

**PROPUESTA DE MODELO DE MANTENIMIENTO RCM PARA EXCAVADORA
DE ORUGAS Y RETRO CARGADOR DE LLANTAS EN LA EMPRESA
SERTRAC INGENIERIA SAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

**JUAN MANUEL RIVERA OCHICA MANUEL
ALEJANDRO TANGARIFE DURAN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2016

**PROPUESTA DE MODELO DE MANTENIMIENTO RCM PARA EXCAVADORA
DE ORUGAS Y RETROCARGADOR DE LLANTAS EN LA EMPRESA
SERTRAC INGENIERIA SAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE.**

**JUAN MANUEL RIVERA OCHICA MANUEL
ALEJANDRO TANGARIFE DURAN**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de mantenimiento**

**Director:
CARLOS BORRAS
Ph. D. Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Gracias a Dios que nos da la vida y nos muestra el camino para seguir nuestros sueños.

A mi familia que nos apoya incondicionalmente y siempre celebra con nosotros nuestros logros.

A nuestros amigos que nos dan aliento para seguir.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo durante todo el proceso durante todo este proceso.

La Universidad Industrial de Santander y a todos los docentes de la especialización por compartir su conocimiento, experiencia y direccionamiento.

Al ingeniero Carlos Borrás asesorar la ejecución del proyecto; Al igual que por la información suministrada que nos sirvió de guía para el desarrollo del proyecto.

A la Empresa Ludes de Colombia por el tiempo laboral que dio para la asistencia a las clases de la especialización.

Manuel Alejandro Tangarife Duran

A la Empresa Sertrac ingeniería Sas por el tiempo laboral dado para la asistencia a las clases y por permitirnos recopilar información para el desarrollo de la monografía.

Juan Manuel Rivera Ochica

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	18
1. GENERALIDADES	19
1.1. MARCO CONTEXTUAL	19
1.1.1. Sertrac ingenieria sas.....	19
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.3. OBJETIVOS	27
1.3.1. Objetivo general.....	27
1.3.2. Objetivos específicos.....	27
1.4. JUSTIFICACION	27
1.5. ALCANCE	28
2. MARCO TEORICO.....	29
2.1. EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO	29
2.1.1. Definicion de mantenimiento	29
2.1.2. Generaciones y tendencias del mantenimiento.....	31
2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	36
2.3. METODOLOGIA RCM	38
2.3.1. Definicion del sistema	39
2.3.2. Las siete preguntas	40
2.3.3. Fases de la metodologia rcm	45
2.3.4. Beneficios del rcm	45
2.3.5. Funciones	48
2.3.6. Fallas funcionales.	52
2.3.7. Modos de falla	56
2.3.8. Efectos de falla	58
2.3.9. Consecuencias de falla.....	60
2.3.10. Tareas de mantenimiento.	62
3. ANALISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS MAQUINARIA	69
3.1. EXCAVADORA SOBRE ORUGAS VOLVO EC 210 BL	69
3.1.1. Motor.....	72
3.1.2. Sistema hidraulico	81
3.1.3. Tren de rodaje.....	87

3.2. RETROCARGADOR SOBRE LLANTAS.....	89
3.2.1. Motor.....	93
3.2.2. Sistema hidraulico	98
3.2.3. Sistema de transmision.....	99
4. RECOPIACION Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	103
4.1. PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	103
4.2. HISTORICO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE MAQUINARIA.....	109
4.2.1. Excavadoras orugadas.....	110
4.2.2. Retro cargador de llantas.....	113
5. PROPUESTA DE MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO RCM	117
5.1. ANALISIS DE CRITICIDAD DE FALLAS	117
5.1.1. Analisis de criticidad excavadora orugada volvo ec 210 bl.	119
5.1.2. Analisis de criticidad retro cargador case 590 sm.	123
5.2. HOJA DE DECISION RCM.	127
5.2.1. Hoja rcm excavadora volvo ec 210 bl.	128
5.2.2. Hoja rcm retro cargador case 590 sm.	132
5.3. HOJA DE ACTIVIDADES DE RUTINA PRE-OPERACIONALES	136
6. CONCLUSIONES	139
BIBLIOGRAFIA	141

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Logo Sertrac ingeniería SAS.....	19
Figura 2. Organigrama Sertrac ingeniería SAS.....	20
Figura 3. Motoniveladora en mantenimiento de vías.....	21
Figura 4. Volqueta en proceso de descarga de material pétreo.....	22
Figura 5. Vibro compactador en proceso de mantenimiento vial.....	22
Figura 6. Levantamiento topográfico.....	23
Figura 7. Retroexcavadora sobre orugas en proceso de adecuación de terreno.....	23
Figura 8. Descapote de terreno.....	24
Figura 9. Bulldozer en extensión de material triturado.....	24
Figura 10. Excavación para piscina de oxidación.....	25
Figura 11. Excavadora de oruga.....	26
Figura 12. Tipos de mantenimiento.....	30
Figura 13. Evolución de las expectativas de mantenimiento.....	35
Figura 14. Generaciones del mantenimiento.....	36
Figura 15. Norma SAE JA 1011.....	38
Figura 16. Sistema.....	39
Figura 17. Porcentaje de probabilidad de falla en Aero civil.....	43
Figura 18. Típico grupo de revisión RCM.....	47
Figura 19. Activo físico mantenible.....	49
Figura 20. Activo físico no mantenible.....	50
Figura 21. Descripción de funciones.....	52
Figura 22. Estado general de falla.....	53
Figura 23. Activo funcionando a pesar de cierto nivel de deterioro.....	54
Figura 24. Diferentes puntos de vista de las fallas.....	55
Figura 25. Descripción de fallas funcionales.....	56
Figura 26. Descripción de modos de falla.....	56

Figura 27. Tiempo de parada vs tiempo de reparación.....	59
Figura 28. Descripción de efectos de falla.....	60
Figura 29. Análisis para zonas de equipos de acuerdo a criticidad.....	62
Figura 30. Distribución de recursos humanos.....	63
Figura 31. Frecuencia de fallas vs tiempo.....	64
Figura 32. Rendimiento funcional vs tiempo.....	64
Figura 33. Rendimiento funcional vs tiempo.....	65
Figura 34. Intervalos P-F inconsistentes.....	66
Figura 35. “Acciones a falta de”.....	68
Figura 36. Retroexcavadora Volvo Ec 210BL.....	69
Figura 37. Sistema de trabajo retroexcavadora sobre orugas.....	70
Figura 38. Sistema de refrigeración.....	73
Figura 39. Sistema de inyección de motor.....	75
Figura 40. Sistema de lubricación.....	77
Figura 41. Sistema de admisión y escape.....	78
Figura 42. Subsistema eléctrico.....	80
Figura 43. Diagrama de parte de caja de cambio orugada o mandos finales.....	81
Figura 44. Diagrama de motor hidráulico de orugas.....	82
Figura 45. Diagrama de caja de cambios de giro.....	83
Figura 46. Diagrama de motor hidráulico de giro.....	84
Figura 47. Bomba hidráulica.....	85
Figura 48. Tren de rodaje.....	87
Figura 49. Tornamesa.....	88
Figura 50. Cadenas de excavadora de orugas.....	89
Figura 51. Retro cargador Case 590 SM.....	90
Figura 52. Sistema de trabajo retro cargador de llantas.....	91
Figura 53. Fun clutch.....	93
Figura 54. Diferencial.....	100
Figura 55. Servo transmisión.....	102
Figura 56. Tiempo muerto por mantenimiento correctivo de excavadora	

Volvo EC 210 BL.....	112
Figura 57. Tiempo muerto por mantenimiento correctivo de retro cargador 590 SM.....	115
Figura 58. Cuadro de criticidad de fallas Sertrac ingeniería S.A.S.....	117
Figura 59. Algoritmo de decisión MCC de la norma SAEJA1012.....	127

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Retroexcavadora Volvo Ec 210 BL Sertrac ingeniería sas.....	69
Tabla 2. Especificación de excavadora orugada volvo EC 210 BL.....	70
Tabla 3. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de refrigeración de excavadora orugada.....	74
Tabla 4. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de inyección de excavadora orugada.....	76
Tabla 5. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de lubricación de excavadora orugada.....	77
Tabla 6. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de admisión y escape de excavadora orugada.....	79
Tabla 7. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema eléctrico de excavadora orugada.....	80
Tabla 8. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de implementos de excavadora orugada.....	86
Tabla 9. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de tornamesa de excavadora orugada.....	88
Tabla 10. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de cadenas de excavadora orugada.....	89
Tabla 11. Retro cargador Case 590 SM Sertrac ingeniería sas.....	90
Tabla 12. Especificación de retro cargador Case 590 SM.....	92
Tabla 13. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de enfriamiento de retro cargador.....	94
Tabla 14. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de inyección de retro cargador.....	95
Tabla 15. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de lubricación de retro cargador.....	96
Tabla 16. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de admisión y escape de retro cargador.....	97

Tabla 17. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema eléctrico de retro cargador.....	98
Tabla 18. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de bomba hidráulica de retro cargador.....	99
Tabla 19. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de diferenciales de retro cargador.....	101
Tabla 20. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de servo transmisión de retro cargador.....	102
Tabla 21. Rutina de mantenimiento preventivo excavadora orugada.....	104
Tabla 22. Rutina de mantenimiento preventivo retro cargador de llantas.....	105
Tabla 23. Hoja de vida de maquinaria.....	106
Tabla 24. Formato de mantenimiento de equipos.....	108
Tabla 25. Formato de mantenimiento de equipos.....	109
Tabla 26. Historio de mantenimiento general retroexcavadora Volvo EC 210 BL de Sertrac ingeniería S.A.S.....	111
Tabla 27. Análisis Pareto de actividades correctivas excavadora Volvo EC 210 BL.....	112
Tabla 28. Porcentaje de tiempo muerto por mantenimiento correctivo de excavadora Volvo EC 210 BL.....	113
Tabla 29. Historio de mantenimiento general retro cargador Case 590 SM de Sertrac ingeniería S.A.S.....	114
Tabla 30. Análisis Pareto de actividades correctivas retro cargador Case 590 SM.....	115
Tabla 31. Porcentaje de tiempo muerto por mantenimiento correctivo de retro cargador Case 590 SM.....	116
Tabla 32. Cuadro de evaluación de criticidad de frecuencia de fallas.....	117
Tabla 33. Cuadro de evaluación de criticidad de consecuencia de fallas.....	118
Tabla 34. Análisis de criticidad de modos de falla en excavadora Volvo EC 210 BL.....	120
Tabla 35. Análisis de criticidad de modos de falla en Retro cargador Case	

590 SM.....	123
Tabla 36. Hoja RCM de sistema motor excavadora orugada Volvo	
EC 210 BL.....	128
Tabla 37. Hoja RCM de sistema hidráulico excavadora orugada Volvo	
EC 210 BL.....	130
Tabla 38. Hoja RCM de sistema tren motriz excavadora orugada Volvo	
EC 210 BL.....	131
Tabla 39. Hoja RCM de sistema motor retro cargador Case 590 SM.....	132
Tabla 40. Hoja RCM de sistema hidráulico retro cargador Case 590 SM.....	134
Tabla 41. Hoja RCM de sistema hidráulico retro cargador Case 590 SM.....	135
Tabla 42. Hoja de inspección pre operacional de Excavadora de orugas Volvo EC 210 BL.....	136
Tabla 43. Hoja de inspección pre operacional de retro cargador de llantas Case 590 SM.....	138

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE MODELO DE MANTENIMIENTO RCM PARA EXCAVADORA DE ORUGAS Y RETRO CARGADOR DE LLANTAS EN LA EMPRESA SERTRAC INGENIERIA SAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE*

AUTORES:

MANUEL ALEJANDRO TANGARIFE DURAN**

JUAN MANUEL RIVERA OCHICA**

PALABRAS CLAVES:

rcm, correctivo, excavadora, retrocargador, operacion, sertrac ingenieria sas, obra civil, mantenimiento

DESCRIPCION:

En esta monografía se desarrolla la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para las excavadoras orugadas Volvo EC 210 BL y retro cargadores de llantas Case 590 SM de la empresa Sertrac ingeniería SAS que presentan fallas que no están establecidas dentro del plan de mantenimiento preventivo y generan mantenimiento correctivo que genera pérdidas operacionales en tiempo. Para el desarrollo se seleccionan los sistemas y subsistemas, se determinan las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla con códigos para identificar máquina, sistema y subsistema, se toman los datos de hojas de mantenimiento de las excavadoras y retro cargadores para determinar las fallas por mantenimiento correctivo y las perdidas operaciones en tiempo muerto que estas generan, se realiza criticidad de modos de falla con los factores que afectan y que son críticos para la operación de Sertrac estableciendo la matriz de frecuencia y criticidad , se realiza la HOJA RCM para determinar tipo de decisión, descripción de tarea, recursos requeridos de personal y repuestos, se realiza un formato de inspección de rutina pre-operacional estableciendo actividades en los sistemas y subsistemas para tener en cuenta consideraciones y reducir riesgos de falla funcional para la maquinaria que va a trabajar en campo y que es de fácil entendimiento para el personal operativo, técnico y será supervisado por el ingeniero de mantenimiento de maquinaria de Sertrac ingeniería SAS.

* Monografía de especialización

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director. Carlos Borrás Pinilla, Ingeniero Mecánico

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL FOR MAINTENANCE MODEL RCM IN EXCAVATOR TIRE TRACKS AND RETROCARGADOR IN THE COMPANY SERTRAC INGENIERIA SAS IN THE DEPARTMENT OF CASANARE*

AUTHORS:

MANUEL ALEJANDRO TANGARIFE DURAN**

JUAN MANUEL RIVERA OCHICA**

KEYWORDS:

RCM, corrective, excavator, charger, operation, Sertrac ingeniería SAS, civil work, maintenance.

DESCRIPTION:

This monograph develops the methodology of reliability centered maintenance (RCM) for Volvo EC 210 BL backhoes and loaders Tire Case 590 SM of company Sertrac ingenieria SAS. They are presenting faults that are not established within the preventive maintenance plan generating operating losses in time. Development systems and subsystems are selected, functions, functional failures, failure modes are determined by machine ID codes pair, system and subsystem, data sheets maintenance of excavators and retro boots are taken to determine the corrective maintenance failures and operational downtime losses they generate, criticality of failure modes with the factors affecting performed and are critical to the operation of Sertrac setting the frequency and criticality matrix, rcm sheet is performed to determine the type of decision, job description, personnel and resources required spare parts, a format pre inspection routine operational activities is accomplished by establishing systems and subsystems to take account of considerations and reduce the risk of functional failure for machinery that will work in field and it is easy to understand for the operating personnel, technical and I will be supervised by the maintenance engineer machinery of Sertrac ingenieria SAS.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.
Director Carlos Borrás Pinilla, Mechanical Engineer

INTRODUCCION

La empresa Sertrac ingeniería SAS es una de las empresas más representativas de la zona del Casanare por su parque de equipos que es de cerca de 70 para los procesos de obra civil.

En este sector y para este tipo de maquinaria los planes de mantenimiento se basan en las recomendaciones del manual del fabricante, teniendo en cuenta que el movimiento de maquinaria está sujeto a la vigencia de los contratos y presupuestos para su desarrollo de manera continua.

Para la maquinaria amarilla de Sertrac ingeniería SAS actualmente no se manejan altos estándares para el proceso de mantenimiento y aunque las fallas no son con alta frecuencia su impacto económico y operacional es elevado debido al costo de los repuestos y el tiempo de parada para la reparación y alistamiento de la maquina por esto se busca realizar una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para de establecer el impacto de las fallas tanto operacional como económico para la organización mostrando la importancia de garantizar la expectativa de vida de los equipos, reduciendo los riesgos al personal técnico, operativo o terceros como el impacto ambiental en la contaminación de las fuentes fluviales y establecer unas actividades pre-operacionales que sean de fácil comprensión para el personal operativo y técnico.

1. GENERALIDADES

1.1. MARCO CONTEXTUAL

1.1.1. Sertrac ingenieria sas

Figura 1. Logo Sertrac ingeniería SAS



Fuente: <http://www.sertrac Ltda.com.co/>

es una empresa netamente Casanareña ubicada en el municipio de aguazul en la calle 10 # 6-60, creada por el Señor Juvenal Cepeda Ibáñez el 29 de enero de 2001, debido a la gran demanda que se tenía por parte de las compañías petroleras para la construcción de locaciones y vías, obras civiles, mantenimiento de vías, movimiento de tierras y alquiler de maquinaria pesada, cuenta con la habilitación del Ministerio de transporte para la prestación de transporte de servicio público terrestre automotor de carga, lo que nos permite ofrecer este servicio para asegurar la integridad de nuestro sistema con alta capacidad de suministro en cada uno de los servicios que presta a sus clientes, garantizando el justo a tiempo de la demanda requerida por los mismos y procurando mantener un alto nivel de competitividad en el mercado.

Figura 2. Organigrama Sertrac ingeniería SAS



Fuente: Fotografía tomada por el autor a cartelera de Sertrac ingeniería SAS

1.1.1.1. Obras civiles

La noción de obra civil está vinculada al desarrollo de infraestructuras para la población. En este caso, el uso del término civil procede de la ingeniería civil, que recibe dicha denominación para diferenciarse de la ingeniería militar.

La obra civil, por lo tanto, es la aplicación de nociones de la física, la química, la geología y el cálculo para la creación de construcciones relacionadas con el transporte, la hidráulica, etc.

Las obras civiles tienden a contribuir a la organización del territorio y al aprovechamiento que se hace de éste. Las carreteras que posibilitan la circulación de medios de transporte, las represas que ayudan a gestionar los recursos hídricos, los puentes que permiten atravesar un río y el alcantarillado son algunos ejemplos de obras civiles.

Para el proceso de obras civiles se requiere maquinaria amarilla para el movimiento de tierras y adecuación de los terrenos para proceder al proceso de construcción.

- **Mantenimiento de vías**

Para los mantenimientos de vías se utiliza una motoniveladora case 865B donde se escarifica el terreno y se hacen cunetas para recuperar el material que se encuentra en los extremos de la vía para luego ser extendido.

Figura 3. Motoniveladora en mantenimiento de vías



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería sas

Cuando el material es insuficiente para la vía, se solicitan viajes de volquetas doble troques Mack Granite de 14m³ para ser entendidos con la motoniveladora para rellenar los huecos que se forman por el tránsito de vehículos pesados y por la inestabilidad del terreno en épocas de invierno.

Figura 4.volqueta en proceso de descarga de material pétreo



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería sas

Extendido el material por la motoniveladora se conforma la vía con un vibro compactador Volvo SD 100D de capacidad de 12 toneladas para compactar mejor el terreno y sea más firme para su tránsito.

Figura 5. Vibro compactador en proceso de mantenimiento vial



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería sas

- **Construccion de locaciones**

Se realiza un levantamiento topográficos para marcar el área donde se va a realizar el trabajo, con estas coordenadas se empieza realizando un descapote, que consiste en retirar la corte natural del terreno con una excavadora de orugas o un bulldozer.

Figura 6. Levantamiento topográfico



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería sas

Figura 7. Retroexcavadora sobre orugas en proceso de adecuación de terreno



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería sas

Realizado el descapote del terreno, se extiende el geotextil que sirve para evitar que se filtre el agua y se mezcle con el material triturado que va a aplicar en el terreno.

Figura 8. Descapote de terreno



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería SAS

Se descargan viajes de material triturado en volquetas doble troques de 14 m³, que luego son extendidos por un bulldozer Cat D6N XL, o por una motoniveladora Case 865B, se compacta el material con un vibro compactador case SV 212 de 12 toneladas para darle firmeza al terreno.

Figura 9. Bulldozer en extensión de material triturado



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería SAS

También se realizan excavación para la construcción de las piscinas de oxidación, para darle tratamiento a los lodos que se producen en la perforación, esta se recubren con geotextil para no contaminar la tierra con los lodos que se van a depositar allí, para luego ser removidos.

Figura 10. Excavación para piscina de oxidación



Fuente: Fotografía tomada de proyectos de Sertrac ingeniería SAS

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sertrac ingeniería SAS es una empresa dedicada al sector de obras civiles, transporte de agregados pétreos y alquiler de maquinaria amarilla, ubicada en el municipio de aguazul-Casanare.

Presta servicios en el departamento del Casanare en proyectos de infraestructura como mantenimiento de vías, adecuación de terrenos, locaciones petroleras y alquiler de e quipos a contratistas.

Los equipos más utilizados para el movimiento de tierras para sus proyectos por su capacidad, versatilidad y rendimiento son las excavadoras de orugas y retro cargador de llantas.

Figura 11. Excavadora de oruga



Fuente: <http://www.sertracltda.com.co> septiembre 11 de 2016

Las fallas por frenado del rodamientos del fan cluth afecta directamente el funcionamiento de otros componentes y puede causar el rompimiento de la correa del motor, daño de las aspas de la venta viola y a su vez rompimiento de los paneles del radiador causando una parada de maquina total y un retraso de la programación de avance de obra civil de un día de solo reparación adicional el tiempo que se demora el mecánico en desplazarse a la zona de trabajo y el tiempo de disponibilidad de los repuestos que pueden ser entre 2 a 15 días.

Se presentan fallas por perdidas de fluido hidráulico por rotura de mangueras del sistema hidráulico y por desgaste de las empaquetaduras de los cilindros hidráulicos que causa contaminación por derrame, riesgo de quemaduras a personas que se encuentren alrededor y una parada de equipo de 2 hora del cambio de la manguera o empaquetadura más el tiempo de desplazamiento del mecánico al sitio de operación y la disponibilidad de la manguera y el fluido hidráulico.

En los reportes de mantenimiento del año 2015 a julio 2016 se han presenta fallas por frenado de rodamiento de fan cluth en 3 ocasiones en 3 equipos diferentes, por rotura de mangueras en 33 ocasiones en la totalidad de los equipos y se ha cambiado la empaquetadura en 24 ocasiones a diferentes equipos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general:

Proponer un modelo de mantenimiento basado en RCM para excavadora de orugas y retro cargador de llantas en SERTRAC INGENIERIA SAS.

1.3.2. Objetivos especificos:

- Determinar pérdidas operacionales por mantenimiento correctivo-reactivo debido a paradas no programadas.
- Analizar las fallas que pueden presentar los equipos sin un mantenimiento preventivo.
- Revisar factores de riesgo que puedan afectar las condiciones operaciones de los equipos.
- Elaborar un modelo de decisión basado en RCM para excavadora de orugas.
- Establecer actividades de rutina de inspección pre operacionales.

1.4. JUSTIFICACION

Esta monografía tiene como objetivo proponer un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para las retroexcavadoras sobre orugas de la empresa Sertrac Ingeniería SAS.

El plan de mantenimiento y la confiabilidad debe garantizar la disponibilidad de los equipos para no incurrir en costos de alquilar maquinaria externa que pueden reducir la rentabilidad o el traslado de un equipo de otra zona de operación para

que realice el trabajo incurriendo en un mayor tiempo para el cumplimiento del trabajo y adicional los costos de desplazamiento.

Las fallas operacionales principalmente por rotura de mangueras, fan clutch entre otras pueden ocasionar daños mecánicos y contaminación ambiental por lubricantes que utiliza el equipo para su operación y riesgos al personal operativo por accidentes.

1.5. ALCANCE

Los autores se comprometen a elaborar un modelo de mantenimiento basado en confiabilidad RCM para las retroexcavadoras sobre orugas y retro cargadores de llantas, que actualmente tiene la empresa SERTRAC INGENIERIA SAS. Realizando un análisis de modos de falla y efectos con el fin de establecer hojas de decisión de las actividades de mantenimiento, rutinas de inspección pre operacionales.

El modelo propuesto abarcara los sistemas críticos que serán evaluados con la revisión de los datos recolectados de mantenimiento de enero de 2015 a julio de 2016.

Para el proceso de desarrollo se tendrán en cuenta las condiciones operativas y ambientales del departamento del Casanare en donde SERTRAC INGENIERIA SAS tenga operación actualmente o proyectos culminados en su totalidad.

2. MARCO TEORICO

2.1. EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO

2.1.1. Definicion de mantenimiento

Se define el mantenimiento como todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo la función para la cual fue adquirido. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

El mantenimiento es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones. Además permite eliminar condiciones inseguras que podrían afectar a las personas.

Mantenimiento es el proceso de empresa responsable por la entrega de la disponibilidad de los activos productivos requerida en el plan del negocio, con la debida atención a la seguridad de las personas y del cuidado del Medio ambiente, al costo óptimo¹.

El mantenimiento en la empresa incide en:

- Costos de producción.
- Calidad del producto.
- Capacidad operacional.
- Capacidad de respuesta de la empresa como un ente organizado e integrado.
- Seguridad e higiene industrial.

¹ Ortiz Plata, Daniel. Principios de mantenimiento. Colombia, Ortiz Ruiz consultores, 2015.

- Calidad de vida de los trabajadores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía.

Tipos de mantenimiento

En las operaciones de mantenimiento podemos diferenciar las siguientes definiciones:

Figura 12. Tipos de mantenimiento



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento> abril 15 de 2016

- **Mantenimiento de conservación:** Esta destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:
- **Mantenimiento correctivo:** Es el encargado de corregir defectos o averías observadas.
- **Mantenimiento correctivo inmediato:** Es el que se realiza inmediatamente de percibir la avería y defecto, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
- **Mantenimiento correctivo diferido:** Al momento de producirse la avería o defecto, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se

trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.

- **Mantenimiento preventivo:** Dicho mantenimiento esta destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por algún deterioro
- **Mantenimiento programado:** Realizado por programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.
- **Mantenimiento predictivo:** Es aquel que realiza las intervenciones prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.
- **Mantenimiento de oportunidad:** Es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.
- **Mantenimiento de actualización:** Tiene como propósito compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta, pero, en la actualidad si deben serlo.

2.1.2. Generaciones y tendencias del mantenimiento

Durante los últimos años el mantenimiento ha cambiado debido al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben operar en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Éstas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

Estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de Mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas y actuar como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importar cuánto se hayan informatizado.

Históricamente, el mantenimiento ha evolucionado a través de tres generaciones.

Como todo proceso de evolución, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica. Es conveniente destacar, sin embargo, que el alcanzar una etapa más avanzada no significa necesariamente 5 que se abandonen por completo las metodologías anteriores sino que, aun perdiendo peso, siguen complementando a las más actuales.

La Primera Generación

La Primera Generación cubre el período que se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez la mayor parte de los equipos eran simples y una gran cantidad era sobredimensionada. Esto los hacía confiables y fáciles de reparar.

Como resultado, no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación.

La Segunda Generación

Durante la Segunda Guerra Mundial todo cambió drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de los trabajadores industriales. Esto llevó a un aumento en la mecanización. Ya en los años '50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas y la industria estaba empezando a depender de ellas. Al incrementarse esta dependencia, se centró la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos deberían ser prevenidas, llegando al concepto de mantenimiento preventivo. En la década del sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados.

El costo del mantenimiento comenzó a elevarse rápidamente en relación a otros costos operacionales y esto llevó al crecimiento de sistemas de planeamiento y control del mantenimiento. Estos ciertamente ayudaron a tener el mantenimiento bajo control y han sido establecidos como parte de la práctica del mantenimiento.

Por último, la suma de capital ligado a activos fijos junto con un elevado incremento en el costo del capital, llevó a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos/ bienes.

La Tercera Generación

Desde mediados de la década del setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. Los cambios han sido clasificados en: nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

El tiempo de parada de máquina siempre ha afectado la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales e interferir con el servicio al cliente. En las décadas de los sesenta y setenta esto ya era una preocupación en las áreas de minería, manufacturas y transporte. En la manufactura los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas "just-in-time", donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta. Actualmente el crecimiento en la mecanización y la automatización han tomado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores clave en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones, la administración de edificios y el manejo de las organizaciones.

