siglas en inglés), se trata de un método reconocido y usado para elaborar planes de mantenimiento en equipos de uso industrial basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario [2].

Por lo general, los obstáculos administrativos y organizativos, que surgen más o menos inesperadamente durante la introducción. Este documento se centrará en la gestión de la introducción de L- RCM, así mismo, mediante la aplicación de los principios de gestión de requisitos y procesos, los obstáculos que surgen durante la introducción pueden identificarse desde el principio.

6.1.2 Antecedentes mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). En la década de los 70, se comienza a implementar en las organizaciones las teorías de Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM).

A partir de los años 50 se desarrollaron diferentes técnicas como:

- 1960 mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)
- 1961 Poka-Yoke
- 1962 círculos de Calidad (QC)
- 1968 guía MSG-1 conocida como el RCM mejorado.
- 1971 se desarrolla el Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- 1980 guía MSG-3 para mejorar el mantenimiento en naves aéreas.
- 1980 optimización del Mantenimiento Planificado (PMO)
- 1980 RCM-2 en toda clase de industrias
- 2005 conservación Industrial (IC) Los comienzos del mantenimiento R.C.M datan de finales de los 50.

La metodología RCM fue diseñada en los años 60's y 70's con el propósito de brindar una herramienta a las empresas que permita determinar las políticas más adecuadas para mejorar y mantener las funciones de los activos tanto físicos como el manejo las consecuencias de sus fallos. La industria de la aviación es pionera , impulsado por la necesidad de optimizar la fiabilidad, y ha evolucionado de forma continua desde sus inicios en 1960 [3].

En aquel momento el número de accidentes en la aviación mundial superaba los 60 accidentes por millón de despegues gran parte de estos eran causados por fallas en los equipos.

El RCM combina varias técnicas y herramientas de gestión de riesgos bien conocidas, como el modo de falla y el análisis de efectos y árboles de decisión, en un enfoque sistemático, para respaldar decisiones de mantenimiento efectivas y eficientes. El RCM puede ser completamente descrito por sus cuatro características únicas [4]:

- (1) Preserva las funciones
- (2) Identifica los modos de falla que pueden anular las funciones
- (3) Prioriza la necesidad de función (a través de los modos de falla); y
- (4) Selecciona solo tareas de mantenimiento preventivo aplicables y efectivas.

Los artículos sobre aplicaciones de RCM tratan temas tales como sistemas de compresión de gas en la industria petrolera marina [5], auxiliares de calderas y turbinas en la industria nuclear [6] y robots en la fabricación de automóviles [7].

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) puede, entre otras cosas, mejorar la disponibilidad y confiabilidad del sistema, reducir la cantidad de mantenimiento correctivo preventivo y no planificado y aumentar la seguridad. Todas estas son características de rendimiento importantes que la mayoría de las empresas desean mantener en un entorno competitivo.

Los estudios sobre la aplicación de RCM suelen limitarse a centrarse en un subsistema específico o en un estudio piloto. Sin embargo, el uso de RCM también puede involucrar el desempeño de una organización de mantenimiento de una manera más general, por ejemplo, provocando cambios en el programa de mantenimiento general [4], [8]

Desde esa perspectiva, RCM puede considerarse como un método, o una forma de trabajar dentro de una organización. Los pasos que se realizan cuando se trabaja con análisis RCM pueden diferir un poco según el contexto de la aplicación, aunque a un nivel general son, en general, los mismos [1].

6.1.3 Mantenimiento. El mantenimiento varios autores lo definen como el conjunto de actividades necesarias, enfocadas a conservar y preservar el estado óptimo operativo de los equipos, herramientas y todos los activos físicos que se encuentren dentro de la organización [9] .

En la preservación de los equipos e instalaciones radica la importancia del mantenimiento puesto que se hace necesario en muchos de los casos para mantener la productividad constante y reducir las pérdidas al interior de la organización. La eficiencia de un plan de mantenimiento se mide por medio de un indicador de productividad, asegurar el correcto servicio de los tractores oruga, y la protección y conservación de estos, esta eficiencia de los equipos impacta en la reducción de costos generados por paradas, y también directamente en las instalaciones y la seguridad de todo el personal. En el plan de mantenimiento industrial es relevante tener control sobre las variables de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad [3].

El tiempo en que una maquina está disponible para producir hablamos de disponibilidad, luego de ser intervenido por causa de mantenimiento. La segunda variable es la confiabilidad, que se refiere a la probabilidad que tiene un equipo de desempeñar su función básica, durante un tiempo establecido, bajo condiciones estándares de uso. La mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo sea reparado en determinado tiempo, después de presentar una falla[3], [5].

6.1.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Se conoce así por sus siglas en ingles RCM o *Reliability Centred Maintenance*, lo que traduce (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad), esta técnica nos sirve poder elaborar un plan de mantenimiento de una manera óptima y validad en una planta de producción industrial, algunos autores establecen que brinda muchas primacías importantes sobre otras técnicas.

Fue pionero en el sector de aviación, puesto que los elevados costes derivados de la sustitución sistemática de repuestos ponían en peligro la rentabilidad de las compañías aéreas; una vez se comprobó su eficiencia fue trasladada al campo industrial, con excelentes resultados y las lecciones aprendidas en el campo aeronáutico [10].

6.1.5 Concepto del MCC. El MCC nos permite la identificación de todas las actividades y tareas de mantenimiento preventivo con sus respectivas frecuencias a los equipos más importantes y sensibles en la operación de la organización.

Esta técnica se basa principalmente en el análisis funcional de los equipos en su contexto natural de operación. Esto permite estudiar el esfuerzo desarrollado por el equipo en su contexto natural y tener un plan de mantenimiento asertivo y flexible,

que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la empresa, todo esto sin dejar a un lado , el ambiente, la seguridad personal, , las operaciones y la razón costo/beneficio” [11].

6.1.6 Las Siete Preguntas Básicas del RCM. El mantenimiento centrado en Confiabilidad o *Reliability-centred Maintenance* (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años.

Estos procesos permiten principalmente determinar las actividades claves de mantenimiento en cada uno de los activos de la empresa. El RCM después de su validación y eficiencia ha sido implementado en diversas organizaciones de todos los sectores productivos: desde grandes empresas hasta pequeñas organizaciones con procesos de producción simples, utilizan RCM para establecer las labores de mantenimiento de sus equipos.[1], [8]. La especificaciones y lineamientos sobre su aplicación la podemos encontrar en La norma SAE JA1011 [12] la cual ilustra como se debe diseñar un proceso para poder ser denominado un proceso RCM, establece s 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
- ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

Partiendo del concepto de mantenimiento, el cual se define como el conjunto de actividades que se le ejecutan componente, sistema o equipo con el propósito de asegurar su desempeñando y las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado. El mantenimiento en la empresa incide en [12] :

- Costos de producción.
- Calidad del producto.
- Capacidad operacional.
- Seguridad e higiene industrial.
- Calidad de vida de los trabajadores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía.

6.1.7. Conceptos del RCM. El RCM evidencio que los conceptos del mantenimiento que se creían correctos son realmente desacertados. En la gran mayoría de los casos estas definiciones suelen ser muy riesgosas si se aplican literalmente, un ejemplo de ello es la idea de que la mayoría de las fallas se producen cuando el equipo tiene muchos años de uso, esta premisa ha demostrado ser falsa para muchos equipos industriales. A continuación se explican varios conceptos derivados del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, muchos de los cuales aún no son completamente entendidos por los profesionales del mantenimiento industrial [13] .

6.1.8 El contexto operacional. La primera pregunta del RCM es establecer de manera documental las funciones requeridas para el activo que se está analizando, es importante contar y con un claro entendimiento del contexto donde se desempeña el equipo. Otro ejemplo claro es que dos equipos idénticos que trabajan en diferentes plantas pueden tener planes de mantenimiento completamente diferentes si sus contextos de operación no son similares.

Exponiendo el asunto del sistema de lubricación de equipos, que generalmente suele requerir actividades de mantenimiento diferentes a las de un sistema principal, aun sabiendo que los dos sistemas sean físicamente idénticos. Es por eso, que inicialmente se debe iniciar el análisis, además se debe redactar en el ámbito operacional, en una corta descripción (2 o 3 párrafos) aquí se debe resaltar lo siguiente: repuestos, disponibilidad de mano de obra régimen de operación del equipo, resultados de la indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc. [14].

6.1.9 Funciones. El diseño del RCM empieza con la transcripción de las funciones deseadas. Un claro ejemplo es una bomba hidráulica en la cual puede definirse esta característica” Bombear no menos de 500 litros/minuto de agua”, no obstante, esta bomba puede poseer diversas funciones asociadas, como por ejemplo” Contener al agua (evitar pérdidas)”. En un análisis de RCM, todas las funciones deseadas deben ser listadas.

6.1.10 Fallas funcionales o estados de falla. Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema [15]. Por ejemplo, para una bomba dos estados de falla podrían ser Incapaz de bombear agua”, ” Bombea menos de 500 litros/minuto”, ” No es capaz de contener el agua”. Se debe identificar tempranamente que los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas. Una vez identificadas todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es generalmente muy sencillo.

6.1.11 Modos de falla. Los nodos de falla se definen como la potencial causa por la cual una maquina puede llegar a su fallo. Un ejemplo de ellos es identificar el “impulsor desgastado” en una bomba es un nodo de falla identificado por la falla funcional” que es bombear menos de lo establecido”. Generalmente por cada falla funcional se tiene más de un modo de falla. Se recomienda que todos los modos de falla que estén asociados a cada falla funcional tienen que ser identificados durante el análisis de RCM. Esta identificación los modos de falla de un equipo o sistema, es relevante listar la” causa raíz” de la falla identificada.

Cuando se analizan los nodos de falla no se lista la falla en concreto del componente, en su lugar lo que se debe precisar es la razón por la cual ocurre el fallo, pues así, podemos encontrar la razón precisa por la cual ocurre el fallo se precisa la idea del porque ocurre la falla. Es posible analizar alternativas como, falta de lubricación, desgaste excesivo, hasta llegar a analizar factores como instalación inadecuada, la segregación de las causas que interfieren en la falla se consigue tener una idea precisa del porque ocurre el evento y por consiguiente orienta a un manejo adecuado del equipo y la frecuencia de sus fallos [15], [16].

6.1.12 Los efectos de falla. Una vez se tienen todos los nodos de falla identificados se inicia, se relacionan los efectos de falla asociados. Este efecto de falla debe consistir en una descripción de correlación entre los sistemas y el efecto que esto genera en el componente. Por ejemplo, si se identifica un modo de falla” rodamiento desgastado” podría ser el siguiente:” a medida que el rodamiento se desgasta, se reduce la capacidad de movimiento rotacional, hasta que ocurre la parada. El tiempo necesario para detectar y reparar la falla (cambio de rodamiento) suele ser de 500 horas, puesto que el desgaste ocurre luego de 600 horas. Así mismo, es pertinente, asociar la falla con las consecuencias y el impacto dentro del sistema productivo, es decir, el tiempo que el equipo está sin servicio y el costo relacionado a este [17].