Una mayor automatización también significa que más y más fallas afectan nuestra capacidad de mantener parámetros de calidad satisfactorios. Esto se aplica tanto para parámetros de servicio como para la calidad del producto. Por ejemplo, hay fallas en equipos que pueden afectar el control del clima en los edificios y la puntualidad de las redes de transporte, así como interferir con el logro de las tolerancias deseadas en la producción.

Nuevas Expectativas

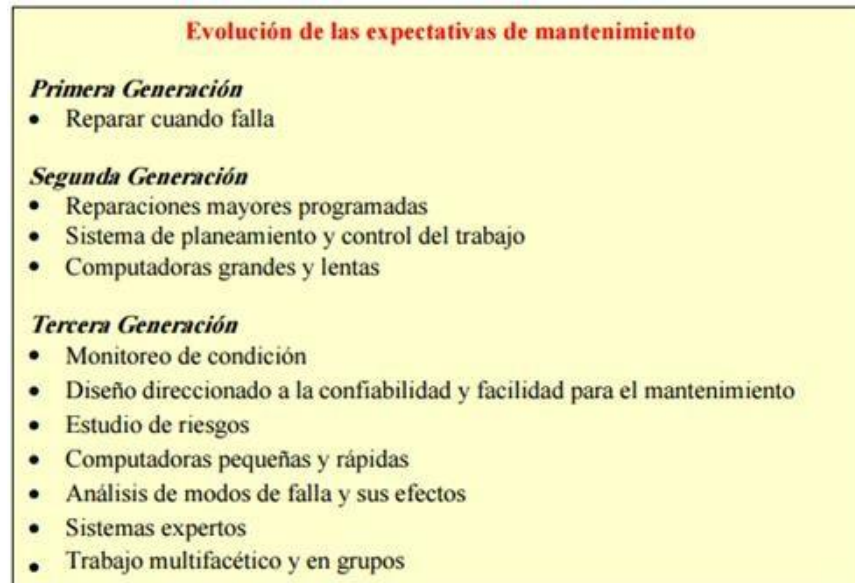
Cada vez aparecen más fallas que acarrearán serias consecuencias para el medio ambiente o la seguridad, al tiempo que se elevan las exigencias sobre estos temas. En algunas partes del mundo se ha llegado a un punto en que las organizaciones deben, o bien adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental de la sociedad, o dejar de operar. La dependencia de la integridad de nuestros activos físicos cobra ahora una nueva magnitud que va más allá del costo y que se toma una cuestión de supervivencia de la organización. Al mismo tiempo que crece la dependencia de los activos físicos, crece también el

costo de tenerlos y operarlos. Para asegurar la amortización de la inversión que representan, deben funcionar eficientemente siempre que se los necesite.

Por último el costo de mantenimiento aún está ascendiendo, en términos absolutos y como proporción del gasto total. En algunas industrias representa ahora el segundo ítem más alto, o hasta el más alto costo operativo.

En consecuencia, en sólo treinta años ha pasado a la primera prioridad en el control de costos.

Figura 13. Evolución de las expectativas de mantenimiento



Fuente: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_294.pdf abril 15 de 2016

Como es el mundo hoy

Nos encontramos en un ambiente que cambia cada vez más rápido producto de la globalización, ambientes altamente competitivos, dinamismo de los ambientes

comerciales, cambio en la estructura de las empresas por su nuevo enfoque en las organizaciones, innovación de productos y mejores precios y calidad del servicio.

Todo esto adicionando las tendencias globales a las mayores exigencias a las industrias en relación a sostenibilidad, seguridad operacional y contribución al cuidado del medio ambiente.

Todos estos factores influyen en una evolución constante en las prácticas de mantenimiento en cuanto a las expectativas, técnicas y nuevas generaciones del mantenimiento.

Figura14. Generaciones del mantenimiento



Fuente: Ortiz Plata, Daniel. Principios de mantenimiento. Colombia, Ortiz Ruiz consultores, 2015.

2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de

mantenimiento en una planta industria y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico².

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original. Sin embargo el uso extendido del nombre “RCM” ha llevado al surgimiento de un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman “RCM”. Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de Nowlan y Heap, y algunos son incluso contraproducentes. En general tratan de abreviar y resumir el proceso, lo que lleva en algunos casos a desnaturalizarlo completamente.

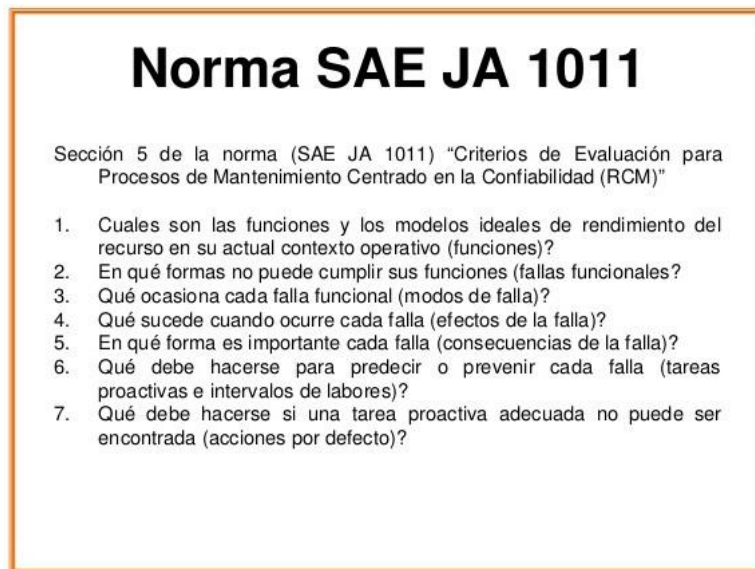
Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011³ y en el año 2002 la norma SAE JA

² MOUBRAY.JOHN. Reliability-centered Maintenance RCM II. New York: Industrial press inc. 1997.

³ SAE JA1011. Evaluations criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. Society of Automotive Engineer, Inc. 1999.

1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen, como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM.

Figura 15. Norma SAE JA 1011



Fuente: <http://es.slideshare.net/mantonline/reliability-maintenance-centered> agosto 27 de 2016

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual⁴.

2.3. METODOLOGIA RCM

La metodología está basada en el desarrollo de – o, en encontrar las respuestas a las 7 preguntas, en su orden estricto:

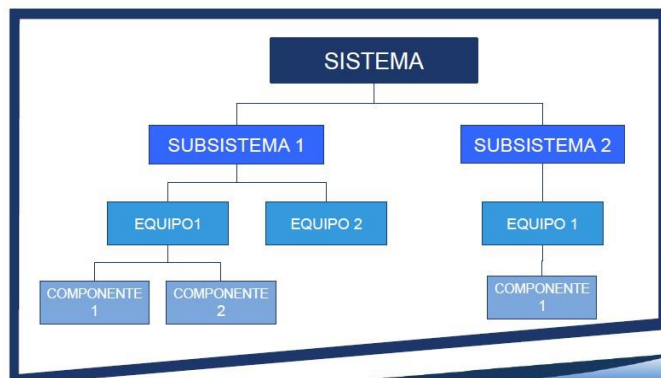
⁴ MOUBRAY.JOHN. Reliability-centered Maintenance RCM II. New York: Industrial press Inc. 1997.

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?
- ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
- ¿Qué causa la falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿En qué forma es importante cada falla?
- ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

2.3.1. Definición del sistema

Son el modulo ordenado de elementos que interactúan entre sí que operan el desarrollo de una función para la cual fueron diseñados.

Figura 16. Sistema



Fuente: curso RCM 2014 Ortiz Ruiz consultores

2.3.2. Las siete preguntas

2.3.2.1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?

Básicamente las funciones son aquello que los usuarios desean que haga un activo físico, por eso el primer paso es definir las funciones en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Las funciones están divididas en dos categorías:

- **Funciones primarias:** Resumen el porqué de la adquisición del activo. En esta categoría cubre temas como velocidad, capacidad de producción, carga o almacenamiento y calidad del producto.
- **Funciones secundarias:** Las que el usuario espera que el activo debería

hacer además de cumplir con las funciones primarias. Generalmente el usuario tiene expectativas de seguridad, confort, economía, eficiencia etc.

2.3.2.2. ¿En que forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales por que ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable incluyendo la incapacidad total de funcionar.

2.3.2.3. ¿Qué causa la falla funcional?

Una vez identificada cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla los cuales se denominan **modos de falla**.

Los modos de falla incluyen hechos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto operacional, fallas que actualmente están siendo prevenidas, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto.

2.3.2.4. ¿Que sucede cuando falla?

RCM lista los efectos de las fallas, describiendo lo que ocurre cuando se presenta un modo de falla.

- Qué evidencia existe (si la hay) que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)⁵.
- De qué manera afecta la producción o las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.

2.3.2.5. ¿En que forma es importante cada falla?

Un punto fuerte del RCM es reconocer que la falla es más importante que sus características técnicas. La razón principal para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar la falla si no evitar o reducir sus consecuencias y este método las clasifica en 4 grupos de consecuencias de falla:

⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.

- **Consecuencias de fallas ocultas:**

Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a múltiples consecuencias serias y en algunos casos catastróficas.

- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:**

Tiene consecuencias para la seguridad si puede causar daño o muerte a los trabajadores y tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa ambiental corporativa, regional, nacional o internacional.

- **Consecuencias operacionales:**

Es una falla operacional si afecta la producción (cantidad, calidad, servicio al cliente, costos operacionales).

- **Consecuencias no operacionales:**

Solo aplican para el costo directo de reparación.

2.3.2.6. ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla?

Como se había mencionado anteriormente, en la tercera generación del mantenimiento se hicieron descubrimientos en cuanto la probabilidad condicional de falla, que rompieron los paradigmas tradicionales que relacionaban la edad del activo con el aumento de la probabilidad de falla del mismo. Se pensaba también que entre más rápido se reparara o cambiara un componente era mejor. Hoy se ha demostrado que esto es cierto en muy pocos casos, sólo el 2% de los componentes de aeronaves comerciales siguen un patrón de falla tipo A.

Este modo de falla solo es para algunos equipos simples, o ítems complejos con modos de falla dominantes.

Sin embargo los equipos en general son mucho más complejos a lo que eran hace más de veinte años atrás, esto generado sorprendentes cambios en los patrones de falla dentro de los cuales se agrupan en seis patrones de falla esto evaluado con respecto a la industria aerocivil.

Figura 17. Porcentaje de probabilidad de falla en Aero civil.



Fuente: RCM II, John Moubray, Aladon

La conciencia de estos hechos ha llevado a muchas empresas a abandonar por Completo las tareas de mantenimiento proactivo, algo válido si las consecuencias de las fallas fueran menores. RCM divide en tres grupos las tareas para prevenir, predecir y disminuir las consecuencias de las fallas.

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico:**
Implica Re fabricar o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento.
- **Tareas de sustitución cíclica:**
Sustituir un componente antes que llegue a su límite de edad sin importar su condición en ese momento.

- **Tareas a condición:**

Se basan en el hecho que la mayoría de las fallas dan algún indicio o advertencia de que están por ocurrir. Se llaman tareas a condición porque el equipo se deja operativo a condición de que continúen alcanzando.

Se llaman tareas a condición por que los componentes se dejan en servicio mientras continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados.

2.3.2.7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

El RCM reconoce tres grandes de acciones a falta de:

- **Búsqueda de fallas:**

Las tareas de búsqueda de fallas implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si han fallado.

- **Rediseño:**

Rediseñar implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema.

- **Ningún mantenimiento programado:**

No se realiza esfuerzo en tratar de anticipar o prevenir los modos de falla y se deja que la falla simplemente ocurra para luego repararla.

2.3.3. Fases de la metodología RCM

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber⁶:

- **Fase 0:** Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
- **Fase 1:** Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.
- **Fase 2:** Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos
- **Fase 3:** Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior
- **Fase 4:** Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias
- **Fase 5:** Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
- **Fase 6:** Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento
- **Fase 7:** Puesta en marcha de las medidas preventivas

2.3.4. Beneficios del RCM

Si es aplicado correctamente, RCM logra grandes mejoras en la efectividad del mantenimiento y a menudo lo logra con gran rapidez pero para una aplicación

⁶ Documento de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM disponible en: http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm agosto 27 de 2016

exitosa se debe tener un muy buen planeamiento y preparación y se deben tener en cuenta los siguientes factores⁷:

- Decidir cuáles son los activos físicos que se beneficiaran con el proceso RCM.
- Evaluar los recursos requeridos para la aplicación a los activos seleccionados.
- En los casos que los beneficios justifiquen la inversión se debe definir claramente quien realizara y quien ejecutara cada análisis teniendo en cuenta el cuándo, dónde y que hay que hacer además de tener el entrenamiento apropiado.
- Asegurar el contexto operacional de cada activo físico y que este claramente comprendido.

Para la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo debería ser llevada a cabo incluyendo al menos una persona de mantenimiento y una persona de operaciones.

El uso de grupos permite a los gerentes tener un acceso sistemático al conocimiento y experiencia en cada grupo.

⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.

Figura 18. Típico grupo de revisión RCM



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.
p.17

La implementación del RCM de una manera correcta con una buena planeación y preparación ya que necesita de unos recursos se realiza con el fin de obtener unos beneficios para la organización:

- **Mayor seguridad e integridad ambiental:**

RCM considera las implicaciones ambientales y de seguridad para cada patrón de falla antes de considerar los efectos operacionales es decir que se actúa para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el medio ambiente.

- **Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente):**

RCM reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. De esta manera

asegura que solo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico.

- **Mayor costo-eficacia del mantenimiento:**

Si RCM es aplicado correctamente a los sistemas de mantenimiento ya existentes, reduce la cantidad de trabajo de rutina de cada periodo, habitualmente entre un 40 y un 70%.⁸

- **Mayor vida útil de componentes costosos:**

Debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición.

- **Una base de datos global:**

La revisión RCM finaliza con un registro global y extensivamente documentado de los requerimientos de mantenimiento de todos los activos físicos utilizados por la organización.

- **Mayor motivación del personal:**

RCM lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, junto con un sentido de pertenencia más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones.

- **Mejor trabajo de equipo:**

Provee un lenguaje técnico fácil de entender para cualquier persona que tenga relación con el mantenimiento que da al personal de mantenimiento y operaciones un entendimiento de lo que el mantenimiento puede lograr y que debe hacerse para lograrlo.

2.3.5. Funciones

Para definir los objetivos del mantenimiento según los requerimientos de los usuarios se debe tener claro un entendimiento de las funciones de cada activo físico junto con los parámetros de funcionamiento asociados.

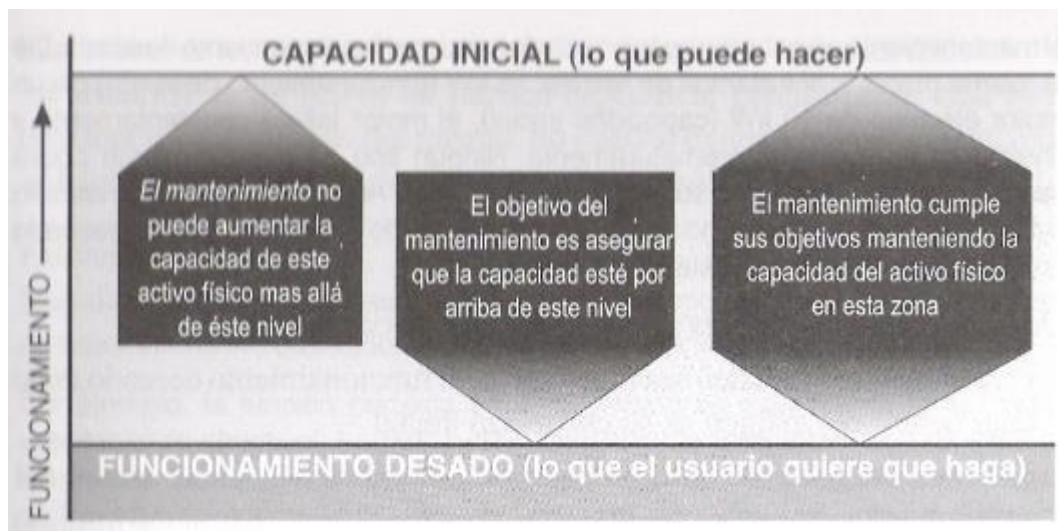
⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.p.17

No solo se espera que el activo cumpla una función sino que también lo haga con un nivel de funcionamiento aceptable lo dice Moubray en su libro ***“la definición de una función consiste de un verbo, un objetivo y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario”***

la magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo haga se puede definir a través de un estándar mínimo de funcionamiento. Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de 2 maneras:

- Funcionamiento deseado por el usuario.
- Capacidad propia del activo.

Figura 19. Activo físico mantenible



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.25

Lo que se relaciona en la gráfica es que mantenimiento debe estar por encima del funcionamiento deseado por el usuario pero no podrá llegar más allá de la capacidad inicial del equipo esto indica que el activo físico en caso que el funcionamiento deseado exceda la capacidad inicial dicho activo físico no es mantenible.

Figura 20. Activo físico no mantenible



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. p.25

El RCM según Moubray se define como un “proceso para determinar los requerimientos de cualquier activo físico en su contexto operacional”.

Para aplicar RCM a cualquier proceso o activo físico se debe tener claro el contexto operacional antes de comenzar el proceso.

Se debe tener cuenta que dependiendo del sector ya que esto afecta directamente el contexto operacional es decir en un proceso productivo donde hay equipos interconectados o maquinas que trabajan independientes; si hay redundancia o equipos alternativos se deben considerar al momento de definir las funciones de cualquier activo.

También se deben tener en cuenta los estándares de calidad, estándares de medio ambiente, riesgos para la seguridad, turnos de trabajo, tiempos de proceso y tiempos de reparación estimados así como el tiempo de consecución de

repuestos y la demanda del mercado en general son variables dependiendo del tipo de industria al que pertenezca el activo físico.

Se debe tener en cuenta que un activo físico tiene más de una función y para mantenimiento es vital que el equipo continúe cumpliendo dichas funciones las cuales se agrupan en funciones primarias y secundarias.

- **Funciones primarias:**

Las funciones primarias son fáciles de identificar ya que son la principal razón por la que se adquieren los activos para este caso es importante determinar los estándares de funcionamiento.

Cabe mencionar que un activo puede tener más de una función primaria y para estos casos se debe listar las especificaciones funcionales y estándares para cada una.

- **Funciones secundarias:**

Las funciones secundarias son menos obvias que las primarias pero se debe tener en cuenta que la pérdida de alguna de estas funciones puede generar consecuencias en algunos casos más serias que la que genera la función primaria y se agrupan en varias categorías:

- Ecología - integridad ambiental.
- Seguridad - integridad estructural.
- Control-contención-confort.
- Apariencia.
- Protección.
- Eficiencia-economía.
- Funciones superfluas.

Como resultado las funciones secundarias puede requerir tanto a más mantenimiento que las funciones primarias.

Las funciones se listan en la columna izquierda de la hoja de información de RCM iniciando con las funciones primarias y luego las funciones secundarias.

Figura 21. Descripción de funciones

FUNCIÓN	
1	Dar salida sin restricción a todos los gases de escape calientes de la turbina hasta un punto fijo situado a 10 metros por encima del techo de la sala de turbinas.
2	Reducir los niveles de ruido del escape a un nivel ISO 30 a 150 metros de distancia
3	Asegurar que la temperatura superficial de los conductos dentro de la sala de turbinas no exceda los 60°C
4	Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura de los gases del escape excede los 475°C y una señal para apagar el equipo si excede los 500°C a cuatro metros de la turbina.
5	Permitir el libre movimiento de los conductos en respuesta a los cambios de temperatura.

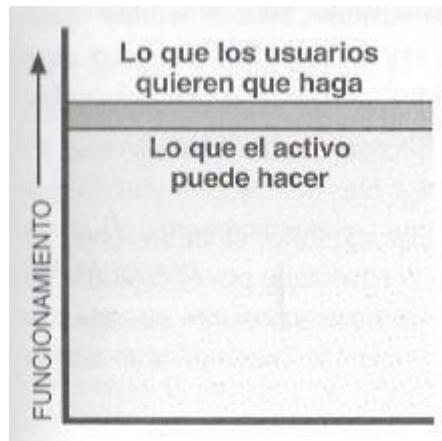
Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. p,47

2.3.6. Fallas funcionales

Se define falla como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.⁹

⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.47

Figura 22. Estado general de falla



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. p. 49

En la práctica esta definición no tiene en cuenta el estado de falla funcional y los modos de falla y se debe tener mayor profundidad en la definición ya que los activos tienen más de una función y se debe evaluar los modos de falla de cada una.

El RCM define falla funcional para describir los estados de falla y no la falla solamente para esto se debe tener en cuenta los estándares de funcionamiento y fallas.

Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario¹⁰.

Se evalúan desde varios aspectos:

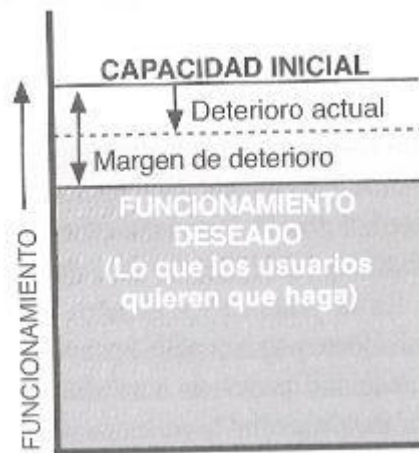
¹⁰ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.p.49

- **Falla total o parcial:**

Pérdida total de la función o situaciones donde el activo funciona pero fuera de los límites admisibles.

Si la capacidad del activo se deteriora lo suficiente como para caer debajo del funcionamiento deseado, sus usuarios consideran que fallo.

Figura 23. Activo funcionando a pesar de cierto nivel de deterioro



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. p.51

- **Limites superiores e inferiores:**

Estos límites significan que un activo físico ha fallado si produce productos por encima del límite superior o por debajo del límite inferior.

Esto describe que la maquina fallo si se detuvo completamente, su producción estuvo por encima del límite superior, si su producción estuvo por debajo del límite inferior o si sus otro parámetro de funcionamiento estuvo en otro rango como la temperatura, velocidad, consumo de energía, etc.

Los modos de falla para que la máquina este por encima del límite superior es diferente al modo de falla que genere que este por debajo del límite inferior.

- **Instrumentos de medición e indicadores:**

Las fallas funcionales se aplican también a los elementos de control, medidores, sistemas de protección e indicadores y dependiendo del modo de falla y sus consecuencias se pueden tratar sus límites por separado al momento de listar las fallas funcionales.

- **Contexto operacional:**

Se relaciona a que no se puede generalizar en activos idénticos que funcionan en operaciones distintas por lo tanto no se puede generalizar de sus fallas funcionales.

Los estándares de funcionamiento los debe definir el usuario normalmente en los programas de mantenimiento solo los realiza el personal de mantenimiento y definen cuando el equipo falla aunque en la práctica suele ser diferente a la visión del usuario como se muestra en la siguiente figura.

Figura 24. Diferentes puntos de vista de las fallas



Fuente: RCM II, John Moubray, ellmann pag 54

Las fallas funcionales se deben escribir en la segunda columna de la hoja de trabajo.

Figura 25. Descripción de fallas funcionales

RCM II HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN (C) 1998 ALADON LTD		SISTEMA	Turbina de 5 MW
		SUB-SISTEMA	Sistema de escape
	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	
1	Dar salida sin restricción a todos los gases de escape calientes de la turbina hasta un punto fijo situado a 10 metros por encima del techo de la sala de turbinas.	A	Totalmente incapaz de conducir el gas
		B	Flujo de gas restringido
		C	Incapaz de contener los gases
		D	No puede transportar los gases a un punto situado a 10 m encima del techo
2	Reducir los niveles de ruido del escape a un nivel ISO 30, a 150 metros	A	El nivel de ruido excede del nivel ISO 30 a 150 metros
3	Asegurar que la temperatura superficial de los conductos dentro de la sala de turbinas no exceda los 60°C	A	La temperatura superficial del conducto es mayor a 60°C
4	Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura de los gases del escape excede los 475°C y una señal para detener el equipo si excede los 500°C a cuatro metros de la turbina.	A	Incapaz de transmitir la señal si la temperatura de escape es mayor a los 475°C
		B	Incapaz de transmitir una señal de apagado si la temperatura excede los 500°C
5	Permitir el libre movimiento de los conductos en respuesta a los cambios de temperatura.	A	No permite el libre movimiento de los conductos

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. p.55

2.3.7. Modos de falla

Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional¹¹.

En el cuadro de información RCM se debe listar en la columna derecha los modos de fallo correspondientes a cada falla funcional.

Figura 26. Descripción de modos de falla

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN (C) 1998 ALADON LTD		SISTEMA	Sistema de Bombeo de Agua de Refrigeración
		SUB-SISTEMA	Impulsor de agua
	FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)	MODOS DE FALLA (Causa de la Falla)
1	Transferir agua desde el Tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto	A	Incapaz de transferir agua
			1 Cojinetes agrietados
			2 Impulsor loco, suelto
			3 Impulsor trabado por un cuerpo extraño
			4 El cubo de acople falla por fatiga
			5 Motor quemado
			6 Válvula de ingreso trabada en posición cerrada
			7 ...etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto
			1 Impulsor gastado
			2 Línea de succión parcialmente bloqueada
			3 ...etc.

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004p. 57

¹¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.p.57

Los modos de falla consisten de un sustantivo y un verbo. La descripción debe ser detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo adecuada y los verbos deben elegirse correctamente ya que tienen influencia en la selección de manejo de falla deben usarse como “falla”, “rotura” o “mal funcionamiento de” entre otros.

Los modos de falla pueden ser múltiples dependiendo del tipo de activo y el contexto operacional, para las órdenes de trabajo y el planteamiento del mantenimiento diario se realiza para modos de falla específicos.

Los modos de falla se pueden identificar después de ocurrida la falla lo cual es la esencia del mantenimiento reactivo pero el mantenimiento proactivo es identificar el modo de falla antes que este ocurra para evitar que se presenten o que se vuelvan a presentar.

Después de identificados los modos de falla se puede considerar lo que ocurre, sus consecuencias y tomar acciones para anticipar, prever, detectar, corregir o rediseñar.

Los modos de falla pueden ser clasificados en 3 grupos:

- **Capacidad decreciente.**

La capacidad del activo empieza a bajar hasta encontrarse por debajo del funcionamiento deseado.

Sus principales causas son, deterioro por tiempo, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos que reducen su capacidad.

- **Aumento del funcionamiento deseado o sobreesfuerzo aplicado.**

Se presenta cuando el activo es puesto en servicio pero se aumenta su capacidad hasta estar por fuera de su estándar y el aumento de esfuerzo acelera su deterioro hasta que el activo se torna poco confiable y deja de ser útil.

- **Cuando el activo físico desde el comienzo no es capaz de hacer lo que el usuario requiere.**

Un activo físico para ser mantenible su funcionamiento deseado debe estar dentro del rango de su capacidad inicial en el caso que el funcionamiento deseado está por encima de la capacidad inicial no necesariamente afectara al activo físico en su totalidad pero si en una o varias de sus funciones y componentes.

2.3.8. Efectos de falla

Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla¹².

Básicamente el efecto de la falla es que ocurre y se debe describir con toda la información necesaria para ayudar a evaluar la consecuencia de la falla.