6.1.13 Patrones de falla en función del tiempo. En relación con los patrones de falla, se cree que la probabilidad de ocurrencia de una falla esta determinada por el tiempo de uso y por la vejez del equipo; sin embargo, algunos estudios han demostrado que esta relación es mucho mas compleja, se evidencia que existen 6 patrones de falla y que cada uno de los patrones representa la probabilidad de falla en función del tiempo.[16].

6.2 DEFINICION DE MANTENIMIENTO LRCM

El mantenimiento centrado en la confiabilidad de vida (LRCM) es un proceso lógico mediante el cual expone, rastrea y extrae el fondo de todas las fallas de los equipos

y su frecuencia. A medida que crece nuestra experiencia operativa, recopilamos datos de mantenimiento que amplían nuestra capacidad de analizar y comprender el comportamiento del equipo. Este conocimiento ampliado del comportamiento de la planta puede decirnos que el programa RCM requiere algunos ajustes. LRCM une el análisis RCM al sistema de orden de trabajo, es decir, contribuye al punto de datos utilizable al análisis de confiabilidad. LRCM aplica RCM fundamental a cada desafío combinando soluciones tecnológicas. Fomentar la participación humana vital y el control sobre el proceso completo. LRCM encuentra la brecha empoderando personal de mantenimiento para superar cuatro desafíos que obstruyen el logro de la confiabilidad a partir de los datos:

1. Extracción y transformación de datos.
2. Gestión de la relación entre los sistema de órdenes de trabajo y la base de conocimientos de RCM.
3. Generación de muestras.
4. Análisis de confiabilidad.

6.3 CARACTERISTICAS DE LA ORGANIZACIÓN EN ESTUDIO.

6.3.1 Carbones del Cerrejón Limited La empresa *Carbones del Cerrejón Limited* es una de las empresas de explotación minera e carbón a cielo abierto más grandes del mundo, un importante actor de la economía en Colombia y motor de La Guajira, región en la que concentra su actividad productiva. Integra la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón de diversas calidades.

Ilustración 1. Ubicación geográfica de la mina carbones de cerrejón



Fuente: earth.google.es

La mina de carbón del Cerrejón, está localizada en la cuenca del río Ranchería, al sureste del Departamento de La Guajira, al este de la Sierra Nevada de Santa

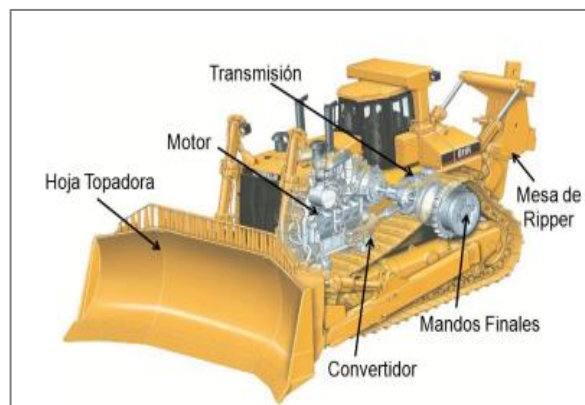
Marta y al oeste de la Serranía del Perijá, en la línea con la frontera con Venezuela. Las características de la mina permiten una extracción a cielo abierto, y es una de las minas más grandes a cielo abierto del mundo. El yacimiento carbonífero se divide en tres zonas principales, correspondientes a Cerrejón Zona Norte, Cerrejón Zona Central y Cerrejón Zona Sur. La mina se extiende sobre unas 69.000 hectáreas. La minería del carbón en el Cerrejón es una operación integrada de minería, transporte férreo y embarque de carbón en La Guajira, departamento ubicado en el extremo noreste de Colombia. Abarca una mina a tajo abierto de carbón térmico que produce más de 32 millones de toneladas al año, con un ferrocarril de 150 km de largo, cuenta con 562 vagones cada uno de 90-110 toneladas, que la comunica a un puerto marítimo de cargue directo capaz de recibir buques de hasta 180.000 toneladas de capacidad, entre otros.

6.3.2 Tractores de oruga Caterpillar [10]. Los tractores de orugas Cat están contruidos para mover más, y es exactamente para esto que están diseñado los modelos D9T, D10T, D11T. Las características ofrecen mejorar la durabilidad y la fiabilidad, aumentar la productividad y la eficiencia, y mejorar la facilidad de servicio.

Los tractores modelos D9T, D10T, D11T , son unos de los tractores más grandes fabricados por Caterpillar, es usado principalmente en la industria minera y su diseño está dirigido especialmente a trabajos pesados para empujar grandes cargas y romper rocas. Los tractores están compuestos por diferentes sistemas y son:

- ✓ Sistema de tren de fuerza
- ✓ Sistema Hidráulico
- ✓ Chasis y herramientas de corte
- ✓ Sistema eléctrico.

Ilustración 2. Tractor oruga modelo



7. METODOLOGIA

7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La Investigación se enfoca en un estudio mixto, que permite orientar y evaluar todas las variables que incidan dentro del proceso, partiendo de lo general

- ✓ **Cuantitativa:** Es de carácter cuantitativo puesto que dentro del trabajo de campo se realizarán toma de datos referente a la relación de las horas de uso y el numero de fallos de cada componente, información que fue analizada desde el punto de vista estadístico.
- ✓ **Cualitativa:** El estudio cualitativo por las descripciones de las funcionalidades de fallo, así mismo en la construcción del modelo de cultura organizacional orientada al mantenimiento.
- ✓ **El tipo de investigación** que se llevará a cabo es de tipo exploratoria. Se trata de una investigación de campo que se realizara en el área donde se encuentran operando los equipos (Guajira).

7.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población equipos de tractores orugas (D9T, D10T, D11T) que desempeñan su labor áreas de trabajo de los tajos hasta el primer trimestre del 2021 era de 51 equipos en operación.

La muestra fue no probabilística de carácter intencionado, puesto que la selección elementos no depende de la probabilidad, no se hace uso de fórmulas, puesto que la muestra es proporcionada por el departamento de confiabilidad. El departamento de mantenimiento otorgo la lista de los equipos que registran más paradas y una disminución de la disponibilidad, que está por debajo 75% y baja confiabilidad (MTBS tiempo promedio entre paradas) por debajo de 28 horas.

7.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de los datos en la presente investigación se hizo uso de la observación directa y el apoyo de hojas de inspección, así mismo se apoyo en las hojas de vida de cada uno de los equipos. Para el levantamiento de la información de los fallos se construyo un formato donde se relacionaban los diferentes sistemas, subsistemas y componentes de cada uno de los tractores oruga. La información fue tomada en campo y dentro de los permisos y horarios permitidos por el jefe de

confiabilidad y mantenimiento.

7.4 ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis y la tabulación de los datos se hará uso de Excel, en el mismo formato se tabularán los resultados, para ello se hará uso de la técnica de análisis de datos basada en la teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua.

7.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

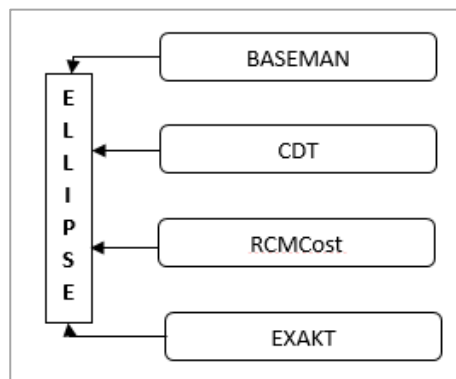
La metodología utilizada para la investigación del Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo aplicando la metodología LRCM para los equipos de tractores orugas (D9T, D10T, D11T), consta fundamentalmente de las siguientes fases [11]–[14].

Se tomó como insumo principal lo establecido por las normas SAE JA-1011/1012 *“Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes / A guide to Reliability-Centered Maintenance (LRCM) standard”*, respectivamente (SAE, 1999, 2002).

7.SISTEMAS Y APLICACIONES UTILIZADAS PARA EL PLAN DE OPTIMIZACIÓN LRCM.

La digitalización de los datos es apoyada gracias al sistema de información de Elipse, en el cual adhiere al otras aplicaciones y otras fuentes tal como se muestra en la figura, se detalla el sistema y las aplicaciones adheridas a ella para el levantamiento y análisis de la información.

Figura 3. Sistema de Información de Mantenimiento y sus Interfaces



Fuente: Propia

Los sistemas de información asociados son los siguientes:

1. (CTD): Es un sistema que se utiliza para recopilar información sobre la disponibilidad de los equipos.
2. BASEMAN: La función principal de este es administrar las paradas de los equipos.
3. RCMCost en el cual se realizan y documentan los análisis RCM y los costos asociados.
4. EXAKT: Este es un software de análisis predictivo que permite determinar y pronosticar la vida útil de los diferentes componentes de cada equipo y la información de signos vitales de algunas flotas, y otras.

Tabla 1. Pasos para realizar LRCM

Act.	Description
1	Preparación
2	Selección del sistema y recolección de la información
3	Listado de funciones y sus especificaciones
4	Determinación de fallos principales y secundarios
5	Estudio de criticidad de los fallos
6	Determinación de las medidas preventivas

Fuente: Propia

1- Preparación

Es esta etapa se plantearán las bases para la optimización del sistema de LRCM en la empresa, se tienen presente los factores primordiales el personal y el control del orden y limpieza en el proceso de mantenimiento.

2- Selección del sistema y recolección de la información

Definición del contexto operacional: Se realizará una descripción operacional del contexto de estudio, unidades intervenidas, así mismo, los momentos tiempos y lugares de trabajo para el desarrollo de recolección de datos e información.

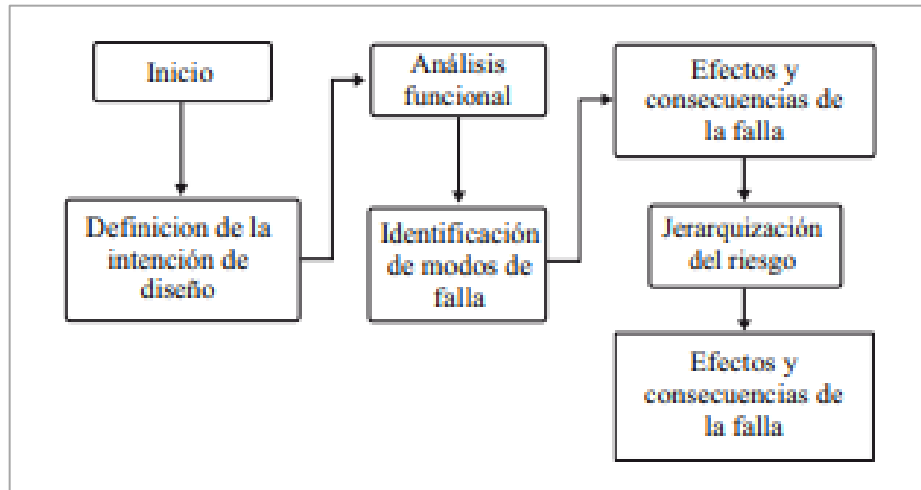
3- Listado de funciones y sus especificaciones

Se realizará la recolección de la información sobre motores de combustión interna y sus diferentes sistemas.