Para describir los efectos de falla se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Evidencia de la falla de que se ha producido una falla y daños físicos causados por la falla.**

Los efectos de falla deben describirse correctamente para a través del análisis RCM decidir si es evidente la detección de la falla por parte de los operadores de la maquina en condiciones normales.

¹² MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.76

También se debe indicar si la falla muestra síntomas como daños físicos visibles, ruidos fuertes, emisión de gases, humos etc., aunque también pueden presentarse evidencias más técnicas guiadas por los elementos de control como termómetro, barómetro, consumo energético entre otros.

- **Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente:**

Si existe alguna posibilidad que alguien se lesione o muera como consecuencia de una falla o que se infrinja una normativa o reglamento del medio ambiente como incremento en riesgo de incendios, escape de productos químicos peligroso, caída de objetos etc.

En algunos casos se debe investigar previamente las normativas y reglamentos para el análisis de efectos de falla.

- **Las maneras en que afecta la producción o las operaciones.**

Se relaciona al tiempo de parada de la maquina ocasionada por cada falla desde el momento que esta fuera de servicio por la falla hasta el momento en que se encuentra totalmente operacional.

Figura 27. Tiempo de parada vs tiempo de reparación



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.p.79

- **Que debe hacerse para reparar la falla:**

Los efectos de falla también deben indicar que debe hacerse para reparar la falla incluyendo tiempo muerto del proceso de reparación teniendo en cuenta la trazabilidad de mano de obra, consecución de repuestos, puesta en marcha, etc.

Para listar los efectos de falla se colocan en la columna de la derecha después de los modos de falla.

Figura 28. Descripción de efectos de falla.

MODO DE FALLA		EFFECTOS DE FALLA
1	Se agarrotan los cojinetes de la caja reductora	Se detiene el motor y suena una alarma en la sala de control. Tiempo muerto para remplazar la caja reductora por una de reserva 3 hs. Se ajustan los cojinetes en el taller
2	Se desgastan los dientes de los engranajes	El motor no se detiene pero igualmente la máquina se para. Tiempo muerto para remplazar la caja reductora por una de reserva 3 hs. Se cambian los engranajes en el taller
3	Se agarrota la caja reductora por falta de lubricante ...etc	Se detiene el motor y suena una alarma en la sala de control. Tiempo muerto para remplazar la caja reductora por una de reserva 3 hs. La caja reductora agarrotada podría tener que descartarse.

Fuente MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.
p.91

2.3.9. Consecuencias de falla

Cada vez que ocurre una falla en un activo físico de alguna manera afecta a la organización la cual puede afectar la producción, calidad del producto, servicio al cliente, seguridad, el medio ambiente o los costos de operación. Mientras que los efectos de falla describen que sucede cuando ocurre la falla las consecuencias describen cómo y cuánto importa.

Si las consecuencias son serias se harán los respectivos esfuerzos para evitarlas, eliminarlas o minimizarlas.

El enfoque del RCM comienza con la selección de tareas asignando los efectos a cada modo de falla clasificándolo dentro de cuatro categorías definidas por RCM.

“Una tarea proactiva merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla asociado a un grado que justifique los costos directos e indirectos de hacerla”¹³.

Categorías de consecuencias:

- Consecuencias para la seguridad
- Consecuencias al medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.

Se deben clasificar las fallas basadas en sus consecuencias donde se debe tener en cuenta el tiempo operacional del equipo, los costos de reparación y mano de obra, impacto ambiental y para la seguridad.

Se debe realizar un cuadro de criticidad de fallas para seleccionar las que merezcan la pena tener una actividad proactiva para reducir, evitar o eliminar consecuencia de las fallas que no requieren una actividad ya que su impacto es bajo y es justificable realizar actividades de mantenimiento proactivo.

¹³ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.p.95

Figura 29. Análisis para zonas de equipos de acuerdo a criticidad

Tipo de equipo o de zona	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	La posibilidad de originar un accidente grave es alta.	Su parada afecta al plan de producción y/o a clientes	Es clave para la calidad del producto	Alto coste de reparación en caso de avería
	Necesita revisiones periódicas muy frecuentes (mensuales) por razones de seguridad		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado, en esta planta o en plantas similares			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales)
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales). Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son bajas.	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al plan de Producción)	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad	Poca influencia en producción	No afecta a la calidad	Bajo coste de Mantenimiento

Fuente: BORRAS, Carlos. Mantenimiento preventivo, Colombia, 2013. P.11

2.3.10. Tareas de mantenimiento

Las acciones que pueden tomarse para manejar las fallas se divide en 2 categorías¹⁴.

- **Tareas proactivas:**

Estas tareas se llevan a cabo antes que ocurra una falla con el objetivo de prevenir que el componente llegue a estado de falla.

- **Tareas a falta de:**

Estas tratan con el estado de falla y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva, las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento o rotura.

¹⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.133

2.3.10.1. Tareas proactivas

Dentro de las tareas proactivas abarcan las actividades de mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.

- **Mantenimiento preventivo.**

El mantenimiento preventivo es considerado una actividad “planeada”, para lograr que una instalación funcione correctamente.

La distribución de recursos de mantenimiento debe ser de acuerdo a la siguiente figura¹⁵:

Figura 30. Distribución de recursos humanos



Fuente: BORRAS, Carlos. Mantenimiento preventivo, Colombia, 2013. P.4

Para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de un equipo se trabaja sobre el mantenimiento preventivo ejecutando tareas planeadas que pueden estar relacionadas con el tiempo, el uso o la condición.

Con el mantenimiento preventivo se puede reducir las fallas prematuras por medio de limpiezas periódicas, ajustes y lubricación, se puede reducir el impacto en caso de no poder mitigar la falla, se puede contralar la degradación gradual de un equipo y los costos para la organización pueden ser controlados y disminuidos.

¹⁵ BORRAS, Carlos. Mantenimiento preventivo, Colombia, 2013. P.4

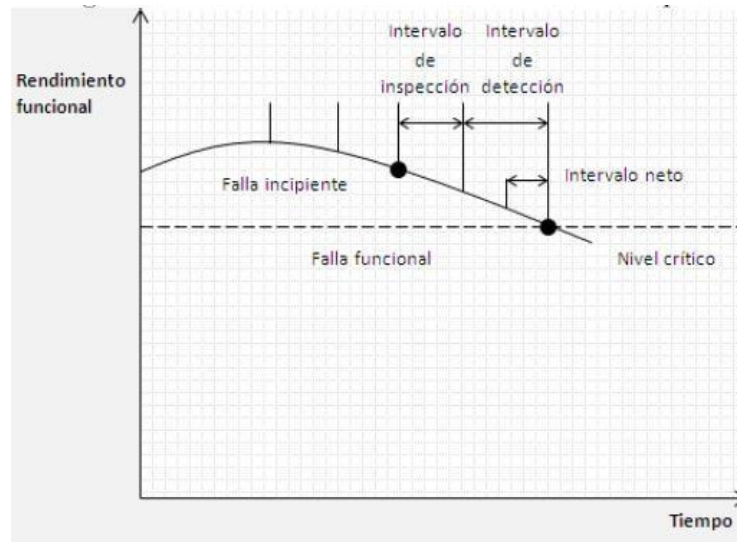
De acuerdo a la complejidad de los componentes y sus posibles causas de falla se debe planear la acción y tareas basadas en el tiempo o las condiciones y plasmarlas en el plan de mantenimiento.

Figura 31. Frecuencia de fallas vs tiempo



Fuente: BORRAS, Carlos. Mantenimiento preventivo, Colombia, 2013. P.7

Figura 32. Rendimiento funcional vs tiempo.



Fuente: BORRAS, Carlos. Mantenimiento preventivo, Colombia, 2013. P.7

- **Mantenimiento predictivo.**

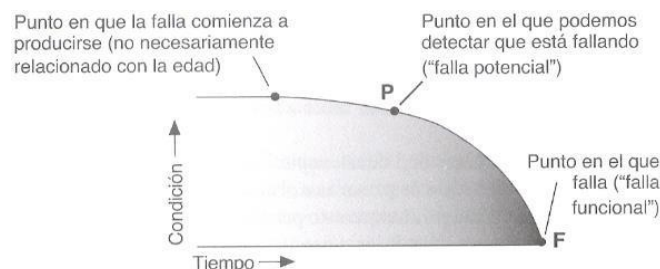
Son el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico de un sistema, que permite una intervención correctiva inmediata como consecuencia de la detección del algún síntoma de falla¹⁶.

Algunas tecnologías de mantenimiento predictivo también se utilizan para detectar una causa de falla después de que se halla presentado.

Cualquier evaluación a condición es influenciada por las observaciones prácticas como su frecuencia de fallas, aleatoriedad de fallas, necesidad de reparaciones repetitivas, numero de productos producidos defectuosos, peligros potenciales asociado a desempeño pobre, exceso de consumo energético y reducción de rendimiento durante la operación.

“una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir”¹⁷.

Figura 33. Rendimiento funcional vs tiempo.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.148.

Se debe considerar la cantidad de tiempo o ciclos de esfuerzo que transcurre entre el punto en que ocurre la falla potencial y el punto en el que se hace detectable.

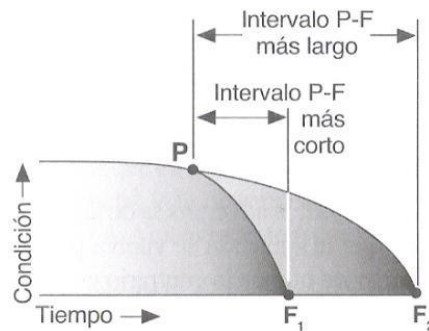
¹⁶ JARAMILLO, Julian. Filosofía, gestión tecnológica y teoría de la predicción pag 5, Colombia, 2015

¹⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.148

El intervalo P-F dice con qué frecuencia se debe realizar las tareas a condición es decir que para detectar una falla potencial antes que se convierta en falla funcional se debe hacer la revisión en el tiempo menor al intervalo P-F.

Si se realiza una tarea a condición en intervalos muy largos se puede pasar por alto la falla y se realizan muy cortos se desperdician recursos en el proceso de monitoreo.

Figura 34. Intervalos P-F inconsistentes



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.152.

Las tareas a condición programadas son técnicamente factibles si:

- Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F.
- El intervalo P-F neto es suficiente largo para ser útil es decir si el tiempo de monitoreo con respecto al tiempo de falla funcional alcanza para realizar alguna acción para eliminar, reducir o mitigar las consecuencias de la falla funcional.

2.3.10.2. Tareas “a falta de”

Las tareas “a falta de”¹⁸ son actividades que se deben llevar a cabo si no puede hallarse un modo de falla determinado o una tarea proactiva que sea técnicamente factible y están regidas de la siguiente manera:

- Si no se logra encontrar una tarea proactiva que reduzca el riesgo de falla se debe realizar **una tarea de búsqueda de falla** y si no se encuentra la decisión “a falta de” es una posibilidad de rediseño.
- Si no se puede encontrar una tarea proactiva que reduzca el riesgo de falla que afecte la seguridad o al medio ambiente la tarea “a falta de” es obligatoriamente **rediseñar el componente o cambiar el proceso**.
- Si no se puede encontrar una tarea proactiva más económica en un periodo de tiempo para una falla que tiene consecuencias operacionales la tarea “a falta de” inicial es **no realizar mantenimiento programado** pero si las consecuencias siguen siendo inaceptables se debe nuevamente evaluar el rediseño.
- Si no puede encontrarse una tarea proactiva mas económica para una falla con consecuencias no operacionales la tarea “a falta de” es **no realizar mantenimiento programado** pero si los costos son demasiado altos la decisión es nuevamente el rediseño.

Para RCM se establece un marco de decisión correspondiente a la siguiente figura:

¹⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004. P.174

Figura 35. “Acciones a falta de”



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, buenos aires: Ellmann, 2004.

P.175

3. ANALISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS MAQUINARIA

3.1. EXCAVADORA SOBRE ORUGAS VOLVO EC 210 BL

La retroexcavadora VOLVO EC 210 BL es una máquina para movimiento de tierra con capacidades para trabajo de obra civil en terrenos rocosos o de difícil acceso, la maquinaria de Sertrac ingeniería sas trabaja aproximadamente de 1000 a 2000 horas al año dependiendo de los proyectos que se tengan en ejecución.

Figura 36. Retroexcavadora Volvo Ec 210BL



Fuente: tomada por el autor

En la siguiente tabla se relacionas las especificaciones del equipo:

Tabla 1. Retroexcavadora Volvo Ec 210 BL Sertrac ingeniería sas

RETROEXCAVADORA DE ORUGAS VOLVO EC 210 BL						
				MOTOR		
CODIGO INTERNO	AÑO	MODELO	SERIE	MARCA	SERIE	MODELO
EXC-V-06	2011	EC 210B	VCENC210BC00040050	VOLVO	11091141	D6D EAE2
EXC-V-07	2011	EC 210B	VCENC210BH00040152	VOLVO	11083319	D6D EAE2
EXC-V-08	2011	EC 210B	VCENC210BA00040150	VOLVO	11083340	D6D EAE2

Los sistemas que componen la retroexcavadora son:

- Sistema de motor.
- Sistema hidraulico.
- Sistema de tren de rodaje

Figura 37. Sistema de trabajo retroexcavadora sobre orugas

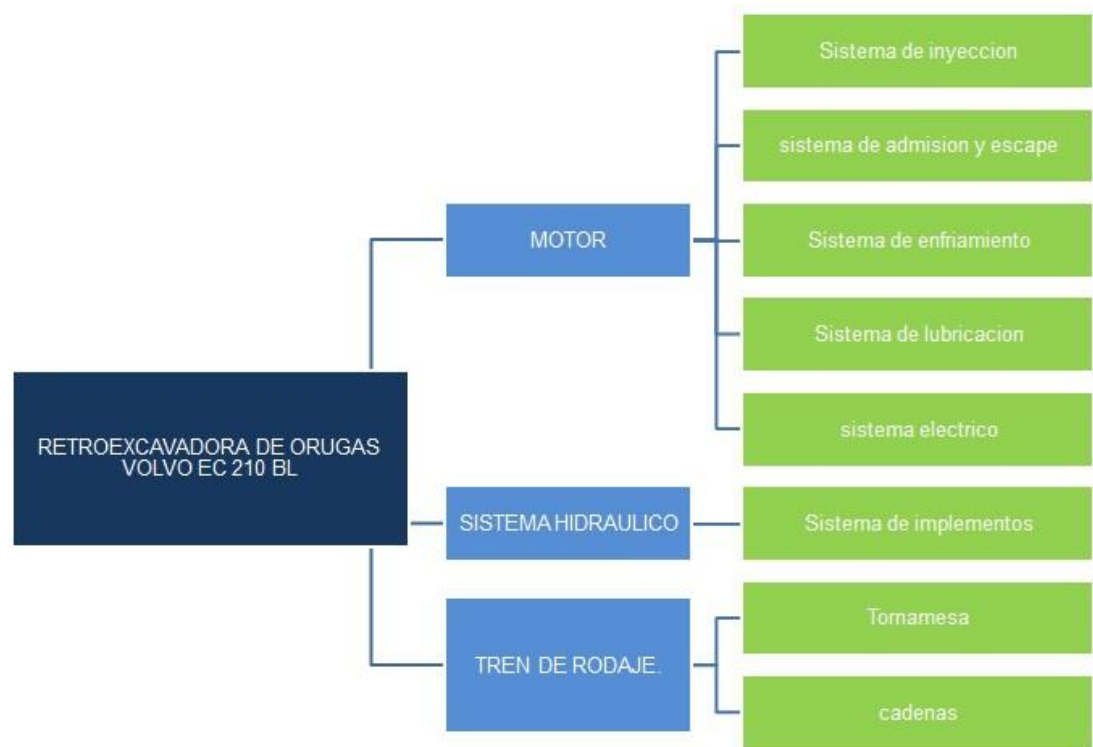


Tabla 2. Especificación de excavadora orugada volvo EC 210 BL

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO		
EXCAVADORA DE ORUGAS VOLVO EC 210 BL		
MOTOR		
Marca	VOLVO	
Modelo	D6DEAE2	

Potencia Neta	143 hp	
Cilindraje	347,8 in3	
SISTEMA HIDRAULICO		
Bomba piston axial (2)	Kawasaki	
Caudal	2 x 211 l/min	2 x 55,7 gpm
Presion de alivio	34,3 Mpa	4,975 psi
Bomba Engranaje (1)		
Caudal	18 L/min	4,8 gpm
Presion de alivio	3,9 Mpa	566 psi
Motor de giro piston axial (1)		
Velocidad	0 - 11,5 rpm	
Motor de desplazamiento piston axial (2)		
Velocidad Alta	5,6 km/h	3,5 mph
Velocidad Baja	3,4 km/h	2,1 mph
SISTEMA ELECTRICO		
Tension	24 Voltios	
Alternador	55 Amp	
Baterias (2)	92 Ah	
CAPACIDAD DE SERVICIO		
Tanque Hidraulico	147 L	39 Gl
Mando final (Cada lado)	4,5 L	4,8 qts
Accionamiento motor giro	5,0 L	5,3 qts
Motor	23,1 L	24,4 qts
Combustible	410 L	108,3 Gl
Radiador	25,5 L	27,1 qts
DIMENSIONES EQUIPO		
Altura	2,97 m	9'99"
Ancho	3,20 m	10'6"

Longitud	9,40 m	30'10"
Peso Operación	21,500 kg	47,400 lb
TREN DE RODAJE		
Rodillos superiores cada oruga	2	
Rodillos inferior cada oruga	8	
Numero zapatas	49	
Presion al suelo	36 kPa	5,2 psi
DIMENSIONES BALDE		
Anchura	0,61 m a 1,22 m	24" a 48"
Capacidad	0,47 m3 a 1,15 m3	0,62 yd3 a 1,50 yd3
Profundidad de corte	6,65 m	21'10"

Fuente. Manual de operación de excavadora volvo EC 210 BL

3.1.1. Motor

Un motor diésel funciona mediante la ignición de la mezcla aire-gas sin chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, compresión. El combustible diésel se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación¹⁹.

¹⁹ Documento de principios de funcionamiento de motores diésel disponible en: <https://sites.google.com/a/misena.edu.co/aprendiendo-mecanica-diesel/principios-de-funcionamiento-de-motores-diesel> agosto 26 de 2016

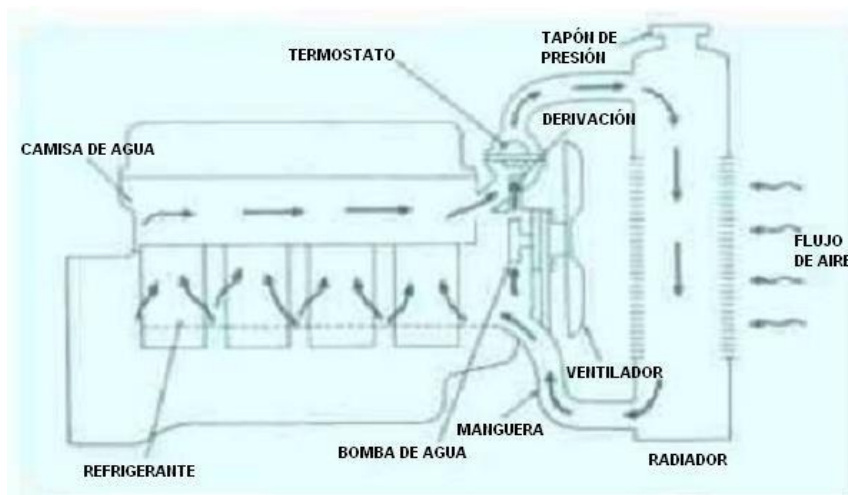
3.1.1.1. Subsistema de enfriamiento o refrigeración

El propósito del sistema de enfriamiento es mantener el motor a una temperatura apropiada durante la operación del motor.

Para lograr satisfactoriamente este propósito, el sistema está previsto de una bomba de refrigerante, un radiador, un termostato y un abanico. Se bombea el agua refrigerante dentro del sistema de enfriamiento dentro del bloque de cilindros y la camisa de agua de la culata del cilindro, y se circula por el camino del desvío.

Cuando la temperatura del agua excede una temperatura fija, el termostato se abre y el agua corre al radiador, para su enfriamiento. Así, el motor siempre se mantiene en la temperatura apropiada²⁰.

Figura 38. Sistema de refrigeración



Fuente: <https://sites.google.com/a/misena.edu.co/aprendiendo-mecanica-diesel/httpwwwmecanicavirtualorg/sistema-de-enfriamiento> agosto 26 de 2016

²⁰ documento de sistemas de enfriamiento disponible en: <https://sites.google.com/a/misena.edu.co/aprendiendo-mecanica-diesel/httpwwwmecanicavirtualorg/sistema-de-enfriamiento> agosto 26 de 2016

Tabla 3. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de refrigeración de excavadora orugada

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
MRF1	Mantener la temperatura del motor de combustion en los rangos de operación entre 80°C y 90°C	MRFFA	Temperatura por fuera de rango	MRMFA1	ductos del radiador obstruidos (por corrosion e incrustacion)	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 300.000 y tiempo mano obra 3 Horas
				MRMFA2	bomba de agua defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$600.000 y tiempo mano obra 2 Horas.
				MRMFA3	mangueras rotas	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 800.000 y tiempo mano obra 1 hora.
				MRMFA4	termostato defectuoso	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$300.000 y tiempo de mano obra 1 hora.
				MRMFA5	sensor de temperatura defectuoso	Temperatura fuera o por debajo de los rangos de operación. \$ 200.000 y tiempo de mano obra 30 minutos.
				MRMFA6	correas flojas o rota	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MRMFA7	ventilador dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$1'500.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
				MRMFA8	tapa del radiador defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$100.000 y tiempo de mano de obra 5 min.
				MRMFA9	fugas de refrigerante	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 250.000 y tiempo de mano obra 30 min.
				MRMFA10	enfocador de aire defectuoso o dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$600.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MRMFA11	Radiador dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$3'000.000 y tiempo de mano de obra 3 horas.
				MRMFA12	Bajo nivel de refrigerante	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 250.000 y tiempo de mano obra 30 min.
				MRMFA13	Empaque de culata defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero, saturacion de liquido refrigerante en el vaso de expansion. \$600.000 y tiempo de mano de obra 6 horas.
				MRMFA14	Bajo nivel de aceite motor	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de presion de aceite motor. \$ 120.000 y tiempo mano de obra 10 min.
MRF2	Recirculacion de liquido refrigerante en la partes internas del motor	MRFFB	No recircula refrigerante	MRMFB1	Bomba de agua defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$600.000 y tiempo mano obra 2 Horas.
				MRMFB2	Testostato defectuoso	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$300.000 y tiempo de mano obra 1 hora.
				MRMFB3	mangueras rotas	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 800.000 y tiempo mano obra 1 hora.
				MRMFB4	Radiador dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$3'000.000 y tiempo de mano de obra 3 horas.
				MRMFB5	ductos del radiador obstruidos (por corrosion e incrustacion)	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 300.000 y tiempo mano obra 3 Horas
				MRMFB6	correas flojas o rota	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.

3.1.1.2. Subsistema de inyección de combustible

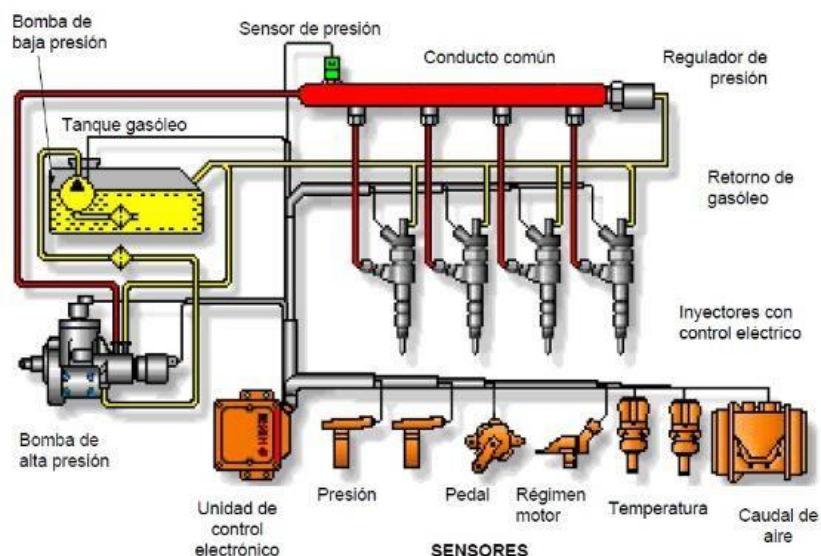
El sistema de combustible de un motor diésel tiene como misión el entregar la cantidad correcta de combustible limpio a su debido tiempo en la cámara de combustión del motor.

Es el encargado de suministrar el combustible necesario para el funcionamiento del motor, pudiéndose diferenciar dos apartados fundamentales:

Elementos generales del sistema. Suelen ser parecidos en todos los fabricante de motores diésel, sin embargo puede ser que en algún caso no estén todos en un motor determinado, o que monte algún otro componente:

- a). Circuito de alta presión, encargado de impulsar el combustible a una presión determinada para ser introducido en las cámaras de combustión.
- b). Circuito de baja presión, encargado de enviar el combustible desde el depósito en que se encuentra almacenado a la bomba de inyección.

Figura 39. Sistema de inyección de motor



Fuente: <http://revistamotor.eu/index.php/de-calle/mecanica/1602-sistema-inyector-bomba-principio-de-funcionamiento-y-desaparicion-frente-al-common-rail> agosto 28 de 2016

Tabla 4. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de inyección de excavadora orugada

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
MIF1	Entregar la cantidad correcta de combustible limpio a su debido tiempo en la cámara de combustión del motor.	MIFFA	El combustible no llega a la bomba de inyección	MIMFA1	Bajo nivel de combustible	El motor no enciende y se enciende el testigo de bajo nivel de combustible en el indicador del tablero. \$ 400.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				MIMFA2	Lineas de combustible obstruido	El motor enciende y se apaga \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MIMFA3	Bomba inyección dañada	El motor no enciende. \$ 5'000.000 y tiempo de mano de obra 3 Horas.
				MIMFA4	Agua en el combustible	El motor enciende y se apaga \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MIMFA5	Aire en el sistema de combustible	El motor enciende y se apaga \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
		MIFFB	El combustible no llega a las cámaras de combustión	MIMFB1	Inyectores dañados	El motor no enciende. \$ 12'000.000 y tiempo de mano de obra 8 Horas.
				MIMFB2	Bomba inyección dañada	El motor no enciende. \$ 5'000.000 y tiempo de mano de obra 3 Horas.
				MIMFB3	Aire en el sistema de combustible	El motor no enciende, \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				MIMFB4	Arneses o cables dañados	El motor enciende con dificultad y pierde potencia. \$ 2000.000 y tiempo de mano de obra 2 Horas.
				MIMFB5	Filtros de combustible obstruido	El motor enciende con dificultad y pierde potencia. \$500.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.

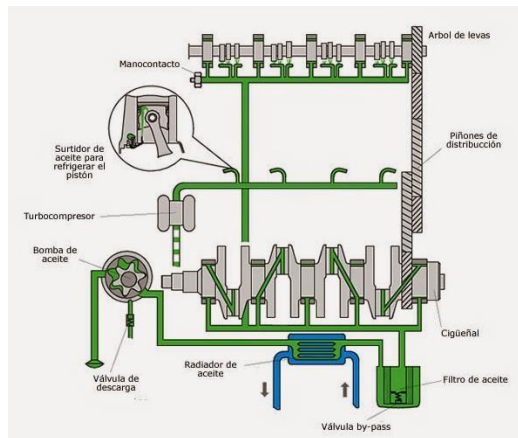
3.1.1.3. Subsistema de lubricación

La función del sistema de lubricación es evitar el desgaste de las piezas del motor, creando una capa de lubricante entre las piezas, que están siempre rozando. El lubricante suele ser recogido (y almacenado) en el cárter inferior (pieza que cierra el motor por abajo).