4- Determinación de fallos principales y secundarios.

Para determinar los fallos principales se hará uso de la metodología el AMEF de las 6M de calidad, este se orino a partir de la necesidad de determinar los fallos que se generan frecuentemente y con mayor impacto en la presentación de paradas de motor en las maquinarias ensayadas tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Diagrama de flujo metodología AMEF



5- Fase de estudio de criticidad de los fallos

En esta sección se jerarquizará las partes principales que se derivan de un motor diésel, con el propósito de mejorar su funcionamiento mediante la optimización de su mantenimiento. Estos son alguno de los criterios:

- Frecuencia de fallas.
- Impacto operacional.
- Flexibilidad operacional.
- Coste de mantenimiento.
- Impacto en seguridad, ambiente e higiene.

6- Actualizar todos los análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM de las flotas.

Durante esta fase se definirán las Jerarquías de Sistemas y Componentes Principales de los Equipos.

7- Documentar información de campo

Durante esta fase se realizaron esfuerzos para reforzar la cultura en el levantamiento de datos para el software RCMCost los y los análisis RCM de las diferentes flotas.

8- Desarrollar clasificación

En esta etapa se realizó la codificación de cada uno de los componentes, cada una de las partes, la descripción de las funciones y los nodos de falla, así mismo las causas.

Variables

Las variables consideradas para el presente estudio son:

- **Independientes:** Gestión de Mantenimiento.
- **Dependientes:** Fallas del sistema.

8. CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA DE EQUIPOS EN LA FLOTA TRACTORES DE ORUGAS.

8.1 DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA FLOTA TRACTORES DE ORUGAS.

El diagnóstico de la situación consistió en la recopilación y almacenamiento de toda la información necesaria referente a los equipos en la flota tractores de orugas (*D9T*, *D10T*, *D11T*). Solo se tomarán los equipos que estén operativos, así mismo, junto con el responsable de confiabilidad de la empresa Carbones del Cerrejón Limited se identificaron previamente los vehículos que requerían optimización y actualización de la información, a continuación, se detallan algunos aspectos principales de los equipos a optimizar en el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad - viviente (L-RCM). Los principales criterios para la selección de los equipos a intervenir en el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad - viviente (L-RCM) fueron:

- ✓ Insuficiente información de nodos de fallas
- ✓ desactualización de la información y hoja de vida
- ✓ Largo periodo fuera de servicio

Tabla 1. Equipos Operativos para optimizar: flota tractores de orugas (D9T, D10T, D11T).

Tipo de vehículo	Marca	Modelo	código serie	Año de fabricación
TRACTOR DE ORUGA	CAT	D9T	0350050	2009
			0350051	2008
			0350053	2009
			0350054	2010
			0350055	2009
	CAT	D10T	0350115	2012
			0350116	2012
			0350117	2011
			0350123	2012
			0350124	2012
	CAT	D11T	0350310	2012
			0350311	2008
			0350312	2011
			0350313	2013
			0350315	2010

Fuente: Propia

8.2 DESCRIPCION TECNICA DE FLOTA TRACTORES DE ORUGAS (D9T, D10T, D11T).

Estos tractores comprenden varios modelos, para el presente estudio se cuenta con los siguientes: D9T, D10T y D11T de la marca Caterpillar, los tractores sobre orugas se utilizan para movimiento de tierras en distancias cortas, desafiando el terreno, estos tractores son ideales para trabajar en cuevas muy empinadas.

8.2.1 Las Herramientas de trabajo y las herramientas de corte. Se definen de la siguiente manera:

- ✓ **Hojas topadoras.** Esta topadora es ideal para atravesar terrenos densos e irregulares ya que las orugas le otorgan una gran tracción. Los rastreadores más grandes tienen desgarradores que ayudan a triturar y despejar terrenos densos.
- ✓ **Hoja semiuniversal.** la hoja también tiene forma de U, con grandes alas laterales y una forma curva general. Esto lo convierte en una mejor opción para empujar materiales a distancias más largas que una hoja en S. Las alas laterales actúan como placas de derrame para evitar que el material se derrame mientras se mueve.
- ✓ **Hoja universal de gran capacidad.** no es tan ancha como una hoja en U. También tiene menos curva en la hoja y alas laterales más pequeñas. La curva y las alas reducen el derrame y mejoran la capacidad de carga de la excavadora. Las cuchillas SU se conectan a la excavadora en la parte inferior trasera de la cuchilla con tirantes estabilizadores en ángulo (con uno o dos cilindros de inclinación hidráulica). Los tirantes en ángulo proporcionan una mayor fuerza de penetración y permiten una mayor versatilidad en el movimiento de las palas.
- ✓ **Inclinación doble optativa.** Las cuchillas angulares son paneles de forma recta que (a diferencia de las cuchillas S, U o SU) se montan en la excavadora en el centro del panel. Esto permite que la hoja se incline aproximadamente 30 grados hacia la derecha o hacia la izquierda según sea necesario (una hoja de dos vías), lo cual es útil para empujar material o escombros hacia un lado, aunque la falta de alas laterales de la hoja la hace propensa a derrame.
- ✓ **Una sola palanca.** Controla todos los movimientos de la hoja, incluida la inclinación doble optativa. Cuchillas y cantoneras. Las cuchillas están hechas de acero DH-2. Las cantoneras están hechas de DH-3™ para proporcionar una vida útil máxima trabajando en materiales difíciles.

- ✓ **Desgarradores.** Los desgarradores de un solo vástago y de múltiples vástagos están diseñados para penetrar los materiales resistentes de forma rápida y desgarrar por completo en una variedad de materiales.

8.2.1 Cualidades físicas y técnicas de los tractores de orugas (D9T, D10T, D11T). Los cuadros que se muestran a continuación detallan las características de los equipos tractores de orugas (D9T, D10T, D11T). Se especifican detalles técnicos del motor, tren de rodaje, controles hidráulico, capacidades de llenado y hojas.

Tabla 2. Características del motor

Modelo de motor	Cat C27 ACERT
Potencia bruta	646 hp
Potencia en el volante	580 hp
Potencia neta – Caterpillar	580 hp
Cilindrada	1.647,5 pulg ₃
Carrera	6 pulg

Fuente: Propia

Tabla 3. Característica tren de rodaje

Tipo de zapata	Servicio extremo
Ancho de la zapata	610 mm
Zapatillas/lado	44
Altura de las garras	93 mm
Longitud de la cadena en el terreno	3.885 mm
Rodillos inferiores por lado	8
Número de rodillos superiores	1 por lado (optativo)

Fuente: Propia

Tabla 4. Controles hidráulicos

Tipo de Bomba	Impulsado por engranajes
Caudal del cilindro de levantamiento	404 L/min
Caudal del cilindro de inclinación	112 L/min
Ajuste de la válvula de Alivio de la hoja topadora	18.790 kPa
Ajuste de la válvula de Alivio del cilindro de inclinación	20.340 kPa
Ajuste de la válvula de alivio del desgarrador (levantamiento)	18.790 kPa
Ajuste de la válvula de alivio del desgarrador (inclinación vertical)	18.790 kPa
Capacidad del tanque	144 L

Fuente: Propia

Tabla 5. Capacidades de llenado

Tanque de combustible	1.204 L
Sistema de enfriamiento	132 L
Cárter del motor*	68 L
Tren de fuerza	193 L
Mandos finales (cada uno)	23 L
Bastidores de rodillos superiores (cada uno)	30,3 L
Compartimiento del eje de pivote	144 L

Fuente: Propia

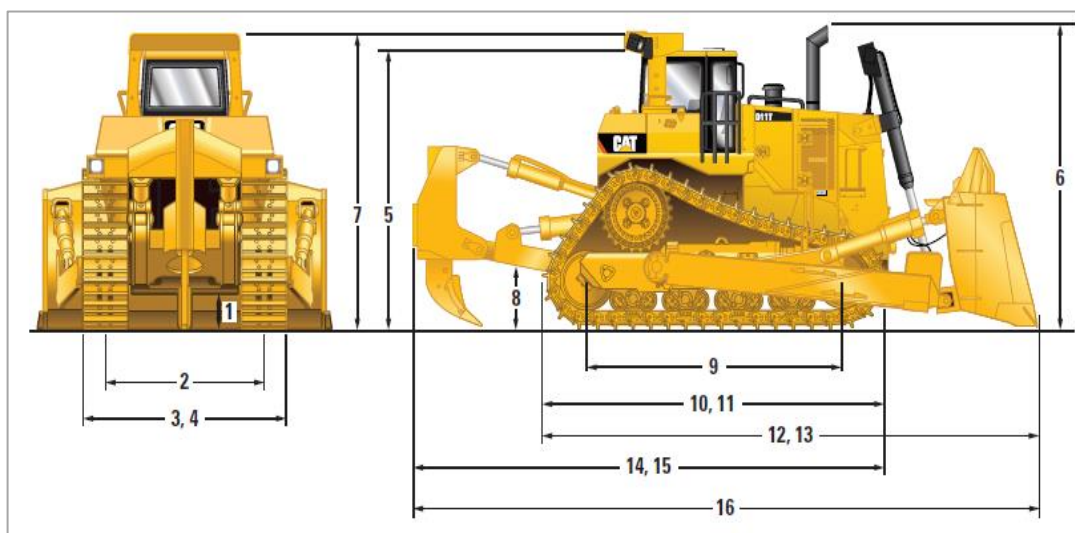
Tabla 6. Características de las hojas

Tipo	10SU
Capacidad (SAE J1265)	18,5 m ³
Ancho (sobre cantoneras)	4.860 mm
Altura	2.120 mm
Profundidad de excavación	674 mm
Espacio libre sobre el suelo	1.497 mm
Inclinación máxima	993 mm
Peso total en orden de trabajo	66.407 kg

Fuente: Propia

Las dimensiones aproximadas de los equipos los tractores de orugas (D9T, D10T, D11T) están dadas en la siguiente tabla:

Ilustración 3 Medidas Tractor oruga CAT D11T



Fuente: [15]

Tabla 7. Dimensiones de los diferentes modelos de tractores orugas (D9T, D10T, D11T)

Item	Parte	Tractores oruga (Longitud mm)		
		D9T	D10T	D11T
1	Espacio libre sobre el suelo	596	615	675
2	Entrevía	-	2500	2896
3	Ancho sin muñones	2880	3.160	3782
4	Ancho sobre los muñones	3300	3.716	4379
5	Altura (sin techo)	-	3.222	4394
6	Altura (cabina FOPS)	3820	4.078	4490
7	Altura (ROPS / techo)	4000	4.340	4698
8	Altura (hasta la parte superior del tubo de escape vertical)	3919	4.543	932
9	Altura de la barra de tiro (Centro de la horquilla)	763	779	4444
10	Longitud de la cadena sobre el terreno	-	3.855	6160
11	Longitud total del tractor básico	5545	5.331	6160
12	Longitud con hoja SU	8290	7.500	8579
13	Longitud con hoja U	6538	7.754	8641
14	Longitud con desgarrador de un vástago	6529	7.091	8107
15	Longitud con desgarrador de vástagos múltiples	6538	7.048	8427
16	Longitud total (Hoja semi universal / Desgarrador de un solo vástago)	6529	9.260	10525

Fuente: Propia

8.3 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MODELOS DE TRACTORES ORUGAS (D9T, D10T, D11T).

En el análisis de componentes se considera de suma importancia hacer un análisis del factor de estado de los equipos, esto con el fin de determinar la vida útil y el nivel de horas de trabajo de este; para realizar esta evaluación se hizo uso de la escala de valoración de estado donde se le otorga una clasificación, que deriva de la condición operativa, así mismo se evalúa el nivel de uso y la necesidad de mantenimiento o reparación finalmente se registra el estado actual del equipo a intervenir.

Tabla 8 Escala evaluación factor de estado

Calificación	Condición Operativa	Nivel de Uso	Mantenimiento	Estado
1	Operativo	Uso normal	No necesita	Vigente
1.5	Operativo	Uso moderado	No necesita	Escasa Obsolescencia
2	Operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
2.5	Operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones	Obsolescencia

Fuente: [16]

Los equipos o maquinarias que están operativas para el movimiento de tierra y carbón que fueron clasificados previamente en la tabla 1, son evaluados en la escala, tal como se describió anteriormente.

Tabla 4. Factor de Estado para los Equipos Operativos

Modelo	serie	Condición	Puntaje	Uso	Mtto	Estado
D9T	0350050	Operativo	2	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
	0350051	Operativo	2	Mucho uso		
	0350053	Operativo	2	Mucho uso		
	0350054	Operativo	2	Mucho uso		
	0350055	Operativo	2	Mucho uso		
D10T	0350115	Operativo	2	Mucho uso	No necesita	Escasa Obsolescencia
	0350116	Operativo	2	Mucho uso		
	0350117	Operativo	1.5	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
	0350123	Operativo	2	Mucho uso		
D11T	0350124	Operativo	2	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
	0350310	Operativo	2	Mucho uso		
	0350311	Operativo	2	Mucho uso		
	0350312	Operativo	2	Mucho uso	No necesita	Escasa Obsolescencia
	0350313	Operativo	1.5	Mucho uso		
0350315	Operativo	2	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia	

Fuente: [16]

8.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

Los equipos tractores orugas (D9T, D10T, D11T). Analizados en el presente estudio están conformados por los diferentes sistemas y sub- sistemas que se mencionan en los cuadros siguientes:

Tabla 4.: Sub Sistemas del Tractor Orugas D9T, D10T y D11T.

Equipo	Sistema	Subsistema
Tractor orugas	Motor	lubricación Combustible Fuerza Refrigeración Admisión Y Escape De Aire
	Hidráulica	Dirección y frenos levante accesorios
	Tren de dirección	Embrague transmisión diferenciales mandos finales y orugas
	Eléctrico	Encendido carga tablero y luces
	carrocería, accesorios y otros	Cabina del operador carrocería y chasis

Fuente: [16]

La función principal del tractor a orugas es la excavación y el movimiento de tierras y carbones, asimismo, acarreo de materiales en general. Esta máquina se utiliza principalmente en obras de movimiento de tierras, lo cual analizaremos en las hojas AMEF.

8.4.1 Registro de fallas de los equipos D9T. A continuación, se muestra el análisis de fallas de cada uno de los equipos de la flota de tractores orugas (D9T)

Tabla 4. 10: Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350050

MODEO: D9T		SERIE: 0350051		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	2		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	8		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	6		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	11		
	Filtros	1	2		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	0		
	Mangueras hidráulicas	1	0		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	3		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	1		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	0		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	2		
	Cilindros de Levante	1	3		
	Cilindro del brazo (boom)	1	0		
Cilindro de empuje	1	0			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	8		
	Alternador	1	2		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	9		
	Luces	1	8		

Fuente: Propia

Tabla 9. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350051

MODEO: D9T		SERIE: 0350051		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	2		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	8		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	6		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	11		
	Filtros	1	2		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	0		
	Mangueras hidráulicas	1	0		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	3		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	1		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	0		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	2		
	Cilindros de Levante	1	3		
Cilindro del brazo (boom)	1	0			
Cilindro de empuje	1	0			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	8		
	Alternador	1	2		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	9		
Luces	1	8			

Tabla 10. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350053

MODEO: D9T		SERIE: 0350053		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	1		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	4		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	2		
	Refrigeración	1	8		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	3		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	6		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	6		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	0		
	Cilindros de Levante	1	0		
	Cilindro del brazo (boom)	1	8		
Cilindro de empuje	1	0			
Enfriadores de aceite	1	4			
ELÉCTRICO	Batería	1	5		
	Alternador	1	1		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	0		
	Bujías	1	2		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	7		
	Luces	1	3		

Tabla 11. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350054

MODEO: D9T		SERIE: 0350054		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	5		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	2		
	Admisión y escape	1	2		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	3		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	0		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	3		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	0		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	2		
	Cilindros de Levante	1	2		
	Cilindro del brazo (boom)	1	4		
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	5		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	14		
	Luces	1	8		

Tabla 12. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350055

MODEO: D9T		SERIE: 0350055		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	7		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	3		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	8		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	2		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	6		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	3		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
	Cilindro del brazo (boom)	1	4		
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	5		
	Alternador	1	0		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	5		
Luces	1	5			

8.4.1 Registro de fallas de los equipos D10T. A continuación, se muestra el análisis de fallas de cada uno de los equipos de la flota de tractores orugas (D10T).

Tabla 13. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350115

MODELO: D10T		SERIE: 0350055		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	4		
	Combustible	1	12		
	Fuerza	1	1		
	Refrigeración	1	1		
	Admisión y escape	1	10		
	HIDRÁULICO	Depósito	1	1	
Bomba hidráulica		1	8		
Filtros		1	0		
Palanca de control de funcionamiento hidráulico		1	4		
Mangueras hidráulicas		1	4		
Válvulas de seguridad		1	1		
Válvulas limitadoras de presión		1	2		
Amortiguadores de cilindro hidráulico		1	1		
Sellos hidráulicos		1	0		
Válvulas sensores de presión		1	0		
Válvula anticaída		1	0		
Sistema piloto		1	0		
Acumuladores		1	0		
Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)		1	0		
Motor de giro (swing)		1	0		
Tren de rodaje		1	1		
Cilindros de Levante		1	4		
Cilindro del brazo (boom)		1	9		
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	0		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	0		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	4		
	Luces	1	6		

Tabla 14. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350116

MODEO: D10T		SERIE: 0350116		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
Cilindro del brazo (boom)	1	4			
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
Luces	1	5			

Tabla 15. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350117

MODELO: D10T		SERIE: 0350117		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
Cilindro del brazo (boom)	1	4			
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
Luces	1	5			

Tabla 16. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350123

MODELO: D10T		SERIE: 0350123		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
	Cilindro del brazo (boom)	1	4		
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
Luces	1	5			

Tabla 17. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie: 0350124

MODEO: D10T		SERIE: 0350124		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
Cilindro del brazo (boom)	1	4			
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
	Luces	1	5		

8.4.1 Registro de fallas de los equipos D9T. A continuación, se muestra el análisis de fallas de cada uno de los equipos de la flota de tractores orugas (D11T)

Tabla 18. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350310

MODEO: D11T		SERIE: 0350310		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
	HIDRÁULICO	Depósito	1	0	
Bomba hidráulica		1	10		
Filtros		1	0		
Palanca de control de funcionamiento hidráulico		1	3		
Mangueras hidráulicas		1	4		
Válvulas de seguridad		1	0		
Válvulas limitadoras de presión		1	0		
Amortiguadores de cilindro hidráulico		1	0		
Sellos hidráulicos		1	5		
Válvulas sensores de presión		1	0		
Válvula anticaída		1	0		
Sistema piloto		1	0		
Acumuladores		1	2		
Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)		1	1		
Motor de giro (swing)		1	0		
Tren de rodaje		1	1		
Cilindros de Levante		1	2		
Cilindro del brazo (boom)		1	4		
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
Luces	1	5			

Tabla 19. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350311

MODEO: D11T		SERIE: 0350311		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
	Cilindro del brazo (boom)	1	4		
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
	Luces	1	5		

Tabla 20. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350312

MODEO: D11T		SERIE: 0350312		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
Cilindro del brazo (boom)	1	4			
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
Luces	1	5			

Tabla 21. Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350313

MODEO: D11T		SERIE: 0350313		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
Cilindro del brazo (boom)	1	4			
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
Luces	1	5			

Fallas registradas del Tractor a orugas Serie 0350315

MODEO: D11T		SERIE: 0350315		ESTADO: Moderada Obsolescencia	
Sistema	Subsistema	Cant. componentes	Cantidad de fallas		
MECANICO	Bloque de motor	1	0		
	pistón	1	0		
	Anillos del Pistón	1	0		
	Camisas	1	0		
	Biela	1	0		
	Cigüeñal	1	0		
	Culata	1	0		
	Junta de culata	1	0		
	Árbol de levas	1	0		
	Lubricación	1	0		
	Combustible	1	9		
	Fuerza	1	3		
	Refrigeración	1	4		
	Admisión y escape	1	6		
HIDRÁULICO	Depósito	1	0		
	Bomba hidráulica	1	10		
	Filtros	1	0		
	Palanca de control de funcionamiento hidráulico	1	3		
	Mangueras hidráulicas	1	4		
	Válvulas de seguridad	1	0		
	Válvulas limitadoras de presión	1	0		
	Amortiguadores de cilindro hidráulico	1	0		
	Sellos hidráulicos	1	5		
	Válvulas sensores de presión	1	0		
	Válvula anticaída	1	0		
	Sistema piloto	1	0		
	Acumuladores	1	2		
	Motor de traslación izquierdo (travelleft), Motor de traslación derecho (travelright)	1	1		
	Motor de giro (swing)	1	0		
	Tren de rodaje	1	1		
	Cilindros de Levante	1	2		
	Cilindro del brazo (boom)	1	4		
Cilindro de empuje 1 0	1	1			
Enfriadores de aceite	1	2			
ELÉCTRICO	Batería	1	4		
	Alternador	1	4		
	Regulador	1	0		
	Switches	1	1		
	Distribuidor	1	1		
	Bujías	1	1		
	Bobina	1	1		
	Motor de arranque	1	12		
Luces	1	5			

8.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE ACTIVOS

Se realizó el análisis de criticidad a los diferentes subsistemas que de acuerdo con las fallas registradas en cada uno de los Tractores a orugas modelos D9T, D10T y D11T, esto nos permitirá realizar el análisis de efecto y modos de fallas de los subsistemas que resulten críticos de acuerdo con el método anteriormente.