El lubricante y su viscosidad pueden influir mucho en el rendimiento de un motor, además, existen varios sistemas para su distribución²¹.

²¹ documento de sistemas de lubricación de motores de combustión interna disponible en: [http://www.ecured.cu/Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_\(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna\)](http://www.ecured.cu/Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna))
agosto 28 de 2016

Figura 40. Sistema de lubricación



Fuente: <http://aspalmastecnologica.blogspot.com.co/2015/03/motores-tema-53-sistemas-de-lubricacion.html> agosto 28 de 2016

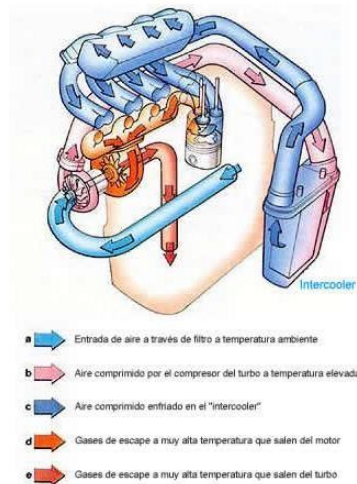
Tabla 5. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de lubricación de excavadora orugada

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
MLF1	Lubricar las piezas internas del motor.	MLFFA	No hay circulación de lubricantes en las líneas de flujo	MLMFA1	Bomba de lubricacion defectuosa	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 1'500.000 y tiempo de mano de obra 3 Horas.
				MLMFA2	Bajo nivel de aceite	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 120.000 y tiempo de mano de obra 10 min.
				MLMFA3	Filtro del carter obstruido	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 400.000 y tiempo de mano de obra 2 Horas.
				MLMFA4	Filtro de aceite motor obstruido	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 100.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				MLMFA5	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
MLF2	Proteger el desgaste interno de los componentes	MLFFB	esgaste en los componente	MLMFB1	Bajo nivel de aceite	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 120.000 y tiempo de mano de obra 10 min.
				MLMFB2	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MLMFB3	Contaminacion en el aceite	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MLMFB4	Filtro de aceite motor obstruido	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 100.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				MLMFB5	Cambio de aceite sobreextendido	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
MLF3	Refrigerar las piezas internas	MLFFC	Alta temperatura en el aceite	MLMFC1	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
MLF4	Lubricar las piezas internas del motor	MLFFD	Sedimentacion en los componentes del motor	MLMFD1	Contaminacion en el aceite	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MLMFD2	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MLMFD3	inyectores defectuosos	El motor no enciende. \$ 12'000.000 y tiempo de mano de obra 8 Horas.
		MLFFE	Filtro de aceite motor obstruido	MLMFE1	Contaminacion en el aceite	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MLMFE2	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.

3.1.1.4. Subsistema de admision y escape

Su función es guiar el aire desde el medio ambiente hacia las cámaras de combustión, y guiar los gases de escape desde las cámaras de combustión hacia el medio ambiente. La necesidad de suministrar aire limpio y a ciertas condiciones termodinámicas, conlleva al diseño e instalación de componentes como filtros, compresores de aire, enfriadores de aire, calentadores de aire, limitadores de aire (Sistemas EGR). Igualmente la necesidad de limitar al mínimo las emisiones contaminantes, ha impulsado el diseño e instalación de componentes como catalizadores, filtros de partículas, silenciadores de ruido, etc²².

Figura 41. Sistema de admisión y escape



Fuente: <http://yescoronell.blogspot.com.co/2010/08/motores-diesel.html> agosto 26 de 2016

²² <http://www.mecanismosdiesel.com/sistema-de-admision-y-escape/> 26-8-2016

Tabla 6. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de admisión y escape de excavadora orugada

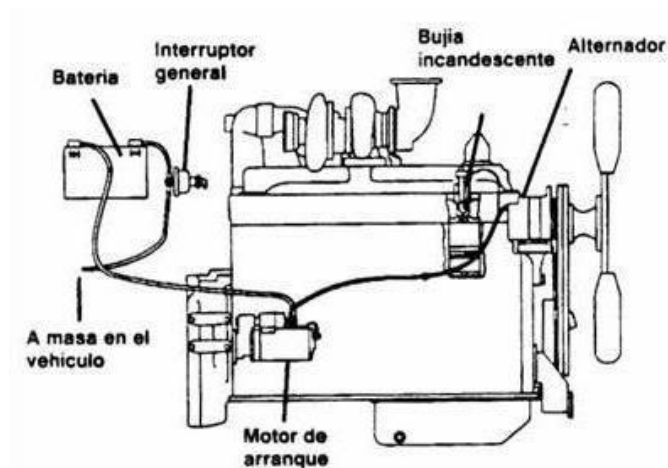
COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
MAF1	Guiar el aire desde el medio ambiente hacia las cámaras de combustión.	MAFFA	No llega aire a las camaras de combustion	MAMFA1	Turbo dañado	Perdida de potencia en el motor. \$ 3'000.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MAMFA2	Mangueras rotas	Perdida de potencia en el motor. \$ 300.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MAMFA3	Intercooler obstruido	Perdida de potencia en el motor. \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
				MAMFA4	Filtro de aire motor defectuoso	Perdida de potencia en el motor. \$ 150.000 y tiempo de mano de obra 10 min.
				MAMFA5	Intercooler dañado	Perdida de potencia en el motor. \$ 1'200.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
MAF2	Guiar los gases de escape desde las cámaras de combustión hacia el medio ambiente.	MAFFB	No sale los gases de escape al medio	MAMFB1	Mangueras rotas	Perdida de potencia en el motor. \$ 300.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				MAMFB2	Turbo dañado	Perdida de potencia en el motor. \$ 3'000.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.

3.1.1.5. Subsistema electrico

Las funciones básicas del sistema eléctrico consiste en suministrar la energía necesaria para arrancar el motor, utilizar luces, accesorios eléctricos, indicadores etc. Los componentes electrónicos que forman parte del circuito eléctrico sirven en su mayoría para efectuar control más fino de los distintos componentes como la inyección del motor, control de acciones hidráulicas, control de la servo transmisión etc. y todo ello de una forma que permite el ajuste o modificación de parámetros de funcionamiento²³.

²³ Documento de sistema eléctrico de motores diésel disponible en: <https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Sistema-Elctrico-Motores-Diesel/70242.html> septiembre 24 de 2016

Figura 42. Subsistema eléctrico



Fuente. http://ym.com.mx/tecnica_image002_0005.jpg septiembre 24 de 2016

Tabla 7. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema eléctrico de excavadora orugada

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
ME1	Repartir alimentacion electrica a cada uno de los componente que lo necesita .	MEFFA	El motor no arranca	MEMFA1	Bateria descargada o defectuosa	El motor no arranca, y los testigos del tablero de instrumentos no encienden. \$800.000 y tiempo de 1 hora.
				MEMFA2	Motor de arranque defectuoso	El motor no arranca, pero los testigos del tablero de instrumentos enciende. \$3'000.000 y tiempo de 3 Horas.
				MEMFA3	Automatico defectuoso	El motor no arranca, pero los testigos del tablero de instrumentos enciende. \$1'000.000 y tiempo de 3 Horas.
				MEMFA4	Cable rotos	El motor no arranca, y los testigos del tablero de instrumentos no encienden. \$100.000 y tiempo de 1 hora.
				MEMFA5	Terminales de bateria flojos, suicios o corroidos	El motor tarda de arrancar por pasos pero no enciente. Tiempo 1 hora.
				MEMFA6	piñon o bendix del motor arranque no se acopla al volante del motor	Ruido excesivo en falso del motor y no arranca el motor. \$ 500.000 y tiempo de 3 horas.
				MEMFA7	Alternador defectuoso	Se enciende un testigo en el tablero de instrumentos y el voltaje esta por debajo de los 12,45 voltios. \$ 1'000.000 y tiempo de 1 hora.
				MEMFA8	Regulador defectuoso	Se enciende un testigo en el tablero de instrumentos y el voltaje es inestble por debajo de los 12,45 voltios o por encima de lo 12,45 voltios. \$ 300.000 y tiempo de 1 hora.
				MEMFA9	Correa floja	Ruido excesivo y el voltaje esta por debajo de los 12,45 voltios - \$100.000 y tiempo de 1 hora.

3.1.2. Sistema hidraulico

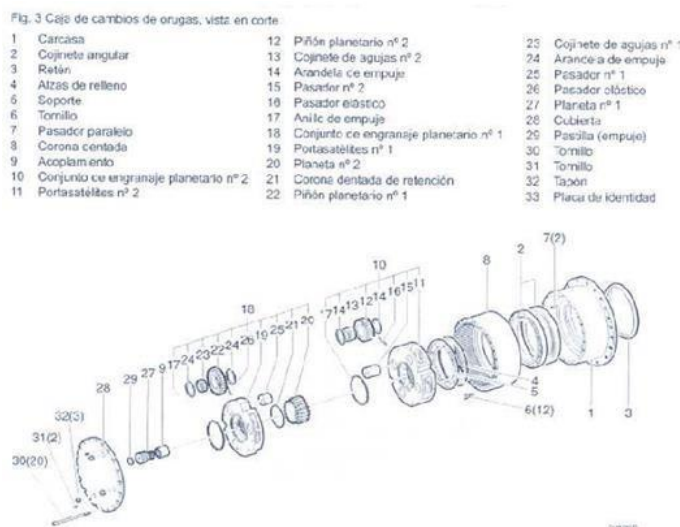
3.1.2.1. Subsistema de elementos

Está compuesto por los componentes que función por el flujo de aceite hidráulico para cumplir sus determinadas funciones para las cuales fueron diseñados dentro de los cuales están²⁴:

- **Caja de cambio oruga:**

La caja de cambios de oruga consiste en un engranaje planetario de 2 etapas que convierte en el elevada velocidad de giro del motor hidráulico en una fuerza de rotación de pocas revoluciones por minuto y par elevado en el cubo de rueda de cadena.

Figura 43. Diagrama de parte de caja de cambio orugada o mandos finales



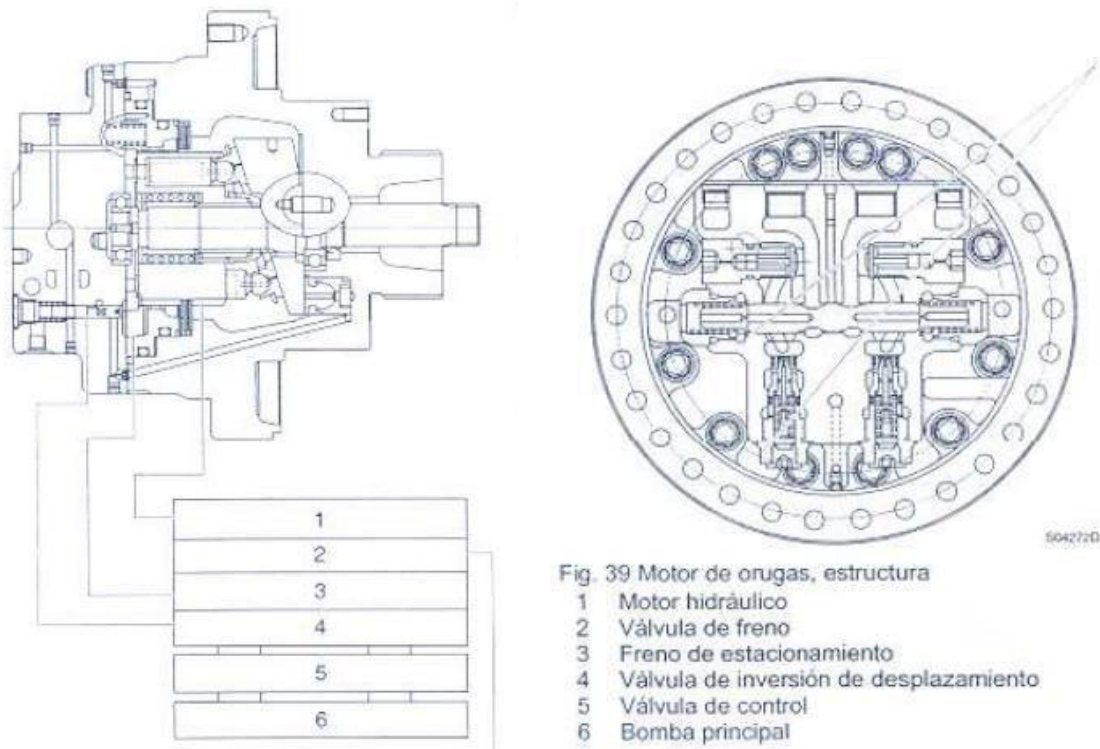
Fuente. Manual de taller EC 210B edición 1 p. 4:1:5

²⁴ Manual de taller EC 210B edición 1 p 4:1:3

- **Motor de hidráulico de orugas**

El motor de orugas presenta una construcción de placa oscilante variable y émbolos axiales con el conjunto de válvulas y el freno de estacionamiento. La brida trasera contiene la válvula equilibradora, la válvula de retención, las válvulas de sobrepresión cruzada, y la válvula de inversión de desplazamiento²⁵.

Figura 44. Diagrama de motor hidráulico de orugas



Fuente. Manual de taller EC 210B edición 1 p.4:1:23

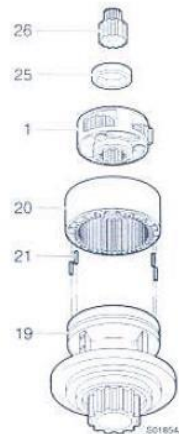
- **Caja de cambios de giro**

El conjunto de reducción del planetario de la 2º etapa convierte la salida de alta velocidad/bajo par del motor hidráulico en una salida de alta velocidad/par elevado, la cual se transmite por medio del piñón de reducción del eje de

²⁵Manual de taller EC 210B edición 1 p. 4:1:23

accionamiento al engranaje de circunferencia interior de la corona de giro para hacer girar a la superestructura²⁶.

Figura 45. Diagrama de caja de cambios de giro



Fuente. Manual de taller EC 210B edición 1 p. 4:2:23

- **Motor hidráulico de giro**

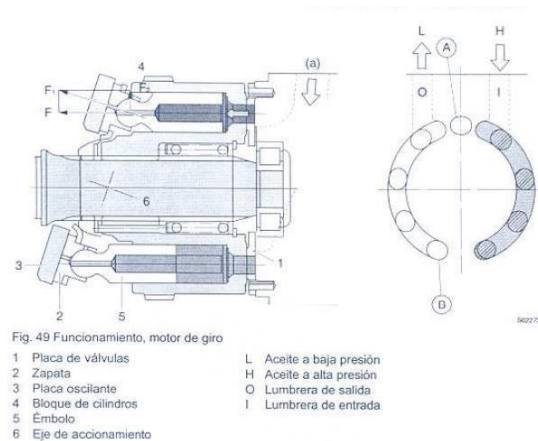
Los motores de pistones radiales son aptos para aplicaciones de para y bajas velocidades, consiguiendo un funcionamiento suave aun en régimen de giro bajo con rendimiento muy elevado y su función es transmitir la velocidades de giro a la caja de cambios de giro²⁷.

²⁶Manual de taller EC 210B edición 1 p. 4:2:5

²⁷ Documento de pistones radiales disponible en:

<http://www.interseal.com/index.php/pistones-radiales>. Agosto 8 de 2016

Figura 46. Diagrama de motor hidráulico de giro



Fuente. Manual de taller EC 210B edición 1 p. 4:2:31

- **Bomba hidráulica**

Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud²⁸.

²⁸documento de bomba hidráulica disponible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidr%C3%A1ulica septiembre 7 de 2016

Figura 47. Bomba hidráulica



Fuente. El autor

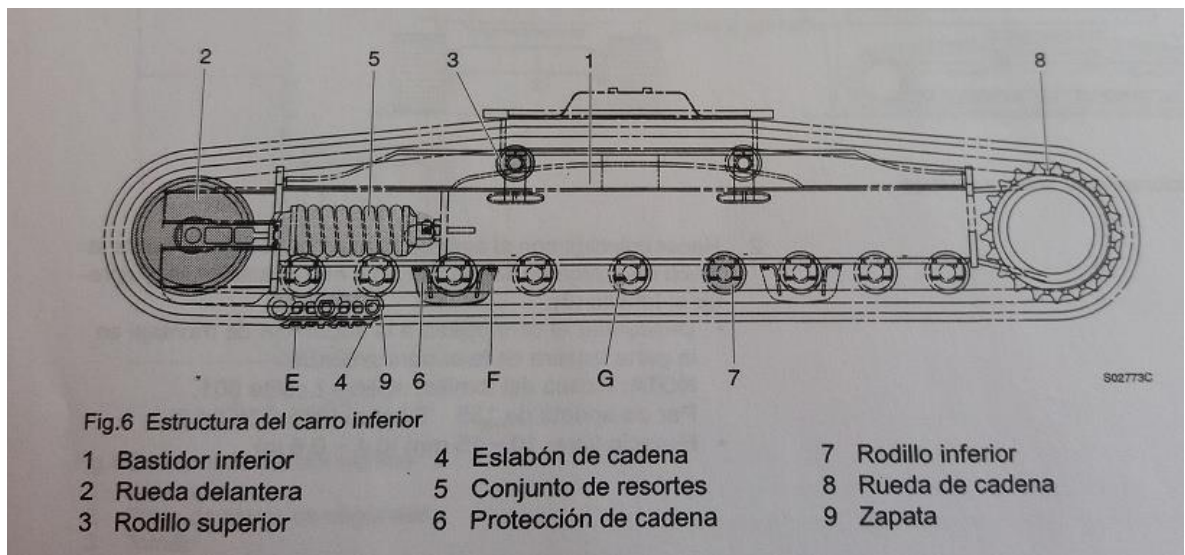
Tabla 8. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de implementos de excavadora orugada

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
HIF1	convertir la funcion de giro del motor hidraulico en un par elevado para el cubo a 3.4 kmh en velocidad tortuga	HIFFA	La caja de cambios no gira	HIMFA1	Motor sobrecargado	Las revoluciones del motor estan por debajo de las 1800 rpm, la excavadora tiene dificultad para su desplamiento por
				HIMFA2	Caja de cambios desgastada	Ruido excesivo en los componentes internos, no hay rotacion de la oruga. \$5'000.000 y un tiempo de 2 dias.
HIF2	transmitir velocidad a la caja de cambios de la orugas	HIFFB	Motor de marcha no gira	HIMFB1	Fallo de la bomba	El motor hidraulico no gira. \$60.000.000 tiempo 24 Horas.
				HIMFB2	Fallo del motor hidraulico	No hay giro de la oruga - \$12.000.0000 tiempo 8 Horas
				HIMFB3	Piñon de entreda a la caja de cambios estropeada	No hay giro de la oruga y ruido excesivo en las piezas internas - \$2'000.000 - 4 Horas.
				HIMFB4	Motor sobrecargado	Las revoluciones del motor estan por debajo de las 1800 rpm, la excavadora tiene dificultad para su desplamiento por debajo de los 3.4 km/h velocidad tortuga.
				HIMFB5	Fallo de valvula de freno	No hay giro de la oruga - 2'000.000 - 2 Horas
		HIFFC	La velocidad no aumenta en el motor (mas lento de lo normal)	HIMFC1	La presion de salidad de la bomba es baja de los 4795 psi .	El desplazamiento de la maquina es lenta, tiempo de mano de obra 1 hora.
				HIMFC2	Fallo en el regulador de la bomba	El desplazamiento de la maquina es lenta, caudal de alimentacion por debajo 55,8 gpm, tiempo de mano de obra 6 horas.
				HIMFC3	Fuga interna excesiva en la bomba	El desplazamiento de la maquina es lenta, \$60.000.000 tiempo 24 Horas.
HIF3	transmitir velocidad de giro a la caja de cambios de giro	HIFFD	Engranaje no gira	HIMFD1	Motor sobrecargado	Las revoluciones del motor estan por debajo de las 1800 rpm, la excavadora tiene dificultad para su desplamiento por debajo de los 3.4 km/h velocidad tortuga.
				HIMFD2	El freno de parqueo se encuentra activado	La maquina no gira y el testigo se activa en el indicador del tablero. - 30 minutos
				HIMFD3	Componentes internos de la caja de engranajes desgastados o dañados	Ruido excesivo en los componentes internos, no hay giro y un costo de reparacion alrededor de los \$5'000.000 y un tiempo de 16 horas
				HIMFD4	Motor hidraulico dañado	No hay giro de la cabina de 360° - \$12.000.0000 tiempo 8 Horas
				HIMFD5	Fuga interna en el motor hidraulico	No hay giro de la cabina de 360° - \$4'000.0000 tiempo 16 Horas
			Rotacion de giro es lenta	HIMFD6	Flujo insuficiente al motor hidraulico	El giro es lento y la presion de aceite por debajo de operaci3n de los 55,8 gpm - 2 horas
				HIMFD7	Fuga interna del motor hidraulico	El giro es lento y la presion de aceite por debajo de operaci3n de los 4795 psi - 4'000.000- 2 horas
HIF4	incrementar presion y caudal de un fluido darle movimiento a los componentes	HIFFE	El caudal de la bomba de aceite es bajo y no se incrementa la presion de salida	HIMFE1	Partes internas de la bomba rotas	No hay presion y caudal hidraulico \$60.000.000 tiempo 24 Horas.
		HIFFF	Ruidos y vibraciones fuera de lo normal	HIMFE2	Bomba auxiliar defectuosa	No hay presion y caudal hidraulico \$30.000.000 tiempo 24 Horas.
				HIMFF1	Cavitacion	Ruidos y vibracion de la bomba. 3 horas.
		HIFFG	Sobrecarga al motor de combustion	HIMFF2	Bomba no esta instalada correctamente	vibracion excesiva por desalineamiento de la bomba - 4 Horas.
				HIMFG1	Las revoluciones y la presion son mayores que los valores de ajuste	El motor pierde potencia y las revoluciones del motor estan por encima de las 1800 rpm,
				HIMFG2	Regulador no funciona	El desplazamiento de la maquina es lenta, caudal de alimentacion por debajo 55,8 gpm, tiempo de mano de obra 6 horas.
HIF5	Darle movimiento vertical u horizontal a los componentes en que se encuentre instalado (Boom, brazo)	HIFFH	Perdida de los movimientos.	HIMFG3	Partes internas de la bomba rotas	El motor pierde potencia y las revoluciones del motor estan por encima de las 1800 rpm, \$60.000.000 tiempo 24 Horas.
				HIMFH1	Línea de flujo obstruida	El vastagado no tiene carrera final- \$120.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
				HIMFH2	Desgaste empaquetadura del embolo	Se observa fugas de aceite hidraulico y el nivel del aceite hidraulico se reduce - \$ 1'000.0000 y tiempo de reparacion de 8 Horas.
				HIMFH3	Vástago torcido	El vastagado no tiene carrera final- \$ 3'000.000 y tiempo de reparacion 5 dias.
				HIMFH4	Vástago rayado	Se observa fugas de aceite hidraulico y el nivel de aceite hidraulico se reduce - \$ 1'000.0000 y tiempo de reparacion de 8 Horas.
				HIMFH5	Manguera rota	fuga de aceite hidraulico y nivel bajo - 300.000 y tiempo de reparacion 3 Horas.
				HIMFH6	Bomba defectuosa	No hay presion y caudal hidraulico \$60.000.000 tiempo 24 Horas.

3.1.3. Tren de rodaje

El tren de rodaje permite el movimiento de la maquina hacia adelante y atrás con la ayuda de los motores hidráulicos que le transmiten la fuerza necesaria a la caja de cambio de translación para su funcionamiento, se desplaza fácilmente en terreno rocosos o de lodos gracias a su sistema de zapatas y cadenas que permiten un mayor agarre y anti patinaje.

Figura 48. Tren de rodaje



Fuente. Manual de taller EC 210B edición 1 p. 4:8

3.1.3.1. Subsistema de tornamesa

la tornamesa se encarga de la función de giro de 360° sin interrupción de obstáculos, a través de una corona impulsada por un motor hidráulico acoplado a un piñón.

Figura 49. Tornamesa



Fuente. http://www.maquinariaw.com/imagenes/INVOICE/2016/303/1470764764_1.jpg septiembre 24 de 2016

Tabla 9. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de tornamesa de excavadora orugada

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODOS DE FALLA	EFEECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
TTF1	Permitir el giro de la cabina 360°	TTFFA	No gira	TTMFA1	Falla motor hidraulico de giro	No gira la cabina los 360° - 12'000.000 y tiempo 4 dias.
				TTMFA2	Rotura de dientes corona	Ruido exceso en los componentes internos y presenta dificultad para realizar el giro. \$40.000.000 15 dias.
				TTMFA3	Freno de parqueo activado	Testigo en el tablero de instrumentos - 30 minutos
				TTMFA4	Desgaste de los rodamientos	Ruido exceso en los componentes internos y presenta dificultad para realizar el giro. \$10.000.000 8 dias.

3.1.3.2. Subsistema de cadenas

Permite el desplazamiento de la maquina a través de rieles y eslabones que le transmiten el movimiento, las zapatas soportan el peso de la maquina permiten el movimiento en terrenos rocosos o de difícil acceso.

Figura 50. Cadenas de excavadora de orugas



Fuente. Tomada por el autor

Tabla 10. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de cadenas de excavadora orugada

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
TCF1	Permitir el desplazamiento de la maquina	TCFFA	Descarrilamiento de la oruga	TCMFA1	Pin master dañado	Perdida de desplazamiento. - \$300.000 y tiempo de 3 horas.
				TCMFA2	cilindro tensor defectuoso	No tensiona la cadena y presenta fugas de grasa por el cilindro\$2'000.000 y tiempo de 6 horas.
				TCMFA3	sploker desgastado o dientes rotos	Desplazamiento de la maquina con dificultad y ruido excesido de sus partes. \$ 1'000.000 y tiempo de 6 horas.
				TCMFA4	tornillos sploker flojos o dañados	Ruido excesivo de sus partes y perdida de desplazamiento-\$1'200.000 y tiempo 4 dias.
				TCMFA5	resorte espiral de la tensora rota	No tensiona la cadena \$2'500.000 y tiempo de 2 dias.

3.2. RETROCARGADOR SOBRE LLANTAS

La retro cargador CASE 590 SM es una máquina sirve para trabajos de excavación y cargue de material de proyectos de obra civil que tiene accesorios de cuchara para carga y balde para excavación de manera secuencial con la ventaja de desplazamientos largos con velocidades de 40 km/h, sirve para espacios de área reducidas y no se necesita un traslado con vehículo adicional, no es funcional en terrenos rocosos o de difícil acceso la maquinaria de Sertrac ingeniería sas trabaja aproximadamente de 1000 a 2000 horas al año dependiendo de los proyectos que se tengan en ejecución.

Figura 51 Retro cargador Case 590 SM



Fuente: tomada por el autor

En la siguiente tabla se relacionas las especificaciones del equipo:

Tabla 11. Retro cargador Case 590 SM Sertrac ingeniería sas

RETRO CARGADOR CASE 590 SM						
CODIGO INTERNO	AÑO	MODELO	SERIE	MOTOR		
				MARCA	SERIE	MODELO
RET-C-1	2008	590 SM SERIE 3	VCENC210BC00040050	CASE	N8C508652	445TA/E3
RET-C-2	2010	590 SM SERIE 3	VCENC210BH00040152	CASE	N8C508652	445TA/E3
RET-C-5	2011	590 SM SERIE 3	VCENC210BA00040150	CASE	JJGN59SNABC546450	CASE 445TA/EGH

Los sistemas que componen el retrocargador de llantas son:

- Sistema de motor.
- Sistema hidraulico.
- Sistema de transicion.