Se hizo uso de la tabla de evaluación de criticidad de equipos para cada uno de ellos, se evaluó la frecuencia de fallas, el impacto operacional la flexibilidad operación, el costo de mantenimiento y finalmente el impacto SHA

Tabla 22. Criterios de Evaluación de Criticidad de Equipos

Frecuencia de fallas		Costo de mantenimiento	
Mayor A 4 Fallas/Año	4	Mayor a S/.1000.00	2
Promedio 2 A 4 Fallas/Año	3	Inferior a S/.1000.00	1
Buena 1 A 2 Fallas/Año	2	Impacto en SHA	
Excelente Menores De 1 Falla/Año	1	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Impacto operacional		Afecta el ambiente instalaciones	7
Parada inmediata	10	Afecta las instalaciones causando daños severos.	5
Repercusión en costos operacionales	8	Provoca daños menores (ambiente seguridad.	3
Impacto en niveles de producción	4	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente.	2
No genera ningún efecto significativo sobre la operación y producción	1	No produce lesión	1
Flexibilidad operacional			
No existe opción de repuesto	4		
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

Nota: Criticidad total = Frecuencia de fallas x Consecuencia

Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos Mtto. + Impacto SAH).

Se muestra el cuadro de los subsistemas que se analizó durante el periodo de estudio el periodo comprendió aproximadamente 02 años. De acuerdo con la valoración tenemos la siguiente:

Tabla 23. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350050

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Combustible	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	2	1	19	76	Semicrítico
Fuerza	3	8	2	2	2	1	20	60	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	2	1	12	48	Semicrítico
Admisión y escape	4	4	1	1	2	1	7	28	Semicrítico
Cilindro de brazo	4	8	2	2	2	1	20	80	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	1	2	1	13	52	Semicrítico
Luces	4	1	1	1	2	1	4	16	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	2	2	1	24	48	Semicrítico
Batería	4	10	1	1	2	1	13	52	Semicrítico
Acumuladores	2	8	2	1	2	1	19	38	No crítico
Tren de rodaje	1	10	2	2	2	1	24	24	No crítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	1	2	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	2	1	13	13	No crítico
Bujías	1	10	1	1	2	1	13	13	No crítico
Bobina	1	8	1	1	2	1	11	11	No crítico

Fuente:

Tabla 24. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350051

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Combustible	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Fuerza	4	8	2	2	2	1	20	80	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	2	1	12	48	Semicrítico
Admisión y escape	4	4	1	1	2	1	7	28	Semicrítico
Sellos hidráulicos	3	8	2	1	2	1	19	57	Semicrítico
Tren de rodaje	2	10	2	2	2	1	24	48	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	2	2	1	14	56	Semicrítico
Luces	4	1	1	1	2	1	4	16	Semicrítico
Batería	4	10	1	1	2	1	13	52	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	2	2	1	24	48	Semicrítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	1	2	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	2	1	13	13	No crítico
Bujías	1	10	1	1	2	1	13	13	No crítico
acomuladores	1	8	2	2	2	1	20	20	No crítico
Filtro	2	8	2	1	2	1	19	38	No crítico
Bobina	1	8	1	1	2	1	11	11	No crítico

Tabla 25. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350053

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Cilindro de brazo	4	8	2	2	1	1	19	76	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	2	1	1	23	92	Semicrítico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	20	60	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicrítico
pistón	4	10	1	1	1	1	12	48	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Luces	4	1	1	2	1	1	4	16	Semicrítico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Cilindro del brazo (boom)	2	10	2	2	1	1	23	46	Semicrítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Acumuladores	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Tren de rodaje	1	10	2	1	1	1	22	22	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bujías	1	10	1	1	8	1	19	19	No crítico
Bobina	1	8	1	1	1	1	10	10	No crítico

Fuente:

Tabla 26. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350054

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	25	92	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	25	92	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	2	1	1	25	92	Crítico
Filtros	3	8	2	1	1	1	18	54	Semicrítico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	21	57	Semicrítico
Mangueras hidráulicas	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicrítico
Acumuladores	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicrítico
Tren de rodaje	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	2	1	1	25	46	Semicrítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	8	1	2	1	1	11	11	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bobina	1	8	1	1	1	1	10	10	No crítico
Luces	4	1	1	1	1	1	3	12	No crítico
Refrigeración	2	8	1	2	1	1	11	22	No crítico
Admisión y escape	2	4	1	2	1	1	8	16	No crítico

Tabla 27. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D9T: 0350055

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	1	1	1	12	48	Semicrítico
Luces	4	1	1	1	1	1	3	12	Semicrítico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	2	1	1	23	46	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Mangueras hidráulicas	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Tren de rodaje	1	10	2	1	1	1	22	22	No crítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	2	1	1	13	13	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bobina	1	8	1	1	1	1	10	10	No crítico
Admisión y escape	3	4	1	2	1	1	7	21	No crítico

Fuente:

Tabla 28. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350115

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Cilindros de Levante	4	10	2	1	1	1	22	88	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	1	1	1	22	88	Crítico
Admisión y escape	4	4	1	1	1	1	6	24	Semicrítico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicrítico
Palanca de control de funcionamiento hidráulico	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicrítico
Mangueras hidráulicas	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicrítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Tren de rodaje	1	10	2	2	1	1	23	23	No crítico
Refrigeración	1	8	1	2	1	1	11	11	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bobina	1	8	1	2	1	1	11	11	No crítico

Fuente:

Tabla 29. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350116

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Tren de rodaje	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	1	1	1	22	88	Crítico
Lubricación	3	10	2	2	1	1	23	69	Semicrítico
Fuerza	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicrítico
Admisión y escape	3	4	1	1	1	1	6	18	Semicrítico
Sellos hidráulicos	3	8	2	1	1	1	18	54	Semicrítico
Cilindro de brazo	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicrítico
Enfriadores de aceite	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Luces	4	1	1	2	1	1	4	16	Semicrítico
Acumuladores	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bobina	1	8	1	2	1	1	11	11	No crítico

Fuente:

Tabla 30. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350117

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	1	1	1	22	88	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Luces	4	1	1	2	1	1	4	16	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicrítico
Admisión y escape	4	8	1	1	1	1	10	40	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
pistón	1	10	2	1	1	1	22	22	No crítico
Anillos del Pistón	1	10	2	2	1	1	23	23	No crítico
Camisas	1	0	2	2	1	1	3	3	No crítico
Tren de rodaje	1	10	2	2	1	1	23	23	No crítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Luces	4	1	1	2	1	1	11	11	No crítico

Tabla 31. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350123

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Bomba hidráulica	3	10	2	1	1	1	22	66	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Lubricación	3	10	2	2	1	1	23	69	Semicrítico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicrítico
Admisión y escape	4	4	1	1	1	1	6	24	Semicrítico
Bloque de motor	2	8	2	1	1	1	18	36	Semicrítico
pistón	2	8	2	2	1	1	19	38	Semicrítico
Anillos del Pistón	2	8	2	2	1	1	19	38	Semicrítico
Camisas	2	10	2	2	1	1	23	46	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Motor de arranque	3	10	1	2	1	1	13	39	Semicrítico
Luces	3	1	1	2	1	1	4	12	Semicrítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bobina	1	8	1	2	1	1	11	11	No crítico

Fuente:

Tabla 32. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D10T : 0350124

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Combustible	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Bomba hidráulica	4	10	2	2	2	1	24	96	Crítico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	2	1	19	76	Semicrítico
Fuerza	3	8	2	2	2	1	20	60	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	2	1	12	48	Semicrítico
Admisión y escape	4	4	1	1	2	1	7	28	Semicrítico
Cilindro de brazo	4	8	2	2	2	1	20	80	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	1	2	1	13	52	Semicrítico
Luces	4	1	1	1	2	1	4	16	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	2	2	1	24	48	Semicrítico
Batería	4	10	1	1	2	1	13	52	Semicrítico
Acumuladores	2	8	2	1	2	1	19	38	No crítico
Tren de rodaje	1	10	2	2	2	1	24	24	No crítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	1	2	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	2	1	13	13	No crítico
Bujías	1	10	1	1	2	1	13	13	No crítico
Bobina	1	8	1	1	2	1	11	11	No crítico

Tabla 33. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T : 0350310

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Bomba hidráulica	4	10	2	1	1	1	22	88	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Lubricación	3	10	2	2	1	1	23	69	Semicrítico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicrítico
Refrigeración	3	8	1	2	1	1	11	33	Semicrítico
Admisión y escape	4	4	1	1	1	1	6	24	Semicrítico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicrítico
Cilindro de brazo	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicrítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	Semicrítico
Batería	3	10	1	2	1	1	13	39	Semicrítico
Bobina	3	8	1	2	1	1	11	33	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Luces	4	1	1	2	1	1	4	16	Semicrítico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Acumuladores	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Tren de rodaje	1	10	2	2	1	1	23	23	No crítico

Fuente:

Tabla 34. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T : 0350311

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
pistón	4	10	2	1	1	1	22	88	Crítico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Crítico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicrítico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicrítico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Cilindros de Levante	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicrítico
Luces	4	1	1	2	1	1	4	16	Semicrítico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicrítico
Admisión y escape	4	4	1	1	1	1	6	24	Semicrítico
Anillos del Pistón	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicrítico
Camisas	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicrítico
Acumuladores	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Tren de rodaje	1	10	2	2	1	1	23	23	No crítico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	No crítico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No crítico
Bobina	1	8	1	2	1	1	11	11	No crítico