Figura 52. Sistema de trabajo retro cargador de llantas

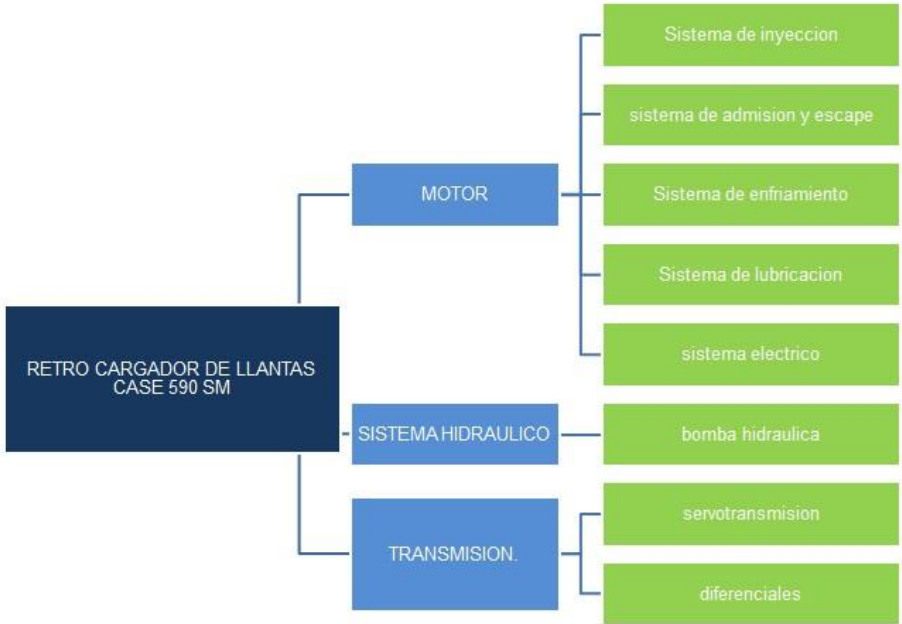


Tabla 12. Especificación de retro cargador Case 590 SM

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO		
RETROCARGADOR DE LLANTAS CASE 590 SM		
MOTOR		
Marca	Case	
Modelo	4T-390	
Potencia Neta	99 hp	79 Kw
Cilindraje	3,9 L	239 in3
SISTEMA HIDRAULICO		
Bomba de engranajes		
Caudal	160 l/min	42,5 gpm
Presion de Alivio	21,02 Mpa	3,050 psi
SISTEMA ELECTRICO		
Tension	12 Voltios	
Alternador	90 Amp	
Baterias (1)	92 Ah	
CAPACIDAD DE SERVICIO		
Tanque Hidraulico	129 L	34 GlS
Eje Trasero	19 L	5 GlS
Eje Delantero	9 L	2 GlS
Servotransmision	21 L	5,5 GlS
Motor	11 L	3 GlS
Combustible	151 L	40 GlS
Radiador	15 L	4 GlS
DIMENSIONES EQUIPO		
Altura	3,57 m	11,71'
Ancho	3.36 m	11,02'
Longitud	7,11 m	23, 32'
Peso Operación	7,104 kg	15,661 lb
TRANSMISION		
Tipo	Powershift	
Numero de cambios hacia adelante	4	
Numero de cambios hacia atrás	4	
Velocidad max hacia adelante	25,5 mph	41 km/h
Velocidad max hacia atrás	30,8 mph	49,6 km/h
Presion de embrague acoplado a 2200 rpm	263 a 312 psi	
Presion de embrague desacoplado a 2200 rpm	0 a 3 psi	
MOTOR		
Rpm en ralentin	900 - 1075	
Rpm calado convertidor	2130-2290	
Rpm calado hidraulico	2260-2355	
Rpm calado combinado	1525-1810	
Rpm aceleracion max, sin carga	2355-2475	

Fuente. Manual de operación retro cargador Case 590 SM

3.2.1. Motor

la información correspondiente a la descripción de los subsistemas de motor del retro cargador son iguales que el de la retroexcavadora orugada se diferencia en la potencia del motor que no marca diferencia en el análisis de los modos de falla y efectos exceptuando que el motor del retro cargador tiene integrado un sistema adicional de fun clutch que cumple la función de apoyar el sistema de refrigeración cuando se incrementa la temperatura para acoplar y desacoplar el giro de la hélice del ventilador para regular la temperatura del motor sin quitarle potencia y se tiene en cuenta para el análisis de modos de falla y efectos.

Figura 53. Fun clutch



Fuente. http://images.gasgoo.com/attachment/Approved/001/754/400_400/001754963.jpg
septiembre 25 de 2016

3.2.1.1. Subsistema de enfriamiento o refrigeracion

Tabla 13. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de enfriamiento de retro cargador.

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RMRF1	Mantener la temperatura del motor de combustion en los rangos de operación entre 80°C y 90°C	RMRFFA	Temperatura por fuera de rango	RMRMFA1	Ductos del radiador obstruidos (por corrosion e incrustacion)	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 300.000 y tiempo mano obra 3 Horas
				RMRMFA2	Bomba de agua defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$600.000 y tiempo mano obra 2 Horas.
				RMRMFA3	Mangueras rotas	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 800.000 y tiempo mano obra 1 hora.
				RMRMFA4	Termostato defectuoso	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$300.000 y tiempo de mano obra 1 hora.
				RMRMFA5	Sensor de temperatura defectuoso	Temperatura fuera o por debajo de los rangos de operación. \$ 200.000 y tiempo de mano obra 30 minutos.
				RMRMFA6	Correas flojas o rota	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMRMFA7	Ventilador dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$1'500.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
				RMRMFA8	Tapa del radiador defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$100.000 y tiempo de mano de obra 5 min.
				RMRMFA9	Fugas de refrigerante	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 250.000 y tiempo de mano obra 30 min.
				RMRMFA10	Enfocador de aire defectuoso o dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$600.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMRMFA11	Radiador dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$3'000.000 y tiempo de mano de obra 3 horas.
				RMRMFA12	Patin tensor correa defectuoso	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero \$400.000 y tiempo de mano de obra 1 horas.
				RMRMFA13	Fan cluth defectuoso	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero \$1'000.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
				RMRMFA14	Bajo nivel de refrigerante	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 250.000 y tiempo de mano obra 30 min.
				RMRMFA15	Empaque de culata defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero, saturacion de liquido refrigerante en el vaso de expansion. \$600.000 y tiempo de mano de obra 6 horas.
				RMRMFA16	Bajo nivel de aceite motor	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 120.000 y tiempo mano de obra 10 min.
RMRF2	Recirculacion de liquido refrigerante en la partes internas del motor	RMRFFB	No recircula refrigerante	RMRMFB1	Bomba de agua defectuosa	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$600.000 y tiempo mano obra 2 Horas.
				RMRMFB2	Tesmostato defectuoso	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$300.000 y tiempo de mano obra 1 hora.
				RMRMFB3	Mangueras rotas	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$ 800.000 y tiempo mano obra 1 hora.
				RMRMFB4	Radiador dañado	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero y testigo de bajo nivel de refrigerante. \$3'000.000 y tiempo de mano de obra 3 horas.
				RMRMFB5	Ductos del radiador obstruidos (por corrosion e incrustacion)	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 300.000 y tiempo mano obra 3 Horas
				RMRMFB6	Correas flojas o rota	Testigo de temperatura se activa en el indicador del tablero. \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.

3.2.1.2. Subsistema de inyección de combustible

Tabla 14. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de inyección de retro cargador.

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RMIF1	Entregar la cantidad correcta de combustible limpio a su debido tiempo en la cámara de combustión del motor.	RMIFFA	El combustible no llega a la bomba de inyeccion	RMIMFA1	Bajo nivel de Combustible	El motor no enciende y se enciente el testigo de bajo nivel de combustible en el indicador del tablero.\$ 400.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				RMIMFA2	Lineas de combustible obtruido	El motor enciende y se apaga\$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMIMFA3	Bomba inyeccion Dañada	El motor no enciende. \$ 5'000.000 y tiempo de mano de obra 3 Horas.
				RMIMFA4	Agua en el Combustible	El motor enciende y se apaga\$ 200.000 y tiempo de mano de obra
				RMIMFA5	Aire en el sistema de combustible	El motor enciende y se apaga\$ 200.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
		RMFFB	El combustible no llega a las camaras de combustion	RMIMFB1	Inyectores dañados	El motor no enciende. \$ 12'000.000 y tiempo de mano de obra 8 Horas.
				RMIMFB2	Bomba inyeccion Dañada	El motor no enciende. \$ 5'000.000 y tiempo de mano de obra 3 Horas.
				RMIMFB3	Aire en el sistema de combustible	El motor no enciente, \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				RMIMFB4	arnes o cables dañados	El motor enciende con dificultad y pierde potencia. \$ 2000.000 y tiempo de mano de obra 2 Horas.
				RMIMFB5	Filtros de combustible obstruido	El motor enciende con dificultad y pierde potencia. \$500.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.

3.2.1.3. Subsistema de lubricacion

Tabla 15. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de lubricación de retro cargador.

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RMLF1	lubricar las piezas internas del motor.	RMLFFA	No hay circulacion de lubricantes en las lineas de flujo	RMLMFA1	Bomba de lubricacion defectuosa	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 1'500.000 y tiempo de mano de obra 3 Horas.
				RMLMFA2	Bajo nivel de aceite	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 120.000 y tiempo de mano de obra 10 min.
				RMLMFA3	filtro del carter obtruido	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 400.000 y tiempo de mano de obra 2 Horas.
				RMLMFA4	Filtro de aceite motor obtruido	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 100.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				RMLMFA5	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
RMLF2	Proteger el desgaste interno de los componentes	RMLFFB	Desgaste en los components	RMLFFB1	Bajo nivel de aceite	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 120.000 y tiempo de mano de obra 10 min.
				RMLFFB2	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMLFFB3	Contaminacion en el aceite	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMLFFB4	Filtro de aceite motor obtruido	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 100.000 y tiempo de mano de obra 30 min.
				RMLFFB5	Cambio de aceite sobreextendido	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
RMLF3	Refrigerar las piezas internas del motor	RMLFFC	alta temperatura en el aceite	RMLFFC1	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
RMLF4	Limpiar las piezas internas del motor	RMLFFD	Sedimentacion en los componentes del motor	RMLFFD1	Contaminacion en el aceite	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMLFFD2	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMLFFD3	Inyectores defectuoso	El motor no enciende. \$ 12'000.000 y tiempo de mano de obra 8 Horas.
		RMLFFE	Filtro de aceite motor obtruidos	RMLFFE1	Contaminacion en el aceite	Ruidos excesivo de sus componentes y limalla en los residuos de aceite. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMLFFE2	Aceite inadecuado	Testigo de presion de aceite motor se enciende en el indicador del tablero. \$ 250.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.

3.2.1.4. Subsistema de admisión y escape

Tabla 16. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema de admisión y escape de retro cargador.

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RMAF1	Guiar el aire desde el medio ambiente hacia las cámaras de combustión.	RMAFFA	No llega aire a las camaras de combustion	RMAMFA1	Turbo dañado	Perdida de potencia en el motor. \$ 3'000.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMAMFA2	Mangueras rotas	Perdida de potencia en el motor. \$ 300.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMAMFA3	Intercooler obstruido	Perdida de potencia en el motor. \$ 200.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
				RMAMFA4	Filtro de aire motor defectuoso	Perdida de potencia en el motor. \$ 150.000 y tiempo de mano de obra 10 min.
				RMAMFA5	Intercooler dañado	Perdida de potencia en el motor. \$ 1'200.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
RMAF2	Guiar los gases de escape desde las cámaras de combustión hacia el medio ambiente.	RMAFFB	No sale los gases de escape al medio	RMAMFB1	Mangueras rotas	Perdida de potencia en el motor. \$ 300.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RMAMFB2	Turbo dañado	Perdida de potencia en el motor. \$ 3'000.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.

3.2.1.5. Subsistema electrico

Tabla 17. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de sistema eléctrico de retro cargador.

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RME1	Repartir alimentacion electrica a cada uno de los componente que lo necesita .	RMEFFA	El motor no arranca	RMEMFA1	Bateria descargada o defectuosa	El motor no arranca, y los testigos del tablero de instrumentos no encienden. \$800.000 y tiempo de 1 hora.
				RMEMFA2	Motor de arranque defectuoso	El motor no arranca, pero los testigos del tablero de instrumentos enciende. \$3'000.000 y tiempo de 3 Horas.
				RMEMFA3	Automatico defectuoso	El motor no arranca, pero los testigos del tablero de instrumentos enciende. \$1'000.000 y tiempo de 3 Horas.
				RMEMFA4	Cable rotos	El motor no arranca, y los testigos del tablero de instrumentos no encienden. \$100.000 y tiempo de 1 hora.
				RMEMFA5	Terminales de bateria flojos, suicios o corroidos	El motor tarta de arrancar por pasos pero no enciente. Tiempo 1 hora.
				RMEMFA6	piñon o bendix del motor arranque no se acopla al volante del motor	Ruido excesivo en falso del motor y no arranca el motor. \$ 500.000 y tiempo de 3 horas.
				RMEMFA7	Alternador defectuoso	Se enciende un testigo en el tablero de instrumentos y el voltaje esta por debajo de los 12,45 voltios. \$ 1'000.000 y tiempo de 1 hora.
				RMEMFA8	Regulador defectuoso	Se enciende un testigo en el tablero de instrumentos y el voltaje es inestble por debajo de los 12,45 voltios o por encima de lo 12,45 voltios. \$ 300.000 y tiempo de 1 hora.
				RMEMFA9	Correa floja	Ruido excesivo y el voltaje esta por debajo de los 12,45 voltios - \$100.000 y tiempo de 1 hora.

3.2.2. Sistema hidraulico

Ya se mencionó la descripción de la función y operación del sistema hidráulico en el capítulo de la excavadora y sus funciones, modos de falla y efectos son los mismos, la diferencia está en que el retro cargador no tiene motores hidráulicos por lo tanto se realiza el análisis de modos de falla y efectos solo para la bomba hidráulica.

3.2.2.1. Subsistema bomba hidraulica

Tabla 18. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de bomba hidráulica de retro cargador.

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RHBF1	incrementar presion y caudal de un fluido darle movimiento a los componentes	RHBFFA	el caudal de la bomba de aceite es bajo y no se incrementa la presion de salida	RHBMA1	partes internas de la bomba rotas	No hay presion y caudal hidraulico \$30.000.000 tiempo 24 Horas.
			ruidos y vibraciones fuera de lo normal	RHBMA2	cavitacion	Ruidos y vibracion de la bomba. 3 horas.
				RHBMA3	bomba no esta instalada correctamente	vibracion excesiva por desalineamiento de la bomba - 4 Horas.
			sobrecarga al motor de combustion	RHBMA4	las revoluciones y la presion son mayores que los valores de ajuste	El motor pierde potencia y las revoluciones del motor estan por encima de las 1800 rpm.
				RHBMA5	partes internas de la bomba rotas	El motor pierde potencia y las revoluciones del motor estan por encima de las 1800 rpm, \$30.000.000 tiempo 24 Horas.
	Darle movimiento vertical u horizontal a los componentes en que se encuentre instalado (Boom, brazo, giro, volteo, levante, arrastre.)	RHBFFB	Perdida de los movimientos.	RHBMB1	Línea de flujo obstruida	El vastagado no tiene carrera final- \$120.000 y tiempo de mano de obra 2 horas.
				RHBMB2	Desgaste empaquetadura del embolo	Se observa fugas de aceite hidraulico y el nivel del aceite hidraulico se reduce - \$ 300.000 y tiempo de reparacion de 3 Horas.
				RHBMB3	Vástago torcido	El vastagado no tiene carrera final- \$ 1'000.000 y tiempo de reparacion 4 dias.
				RHBMB4	Vástago rayado	Se observa fugas de aceite hidraulico y el nivel de aceite hidraulico se reduce - \$ 1'000.0000 y tiempo de reparacion de 4 Horas.
				RHBMB5	Manguera rota	fuga de aceite hidraulico y nivel bajo - 300.000 y tiempo de reparacion 3 Horas.
				RHBMB6	Bomba defectuosa	No hay presion y caudal hidraulico \$30.000.000 tiempo 24 Horas.

3.2.3. Sistema de transmision

El sistema de transmisión o tren de potencia del retro cargador sobre llantas cumple con la función de convertir la potencia del motor en el movimiento de la maquina

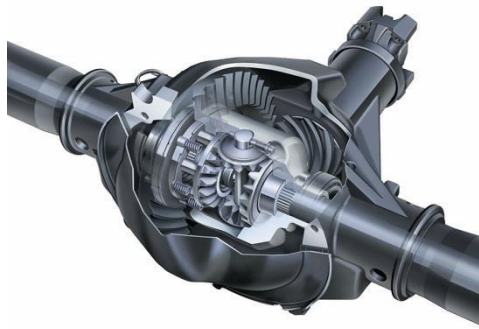
3.2.3.1. Subsistema de diferenciales

Transmite la potencia a las ruedas del retro cargador de llantas para su respectivo avance.

Un diferencial es el elemento mecánico que permite que las ruedas derecha e izquierda de un vehículo giren a velocidades diferentes, según éste se encuentre tomando una curva hacia un lado o hacia el otro.

Cuando un vehículo toma una curva, por ejemplo hacia la derecha, la rueda derecha recorre un camino más corto que la rueda izquierda, ya que esta última se encuentra en la parte exterior de la curva²⁹.

Figura 54. Diferencial



Fuente.

http://www.todomecanica.com/images/blog/entradas_antiguas/puente_trasero_diferencial0.jpg

septiembre 25 de 2016

²⁹ Documento de diferencial disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_diferencia septiembre 25 de 2016

Tabla 19. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de diferenciales de retro cargador.

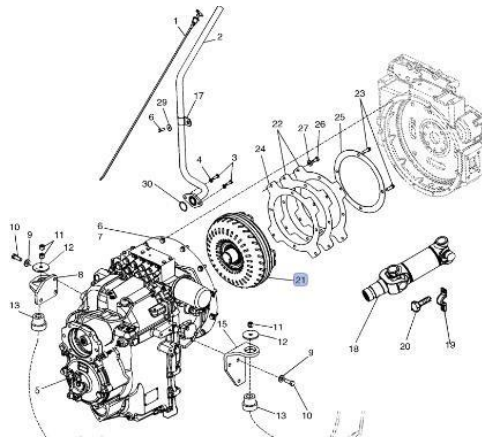
COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RTDF1	Transmitir el giro a las ruedas	RTDFFA	No giran las ruedas	RTDMFA1	Cardan roto	No hay desplazamiento. \$1'000.000 y tiempo de mano de obra 1 hora.
				RTDMFA2	cruceta cardan rota	No hay desplazamiento. \$200.000 y tiempo de mano de obra 2 hora.
				RTDMFA3	Joke roto	No hay desplazamiento. \$1'500.000 y tiempo de mano de obra 2 hora.
				RTDMFA4	Freno de parqueo activado	Testigo de freno de parqueo se activa en el indicador del tablero. tiempo mano obra 5 min.
				RTDMFA5	Cardan suelto	No hay desplazamiento. Tiempo de mano de obra 30 min.
				RTDMFA6	Escualizacion rota	No hay desplazamiento y ruido excesivo en las partes internas de sus componentes. 8'000.000 y tiempo de mano de obra 16 Horas.
				RTDMFA7	Eje roto	No hay desplazamiento y ruido excesivo en las partes internas de sus componentes. 2'000.000 y tiempo de mano de obra 3 Horas.
				RTDMFA8	Bajo nivel de aceite	No hay desplazamiento y ruido excesivo en las partes internas de sus componentes. 8'000.000 y tiempo de mano de obra 16 Horas.
				RTDMFA9	Engranajes de los reductores rotos	No hay desplazamiento y ruido excesivo en las partes internas de sus componentes. \$3'000.000 y tiempo de mano de obra 2 hora.

3.2.3.2. Subsistema de servotransmision

La servo transmisión tiene como función de transmitir la potencia a las ruedas generada por el motor, también tiene la ventaja de cambiar la relación de los cambios de velocidad automáticamente a medida que la maquina aumenta las rpm del motor y así librando así al operador de cambiar de marcha de velocidad manualmente³⁰.

³⁰ documento de sistema de servo transmisión disponible en:
<https://ngpc.cnh.com/CStoneEPC/launch.sls?csreqid=6d59dead-1b45-4127-8506-b387a9e81652&locale=es> septiembre 25 de 2016

Figura 55. Servo transmisión



Fuente. <https://ngpc.cnh.com/CStoneEPC/launch.sls?csregid=6d59dead-1b45-4127-8506-b387a9e81652&locale=es> septiembre 25 de 2016

Tabla 20. Función, falla funcional, modos de falla y efectos de servo transmisión de retro cargador.

COD F	FUNCION	COD FF	FALLA FUNCIONAL (perdida de funcion)	COD MF	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA (que sucede cuando se produce una falla)
RTSF1	Transmitir la potencia a las diferenciales	RTSFFA	Aceleracion pobre a bajas velocidades	RTSMFA1	Bajo nivel de aceite	Desplazamiento lento de la maquina. \$120.000 y tiempo de mano de obra 10 min.
				RTSMFA2	Convertidor de par averiado	Desplazamiento lento de la maquina y ruido excesivo de los componentes. \$5'000.000 y tiempo de mano de obra 8 Horas.
				RTSMFA3	Disco desgastados	Desplazamiento lento de la maquina y ruido excesivo de los componentes.\$10'000.000 y tiempo de reparacion 24 horas.
		RTSFFB	No cambia de marcha	RTSMFB1	Valvula de freno de parqueo defectuosa	No se desplaza la maquina, y testigo en el tablero de instrumentos se enciende.\$1'500.000 y tiempo de mano de obra 2 Hora.
				RTSMFB2	Valvula de marcha defectuosa	No se desplaza la maquina. \$1'200.000 y tiempo de mano de obra 2 hora.
		RTSFFC	No realizar los cambios de velocidad	RTSMFC1	Filtro de aceite obtruido	No aumenta la velocidad de desplazamiento. \$ 100.000 y tiempo de mano de obra 20 min.
				RTSMFC2	Bajo nivel de aceite	No aumenta la velocidad de desplazamiento.\$120.000 y tiempo de mano de obra 10 min.

4. RECOPIACION Y TRATAMIENTO DE DATOS

4.1. PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

El plan de mantenimiento actual de SERTRAC INGENIERIA SAS tiene un modelo de mantenimiento preventivo basado en las especificaciones recomendaciones de los manuales de equipos.

Se tiene diseñado un formato de inspección de rutina donde se establecen las actividades de mantenimiento dependiente del tipo de mantenimiento que se va a realizar relacionando el equipo, las actividades correspondientes, los repuestos requeridos para el mantenimiento, responsables de la actividad, supervisor y autorización respectiva.

El tipo de mantenimiento está establecido por el manual del equipo de acuerdo a las horas de trabajo de la siguiente manera:

- Mantenimiento de 250 horas
- Mantenimiento de 500 horas
- Mantenimiento de 1000 horas
- Mantenimiento de 2000 horas

Al cumplir las 2000 horas se reinicia el ciclo de cada máquina.

Tabla 21. Rutina de mantenimiento preventivo excavadora orugada

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RETROEXCAVADORA DE ORUGA	
FECHA:		MODELO: EC 210B	CODIGO: EXC-V-06
EQUIPO: RETROEXCAVADORA DE ORUGAS		SERIE: VCEC210B00040050	CAMPO:
MARCA: VOLVO		MOTOR: VOLVO	TALLER:
HOROMETRO:		SERIE MOTOR: 40050	Marque con una X la accion a realizar
OPERADOR:			
Mto 250 Horas Mto 500 Horas Mto 1000 horas Mto 2000 horas			
Compruebe el nivel del electrolito de la batería Compruebe el nivel de aceite de la unidad propulsora de giro Cambiar el aceite y el filtro de aceite Cambiar filtro de combustible Cambiar filtro separador de agua/combustible. Cambiar filtro de aire interno y externo (o cuando sea necesario) Limpiar el filtro de ambiente del acondicionador del aire Lubricar el cojinete del engranaje de giro			
Compruebe la tension de la correa con el tensor automatico Limpie el radiador, el enfriador de aceite y las aletas del condensador (o cuando sea necesario) Cambiar el filtro hidraulico de vaciado			
Compruebe la grasa del baño de giro Cambie el filtro piloto hidraulico Cambie el filtro de ambiente del acondicionador del aire Cambie el aceite de la unidad propulsora de la oruga Cambie el filtro principal del acondicionador del aire Cambie el aceite de la unidad propulsora de giro Cambie el filtro de aceite hidraulico de retorno Sustituir aceite del reductor del gira circulo			
compruebe el contenido del liquido de refrigerante del sistema de refrigeración Limpie el colador de aspiracion del deposito hidraulico Cambie filtro de la valvula de ventilacion del deposito hidraulico Cambie filtro de la valvula de ventilacion del deposito de combustible Cambiar el aceite hidraulico Camprobar el reglaje de las valvulas.			
DATOS DE MANTENIMIENTO			
TIPO	REFERENCIA	CANTIDAD	
Filtro aceite motor	Volvo 3831236 - Donaldson P553771	1	
Filtro separador/combustible	Volvo 11110683 - Donaldson P550748 - Baldwin BF1391-O	1	
Filtro combustible	Volvo 20805349 - Donaldson P550372	1	
Filtro aire interno	Volvo 11110176 - Donaldson P778906	1	
Filtro aire externo	Volvo 11110175 - Donaldson P778905	1	
Filtro hidraulico vaciado	Volvo 14535480	1	
Filtro hidraulico piloto	Volvo SA1030-61460	1	
Filtro hidraulico	Volvo 14524170	1	
DESCRIPCION	TIPO DE ACEITE	GALONES	
Carter Motor	Mobil 15W-40 MX Esp	7	
Hidraulico	Mobil DTE 68	42	
reductor del gira circulo	SAE 80W-90	2	
unidad propulsora de giro	SAE 80W-90	3	
Liquido Refrigerante	Volvo	8	
OBSERVACIONES:			
NOTA: Despues de intervenir el equipo dejar limpio el lugar de trabajo, los desechos o residuos depositarlos en bolsas rojas y dejarlos en el lugar adecuados.			
OPERADOR:		MECANICO:	
FIRMA:		FIRMA:	

Fuente: Sertrac ingeniería SAS

Tabla 22. Rutina de mantenimiento preventivo retro cargador de llantas

		RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RETROCARGADOR DE LLANTAS		
FECHA:		MODELO: CASE 590 SN		CODIGO: RET-C-05
EQUIPO: RETROCARGADOR DE LLANTAS		SERIE: JG9N59SNABC546450		CAMPO:
MARCA: CASE		MOTOR: ISUZU		TALLER:
HOROMETRO:		SERIE MOTOR: 850165		Marque con una X la accion a realizar
OPERADOR:				
Mtro 250 Horas	Mtro 500 Horas	Mtro 1000 Horas	Mtro 2000 Horas	
				Cambiar aceite de motor
				Cambiar filtro de aceite de motor
				Cambiar filtros de combustible
				Cambiar filtro separador de combustible
				Cambiar filtro cartucho combustible
				Cambiar filtro de aire interno y externo (o cuando sea necesario)
				Revisar estado de la bateria
				Revisar tension de la correa del alternador
				Revisar fluido y respiradero del eje delantero de la transmision a las 4 ruedas
				Revisar nivel de aceite del eje trasero y respiradero
				Revisar tanque de combustible - agua o sedimento
				Verificar el nivel de aceite de la servotransmision
				Lubricar eje de las transmision a las 4 ruedas
				Inspeccionar los rops y pernos de montaje
				Lubricar asiento del operador
				Cambiar aceite hidraulico y filtro
				Verificar fluido de bateria
				Verificar y limpiar filtros de toma de aire de la cabina
				Cambiar aceite del eje trasero
				Cambiar aceite del eje delantero
				Cambiar aceite y filtro de la servotransmision
				Ajustar valvulas del motor
				Cambiar filtro de la tapa valvulas
				Limpieza del sistema de refrigeracion (Radiador - enfriador de aceite- condensador)
				Cambio de liquido refrigerante
DATOS DE MANTENIMIENTO				
TIPO	REFERENCIA	CANTIDAD		
Filtro aceite motor	Fleetguard LF16015	4		
Filtro separador/combustible	Case 84559022	1		
Filtro combustible	Fleetguard FF5421	1		
Filtro aire interno	Donaldson P829333	1		
Filtro aire externo	Case 84217229	1		
Filtro del sistema hidraulico	Case 84255607	1		
Filtro servotransmision	Case 254686A2 - Donaldson P179342	1		
Filtro tapa valvulas	Case 87304662	1		
DESCRIPCION	TIPO DE ACEITE	GALONES		
Carter Motor	Mobil 15W-40 MX Esp	4		
Hidraulico	Mobilfluid 424	12		
Servotransmision	Mobilfluid 424	4		
Eje de transmision delantera	SAE 80W-140	3		
Eje de transmision trasera	SAE 80W-140	5		
Liquido Refrigerante	Akcel	5		
OBSERVACIONES:				
NOTA: Despues de intervenir el equipo dejar limpio el lugar de trabajo, los desechos o residuos depositarlos en bolsas rojas y dejarlos en el lugar adecuados.				
OPERADOR:		MECANICO:		
FIRMA:		FIRMA:		

Fuente: Sertrac ingeniería SAS

Dentro del mantenimiento realizado también se realiza mantenimiento correctivo dependiendo de la situación presentada y se lleva un registro histórico en la hoja de vida de cada equipo donde se especifica si es mantenimiento preventivo de acuerdo a la planeación o es un mantenimiento correctivo.