Tabla 35. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T : 0350312

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	23	92	Critico
Bomba hidráulica	4	10	2	1	1	1	22	88	Critico
Combustible	2	10	2	2	1	1	23	46	Semicritico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicritico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicritico
Admisión y escape	4	4	1	1	1	1	6	24	Semicritico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicritico
Cilindro de brazo	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicritico
Acumuladores	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicritico
Tren de rodaje	2	10	2	2	1	1	23	46	Semicritico
Cilindros de Levante	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicritico
Enfriadores de aceite	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicritico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicritico
Distribuidor	3	10	1	1	1	1	12	36	Semicritico
Bobina	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicritico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicritico
Luces	4	1	1	2	1	1	4	16	Semicritico
Bujías	2	10	1	1	1	1	12	24	No critico

Fuente:

Tabla 36. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T: 0350313

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Tren de rodaje	4	10	2	2	1	1	23	92	Critico
Lubricación	2	10	2	2	1	1	23	46	Semicritico
Combustible	2	10	2	2	1	1	23	46	Semicritico
Fuerza	3	8	2	2	1	1	19	57	Semicritico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicritico
Admisión y escape	4	4	1	1	1	1	6	24	Semicritico
Bomba hidráulica	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicritico
Motor de arranque	2	10	1	2	1	1	13	26	Semicritico
Cilindros de Levante	2	10	2	1	1	1	22	44	Semicritico
Enfriadores de aceite	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicritico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicritico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicritico
Cilindro de brazo	2	8	2	2	1	1	19	38	No critico
Acumuladores	2	8	2	2	1	1	19	38	No critico
Distribuidor	1	10	1	1	1	1	12	12	No critico
Bujías	1	10	1	1	1	1	12	12	No critico
Bobina	1	8	1	2	1	1	11	11	No critico
Luces	3	1	1	2	1	1	4	12	No critico

Tabla 37. Evaluación de criticidad del tractor oruga Tractor a orugas Serie D11T: 0350315

Subsistema	Frecu.	I. operacional	F. operacional	\$ mantenimiento	I. seguridad	I. Ambiental	Consecuencia	total	Jerarqización
Lubricación	4	10	2	2	1	1	23	92	Critico
Cilindros de Levante	4	10	2	1	1	1	22	88	Critico
Bomba hidráulica	4	10	2	1	1	1	22	88	Critico
Combustible	4	10	2	2	1	1	23	92	Critico
Fuerza	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicritico
Refrigeración	4	8	1	2	1	1	11	44	Semicritico
Motor de arranque	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicritico
Batería	4	10	1	2	1	1	13	52	Semicritico
Distribuidor	4	10	1	1	1	1	12	48	Semicritico
Bujías	4	10	1	1	1	1	12	48	Semicritico
Luces	4	1	1	2	1	1	4	16	Semicritico
Admisión y escape	4	4	1	1	1	1	6	24	Semicritico
Sellos hidráulicos	4	8	2	1	1	1	18	72	Semicritico
Tren de rodaje	3	10	2	2	1	1	23	69	Semicritico
Cilindro de brazo	4	8	2	2	1	1	19	76	Semicritico
Acumuladores	2	8	2	2	1	1	19	38	No critico
Enfriadores de aceite	2	8	2	2	1	1	19	38	No critico
Bobina	2	8	1	2	1	1	11	22	No critico

Fuente:

8.6 DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE INTERVENCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Teniendo en cuenta el histórico registrado de datos de fallas de los diferentes componentes (Sub sistemas críticos), se realizó el respectivo análisis de confiabilidad de estos, para ello se hizo uso de la distribución Weibull. Estos datos son proporcionados por los diferentes sistemas de administración de datos de mantenimiento de confiabilidad de los equipos en estudio.

Por medio del análisis de Weibull se obtiene información relevante sobre la probabilidad y frecuencia de fallos de los componentes claves, por medio de este registro de fallos se considera tiempo normal de uso. Para nuestro caso graficaremos utilizando el libro Excel. Los indicadores de confiabilidad de cada uno de los componentes críticos de los equipos fueron registrados en los sistemas de información de mantenimiento para su posterior uso.

8.7 DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE MANTENIMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS CRÍTICOS

8.7.1 Intervalos para el Tractor a orugas CAT D9T. De acuerdo con el análisis de criticidad del Tractor a Orugas CAT D9T podemos notar que el subsistema de combustible, Cilindro de brazo y lubricación son los sistemas críticos. En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro del filtro de combustible.

Tabla 38. Registro de fallas filtro combustible Tractor D9T

Evento	Horómetro	FILTRO DEL COMBUSTIBLE
F-1	9766	1
F-2	10116	1
F-3	10466	1
F-4	10696	1
F-5	11208	1
F-6	11633	1
F-7	11951	1
F-8	12325	1
F-9	12553	1

Fuente:

Tabla 39. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D9T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/1-f(t)))$ y	R (t)
1	154	5.22%	5.0369526	-2.925223234	94.78%
2	156	12.69%	5.04985601	-1.99756029	84.65%
3	176	20.15%	5.170484	-1.491606142	65,4%
4	178	27.61%	5.18178355	-1.129704207	58.00%
5	186	50.00%	5.22574667	-0.839487848	50.00%
6	198	58.00%	5.24174702	-0.59052854	27.61%
7	221	65,4%	5.24174702	-0.366512921	20.15%
8	232	84.65%	5.28826703	-0.156901171	12.69%

Fuente: Propia

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 41 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 40. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T

Indicador	Valor	Analisis
Y	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-31.024	
R	0.9112	
β	6.108	Con los registros de β y η , se determina la confiabilidad R (t), este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t.
η	207	
R ²	0.8933	hay dependencia lineal de los datos
t	179	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 179 horas.
R(t)	69.4%	179 horas de operación, con una confiabilidad del 69.4 %.
MTTF	187.6	tenemos un tiempo medio entre fallas de 187.6 horas.

Nota: Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R² está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η : confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

Tabla 41. Registro de sistema de lubricación D9T

Evento	Horómetro	lubricación
F-1	11600	1
F-2	11950	1
F-3	12380	1
F-4	12809	1
F-5	13079	1
F-6	13448	1
F-7	13862	1
F-8	14413	1
F-9	14765	1

Fuente: Propia

Tabla 42. Valores Obtenidos Weibull sistema de lubricación D9T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	ln (t) x	ln (Ln(1/1-f(t))) y	R (t)
1	315.1	7.45%	5,75289005	-2.558940818	92.55%
2	429.1	18.09%	6,06168999	-1.611994375	84.28%
3	428.2	28.72%	6,05959038	-1.082929422	71.28%
4	270.2	39.36%	5,59916243	-0.69266027	60.64%
5	368.5	50.0%	5,90944071	-0.366512921	50.0%
6	414.1	60.6%	6,02610749	-0.070018179	39.36%
7	551.3	71.28%	6,31227913	-0.070018179	28.72%
8	352.1	84.28%	5,86391523	0.221107814	18.09%

Fuente:

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 44 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 43. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T

Indicador	Valor	Analisis
Y	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-30.21	
R	0.893	
β	4.863	Con los registros de β y η, , se determina la confiabilidad R (t), este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t.
η	326	
R ²	0.7932	hay dependencia lineal de los datos
t	318	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 318 horas.
R(t)	67,14%	318 horas de operación, con una confiabilidad del 67,14%.
MTTF	390.8	tenemos un tiempo medio entre fallas de 390.8 horas.

Nota:

Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R² está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η: confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

Tabla 44. Registro de fallas cilindro del brazo Tractor D9T

Evento	Horómetro	FILTRO DEL COMBUSTIBLE
F-1	11436	1
F-2	11656	1
F-3	11833	1
F-4	12022	1
F-5	12214	1
F-6	12344	1
F-7	12531	1
F-8	12743	1
F-9	12947	1

Tabla 45. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D9T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	ln (t) x	ln (Ln(1/1-f(t))) y	R (t)
1	154	5.22%	5.0369526	-2.925223234	90,08%
2	156	12.69%	5.04985601	-1.99756029	79,7%
3	176	20.15%	5.170484	-1.491606142	64.3%
4	778	35.07%	5.18178355	-1.129704207	57.46%
5	186	50.00%	5.22574667	-0.839487848	50.00%
6	186	57.46%	5.24174702	-0.59052854	35.07%
7	189	64.3%	5.24174702	-0.366512921	20.15%
8	198	79,7%	5.28826703	-0.156901171	12.69%

8Fuente:

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 47 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados

Tabla 46. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D9T

Indicador	Valor	Analisis
γ	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-37.26	
R	0.9122	
β	9.782	Con los registros de β y η, se determina la confiabilidad R (t), este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t.
η	223	
R ²	0.8922	hay dependencia lineal de los datos
t	200	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 200 horas.
R(t)	69.5%	200horas de operación, con una confiabilidad del 69.5%.
MTTF	249,3	tenemos un tiempo medio entre fallas de 249.3 horas.

Nota:

Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R² está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η: confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

8.7.2 Intervalos para el Tractor a orugas CAT D10T. De acuerdo con el análisis de criticidad del Tractor a Orugas CAT D10T podemos notar que el subsistema de combustible, Bomba hidráulica y lubricación son los sistemas críticos. En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro del filtro de combustible.

Tabla 47. Registro de fallas filtro combustible Tractor D10T

Evento	Horómetro	FILTRO DEL COMBUSTIBLE
F-1	7375	1
F-2	7561	1
F-3	7775	1
F-4	7561	1
F-5	7759	1
F-6	7948	1
F-7	8146	1
F-8	8367	1
F-9	8599	1

Fuente:

Tabla 48. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D10T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/1-f(t)))$ y	R (t)
1	186	5.65%	5,22574667	-2.845458285	91.18%
2	214	13.69%	5,36597602	-1.99756029	83.11%
3	214	21.15%	5,36597602	-1.491606142	72.85%
4	189	29.61%	5,24174702	-1.129704207	67.39%
5	221	37.07%	5,3981627	-0.839487848	61.93%
6	232	45.54%	5,44673737	-0.59052854	54.4%
7	245	54.3%	5,50125821	-0.366512921	47.00%
8	253	62.346%	5,53338949	-0.156901171	13.69%

Fuente: Propia

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 50 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 49. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D10T

Indicador	Valor	Analisis
γ	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-15.024	
R	0.9082	
β	2.378	Con los registros de β y η , se determina la confiabilidad R (t), este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t.
η	219	
R ²	0.9533	hay dependencia lineal de los datos
t	240	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 240 horas.
R(t)	72%	240 horas de operación, con una confiabilidad del 70.77%.

MTTF	279.6	tenemos un tiempo medio entre fallas de 279.6 horas.
------	-------	--

Nota: Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R^2 está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η : confiabilidad $R(t)$, que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t .

Tabla 50. Registro de sistema de lubricación D10T

Evento	Horómetro	lubricación
F-1	10879	1
F-2	11051	1
F-3	11215	1
F-4	11380	1
F-5	11558	1
F-6	11777	1
F-7	12079	1
F-8	12380	1
F-9	12709	1

Fuente: Propia

Tabla 51. Valores Obtenidos Weibull sistema de lubricación D10T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/1-f(t)))$ y	R (t)
1	172	8.25%	5,14749448	-2.558940818	95.86%
2	164	16.29%	5,09986643	-1.611994375	85.09%
3	165	25.42%	5,10594547	-1.082929422	71.28%
4	178	34.16%	5,18178355	-0.69266027	64.28%
5	219	50.0%	5,38907173	-0.366512921	59.6%
6	302	59.6%	5,71042702	-0.070018179	50.13%
7	301	64.28%	5,70711026	-0.070018179	34.36%
8	329	71.28%	5,79605775	0.221107814	25,42%
9	329	85%	5,79605775	-0.69266027	16.5%

Fuente:

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 53 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 52. Valores de los Parámetros para el sistema de lubricación D10T

Indicador	Valor	Analisis
γ	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-30.21	
R	0.893	
β	4.863	Con los registros de β y η , se determina la confiabilidad $R(t)$, este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t .
η	326	
R^2	0.7932	hay dependencia lineal de los datos
t	318	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 318 horas.

R(t)	67,14%	318 horas de operación, con una confiabilidad del 70.77%.
MTTF	315	tenemos un tiempo medio entre fallas de 315 horas.

Nota:

Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R^2 está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η : confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

Tabla 53. Registro de fallas bomba hidráulica Tractor D10T

Evento	Horómetro	FILTRO DEL COMBUSTIBLE
F-1	11436	1
F-2	11656	1
F-3	11833	1
F-4	12022	1
F-5	12214	1
F-6	12344	1
F-7	12531	1
F-8	12743	1
F-9	12947	1
F-10	13249	1

Tabla 54. Valores Obtenidos Weibull bomba hidráulica Tractor D9T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)}\right]$	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/1-f(t)))$ y	R (t)
1	154	5.22%	5.0369526	-2.925223234	94.78%
2	156	12.69%	5.04985601	-1.99756029	87.31%
3	176	20.15%	5.170484	-1.491606142	79.85%
4	778	35.07%	5.18178355	-1.129704207	64.93%
5	186	42.54%	5.22574667	-0.839487848	57.46%
6	186	50.00%	5.24174702	-0.59052854	50.00%
7	189	57.46%	5.24174702	-0.366512921	35.07%
8	198	64.93%	5.28826703	-0.156901171	20.15%
9	221	87.31%	5.3981627	0.046589839	12.69%

8Fuente:

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 41 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados

Tabla 55. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D10T

Indicador	Valor	Analisis
γ	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-33.26	
R	0,87452	
β	5,36	

η	396	Con los registros de β y η , se determina la confiabilidad $R(t)$, este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t .
R^2	0.9022	hay dependencia lineal de los datos
t	289	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 289 horas.
$R(t)$	75,4%	289 horas de operación, con una confiabilidad del 75,4%.
MTTF	228.3	tenemos un tiempo medio entre fallas de 228.3 horas.

Nota:

Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R^2 está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η : confiabilidad $R(t)$, que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t .

8.7.2 Intervalos para el Tractor a orugas CAT D11T. De acuerdo con el análisis de criticidad del Tractor a Orugas CAT D9T podemos notar que el subsistema de combustible, Cilindro de brazo y lubricación son los sistemas críticos. En el cuadro mostramos el registro de fallas según el horómetro del filtro de combustible.

Tabla 56. Registro de fallas filtro combustible Tractor D11T

Evento	Horómetro	FILTRO DEL COMBUSTIBLE
F-1	11208	1
F-2	11633	1
F-3	11951	1
F-4	12325	1
F-5	12553	1
F-6	12948	1
F-7	13309	1
F-8	13705	1
F-9	14077	1

Fuente:

Tabla 57. Valores Obtenidos Weibull Combustible Tractor D11T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/1-f(t)))$ y	R(t)
1	410	7.22%	6,01615716	-2.925223234	94.78%
2	450	17.29%	6,10924758	-1.99756029	87.23%
3	373.4	29.15%	5,92265023	-1.491606142	79.85%
4	228	41.8%	5,42934563	-1.129704207	72.39%
5	395	50.07%	5,97888576	-0.839487848	50.07%
6	361	67.8%	5,88887796	-0.59052854	41.8%
7	396	72,5%	5,98141421	-0.366512921	29.15%
8	372	87,2%	5,91889385	-0.156901171	17.29%

Fuente: Propia

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 59 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 58. Valores de los Parámetros para el Combustible del Tractor D11T

Indicador	Valor	Analisis
γ	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-34.024	
R	0.8112	
β	4.808	Con los registros de β y η , se determina la confiabilidad R (t), este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t.
η	337	
R ²	0.7933	hay dependencia lineal de los datos
t	279	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 279 horas.
R(t)	67.4%	279 horas de operación, con una confiabilidad del 67,4%.
MTTF	373.4	tenemos un tiempo medio entre fallas de 373.4 horas.

Nota: Si el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Si R² está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Si los valores de β y η : confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

Tabla 59. Registro de sistema de lubricación D11T

Evento	Horómetro	lubricación
F-1	9575	1
F-2	9769	1
F-3	10015	1
F-4	10263	1
F-5	10591	1
F-6	10869	1
F-7	11201	1
F-8	11494	1
F-9	11846	1

Fuente: Propia

Tabla 60. Valores Obtenidos Weibull sistema de lubricación D11T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	$\ln(t)$ x	$\ln(\ln(1/1-f(t)))$ y	R (t)
1	194	7.45%	5,267858159	-2.558940818	95,2%
2	246	18.09%	5,505331536	-1.611994375	81.91%
3	248	28.72%	5,513428746	-1.082929422	71.28%
4	328	39.36%	5,793013608	-0.69266027	60.64%
5	332	50.0%	5,805134969	-0.366512921	50.0%
6	293	60.64%	5,680172609	-0.070018179	60.64%
7	352	71.28%	5,863631176	0.221107814	28.72%
8	310	81.91%	5,736572297	0.536540994	18.09%

Fuente:

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 41 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 61. Valores de los Parámetros para el sistema de lubricación D11T

Indicador	Valor	Analisis
Y	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-33.21	
R	0.863	
β	5.636	Con los registros de β y η , se determina la confiabilidad R (t), este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t.
η	415	
R ²	0.7232	hay dependencia lineal de los datos
t	327	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 327 horas.
R(t)	71,14%	327 horas de operación, con una confiabilidad del 71.14%.
MTTF	287,875	tenemos un tiempo medio entre fallas de 287,8 horas.

Nota:

Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R² está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η : confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

Tabla 62. Registro de fallas cilindro del brazo Tractor D11T

Evento	Horómetro	FILTRO DEL COMBUSTIBLE
F-1	11456	1
F-2	11677	1
F-3	11866	1
F-4	12042	1
F-5	12228	1
F-6	12384	1
F-7	12562	1
F-8	12796	1
F-9	12994	1
F-10	13230	1
F-11	13462	1
F-12	13651	1

Tabla 63. Valores Obtenidos Weibull cilindro del brazo Tractor D11T

$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	T (hrs.)	$f(t) = \left[\frac{1}{(n+1)} \right]$	ln (t) x	ln (Ln(1/1-f(t))) y	R (t)
1	154	5.22%	5,0369526	-2.925223234	89%
2	156	12.69%	5,04985601	-1.99756029	72.39%
3	176	20.15%	5,170484	-1.491606142	64.93%
4	178	27.61%	5,18178355	-1.129704207	57.46%
5	186	35.07%	5,22574667	-0.839487848	50.00%

6	189	42.54%	5,24174702	-0.59052854	57.46%
7	190	50.00%	5,24702407	-0.366512921	50.00%
8	198	57.46%	5,28826703	-0.156901171	42.54%
9	221	64.93%	5,3981627	0.046589839	35.07%
10	232	72.39%	5,44673737	-0.366512921	27.61%
11	234	79.85%	5,45532112	-0.156901171	20.15%
12	236	89%	5,46383181		12.69%

8Fuente:

Los resultados de los análisis de probabilidad de fallo se observan en la tabla 65 por medio del ajuste de Weibull, de tal manera obtenemos los siguientes resultados.

Tabla 64. Valores de los Parámetros para el cilindro del brazo del Tractor D11T

Indicador	Valor	Analisis
γ	0	Parámetros de cálculo y uso en las formulas
b	-37.26	
R	0.9452	
β	7.01	Con los registros de β y η , se determina la confiabilidad R (t), este valor señala la probabilidad de que el componente se encuentre en buen estado de operación en el instante t.
η	233	
R ²	0.9122	hay dependencia lineal de los datos
t	204	Aplicando formulas obtenemos los resultados para un tiempo (t) de 204 horas.
R(t)	73.4%	204 horas de operación, con una confiabilidad del 70.77%.
MTTF	195,83	tenemos un tiempo medio entre fallas de 195.8 horas.

Nota:

Sí el valor de β es mucho mayor que 1: Etapa de fatiga, terminando su vida útil.

Sí R² está cercano a 1: Indica Que hay dependencia lineal de los datos

Sí los valores de β y η : confiabilidad R (t), que representa la probabilidad de que el componente se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento en el instante t.

9. ACTIVIDADES PARA EL FORTALECIMIENTO EL CAMBIO CULTURAL EN LOS PROCESOS SISTEMÁTICOS DE ACTUALIZACIÓN DEL L-RCM VIVIENTE.

9.1 TALLERES DE CULTURA DE MANTENIMIENTO.

La capacitación y desarrollo siempre ha sido un pilar fundamental en el crecimiento profesional y competitivo en las organizaciones. En el caso del departamento de mantenimiento de Carbones del Cerrejón Limited, los equipos de la flota de tractores orugas (D9T, D10T, D11T) que desempeñan su labor áreas de trabajo de los tajos.

La cultura en mantenimiento L-RCM viviente, es un componente fundamental para la sostenibilidad y actualización de datos que permiten mejorar la toma de decisiones. La capacitación se puede transmitir al personal en general a través de:

- ✓ Inducción Inicial
- ✓ Conferencias
- ✓ Medios escritos y digitales
- ✓ Adiestramiento de programas
- ✓ Incorporar a los mecánicos a continuar con el programa de mantenimiento

Es importante realizar una sensibilización inicial sobre la importancia de los mecanismos de levantamiento de información, registro y carga a los sistemas de información. El primer paso que se llevó a cabo para fortalecimiento el cambio cultural en los procesos sistemáticos de actualización del L-RCM viviente es la sensibilización y socialización de las actividades relevantes que permitan tomar mejores decisiones:

Sensibilización “*Importancia de las actividades de levantamiento y registro de los equipos de la flota de tractores orugas (D9T, D10T, D11T)*”

El objetivo de esta sensibilización es concientizar a los mecánicos y operadores, ayudantes de mecánicos, y todas aquellas personas que interactúan o que de alguna manera algún tipo contacto con la maquinaria, el contenido de la sensibilización está enfocado en la importancia que tiene la toma sistematizada de información de fallas en los sistemas y subsistemas de los equipos de la flota de tractores oruga.