Tabla 23. Hoja de vida de maquinaria

		HOJA DE VIDA DE MAQUINARIA		VERSION 0 CODIGO FV-41		
INFORMACIÓN DEL EQUIPO				Fecha de implementación: Septiembre 2014		
				CODIGO: EXC-V-07		
MAQUINA O EQUIPO: EXCAVADORA DE ORUG		MODELO: EC 210B LC		SERIE: VCEC210BA00040150		
MOTOR : DIESEL		MODELO: D6D EAE2		MARCA: VOLVO		
		SERIE: 40150		MARCA: VOLVO		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES						
FECHA	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO O INTERVENCION REALIZADA			TIPO (PREVENTIVO Y/O CORRECTIVO)	PARAMETRO ACTUAL (HOROMETRO U HUBODOMETRO)	REALIZÓ
18/12/2013	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire interno y externo, filtro aceite motor, filtro combustible, filtro cartucho combustible y			Preventivo		Carlos Beltran
	filtro sep(combustible)				3486	
19/12/2013	Cambio de aceite de motor de giro y motores de traslacion.			Preventivo	3486	Carlos Beltran
14/03/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire interno y externo, filtro aceite motor, filtro combustible, filtro cartucho combustible y			Preventivo		Verneth Sanchez
	filtro sep(combustible)				3753	
14/03/2014	Cambio de filtros de aire acondicionado externo e interno.			Preventivo	3753	Verneth Sanchez
14/03/2014	Cambio de dientes			Preventivo	3753	Verneth Sanchez
25/04/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de externo, filtro aceite motor, filtro combustible, filtro cartucho combustible y filtro			Preventivo		Luis Rincon
	sep(combustible)				3984	
20/06/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de externo, filtro aceite motor, filtro combustible, filtro cartucho combustible y filtro			Preventivo		Verneth Sanchez
	sep(combustible)				4257	
20/08/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtro aire externo, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible)			Preventivo	4495	Verneth Sanchez
20/08/2014	Cambio de aceite de motor de traslacion y motor de giro			Preventivo	4495	Verneth Sanchez
10/09/2014	Cambio de aceite hidraulico y filtro hidraulico (retorno, piloto y sumergible.)			Preventivo	4600	Luis Rincon
10/09/2014	Cambio vidrio frontal inferior			Preventivo	4600	Luis Rincon
10/09/2014	Cambio de tanque de liquido refrigerante y cambio de refrigerante			Preventivo	4600	Luis Rincon
22/10/2014	Encintado del balde			Preventivo	4635	Metaltech
01/12/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtro aire externo e interno, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible)			Preventivo	4790	Andres Aguirre
05/01/2015	Cambio de bomba de agua			Preventivo		Luis Rincon
10/02/2015	Mantenimiento (filtro aire externo, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible)			Preventivo	5042	Ramiro Niño
08/03/2015	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtro aire externo e interno, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible)			Preventivo	5230	Ramiro Niño
20/03/2015	Cambio de tanque de liquido refrigerante y cambio de refrigerante			Preventivo	5327	Ramiro Niño
23/04/2015	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtro aire externo , filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible)			Preventivo	5446	Ramiro Niño
07/05/2015	Cambio de aceite de motor de traslacion y motor de giro			Preventivo	5557	Ramiro Niño
24/06/2015	Mantenimiento (filtro aire externo, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible) Muestra de aceite de 250 Horas			Preventivo	5700	Albeiro Gaviria
21/07/2015	Cambio de bases y dientes del balde			Preventivo		Ever Hurtado
22/07/2015	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtro aire externo e interno, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible)			Preventivo	5950	Albeiro Gaviria
01/09/2015	Reconstruccion y reforzada de balde			Preventivo	6118	Metal innnova
01/09/2015	Latoneria y pintura de tapas laterales izquierda y puerta del operador			Preventivo	6118	Luis Parra
01/09/2015	Cambio de vidrio frontal cabinas y laterales puerta			Preventivo	6118	Autovidrios Aguazul
28/09/2015	Mantenimiento (filtro aire externo, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sep(combustible) Muestra de aceite de 250 Horas			Preventivo	6181	Albeiro Gaviria
09/11/2015	Cambio de filtros de aire acondicionado externo e interno			Preventivo	6264	Albeiro Gaviria

12/11/2015	Cambio de liquido refrigerante	Preventivo	6264	Jose Munevar
12/11/2015	Cambio correa motor	Preventivo	6264	Albeiro Gaviria
04/01/2016	Cambio de 2 baterias Bosh 4D	Preventivo	6420	Ramiro Niño
09/01/2016	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtro aire externo, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sepl(combustible)	Preventivo	6454	Jose Munevar
09/02/2016	Cambio de aceite hidraulico (Mobil excel 46) , filtro piloto, filtro retorno y filtro defogue del tanque	Preventivo	6660	Jose Munevar
09/02/2016	Cambio de aceite de motor de translacion y motor de giro	Preventivo	6660	Jose Munevar
18/02/2016	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtro aire externo, filtro aceite motor, filtro combustible, y filtro sepl(combustible)	Preventivo	6720	Jose Munevar
01/04/2016	Cambio de dientes	Preventivo	6857	Jimmy Gutierrez
07/04/2016	Cambio de botella hidraulica del balde (Se instala la botella hidraulica de la exc-v08)	Preventivo	6872	Ramiro Niño
14/04/2016	Cambio del turbo del motor (Se instala el turbo de la exc-v-08)	Preventivo	6890	Ramiro Niño

Fuente: Sertrac ingeniería SAS

Todas las actividades de mantenimiento realizadas en la maquinaria se realiza a través dentro de un formato de mantenimiento de equipos F-TA.

En el formato de mantenimiento de equipo se describe la fecha del mantenimiento, si se realiza a través de un tercero, el técnico que realiza la actividad, el proyecto al que corresponde, las horas o kilómetros, equipo, identificación del problema, mantenimiento realizado, observaciones, operador y técnico.

Fuente: Sertrac ingeniería SAS

FIRMA USUARIO EQUIPO
FIRMA TECNICO

La programación de mantenimiento se realiza semanal ya que depende del movimiento de los equipos tanto en proyectos en desarrollo como la maquinaria

alquilada de esta manera es más fácil una planeación semanal para el tema de stock de inventario de repuestos y se realiza a través de un formato de planeación semanal.

En este formato se llevan los equipos a los cuales se les realizara mantenimiento durante la semana, el tipo de mantenimiento a realizar, la ubicación del equipo dependiendo del proyecto, el operador y se lleva el indicador de cumplimiento correspondiente donde se relaciona si se realizó o está pendiente al final de la semana.

Tabla 25. Formato de planeación semanal

		PROGRAMACION SEMANAL DE MANTENIMIENTOS										Versión 1		Codigo F-T-21		
														Fecha de Implementación : Junio 14 de 2013		
PROGRAMADO POR: JUAN MANUEL RIVERA O.					REALIZADO POR: Ramiro Niño - Jimmy Gutierrez					De 12 de Septiembre - 18 de Septiembre 2016						
ITEM	VEHICULO/ MAQUINARIA	CONDUCTOR / OPERADOR	UBICACION	TRABAJO A REALIZAR	LUN	MAR	MIE	JUE	VIÉ	SAB	DOM	CUMPLIDO	OBSERVACIONES			
1	EXC-C-05	Jorge Vargas	Aguazul	Cambio de carril inferior derecho								5827				
2	VIB-C-11	Ubadel Flores	Mani	Cambio de correa motor								Pendiente				
3	BULL-K-01	Jorge Vargas	Charte	Cambio de aceite motor, filtro de aceite motor, filtro combustible, filtros de aire interno y externo, filtro separador combustible. Mobil Delvac 15w-40 Esp y cambio de tapa izquierda del								Pendiente				
4	MOT-C-10	Javier Giraldo	Aguazul	Revisar tamden izquierdo rueda delantera, presenta rutura de cadena y daño de rodamiento, retenedores de aceite y piñon cadena y eje de la rueda.								Pendiente	Queda fuera de operación en jagueyes			
5	MOT-V-06	Albeiro Hernandez	Aguazul	Cambio de aceite motor, filtro de aceite motor, filtro combustible, filtros de aire interno y externo, filtro separador combustible. Mobil Delvac 15w-40 Esp								Pendiente				
6																
7																
8																
1																
2																
3																
OBSERVACIONES:																
QUIEN PROGRAMA Juan Manuel Rivera o.					QUIEN EJECUTA: Ramiro Niño - Jimmy Gutierrez					PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO DEL MANTENIMIENTO SEMANAL PROGRAMADO				100		
										%						

Fuente: Sertrac ingeniería SAS

4.2. HISTORICO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE MAQUINARIA.

En este capítulo se tienen en cuenta los históricos de mantenimiento de la maquinaria con datos de enero del 2014 a julio de 2016.

4.2.1. Excavadora de orugas

Cuadro general de históricos de mantenimiento de las 3 excavadoras orugadas Volvo EC 210 BL de Sertrac ingeniería S.A.S en la siguiente tabla.

Tabla 26. Historio de mantenimiento general retroexcavadora Volvo EC 210 BL de Sertrac ingeniería S.A.S

FECHA	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO O INTERVENCION REALIZADA	TIPO (PREVENTIVO Y/O CORRECTIVO)	SISTEMA	PARAMETRO ACTUAL (HOROMETRO U HUBODOMETRO)	REALIZÓ
20/01/2014	Cambio de cadenas izquierda y derecha con sus respectiva	Correctivo	Tren de rodaje	6000	Luis Rincon
20/01/2014	Cambio de splokers izquierdo y derecho	Correctivo	Tren de rodaje	6000	Luis Rincon
20/01/2014	Cambio de 2 carriles inferiores derecho	Correctivo	Tren de rodaje	6000	Luis Rincon
20/01/2014	Cambio de carril inferior izquierdo	Correctivo	Tren de rodaje	6000	Luis Rincon
20/01/2014	Cambio de cilindro derecho de la rueda tensora	Correctivo	Tren de rodaje	6000	Luis Rincon
14/02/2014	Cambio de empaquetadura botella del stick	Correctivo	Hidraulico	6126	Luis Rincon
17/02/2014	Cambio de guardacarriles izquierdos y derechos (4)	Correctivo	Tren de rodaje	6126	Luis Rincon
27/03/2014	Cambio de empaquetadura botella de las 2 botellas gemelas	Correctivo	Hidraulico	6311	Luis Rincon
27/03/2014	Cambio de sellos espejos y shim del motor de translacion derecho	Correctivo	Tren de rodaje	6311	Luis Rincon
19/11/2014	Cambio de empaque de la tapa de valvulas y tension de correas del	Correctivo	Motor	7125	Luis Rincon
03/08/2015	Cambio de bomba electrica auxiliar de la bomba de inyeccion	Correctivo	Motor	7783	Ramiro Niño
27/08/2015	Cambio de zapata o teja de la oruga	Correctivo	Tren de rodaje	7915	Albeiro Gaviria
15/09/2015	Cambio de cilindro hidraulico del brazo arrastre	Correctivo	Hidraulico	7925	Ramiro Niño
26/09/2015	Cambio de 8 carriles izquierdos y derechos	Correctivo	Tren de rodaje	8000	Albeiro Gaviria
08/01/2015	Cambio de kit de empaquetadura del jostick derecho	Correctivo	Hidraulico	8500	Ramiro Niño
13/01/2015	Cambio de kit de empaquetadura de la botella gemela derecha	Correctivo	Hidraulico	8500	Ramiro Niño
03/05/2016	Cambio de kit de empaquetadura botella de arrastre	Correctivo	Hidraulico	8706	cnihidraulicas del llar
03/05/2016	Cambio de pasador trasero del boom y pasador del boom de las	Correctivo	Hidraulico	8706	Metaltech
03/05/2016	Cambio de 2 baterias 30H	Correctivo	Electrico	8706	Ramiro Niño
25/07/2016	Cambio de sensor de presion 2 de la bomba hidraulica	Correctivo	Hidraulico	8717	Jimmy Gutierrez
04/08/2016	Cambio de empaque superior tapa de valvulas.	Correctivo	Motor	8750	Ramiro Niño
04/08/2016	Cambio corea del motor.	Correctivo	Motor	8750	Ramiro Niño
04/08/2016	cambio de empaque carcasa de la tapa valvulas.	Correctivo	Motor	8750	Ramiro Niño
27/01/2014	Cambio de vidrio lateral derecho	Correctivo	Varios	4597	Autovidrios
18/06/2014	Instalacion de vidrio de la puerta lateral derecha	Correctivo	Varios	5040	Autovidrios
25/06/2014	Cambio de 2 carriles inferiores y uno superior	Correctivo	Tren de rodaje	5040	Luis Rincon
11/08/2014	Cambio de kit de empaquetadura botella gemela derecha	Correctivo	Hidraulico	5267	Luis Rincon
27/10/2014	Cambio de splokers y volteo de bujes de las orugas con su	Correctivo	Tren de rodaje	5459	Luis Rincon
01/12/2014	Cambio de lamina del piso del balde	Correctivo	Varios	5621	Metaltech
01/12/2014	Cambio de vastago del motor de giro	Correctivo	Hidraulico	5621	Luis Rincon
01/12/2014	Cambio de kit empaquetadura del cilindro balde	Correctivo	Hidraulico	5621	Luis Rincon
06/04/2015	Cambio de filtro bomba electrica de combustible	Correctivo	Motor	6044	Albeiro Gaviria
06/04/2015	Cambio de 2 baterias	Correctivo	Electrico	6044	Albeiro Gaviria
02/06/2015	Cambio de 2 carriles inferiores	Correctivo	Tren de rodaje		Ramiro Niño
03/08/2015	Cambio de pasadores, bujes, retenedores (Balde, cilindro de	Correctivo	Varios	6484	Metaltech
21/08/2015	Cambio de carril inferior	Correctivo	Tren de rodaje	6560	Ramiro Niño
21/08/2015	Cambio de kit empaquetadura del cilindro de levante izquierdo y	Correctivo	Hidraulico	6560	Ramiro Niño
21/08/2015	Cambio de zapata o teja de la oruga	Correctivo	Tren de rodaje	6560	Ramiro Niño
10/09/2015	Cambio de 2 zapata o teja de la oruga	Correctivo	Tren de rodaje	6700	Albeiro Gaviria
17/10/2015	Cambio de kit empaquetadura del cilindro de levante izquierdo y	Correctivo	Hidraulico	6934	Albeiro Gaviria
09/12/2015	Cambio de cadenas	Correctivo	Tren de rodaje	7140	Talleres Luchos
09/12/2015	Cambio de splokers	Correctivo	Tren de rodaje	7140	Ramiro Niño
09/12/2015	Cambio de 2 carriles inferiores	Correctivo	Tren de rodaje	7140	Ramiro Niño
23/01/2016	Cambio de 1 inyector de combustible	Correctivo	Motor	7220	Navitrans
23/01/2016	Rectificacion de culata banco de pruebas	Correctivo	Motor	7220	Navitrans
23/01/2016	Cambio kit de empaquetadura culata	Correctivo	Motor	7220	Navitrans
23/01/2016	Cambio de valvulas de admision, escape y guias	Correctivo	Motor	7220	Navitrans
23/01/2016	Cambio de casquetes del los arboles de levas	Correctivo	Motor	7220	Navitrans
27/01/2016	Cambio de ventaviola y caucho del enfocador de aire del motor.	Correctivo	Motor	7222	Navitrans
04/02/2016	Cambio correa motor	Correctivo	Motor	7272	Jose Munevar
16/03/2016	Cambio de alternador del motor	Correctivo	Electrico	7482	Electricos Hernandez
21/04/2016	Cambio de compresor de aire acondicionado	Correctivo	Varios	7570	Autofrio
30/07/2016	Cambio de valvula popet del cuerpo de valvulas	Correctivo	Hidraulico	7740	Ramiro Niño
30/07/2016	Cambio de bomba electrica auxiliar de la bomba de inyeccion	Correctivo	Motor	7740	Ramiro Niño
30/07/2016	Cambio de brazo del limpia parabrisas	Correctivo	Varios	7740	Ramiro Niño
21/06/2014	Reconstruccion de balde del piso y modificacion de esquinas e	Correctivo	Varios	3166	Metaltech
27/01/2015	Cambio de pasadores, bujes, retenedores (Balde, cilindro de	Correctivo	Varios	3913	Metaltech
27/01/2015	Cambio de kit de empaquetadura del cilindro del brazo	Correctivo	Hidraulico	3913	Metaltech
17/07/2015	Cambio de sploker izquierdo - cambio de buje y pin masters	Correctivo	Tren de rodaje	4480	Ramiro Niño
14/09/2015	Cambio de 2 baterias 30H	Correctivo	Electrico	4810	Albeiro Gaviria
20/10/2015	Cambio de sploker derecho	Correctivo	Tren de rodaje	5008	Albeiro Gaviria
20/10/2015	Cambio de cadenas izquierda y derecha	Correctivo	Tren de rodaje	5008	Catekom
09/11/2015	Cambio de 2 baterias 30H	Correctivo	Electrico		Juan rivera
13/02/2016	Cambio de pasadores, bujes, retenedores (Balde, cilindro de	Correctivo	Varios	5433	Metaltech
13/02/2016	Cambio de manzana del boom	Correctivo	Varios	5433	Metaltech
18/02/2016	Cambio de kit de empaquetadura del cilindro de arrastre	Correctivo	Hidraulico	5433	Tecnihidraulicas del llano
18/02/2016	Rectificacion de rosca del vastago de la rueda tensora izquierda y	Correctivo	Tren de rodaje	5433	Talleres Luchos
22/02/2016	Cambio de sensor de la bomba P1	Correctivo	Hidraulico	5460	Ramiro Niño
18/04/2016	Cambio de linea de combustible inyector # 4	Correctivo	Motor	5733	Jimmy Gutierrez
30/04/2016	Cambio de oring de la tapa del motor de giro	Correctivo	Hidraulico	5734	Ramiro Niño
30/04/2016	Cambio de oring de la tapa del tanque hidraulico respiradero	Correctivo	Hidraulico	5734	Ramiro Niño
07/06/2016	Cambio de resorte esquiral de la rueda tensora derecha	Correctivo	Tren de rodaje	5735	Talleres Luchos
07/06/2016	Cambio de bujes, retenedor de aceite y reconstruccion del eje de la	Correctivo	Tren de rodaje	5735	Talleres Luchos
18/07/2016	Cambio de correa del compresor del aire acondicionado	Correctivo	Motor	5807	Jimmy Gutierrez
06/09/2016	Cambio de tornillos del sploker derecho e izquierdo, cambio de	Correctivo	Tren de rodaje	5825	Jimmy Gutierrez
06/09/2016	cambio de kit empaquetadura del balde, cromado del vastago	Correctivo	Hidraulico	5825	Tecnihidraulicas del llano
12/09/2016	Cambio de carril inferior derecho	Correctivo	Tren de rodaje	5827	Jimmy Gutierrez

Fuente: Sertrac ingeniería SAS

Con los datos tomados de la tabla anterior se realiza un Pareto de actividades de mantenimiento correctivo asociado a un sistema y se relaciona el tiempo de parada de la máquina para el mantenimiento correctivo para compararlo con el tiempo promedio que trabajan las 3 máquinas en la siguiente tabla.

Tabla 27. Análisis Pareto de actividades correctivas excavadora Volvo EC 210 BL.

FALLA	TOTAL TIEMPO MUERTO POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REPRESENTACION EN PORCENTAJE
Bateria	2,5	1%
Alternador defectuoso	1	0%
Fugas en las botellas hidraulicas	42	16%
Rotura de correa motor	4	2%
Cambio de bomba electrica auxiliar de la bomba de inyeccion	1	0%
Carriles defectuoso	24	9%
Cadenas defectuosas	160	63%
Sploker defectuosos	18	7%
Zapatas	3	1%
	255,5	100%

Figura 56. Tiempo muerto por mantenimiento correctivo de excavadora Volvo EC 210 BL.



De acuerdo a la tabla anterior se detectó que las fallas más representativas son el 63% las cadenas defectuosas que pertenecen al tren de rodaje y el 16% las fugas en botellas hidráulicas.

Con esta información se realizara el cálculo de pérdida operativa en horas de mantenimiento correctivo comparado con las horas promedio que trabajan los equipos en ese periodo de 2,5 años que son 3750 horas por maquina en la siguiente tabla.

Tabla 28. Porcentaje de tiempo muerto por mantenimiento correctivo de excavadora Volvo EC 210 BL.

DESCRIPCION	TIEMPO (horas)
Tiempo operativo excavadoras	11250
Tiempo muerto por mantenimiento correctivo	255,5

El tiempo muerto por mantenimiento correctivo es un valor importante para la organización ya que 250 horas equivale al trabajo de una maquina durante un mes completo y si en caso de no tener el equipo disponible se debe trasladar otra máquina, alquilar una maquina a un tercero o tener multas por incumplimiento de trabajo.

Para este cálculo no se tiene en cuenta el mantenimiento planeado ya que se realiza cuando el equipo se encuentra en stand by.

4.2.2. Retrocargador de llantas

Cuadro general de históricos de mantenimiento de los 3 Retro cargadores Case 590 SM de Sertrac ingeniería S.A.S en la siguiente tabla.

Tabla 29. Historio de mantenimiento general retro cargador Case 590 SM de Sertrac ingeniería S.A.S

FECHA	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO O INTERVENCION REALIZADA	TIPO (PREVENTIVO Y/O CORRECTIVO)	SISTEMA	PARAMETRO ACTUAL (HOROMETRO U HODOMETRO)	REALIZÓ
07/01/2014	Cambio de batería 30H	Correctivo	Electrico	7140	Berneth Sanchez
15/01/2014	Cambio de filtro de la tapa válvulas	Preventivo	Motor	7143	Berneth Sanchez
13/02/2014	Cambio de retenedores izquierdo y derecho de la ruedas delanteras	Correctivo	Transmision	7204	Luis Rincon
13/02/2014	Cambio de empaquetadura del cilindro de arrastre	Correctivo	Hidraulico	7204	Luis Rincon
22/02/2016	Cambio de correa del motor	Correctivo	Motor	7203	Luis Rincon
27/02/2014	Cambio de fan cluch de la ventaviola	Correctivo	Motor	7204	Luis Rincon
04/03/2014	Cambio de cuchilla del balde delantero	Preventivo	Varios	7205	Andres Aguirre
26/04/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire interno y externo, filtro	Preventivo	Motor	7381	Luis Rincon
16/06/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire interno y externo, filtro	Preventivo	Motor	7645	Carlos beltran
28/06/2014	Cambio de kit de empaquetadura del cilindro estabilizador izquierdo	Correctivo	Hidraulico	7645	Metatech
19/07/2014	Cambio de empaquetadura del cuerpo de valvulas de la cuchara	Correctivo	Hidraulico	7645	Luis Rincon
19/07/2014	Cambio de aceite hidraulico y filtro	Preventivo	Hidraulico	7645	Luis Rincon
19/07/2014	Soldadura tanque hidraulico y arreglo soporte del cardan de la doble	Preventivo	Varios	7645	Metatech
26/08/2014	Cambio de vidrio trasero derecho de la cabina	Preventivo	Varios	7692	Vidrios Aguazul
15/08/2014	Cambio de retenedor de la servotransmision y aceite	Correctivo	Transmision	7691	Luis Rincon
15/08/2014	Instalacion de platina protector del carter	Preventivo	Varios	7691	Luis Rincon
08/10/2014	Cambio de placas y shim de ajuste del brazo extendible	Preventivo	Varios	7859	Luis Rincon
08/10/2014	Cambio de mangueras del cilindro del cilindro extendible	Correctivo	Hidraulico	7859	Luis Rincon
25/10/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire externo, filtro aceite motor,	Preventivo	Motor	7915	Luis Rincon
26/01/2015	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire externo, filtro aceite motor,	Preventivo	Motor	8111	Ramiro Niño
26/01/2015	Cambio de batería 30 H Mac	Correctivo	Electrico	8111	Ramiro Niño
09/03/2015	Ajuste y fabricacion de bujes de pasadores y arandelas del brazo, balde y H.	Preventivo	Varios	8143	Metatech
09/03/2015	Cambio de lamina piso del balde y encintado	Preventivo	Varios	8143	Metatech
09/03/2015	Cambio de aceite de diferenciales delanteras y traseras	Preventivo	Transmision	8143	Ramiro Niño
15/04/2015	Cambio de filtro de la tapa válvulas	Preventivo	Motor	8166	Ramiro Niño
15/04/2015	Cambio de correa del motor	Preventivo	Motor	8166	Ramiro Niño
28/05/2015	Cambio de kit de empaquetadura botella de la direccion	Correctivo	Hidraulico	8205	Ramiro Niño
28/05/2015	Cambio de retenedores de los reductores y eje delantero	Correctivo	Transmision	8205	Ramiro Niño
28/05/2015	Cambio de bujes de los reductores	Correctivo	Transmision	8205	Ramiro Niño
28/05/2015	Cambio de crucetas de los ejes delanteros	Correctivo	Transmision	8205	Ramiro Niño
28/05/2015	Cambio de guardapolvos de las terminales de la direccion	Preventivo	Transmision	8205	Ramiro Niño
28/05/2015	Cambio de aceite de diferenciales delantera y reductores	Preventivo	Transmision	8205	Ramiro Niño
23/06/2015	Cambio de tubo de aceite de la servotransmision	Correctivo	Transmision	8220	Juan Rivera
01/07/2015	Cambio de tapas de la direccion de la cabina	Preventivo	Varios	8260	Ramiro Niño
10/07/2015	Cambio de tapa de tanque de combustible	Preventivo	Varios	8260	Ramiro Niño
10/07/2015	Cambio de tapa soporte del filtro del aire acondicionado cabina	Preventivo	Varios	8260	Ramiro Niño
10/07/2015	Cambio de soporte de mangueras del extrain	Preventivo	Varios	8260	Ramiro Niño
30/07/2015	Cambio de aceite hidraulico y filtro	Preventivo	Hidraulico	8273	Ramiro Niño
30/07/2015	Cambio de llantas delanteras	Preventivo	Transmision	8273	Sevarllantas
30/07/2015	Cambio de todas las mangueras del cuerpos de valvulas mandos del brazo trasero	Correctivo	Hidraulico	8273	Ramiro Niño
15/09/2015	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire externo, filtro aceite motor,	Preventivo	Motor	8348	Ramiro Niño
15/09/2015	Cambio del tubo hidraulico del boom	Correctivo	Hidraulico	8348	Ramiro Niño
17/11/2015	Cambio de kit de empaquetadura de los cilindros de giro	Correctivo	Hidraulico	8451	Metatech
17/11/2015	Cambio de bujes y ajuste de la silla trasera del brazo boom	Preventivo	Varios	8451	Metatech
09/01/2016	Cambio de vidrio trasero izquierdo de la cabina	Preventivo	Varios	8585	Vidrios Aguazul
28/01/2016	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire externo e interno, filtro	Preventivo	Motor	8625	Ramiro Niño
25/02/2016	Cambio de cuchilla del balde delantero	Preventivo	Varios	8732	Ramiro Niño
12/03/2016	Cambio del retenedor delantero de la servotransmision	Correctivo	Transmision	8732	Ramiro Niño
12/03/2016	Cambio de aceite hidraulico y filtro de la servotransmision	Preventivo	Hidraulico	8732	Ramiro Niño
01/06/2016	Cambio de vidrios delanteros izquierdo y derecho de la cabina	Preventivo	Varios	8796	Vidrios Aguazul
08/01/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite hidraulico y filtro.)	Preventivo	Hidraulico	4655	Carlos Bernal
08/01/2014	Revision, mantenimiento y recarga del sistema del aire acondicionado.	Preventivo	Varios	4655	autoluz
15/01/2014	Cambio de filtro de la tapa válvulas	Preventivo	Motor	4687	Berneth Sanchez
15/01/2014	Cambio de retenedores de aceite del eje delantero derecho interno y externo de la rueda.	Correctivo	Transmision	4687	Berneth Sanchez
04/02/2014	Cambio de bacteria	Correctivo	Electrico	4690	Mauricio Alarcon
04/02/2014	Cambio de llantas delanteras	Preventivo	Transmision	4690	Mauricio Alarcon
19/02/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire interno y externo, filtro	Preventivo	Motor	4741	Luis Rincon
19/02/2014	Cambio de 3 esparragos	Correctivo	Transmision	4741	Luis Rincon
20/03/2014	Cambio de fan cluch de la ventaviola	Correctivo	Motor	4762	Verneth Sanchez
20/03/2014	Lavado y sondeo de radiador	Correctivo	Motor	4762	Verneth Sanchez
20/03/2014	Cambio de liquido refrigerante	Correctivo	Motor	4762	Verneth Sanchez
22/04/2014	Cambio kit de empaquetadura botella stick	Correctivo	Hidraulico	4874	Verneth Sanchez
25/04/2014	Cambio de filtro de aire interno y externo	Preventivo	Motor	4879	Luis Rincon
25/04/2014	Cambio de dientes del balde con sus respectivos pines	Preventivo	Varios	4879	Luis Rincon
10/06/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire externo, filtro aceite motor,	Preventivo	Motor	5077	Luis Rincon
19/06/2014	Cambio de bases del balde	Preventivo	Varios	5108	Metatech
26/06/2014	Cambio de correa del A/A y de accesorios	Preventivo	Motor	5108	Luis Rincon
26/06/2014	Cambio de pivotes superior, inferior, arandelas de ajuste y rodamientos del tren delantero izquierdo	Correctivo	Transmision	5108	Verneth Sanchez
05/07/2014	Cambio de retenedor izquierdo del eje delantero.	Correctivo	Transmision	5115	Verneth Sanchez
21/08/2014	Mantenimiento (Cambio de aceite motor, filtros de aire externo, filtro aceite motor,	Preventivo	Motor	5351	Carlos Bernal
29/09/2014	Cambio de bujes, retenedores y rectificacion del pasador central del tren delantero.	Correctivo	Transmision	5364	Luis Rincon
29/09/2014	Cambio del retenedor del tren delantero y cambio de cruceta del cardan de la	Correctivo	Transmision	5364	Luis Rincon
29/09/2014	Cambio de empaquetadura de los estabilizadores izquierdo y derecho	Correctivo	Hidraulico	5364	Metatech
29/09/2014	Cambio de pivotes y rodamientos superior e inferior de la rueda delantera derecha	Correctivo	Transmision	5364	Luis Rincon
29/09/2014	Reconstruccion de piso del cucharon delatero	Preventivo	Varios	5364	Metatech
29/09/2014	Reconstruccion y encintado de balde trasero	Preventivo	Varios	5364	Metatech
29/09/2014	Ajuste y fabricacion de bujes de pasadores y arandelas del brazo, balde y H.	Preventivo	Varios	5364	Metatech

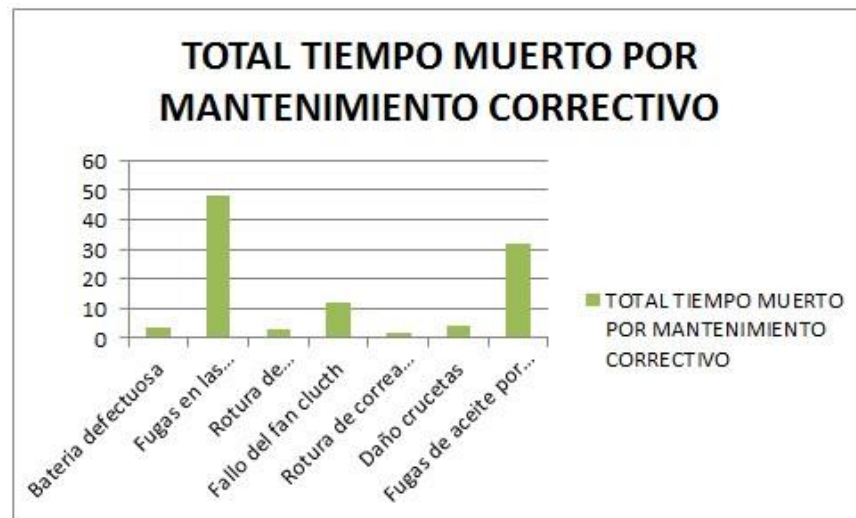
Fuente: Sertrac ingeniería SAS

Con los datos tomados de la tabla anterior se realiza un Pareto de actividades de mantenimiento correctivo asociado a un sistema y se relaciona el tiempo de parada de la máquina para el mantenimiento correctivo para compararlo con el tiempo promedio que trabajan las 3 máquinas en la siguiente tabla.

Tabla 30. Análisis Pareto de actividades correctivas retro cargador Case 590 SM.

FALLA	TOTAL TIEMPO MUERTO POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO (horas)	CANTIDAD	TOTAL TIEMPO MUERTO POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REPRESENTACION EN PORCENTAJE
Bateria defectuosa	0,5	7	3,5	3%
Fugas en las botellas hidraulicas	3	16	48	46%
Rotura de mangueras	1	3	3	3%
Fallo del fan clutch	4	3	12	11%
Rotura de correa motor	1	2	2	2%
Daño crucetas	1	4	4	4%
Fugas de aceite por los retenedores de las diferenciales	4	8	32	31%
		TOTAL	104,5	100%

Figura 57. Tiempo muerto por mantenimiento correctivo de retro cargador 590 SM.



De acuerdo a la tabla anterior se detectó que las fallas más representativas son el 46% las fugas en botellas hidráulicas y el 11% fallo del fun clutch.

Con esta información se realizara el cálculo de pérdida operativa en horas de mantenimiento correctivo comparado con las horas promedio que trabajan los

equipos en ese periodo de 2,5 años que son 3750 horas por maquina en la siguiente tabla.

Tabla 31. Porcentaje de tiempo muerto por mantenimiento correctivo de retro cargadro Case 590 SM.

DESCRIPCION	TIEMPO (horas)
Tiempo operativo excavadoras	11250
Tiempo muerto por mantenimiento correctivo	104,5

El tiempo muerto por mantenimiento correctivo es un valor importante para la organización ya que 100 horas equivale a casi la mitad del mes de un equipo en operación si trabaja 8 horas diarias que es un valor estimado de trabajo diario por la jornada laboral y se tiene la necesidad y buscar métodos de mitigación o reducción para evitar incumplimiento de proyectos o alquilar o trasladar maquinaria.

Para este análisis no se tiene en cuenta el mantenimiento planeado ya que se realiza cuando el equipo se encuentra en stand by por lo tanto no afecta la operacion

5. PROPUESTA DE MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO RCM

5.1. ANALISIS DE CRITICIDAD DE FALLAS

Para el análisis de criticidad se realiza el diseño de un cuadro de criticidad que se ajusta a los parámetros operacionales, económicos, ambientales y de riesgo del personal bajo el que se encuentra Sertrac ingeniería S.A.S. teniendo en cuenta la frecuencia de falla y la consecuencia.

Figura 58. Cuadro de criticidad de fallas Sertrac ingeniería S.A.S

MATRIZ DE CRITICIDAD					
FRECUENCIA	4	M	M	C	C
	3	N	M	C	C
	2	N	M	M	C
	1	N	N	M	C
		4	8	12	16
CONCECUENCIA					

Para la evaluación de los parámetros de criticidad se realiza teniendo los siguientes límites correspondientes a la calificación que se le dará por medio de la siguiente tabla.

Tabla 32. Cuadro de evaluación de criticidad de frecuencia de fallas.

FRECUENCIA	
RANGO	VALOR PARA MATRIZ
0-1 veces al año	1
2-3 veces al año	2
4-5 veces al año	3
>5 veces al año	4

Para la tabla 32 se toman los datos de los históricos de falla para establecer que una falla que se repita 4 veces o más es un factor que la hace crítica.

Tabla 33. Cuadro de evaluación de criticidad de consecuencia de fallas.

CONSECUENCIA		
ITEM	RANGO	VALOR PARA
impacto operacional	< 2 horas	1
	2-4 horas	2
	5-8 horas	3
	> 8 horas de parade	4
impacto ambiental	sin derrame	1
	derrame leve de lubricantes combustibles o refrigerantes menor a 5 en terreno firme	2
	derrame leve de lubricantes combustibles o refrigerantes menor a 5 en río	3
	derrame de lubricantes combustibles o refrigerantes mayor > 5 galones en tierra o río	4
impacto economico	< \$ 500.000 pesos	1
	\$ 501.000 - \$ 1.000.000 de pesos	2
	\$ 1.000.001 - \$ 4.999.000 de pesos	3
	> \$ 5.000.000	4
impacto riesgo al personal	riesgo minimo	1
	quemaduras con superficies calientes o vibracion moderada	2
	quemaduras con fluidos calientes o golpes por herramientas que puedan parar labores por menos de un dia sin generar incapacidad	3
	incendio, golpes que puedan generar lesión que genere incapacidad por mas de un día.	4

Para la tabla 33 se tiene en cuenta que una falla es crítica cuando para 8 horas o más ya que es un día de trabajo completo de la máquina, el impacto ambiental escrito por fallas de contención de fluidos de los sistemas y se establece más de 5 galones ya que puede generación contaminación en fuentes fluviales.

El impacto económico es crítico para las fallas cuyos costos de reparación sean mayores a 5 millones de pesos y el impacto de seguridad se define por vibraciones y superficies calientes, el caso crítico es en caso de incendio de la máquina o golpe por caída en la operación de mantenimiento u operación que pueda generar alguna lesión permanente al técnico o al operador.

5.1.1. Analisis de criticidad excavadora orugada VOLVO EC 210 BL.

Se realiza el análisis de criticidad de los modos de falla según que tiene la excavadora orugada Volvo EC 210 BL en los sistemas de motor, hidráulico y tren motriz.

Tabla 34. Análisis de criticidad de modos de falla en excavadora Volvo EC 210 BL.

CODIGO	frecuencia de falla	impacto operacional	impacto ambiental	impacto economicoa	impacto de riesgo a personas	Consecuencia	criticidad total
M							
MRMFA1	1	1	1	1	2	5	N
MRMFA2	0	1	1	2	2	6	N
MRMFA3	2	1	3	2	2	8	M
MRMFA4	1	1	1	1	2	5	N
MRMFA5	0	1	1	1	2	5	N
MRMFA6	3	1	1	1	2	5	M
MRMFA7	0	1	1	3	2	7	N
MRMFA8	1	1	1	1	2	5	N
MRMFA9	0	1	3	1	3	8	M
MRMFA10	0	1	1	2	2	6	N
MRMFA11	0	2	1	3	2	8	M
MRMFA12	2	1	1	1	2	5	N
MRMFA13	0	3	1	2	2	8	M
MRMFA14	2	1	1	1	2	5	N
MRMFB1	0	1	1	2	2	6	N
MRMFB2	1	1	1	1	2	5	N
MRMFB3	2	1	3	2	2	8	M
MRMFB4	0	2	1	3	2	8	M
MRMFB5	1	1	1	1	2	5	N
MRMFB6	3	1	1	1	2	5	M
MIMFA1	0	1	1	1	1	4	N
MIMFA2	4	1	1	1	1	4	M
MIMFA3	0	2	1	4	1	8	M
MIMFA4	5	1	1	1	1	4	M
MIMFA5	0	1	1	1	1	4	N
MIMFB1	0	4	1	4	1	10	M
MIMFB2	0	2	1	4	1	8	M
MIMFB3	5	1	1	1	1	4	M
MIMFB4	0	1	1	3	1	6	N
MIMFB5	4	1	1	1	1	4	M
MLMFA1	0	2	1	3	2	8	M
MLMFA2	0	1	1	1	2	5	N
MLMFA3	0	1	1	1	2	5	N
MLMFA4	0	1	1	1	2	5	N

MLMFA5	0	1	1	1	2	5	N
MLMFB1	0	1	1	1	2	5	N
MLMFB2	0	1	1	1	2	5	N
MLMFB3	0	1	1	1	3	6	N
MLMFB4	0	1	1	1	2	5	N
MLMFB5	0	1	1	1	2	5	N
MLMFC1	0	1	1	1	2	5	N
MLMFD1	0	1	1	1	2	5	N
MLMFD2	0	1	1	1	2	5	N
MLMFD3	0	4	1	4	2	11	M
MLMFE1	0	1	1	1	2	5	N
MLMFE2	0	1	1	1	2	5	N
MAMFA1	0	1	1	3	2	7	N
MAMFA2	0	1	1	1	2	5	N
MAMFA3	0	1	1	1	2	5	N
MAMFA4	5	1	1	1	2	5	M
MAMFA5	0	1	1	3	2	7	N
MAMFB1	0	1	3	1	3	8	M
MAMFB2	0	1	1	3	2	7	N
MEMFA1	5	1	1	2	1	5	M
MEMFA2	0	2	1	3	1	7	N
MEMFA3	0	2	1	2	1	6	N
MEMFA4	0	1	1	1	1	4	N
MEMFA5	5	1	1	1	1	4	M
MEMFA6	0	2	1	1	1	5	N
MEMFA7	0	1	1	2	1	5	N
MEMFA8	0	1	1	1	1	4	N
MEMFA9	5		1	1	1	3	M
H							
HIMFA1	0	2	1	1	2	6	N
HIMFA2	0	4	1	4	2	11	M
HIMFB1	0	4	1	4	2	11	M
HIMFB2	0	4	1	4	2	11	M
HIMFB3	0	2	1	3	2	8	M
HIMFB4	0	2	1	1	2	6	N
HIMFB5	0	1	1	3	2	7	N
HIMFC1	0	1	1	1	2	5	N
HIMFC2	0	3	1	1	2	7	N
HIMFC3	0	4	1	4	2	11	M
HIMFD1	0	2	1	1	2	6	N

HIMFD2	0	1	1	1	2	5	N
HIMFD3	0	4	1	4	2	11	M
HIMFD4	0	4	1	4	2	11	M
HIMFD5	0	4	1	4	2	11	M
HIMFD6	0	1	1		2	4	N
HIMFD7	0	1	1	4	2	8	M
HIMFE1	0	4	1	4	2	11	M
HIMFE2	0	2	1	4	2	9	M
HIMFF1	0	2	1	1	2	6	N
HIMFF2	0	2	1	1	2	6	N
HIMFG1	0	2	1	1	2	6	N
HIMFG2	0	3	1	1	1	6	N
HIMFG3	0	4	1	4	1	10	M
HIMFH1	0	1	1	1	2	5	N
HIMFH2	1	4	2	2	2	10	M
HIMFH3	0	4	1	3	2	10	M
HIMFH4	2	4	1	2	2	9	M
HIMFH5	6	2	1	1	2	6	M
HIMFH6	0	4	1	4	2	11	M
T							
TTMFA1	0	4	1	4	2	11	M
TTMFA2	0	4	1	4	2	11	M
TTMFA3	0	1	1	1	2	5	N
TTMFA4	0	4	1	4	2	11	M
TCMFA1	1	2	1	1	2	6	N
TCMFA2	0	3	1	3	2	9	M
TCMFA3	1	3	1	2	2	8	M
TCMFA4	0	4	1	2	2	9	M
TCMFA5	0	4	1	2	2	9	M

En este análisis no se detectan modos de falla críticas pero básicamente es por su frecuencia ya que este tipo de maquinaria no falla con mucha frecuencia siempre y cuando se haga un mantenimiento adecuado porque sus fallas son de alto costo y la maquina puede quedar en tiempo muerto por mucho tiempo teniendo en cuenta los desplazamientos del personal técnico y la consecución de los repuestos, adicional los repuestos son costosos y algunos se deben importar.

5.1.2. Analisis de criticidad retro cargador CASE 590 SM.

Se realiza el análisis de criticidad de los modos de falla según que tiene el retro cargador Case 590 SM en los sistemas de motor, hidráulico y transmisión.

Tabla 35. Análisis de criticidad de modos de falla en Retro cargador Case 590 SM.

CODIGO	frecuencia de falla	impacto operacional	impacto ambiental	impacto economicoa	impacto de riesgo a personas	Concecuencia	criticidad total
MOTOR							
RMRMFA1	1	2	1	1	1	5	N
RMRMFA2	0	1	1	2	1	5	N
RMRMFA3	2	1	2	2	2	7	M
RMRMFA4	1	1	1	1	1	4	N
RMRMFA5	0	1	1	1	2	5	N
RMRMFA6	3	1	1	1	2	5	M
RMRMFA7	0	1	1	3	1	6	N
RMRMFA8	1	1	1	1	2	5	N
RMRMFA9	0	1	2	1	2	6	N
RMRMFA10	0	1	1	2	2	6	N
RMRMFA11	0	2	1	3	2	8	M
RMRMFA12	1	1	1	1	2	5	N
RMRMFA13	1	1	1	2	2	6	N
RMRMFA14	2	1	1	1	2	5	N

RMRMFA15	0	3	1	2	2	8	M
RMRMFA16	2	1	1	1	2	5	N
RMRMFB1	0	1	1	2	2	6	N
RMRMFB2	1	1	1	1	2	5	N
RMRMFB3	2	1	2	2	2	7	M
RMRMFB4	0	2	1	3	2	8	M
RMRMFB5	1	2	1	1	2	6	N
RMRMFB6	3	1	1	1	2	5	M
RMIMFA1	0	1	1	1	1	4	N
RMIMFA2	4	1	1	1	1	4	M
RMIMFA3	0	2	1	4	1	8	M
RMIMFA4	5	1	1	1	1	4	M
RMIMFA5	0	1	1	1	1	4	N
RMIMFB1	0	4	1	4	1	10	M
RMIMFB2	0	2	1	4	1	8	M
RMIMFB3	5	1	1	2	1	5	M
RMIMFB4	0	1	1	2	1	5	N
RMIMFB5	4	1	1	1	1	4	M
RMLMFA1	0	2	1	2	1	6	N
RMLMFA2	0	1	1	1	1	4	N
RMLMFA3	0	1	1	1	1	4	N
RMLMFA4	0	1	1	1	1	4	N
RMLMFA5	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFB1	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFB2	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFB3	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFB4	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFB5	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFC1	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFD1	0	1	1	1	1	4	N

RMLFFD2	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFD3	0	4	1	4	1	10	M
RMLFFE1	0	1	1	1	1	4	N
RMLFFE2	0	1	1	1	1	4	N
RMAMFA1	0	1	1	3	1	6	N
RMAMFA2	0	1	1	1	2	5	N
RMAMFA3	0	1	1	1	2	5	N
RMAMFA4	5	1	1	1	1	4	M
RMAMFA5	0	1	1	2	1	5	N
RMAMFB1	0	1	1	1	1	4	N
RMAMFB2	0	1	1	3	1	6	N
RMEMFA1	5	1	1	2	1	5	M
RMEMFA2	0	2	1	3	1	7	N
RMEMFA3	0	2	1	1	1	5	N
RMEMFA4	0	1	1	1	1	4	N
RMEMFA5	5	1	1	1	1	4	M
RMEMFA6	0	2	1	1	1	5	N
RMEMFA7	0	1	1	2	1	5	N
RMEMFA8	0	1	1	1	1	4	N
RMEMFA9	5	1	1	1	1	4	M
HIDRAULICO							
RHBMF11	0	4	1	4	1	10	M
RHBMF12	0	2	1	1	1	5	N
RHBMF13	0	2	1	1	1	5	N
RHBMF14	0	2	1	1	2	6	N
RHBMF15	0	4	1	4	1	10	M
RHBMF21	0	1	1	1	1	4	N
RHBMF22	1	2	3	1	2	8	M
RHBMF23	0	4	1	3	1	9	M
RHBMF24	2	3	3	3	2	11	M

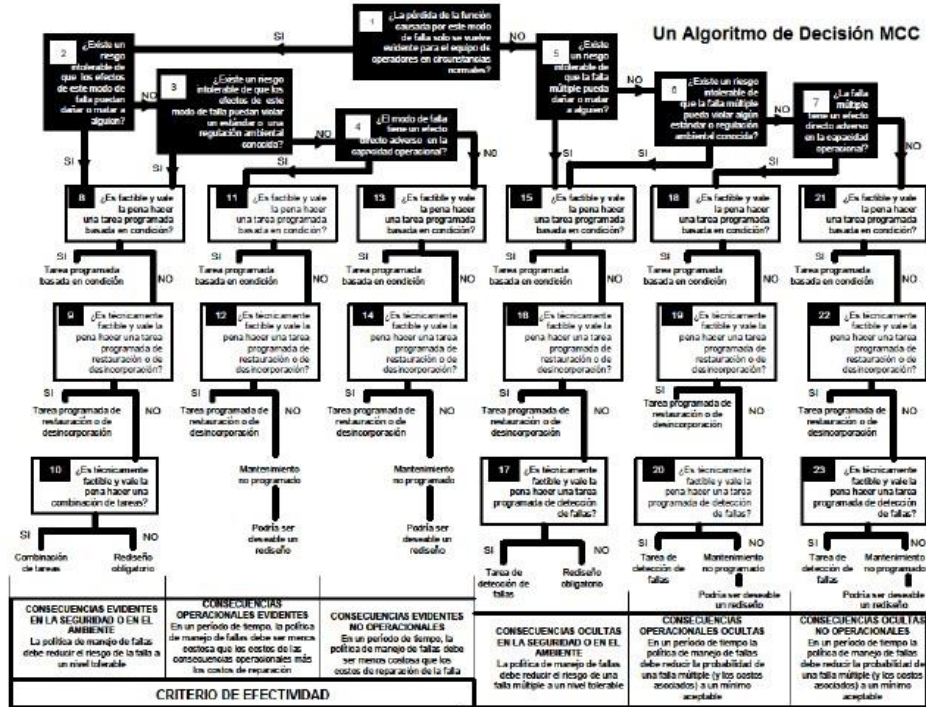
RHBMF25	6	2	3	1	2	8	M
RHBMF26	0	4	1	4	1	10	M
TRANSMISION							
RTDMFA1	0	1	1	3	1	6	N
RTDMFA2	1	1	1	1	1	4	N
RTDMFA3	0	1	1	3	1	6	N
RTDMFA4	2	1	1	1	1	4	N
RTDMFA5	1	1	1	1	1	4	N
RTDMFA6	0	4	1	4	2	11	M
RTDMFA7	0	2	1	3	2	8	M
RTDMFA8	2	4	1	4	2	11	M
RTDMFA9	0	1	1	3	2	7	N
RTSMFA1	2	1	1	1	1	4	N
RTSMFA2	0	4	1	4	2	11	M
RTSMFA3	0	4	1	4	2	11	M
RTSMFB1	0	1	1	3	1	6	N
RTSMFB2	0	1	1	3	1	6	N
RTSMFC1	0	1	1	1	1	4	N
RTSMFC2	2	1	1	1	1	4	N

En el análisis de criticidad de fallas muestran que las consecuencias son críticas por los tiempos muertos que pueden generar y el costo de los repuestos aunque no fallas con mucha frecuencia y se muestra en este análisis que no hay fallas críticas básicamente por su frecuencia baja aunque hace necesario realizar un buen mantenimiento para evitar que se vuelvan críticas.

5.2. HOJA DE DECISION RCM.

Con los análisis de criticidad de fallas y el análisis de modos de falla y efectos se realiza la hoja de trabajo RCM para la excavadora orugada Volvo EC 210 BL y el retro cargador de llantas Case 590 SM.

Figura 59. Algoritmo de decisión MCC de la norma SAEJA1012



Fuente: Ortiz Plata, Daniel. Mantenimiento centrado en confiabilidad –RCM-. Colombia, Ortiz Ruiz consultores, 2014.

Se toma la figura anterior como modelo para la selección de las tareas de acuerdo al tipo de decisión correspondiente.

5.2.1. Hoja RCM excavadora VOLVO EC 210 BL.

Tabla 36. Hoja RCM de sistema motor excavadora orugada Volvo EC 210 BL.