Estas personas tienen la responsabilidad tomar los datos del horómetro de cada maquinaria y la falla relacionada del mismo, así mismo, está en la obligación de trasladar la información al encargado de la maquinaria para que este chequee en el

programa cuántas horas le restan a dicha unidad para realizar el siguiente servicio. Se resalta la importancia del trabajo articulado entre el operador y el mecánico.

9.1.1 Formación del personal. El funcionamiento básico de todos los equipo y sus componentes debe estar presente en todos los operadores, mecánicos y todo el personal que interactúe con este. Es por ello por lo que se considera tener un programa de adiestramiento orientado a los mecánicos y operarios con el propósito de eliminar errores y reprender fallas mínimas que se den en un determinado momento de la operación. Así mismo, crear redes de gestión del conocimiento entre los mecánicos mas experimentados del taller, con el propósito de fomentar hábitos colaborativos de conocimiento tácito y especializado en la reparación y mantenimiento de los equipos de oruga.

Se recomienda capacitar a los operadores para que conozcan cómo funciona cada equipo internamente y explicar la función de cada componente del equipo específicamente.

- ✓ unificación con todas las personas que intervienen en la flota de tractores orugas de Carbones del Cerrejón Limited los criterios para el seguimiento de los equipos y los puntos determinados donde se debe realizar el monitoreo para no tener variedad en los datos recolectados.
- ✓ Sensibilizar los que intervienen e los mantenimientos y operación con el fin de darle uso a los formatos de toma de datos y lo más importante interpretar de manera correcta los resultados obtenidos.
- ✓ Capacitar a los operadores en buenas practicas de manejo y cuidado d ellos equipos.
- ✓ Se recomienda la actualización contante y cíclica de los instructivos de servicio.
- ✓ capacitación a los operadores y mecánicos para que tenga el criterio de definir tareas asociadas con el mantenimiento del equipo como con la solución a fallas que se presenten.

9.1.2 Modificación de instrucciones de operación. Cuando la maquinaria alcanza una operación de 10 años de vida útil es transcendental modificar los instructivos de operación. Se deben tener en cuenta los siguientes lineamientos:

Es relevante por parte de los operadores de la flota de tractores orugas tengan un procedimiento unificado, específico, actualizado y acorde a la hoja de vida del equipo.

El personal de operaciones debe tener un una basta experiencia y comprensión para determinar cuándo sacar, mantener y poner en servicio los equipos criticos, los sistemas y subsistemas siguiendo procedimientos e instrucciones actualizados

acorde con los cambios que se han venido realizando en la planta siguiendo normas internacionales y recomendaciones al pie de la letra del fabricante para evitar problemas operacionales y reprocesos.

9.1.3 Modificación de instrucciones de mantenimiento. El mantenimiento se hace confiable cuando se cumplen las normas y los estándares internacionales establecidos, desde el primer momento en que se desarma un equipo, siguiendo estos requerimientos por consiguiente el mantenimiento que no se encuentra programado puede alcanzar un indicador mínimo y conseguir los resultados esperados.

- ✓ Actualizar los procedimientos de mantenimiento preventivo de los componentes más críticos y Semicritico
- ✓ Actualizar los procedimientos de desarmado, mantenimiento preventivo y armado de las turbinas siguiendo recomendaciones del fabricante para que los mantenedores lo utilicen como guía, con disciplina y orden
- ✓ Unificar, actualizar y seguir de manera rigurosa los instructivos y procedimientos para realizar mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos de la flota de equipos de oruga siguiendo normas internacionales, recomendaciones de los fabricantes para que sean utilizados por los mantenedores como guía al momento de realizar un mantenimiento.
- ✓ Realizar check list para verificar que se están siguiendo las instrucciones y procedimiento de forma ordenada y como lo dicen los estándares internacionales.

10. CONSLUSIONES

La actualización y optimización de estos equipos constituye para el área de confiabilidad un trabajo importante y dispensable para la minimización de las paradas, es del punto de vista técnico, el L-RCM reduce la carga de trabajo, que es directamente proporcional a las buenas practicas o cultura de mantenimiento.

El Proceso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad L-RCM realizado conjuntamente con personal de producción y mantenimiento constituye una herramienta fundamental para definir una estrategia eficaz de mantenimiento que permita lograr buenos indicadores de confiabilidad y disponibilidad en los tractores oruga D9T, D10T, D11T, estas acciones impactaran directamente en la probabilidad de falla de los equipos de oruga y dando confiabilidad que cuando este entre al taller sean pequeñas las actividades a realizar y garantizar el mínimo de paradas.

La importancia de determinar y analizar los modos de fallas y sus efectos permiten contar con una información precisa de las causas de las fallas y su importancia, en el caso de los tractores D9T, D10T, D11T las fallas de combustible y las fallas en lubricación son las que más impactan en la confiabilidad de estos equipos, el analizar cuáles son las causas de estas fallas es lo que permite con el Diagrama Lógico de Decisiones de RCM definir tareas de mantenimiento específicas para poder eliminarlas.

Se determino en el análisis de criticidad del Tractor a Orugas CAT D9T podemos notar que el subsistema de combustible, Cilindro de brazo y lubricación son los sistemas críticos, así mismo, para el Tractor a Orugas CAT D10T podemos notar que el subsistema de combustible, Bomba hidráulica y lubricación son los sistemas críticos. Finalmente, el Tractor a Orugas CAT D9T podemos notar que el subsistema de combustible, Cilindro de brazo y lubricación son los sistemas críticos.

El sistema L-RCM depende en gran parte de su éxito en la actualización y la correcta toma de información, para lograr esto es necesario tener una cultura de mantenimiento alineada al sistema L-RCM.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Viana, "Minería en america latica y el caribe : Un enfoque socoambiental," *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica*, vol. 21, no. 2, pp. 617–637, 2018.
- [2] R. Robles Berumen and G. Foladori, "Una revisión histórica de la automatización de la minería en México ," *Problemas del desarrollo* , vol. 50. scielomx , pp. 157–180, 2019.
- [3] A. J. Hung, "Mantenimiento centrado centrado en confiabilidad confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC," *Ing. Energética*, vol. 30, no. 2, pp. 13–19, 2009.
- [4] J. G. Ardila Marín, M. I. Ardila Marín, D. Rodríguez Gaviria, and D. A. Hincapié Zuluaga, "La gerencia en mantenimiento (RCM).," *Dimensión Empresarial*, vol. 14. scieloco, pp. 127–142, 2016.
- [5] A. Díaz Concepción, L. Villar Ledo, J. Gómez, A. Gil-Henríquez, R. Mata-Alonzo, and A. Rodríguez Piñeiro, "Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica," vol. 19, pp. 137–142, Dec. 2016.
- [6] John, M. Moubray, and J. Pérez, "Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)," Feb. 2021.
- [7] Cerrejon, "Cerrejon: Nuestra operacion." p. 1, 2020.
- [8] J. Moubray, *Reliability-Centered Maintenance RCM II*. 1997.
- [9] NASA., *Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment* .
- [10] CAT, "Tractores topadores." p. 1, 2021.
- [11] Juan Vazques, "Implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad a excavadoras Caterpillar 336D2L," Universidad de Piura, 2019.
- [12] C. Perez, "Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la industria farmacéutica," 2018.
- [13] Félix Harley Gandur Peña, "Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema critico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB).," UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, 2017.
- [14] Barrios;J. and S. Calderón, "Análisis y diagnóstico de los tipos de

mantenimiento en la pequeña y gran minería aurífera en la subregión del Bajo Cauca, Antioquia,” *Metalnova*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2018.

- [15] Cat®, “Track-Type Tractors are built to move more and that’s just what the D11T and D11T Carrydozer (CD) are designed to do. With features designed to improve durability and reliability; increase productivity and efficiency; and enhance serviceability; today’s .” p. 25, 2010.
- [16] Elisban Labra, ““Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología rcm para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la municipalidad provincial de canchis - cuzco,” 2018.
- [1] R. Viana, “Minería en america latica y el caribe : Un enfoque socioambiental,” *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica*, vol. 21, no. 2, pp. 617–637, 2018.
- [2] R. Robles Berumen and G. Foladori, “Una revisión histórica de la automatización de la minería en México ,” *Problemas del desarrollo* , vol. 50. scielomx , pp. 157–180, 2019.
- [3] A. J. Hung, “Mantenimiento centrado centrado en confiabilidad confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC,” *Ing. Energética*, vol. 30, no. 2, pp. 13–19, 2009.
- [4] J. G. Ardila Marín, M. I. Ardila Marín, D. Rodríguez Gaviria, and D. A. Hincapié Zuluaga, “La gerencia en mantenimiento (RCM).,” *Dimensión Empresarial*, vol. 14. scieloco, pp. 127–142, 2016.
- [5] A. Díaz Concepción, L. Villar Ledo, J. Gómez, A. Gil-Henríquez, R. Mata-Alonzo, and A. Rodríguez Piñeiro, “Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica,” vol. 19, pp. 137–142, Dec. 2016.
- [6] John, M. Moubray, and J. Pérez, “Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM),” Feb. 2021.
- [7] Cerrejon, “Cerrejon: Nuestra operacion.” p. 1, 2020.
- [8] J. Moubray, *Reliability-Centered Maintenance RCM II*. 1997.
- [9] NASA., *Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment* .
- [10] CAT, “Tractores topadores.” p. 1, 2021.
- [11] Juan Vazques, “Implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad a excavadoras Caterpillar 336D2L,” Universidad de Piura, 2019.
- [12] C. Perez, “Propuesta de implementación de un sistema de gestión de

mantenimiento centrado en la confiabilidad para la industria farmacéutica,” 2018.

- [13] Félix Harley Gandur Peña, “Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema crítico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB).,” UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, 2017.
- [14] Barrios;J. and S. Calderón, “Análisis y diagnóstico de los tipos de mantenimiento en la pequeña y gran minería aurífera en la subregión del Bajo Cauca, Antioquia,” *Metalnova*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2018.
- [15] Cat®, “Track-Type Tractors are built to move more and that’s just what the D11T and D11T Carrydozer (CD) are designed to do. With features designed to improve durability and reliability; increase productivity and efficiency; and enhance serviceability; today’s .” p. 25, 2010.
- [16] Elisban Labra, ““Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología rcm para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la municipalidad provincial de canchis - cuzco,” 2018.