COD F	COD FF	COD MF	FALLA	VALORACION DE	TIPO DE DECISION	DESCRIPCION TAREA	FRECUENCIA	PERSONAL	RECURSOS	MATERIALES
			OCULTA	CRITICIDAD			(mes)			
MR1	MRFA	MRMFA1	No	N	Correr a falla	Limpieza y sondeo del radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA2	No	N	Correr a falla	Cambio de bomba de agua por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA3	No	M	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA4	No	N	Correr a falla	Cambio de termostato por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA5	No	N	Correr a falla	Cambio del sensor de temperatura por correctivo.	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA6	No	M	Reacondicionamiento	Tensionar correa del motor	1	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA7	No	N	Correr a falla	Cambio de ventilador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA8	No	N	Correr a falla	Cambio de tapa del radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA9	No	M	Busqueda de falla	Verificar en que parte presenta la fuga de refrigerante	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA10	No	N	Correr a falla	Cambio de enfocar de aire por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA11	No	M	Correr a falla	Cambio de radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA12	No	N	Reacondicionamiento	Poner a nivel el refrigerante del motor	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Liquido refrgerante.
MR1	MRFA	MRMFA13	No	M	Correr a falla	Cambiar empaque de culata	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR1	MRFA	MRMFA14	No	N	Reacondicionamiento	Poner a nivel aceite de motor	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Acete de motor Sae 15w-40
MR2	MRFB	MRMFB1	No	N	Correr a falla	Cambio de bomba de agua por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR2	MRFB	MRMFB2	No	N	Correr a falla	Cambio de termostato por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR2	MRFB	MRMFB3	No	M	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR2	MRFB	MRMFB4	No	M	Correr a falla	Cambio de radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR2	MRFB	MRMFB5	No	N	Correr a falla	Limpieza y sondeo del radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MR2	MRFB	MRMFB6	No	M	Reacondicionamiento	Tensionar correa del motor	1	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MIF1	MIFA	MIMFA1	No	N	Reacondicionamiento	Poner a nivel el tanque de combustible	a condicion	Operador	Carrocisterna	A.C.P.M

MIF1	MIFA	MIMFA2	Si	M	Reacondicionamiento	Desmostar las lineas de combustible para su limpieza	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MIF1	MIFA	MIMFA3	Si	M	Correr a falla	Cambio de bomba de inyeccion por correctivo Drenar el tanque de combustible y	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MIF1	MIFA	MIMFA4	Si	M	Reacondicionamiento	filtros separador de agua/ combustible.	12	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	

MIF1	MIFFA	MIMFAS	Si	N	Reacondicionamiento	Desairar el sistema de combustible	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion
MIF1	MIFFB	MIMFB1	Si	M	Correr a falla	Cambio de inyectores por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion
MIF1	MIFFB	MIMFB2	Si	M	Correr a falla	Cambio de bomba de inyeccion por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion
MIF1	MIFFB	MIMFB3	Si	M	Reacondicionamiento	Desairar el sistema de combustible	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion
MIF1	MIFFB	MIMFB4	Si	N	Correr a falla	Cambio de arnes o cables dañados por correctivos.	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion
MIF1	MIFFB	MIMFB5	Si	M	Correr a falla	Cambio de filtros de combustible por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion

MLF1	MLFFA	MLMFA1	No	M	Correr a falla	Cambio de bomba de lubricacion por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MLF1	MLFFA	MLMFA2	No	N	Reacondicionamiento	Poner a nivel aceite de motor	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Aceite de motor Sae 15w-40
MLF1	MLFFA	MLMFA3	No	N	Reacondicionamiento	Desmontar el carter del motor y limpiar el filtro del carter	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MLF1	MLFFA	MLMFA4	No	N	Correr a falla	Cambio de filtro de aceite de motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MLF1	MLFFA	MLMFA5	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF2	MLFFB	MLMFB1	No	N	Reacondicionamiento	Poner a nivel aceite de motor	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Aceite de motor Sae 15w-40
MLF2	MLFFB	MLMFB2	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF2	MLFFB	MLMFB3	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF2	MLFFB	MLMFB4	Si	N	Correr a falla	Cambio de filtro de aceite de motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MLF2	MLFFB	MLMFB5	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF3	MLFFC	MLMFC1	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF4	MLFFD	MLMFD1	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF4	MLFFD	MLMFD2	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF4	MLFFD	MLMFD3	Si	M	Correr a falla	Cambio de inyectores por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MLF4	MLFFE	MLMFE1	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MLF4	MLFFE	MLMFE2	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
MAF1	MAFFA	MAMFA1	Si	N	Correr a falla	Cambiar tubo del motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MAF1	MAFFA	MAMFA2	Si	N	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MAF1	MAFFA	MAMFA3	Si	N	Correr a falla	Limpieza y sondeo del intercooler por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MAF1	MAFFA	MAMFA4	Si	M	Correr a falla	Cambio de filtro de aire de motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MAF1	MAFFA	MAMFA5	Si	N	Correr a falla	Cambio del intercooler por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MAF2	MAFFB	MAMFB1	Si	M	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
MAF2	MAFFB	MAMFB2	Si	N	Correr a falla	Cambiar tubo del motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
ME1	MEFFA	MEMFA1	Si	M	Monitoreo	Tomar voltaje de la bateria y recarga	6	Tecnico Mecanico	Multimetro, cargador de baterias	
ME1	MEFFA	MEMFA2	Si	N	Correr a falla	Cambiar motor de arranque por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
ME1	MEFFA	MEMFA3	Si	N	Correr a falla	Cambiar automatico por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
ME1	MEFFA	MEMFA4	Si	N	Correr a falla	Cambio de cables rotos por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
ME1	MEFFA	MEMFA5	Si	M	Reacondicionamiento	Apretar y limpiar terminales de la bateria	2	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Limpiador de contactos
ME1	MEFFA	MEMFA6	Si	N	Correr a falla	Cambio de piñon o bendix del motor de arranque por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
ME1	MEFFA	MEMFA7	No	N	Correr a falla	Cambio de alternador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
ME1	MEFFA	MEMFA8	No	N	Correr a falla	Cambio de regulador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
ME1	MEFFA	MEMFA9	Si	M	Reacondicionamiento	Tensionar correa del motor	1	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	

Tabla 37. Hoja RCM de sistema hidráulico excavadora orugada Volvo EC 210 BL.

COD F	COD FF	COD MF	FALLA OCULTA	VALORACION DE CRITICIDAD	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	HERRAMIENTAS	MATERIALES
HIF1	HIFFA	HIMFA1	Si	N	Busqueda de falla	Revisar la falla del motor sobrecargado	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF1	HIFFA	HIMFA2	Si	M	Correr a falla	Cambio de caja de cambios por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF2	HIFFB	HIMFB1	Si	M	Correr a falla	Cambio de bomba por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF2	HIFFB	HIMFB2	Si	M	Correr a falla	Cambio de motor hidraulico por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF2	HIFFB	HIMFB3	Si	M	Correr a falla	Cambio de piñon de entrada a la caja por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF2	HIFFB	HIMFB4	Si	N	Busqueda de falla	Revisar la falla del motor sobrecargado	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF2	HIFFB	HIMFB5	Si	N	Correr a falla	Cambio de valvula de freno por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF2	HIFFC	HIMFC1	Si	N	Monitoreo	Tomar presion de salida de la bomba	12	Tecnico Mecanico	Medidor de presion	
HIF2	HIFFC	HIMFC2	Si	N	Correr a falla	Cambiar regulador de la bomba por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF2	HIFFC	HIMFC3	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba hidraulica por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF3	HIFFD	HIMFD1	Si	N	Busqueda de falla	Revisar la falla del motor sobrecargado	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF3	HIFFD	HIMFD2	No	N	Reacondicionamiento	Desactivar el freno de parqueo	a condicion	Operador	Herramienta de dotacion	
HIF3	HIFFD	HIMFD3	Si	M	Correr a falla	Cambio de componentes internos de la caja de engranaje por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF3	HIFFD	HIMFD4	Si	M	Correr a falla	Cambiar motor hidraulico por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF3	HIFFD	HIMFD5	Si	M	Correr a falla	Cambio de motor hidraulico por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF3	HIFFD	HIMFD6	Si	N	Monitoreo	Tomar datos del presion y caudal a la salida de la bomba hidraulica	12	Tecnico Mecanico	Caudalimetro y medidor de presion	
HIF3	HIFFD	HIMFD7	Si	M	Correr a falla	Cambio de motor hidraulico por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF4	HIFFE	HIMFE1	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba hidraulica por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF4	HIFFE	HIMFE2	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba auxiliar por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF4	HIFFF	HIMFF1	No	N	Monitoreo	Tomar datos de vibracion	12	Tecnico Mecanico	Medidor de vibraciones	
HIF4	HIFFF	HIMFF2	No	N	Reacondicionamiento	Alinear correctamente la bomba	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF4	HIFFG	HIMFG1	Si	N	Busqueda de falla	Revisar la falla del motor sobrecargado	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF4	HIFFG	HIMFG2	Si	N	Correr a falla	Cambiar regulador de la bomba por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF4	HIFF7	HIMFG3	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba hidraulica por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF5	HIFFH	HIMFH1	Si	N	Reacondicionamiento	Desmontar las lineas de flujo para su limpieza	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF5	HIFFH	HIMFH2	No	M	Correr a falla	Cambiar empaquetadura del embolo por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF5	HIFFH	HIMFH3	Si	M	Correr a falla	Cambiar vastago por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF5	HIFFH	HIMFH4	No	M	Correr a falla	Cambiar vastago por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF5	HIFFH	HIMFH5	No	M	Correr a falla	Cambiar manguera rota por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
HIF5	HIFFH	HIMFH6	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba hidraulica por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	

Tabla 38. Hoja RCM de sistema tren motriz excavadora orugada Volvo EC 210 BL.

COD F	COD FF	COD MF	FALLA OCULTA	VALORACION DE CRITICIDAD	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	HERRAMIENTAS	MATERIALES
TTF1	TTFFA	TTMFA1	Si	M	Correr a falla	Cambiar motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de Dotacion	
TTF1	TTFFA	TTMFA2	si	M	Correr a falla	Cambiar corona por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de Dotacion	
TTF1	TTFFA	TTMFA3	No	N	Monitoreo	Verificar que no se encuentre activado	a condicion	Operador		
TTF1	TTFFA	TTMFA4	Si	M	Monitoreo	Verificar la holgura de los rodamientos con la corona	12	Tecnico Mecanico	Herramienta de Dotacion	
TCF1	TCFFA	TCMFA1	No	N	Monitoreo	Verificar desgaste del pin master	1	Tecnico Mecanico	Herramienta de Dotacion	
TCF1	TCFFA	TCMFA2	No	M	Correr a falla	Cambiar cilindro por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de Dotacion	
TCF1	TCFFA	TCMFA3	No	M	Correr a falla	Cambiar sploker por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de Dotacion	
TCF1	TCFFA	TCMFA4	No	M	Reacondicionamiento	Torque de los tornillos y reemplazar los dañados	6	Tecnico Mecanico	Herramienta de Dotacion	
TCF1	TCFF1	TCMFA5	No	M	Correr a falla	Cambio resorte espiral por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Prensa Hidraulica	

5.2.2. Hoja RCM retro cargador CASE 590 SM.

Tabla 39. Hoja RCM de sistema motor retro cargador Case 590 SM.

COD F	COD FF	COD MF	FALLA OCULTA	VALORACION DE CRITICIDAD	TIPO DE DECISION	DESCRIPCION TAREA	FRECUENCIA (mes)	PERSONAL	RECURSOS	MATERIALES
						Limpieza y sondeo		Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA1	No	N	Correr a falla	del radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA2	No	N	Correr a falla	Cambio de bomba de agua por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA3	No	M	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA4	No	N	Correr a falla	Cambio de termostato por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA5	No	N	Correr a falla	Cambio del sensor de temperatura por correctivo.	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
								Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA6	No	M	acondicionamie	Tensionar correa del motor	1	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA7	No	N	Correr a falla	Cambio de ventilador por	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA8	No	N	Correr a falla	Cambio de tapa del radiador	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA9	No	N	usqueda de fall	Verificar que parte presenta la fuga de refrigerante	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA10	No	N	Correr a falla	Cambio de enfocar de aire por	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA11	No	M	Correr a falla	Cambio de ventilador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA12		N	Correr a falla	Cambio patin tensor	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Liquido refrigerante.
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA13	No	N	Correr a falla	Cambio de belt pulch por	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA14	No	N	acondicionamie	Poner a nivel el refrigerante del	a condicion			
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA15	No	M	Correr a falla	motor Cambiar empaque de culata	a condicion			
RMRF1	RMRFFA	RMRMFA16	No	N	acondicionamie	de motor	a condicion	Mecanico	de dotacion	motor Sae 15w-40
						Cambio de bomba				
RMRF2	RMRFBB	RMRMFB1	No	N	Correr a falla	de agua por correctivo	a condicion	Mecanico	de dotacion	
RMRF2	RMRFBB	RMRMFB2	No	N	Correr a falla	Cambio de termostato por correctivo	a condicion	Mecanico	de dotacion	
RMRF2	RMRFBB	RMRMFB3	No	M	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico	Herramienta	
RMRF2	RMRFBB	RMRMFB4	No	M	Correr a falla	Cambio de radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF2	RMRFBB	RMRMFB5	No	N	Correr a falla	Limpieza y sondeo del radiador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMRF2	RMRFBB	RMRMFB6	No	M	acondicionamie	Tensionar correa del motor	1	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMIF1	RMIFFA	RMIMFA1	No	N	acondicionamie	Poner a nivel el tanque de combustible	a condicion	Operador	Carrocisterna	A.C.P.M
RMIF1	RMIFFA	RMIMFA2	Si	M	acondicionamie	Desmolar las lineas de combustible para su limpieza	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
						Cambio de bomba		Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMIF1	RMIFFA	RMIMFA3	Si	M	Correr a falla	de inyeccion por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
						Drenar el tanque de				
RMIF1	RMIFFA	RMIMFA4	Si	M	acondicionamie	combustible y filtros separador de agua/ combustible.	12	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMIF1	RMIFFA	RMIMFA5	Si	N	acondicionamie	Desairar el sistema de combustible	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
						Cambio de		Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	

RMIF1	RMFFB	RMIMFB1	Si	M	Correr a falla	inyectores por correctivo	a condicion
RMIF1	RMFFB	RMIMFB2	Si	M	Correr a falla	Cambio de bomba de inyeccion por correctivo Desairar el sistema	a condicion
RMIF1	RMFFB	RMIMFB3	Si	M	acondicionamie	de combustible	a condicion

RMIF1	RMFFB	RMIMFB4	Si	N	Correr a falla	Cambio de arnes o cables dañados por correctivos.	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMIF1	RMFFB	RMIMFB5	Si	M	Correr a falla	Cambio de filtros de combustible por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMLF1	RMLFFA	RMLMFA1	No	N	Correr a falla	Cambio de bomba de lubricacion por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMLF1	RMLFFA	RMLMFA2	No	N	acondicionamie	Poner a nivel aceite de motor	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Aceite de motor Sae 15w-40
RMLF1	RMLFFA	RMLMFA3	No	N	acondicionamie	Desmontar el carter del motor y limpiar el filtro del carter	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMLF1	RMLFFA	RMLMFA4	No	N	Correr a falla	Cambio de filtro de aceite de motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMLF1	RMLFFA	RMLMFA5	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF2	RMLFFB	RMLFFB1	No	N	acondicionamie	Poner a nivel aceite de motor	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Acete de motor Sae 15w-40
RMLF2	RMLFFB	RMLFFB2	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF2	RMLFFB	RMLFFB3	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF2	RMLFFB	RMLFFB4	Si	N	Correr a falla	Cambio de filtro de aceite de motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMLF2	RMLFFB	RMLFFB5	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF3	RMLFFC	RMLFFC1	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF4	RMLFFD	RMLFFD1	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF4	RMLFFD	RMLFFD2	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF4	RMLFFD	RMLFFD3	Si	M	Correr a falla	Cambio de inyectores por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMLF4	RMLFFE	RMLFFE1	Si	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMLF4	RMLFFE	RMLFFE2	No	N	Monitoreo	Tomar analisis de aceite del motor	2	Tecnico Mecanico	Laboratorio de analisis de aceite	Bomba de succion y tarro de muestra
RMAF1	RMAFFA	RMAMFA1	Si	N	Correr a falla	Cambiar turbo del motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMAF1	RMAFFA	RMAMFA2	Si	N	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMAF1	RMAFFA	RMAMFA3	Si	N	Correr a falla	Limpieza y sondeo del intercooler por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMAF1	RMAFFA	RMAMFA4	Si	M	Correr a falla	Cambio de filtro de aire de motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMAF1	RMAFFA	RMAMFA5	Si	N	Correr a falla	Cambio del intercooler por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMAF2	RMAFFB	RMAMFB1	Si	N	Correr a falla	Cambio de mangueras por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RMAF2	RMAFFB	RMAMFB2	Si	N	Correr a falla	Cambiar tubo del motor por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RME1	RMEFFA	RMEMFA1	Si	M	Monitoreo	Tomar voltaje de la bateria y recarga	6	Tecnico Mecanico	Multimetro, cargador de baterias	
RME1	RMEFFA	RMEMFA2	Si	N	Correr a falla	Cambiar motor de arranque por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RME1	RMEFFA	RMEMFA3	Si	N	Correr a falla	Cambiar automatico por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RME1	RMEFFA	RMEMFA4	Si	N	Correr a falla	Cambio de cables rotos por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RME1	RMEFFA	RMEMFA5	Si	M	acondicionamie	Apretar y limpiar terminales de la bateria	2	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Limpiador de contactos
RME1	RMEFFA	RMEMFA6	Si	N	Correr a falla	Cambio de piñon o bendix del motor de arranque por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RME1	RMEFFA	RMEMFA7	No	N	Correr a falla	Cambio de alternador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RME1	RMEFFA	RMEMFA8	No	N	Correr a falla	Cambio de regulador por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RME1	RMEFFA	RMEMFA9	Si	M	acondicionamie	Tensionar correa del motor	1	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	

Tabla 40. Hoja RCM de sistema hidráulico retro cargador Case 590 SM.

COD F	COD FF	COD MF	FALLA OCULTA	VALORACION DE CRITICIDAD	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	HERRAMIENTAS	MATERIALES
RHBF1	RHBFF1	RHBMF11	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba hidraulica por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF1	RHBMF12	Si	N	Reacondicionamiento	Alinear correctamente la bomba	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF1	RHBMF13	Si	N	Busqueda de falla	Revisar la falla del motor sobrecargado	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF1	RHBMF14	Si	N	Correr a falla	Cambiar regulador de la bomba por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF1	RHBMF15	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba hidraulica por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF2	RHBMF21	Si	N	ondicionami	Desmostar las lineas de flujo para su limpieza	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF2	RHBMF22	No	M	Correr a falla	Cambiar empaquetadura del embolo por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF2	RHBMF23	No	M	Correr a falla	Cambiar vastago por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF2	RHBMF24	No	M	Correr a falla	Cambiar vastago por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF2	RHBMF25	No	M	Correr a falla	Cambiar manguera rota por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RHBF1	RHBFF2	RHBMF26	Si	M	Correr a falla	Cambiar bomba hidraulica por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	

Tabla 41. Hoja RCM de sistema hidráulico retro cargador Case 590 SM.

COD F	COD FF	COD MF	FALLA OCULTA	VALORACION DE CRITICIDAD	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	HERRAMIENTAS	MATERIALES
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA1	No	N	Correr a Falla	Cambiar cardan por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA2	No	N	Correr a Falla	Cambiar cruceta del cardan por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA3	No	N	Correr a Falla	Cambiar yoke por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA4	No	N	Reacondicionamiento	Desactivar freno de paqueo	a condicion	Operador		
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA5	No	N	Reacondicionamiento	Apretar tornillos de las orejas del cardan	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA6	Si	M	Correr a Falla	Cambio de escualizacion por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA7	Si	M	Correr a Falla	Cambio de eje por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA8	No	M	Reacondicionamiento	Poner a nivel aceite de los diferenciales	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Aceite de valvulina Sae 80w-90
RTDF1	RTDFFA	RTDMFA9	Si	N	Correr a Falla	Cambio de engranajes por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTSF1	RTSFFA	RTSMFA1	No	N	Reacondicionamiento	Poner a nivel aceite de la servotransmision	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Aceite hidraulico mobilfluid 424
RTSF1	RTSFFA	RTSMFA2	Si	M	Correr a Falla	Cambio de convertidor de par por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTSF1	RTSFFA	RTSMFA3	Si	M	Correr a Falla	Cambio de discos por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTSF1	RTSFFB	RTSMFB1	Si	N	Correr a Falla	Cambio de valvula de freno de parqueo por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTSF1	RTSFFB	RTSMFB2	Si	N	Correr a Falla	Cambio de valvula de marcha por correctivo	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTSF1	RTSFFC	RTSMFC1	Si	N	Correr a Falla	Cambio de filtro de aceite	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	
RTSF1	RTSFFC	RTSMFC2	No	N	Reacondicionamiento	Poner a nivel aceite de la servotransmision	a condicion	Tecnico Mecanico	Herramienta de dotacion	Aceite hidraulico mobilfluid 424

5.3. HOJA DE ACTIVIDADES DE RUTINA PRE-OPERACIONALES

En este capítulo se diseñan los formatos pre operacionales que van a manejar los operadores y técnicos de mantenimiento que se encuentran divididos por sistema y tipo de componentes que pueden inspeccionar para identificar si su estado es operativo o requiere alguna revisión adicional por alguna anomalía que tenga la cual será evaluada por el ingeniero supervisor de mantenimiento remitiéndose a la hoja de decisión RCM direccionándose a tareas relacionadas a excavadora orugada Volvo EC 210 BL o retro cargador de llantas Case 590 SM de acuerdo al modo de falla correspondiente para evitar su falla en operación.

Tabla 42. Hoja de inspección pre operacional de Excavadora de orugas Volvo EC 210 BL.

		INSPECCION PREOPERACIONAL EXCAVADORA DE ORUGAS		Versión:		Código:	
OPERADOR:		PROYECTO					
CODIGO MAQUINA:		MES:					
DIA INICIAL SEMANA		HOROMETRO FINAL:		HOROMETRO FINAL:			
DIA FINAL SEMANA							
ITEM	LUN	MAR	MIER	JUE	VIER	SAB	DOM
MOTOR	B	M	B	M	B	M	B
NIVEL DE ACEITE MOTOR							
NIVEL DE LIQUIDO REFRIGERANTE							
CORREA MOTOR							
CORREA DE A/A							
MANGUERA DE ADMISION							
EXOSTO							
RADIADOR							
PATIN TENSOR CORREA							
VENTILADOR							
FUGAS DE ACEITE MOTOR							
FUGAS DE REFRIGERANTE							
NIVEL DE COMBUSTIBLE							
FILTROS DE AIRE INTERNO Y EXTERNO							
CABLES DE BATERIAS							
CABINA							
PUERTA							
ESPEJO CENTRAL CONVEXO							
ESPEJOS LATERALES							
ALARMA DE AVANCE							
ALARMA DE REVERSA							
LUCE DE TRABAJO							
VIDRIO FRONTAL							
VIDRIOS LATERALES							
VIDRIOS TRASEROS							
PITO							
CINTURON DE SEGURIDAD							
JOYSTICK DE MANDOS							
PALANCA DE AVANCE							
ASIENTO EN BUEN ESTADO							
ESCALERAS Y PASAMOS							
PANEL DE CONTROL							
HOROMETRO							
TREN DE RODAJE							
RODILLOS SUPERIORES							
RODILLOS INFERIORES							
GUARDA CARRILLES							
TENSION DE LA ORUGA							
CILINDRO TENSOR RUEDA TENSORA							
BUJES PASOS CADENA							
PIN MASTER							
BALDE							
FUGA DE ACEITE MANDOS FINALES							
SPLOKERS							
RUEDA TENSORA							
ZAPATAS							
HIDRAULICO							
CILINDRO DEL BALDE							
CILINDRO DEL BRAZO							
CILINDRO DEL BOOM							
NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO							
FUGAS DE ACEITE MOTOR DE GIRO							
FUGAS BOMBA PRINCIPAL							
ESTADO FISICO DE MANGUERAS HIDRAULICAS							
PASADORES (BOOM, BRAZO, BALDE)							
CONTROL DE HUMO (TUBO DE ESCAPE)							
OTROS							
KIT AMBIENTAL (balde, guantes, paño, estopa, bolsa roja, verde, negra)							
DOCUMENTACION							
EXTINTOR MULTIPROPOSITO (20 LB)							
BOTIQUIN							
EL EQUIPO SE ENCUENTRA EN CONDICIONES ESTANDAR PARA SU OPERACIÓN Vo.							
NOTA IMPORTANTE: La inspección preoperacional debe realizarla UNICAMENTE por el OPERADOR de la maquina y cualquier anomalia informar al departamento de mantenimiento .							
OBSERVACIONES							
Firma del Operador				Firma supervisor de mantenimiento			

Tabla 43. Hoja de inspección pre operacional de retro cargador de llantas Case 590 SM.

		INSPECCION PREOPERACIONAL RETROCARGADOR DE LLANTAS		Versión:		Código:									
OPERADOR:				PROYECTO											
CODIGO MAQUINA:				MES:											
DIA INICIAL SEMANA				HOROMETRO FINAL:		HOROMETRO FINAL:									
DIA FINAL SEMANA															
ITEM		LUN		MAR		MIER		JUE		VIER		SAB		DOM	
MOTOR		B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
NIVEL DE ACEITE MOTOR															
NIVEL DE LIQUIDO REFRIGERANTE															
CORREA MOTOR															
CORREA DE AJA															
MANGUERA DE ADMISION															
EXOSTO															
RADIADOR															
PATIN TENSOR CORREA															
VENTILADOR															
FUGAS DE ACEITE MOTOR															
FUGAS DE REFRIGERANTE															
NIVEL DE COMBUSTIBLE															
FILTROS DE AIRE INTERNO Y EXTERNO															
CABLES DE BATERIAS															
CABINA															
PUERTA															
ESPEJO CENTRAL CONVEXO															
ESPEJOS LATERALES															
ALARMA DE REVERSA															
LUCES DE TRABAJO															
VIDRIO FRONTAL															
VIDRIOS LATERALES															
VIDRIOS TRASEROS															
PITO															
CINTURON DE SEGURIDAD															
JOYSTICK DE MANDOS															
PALANCAS DE AVANCE															
ASIENTO EN BUEN ESTADO															
ESCALERAS Y PASAMOS															
PANEL DE CONTROL															
HOROMETRO															
TREN DE POTENCIA															
CARDAN DELANTERO															
CARDAN TRASERO															
LLANTAS DELANTERAS															
LLANTAS TRASERAS															
CRUCETAS EJE DELANTERO 4X4															
ROTULAS DE LA DIRECCION															
PERNOS LLANTAS DELANTERA															
PERNOS LLANTAS TRASERAS															
NIVEL DE ACEITE SERVOTRANSMISION															
FUGAS DE ACEITE DIFERENCIAL DELANTERA															
FUGAS DE ACEITE DIFERENCIAL TRASERA															
HIDRAULICO															
CILINDROS LEVANTE CUCHARON															
CILINDRO VOLTEO CUCHARON															
CILINDROS GIRO PLUMA															
CILINDROS ESTABILIZADORES															
CILINDRO BOOM															
CILINDRO BRAZO															
CILINDRO BALDE															
FUGAS BOMBA PRINCIPAL															
ESTADO FISICO DE MANGUERAS HIDRAULICAS															
PASADORES (BOOM, BRAZO, BALDE, CUCHARON)															
CONTROL DE HUMO (TUBO DE ESCAPE)															
OTROS															
KIT AMBIENTAL (Balde, guantes, palin, estopa, bolsa roja, verde, negra)															
DOCUMENTACION															
EXTINTOR MULTIPROPOSITO (20 LB)															
BOTIQUIN															
EL EQUIPO SE ENCUENTRA EN CONDICIONES ESTANDAR PARA SU OPERACIÓN Vº.															
NOTA IMPORTANTE: La inspección preoperacional debe realizarla UNICAMENTE por el OPERADOR de la maquina y cualquier anomalia informar al departamento de mantenimiento .															
OBSERVACIONES															
Firma del Operador								Firma supervisor de mantenimiento							

6. CONCLUSIONES

- La metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM es una herramienta que ayuda a identificar los sistemas críticos para el proceso de mantenimiento de maquinaria amarilla ayudando a detección de modos de falla, su impacto operacional, económico, ambiental y de seguridad del personal operativo y de mantenimiento.
- Los procedimientos de mantenimiento correctivo en excavadoras y retro cargadores que son utilizados para obras civiles representan tiempos muertos que generan pérdidas a la organización por lo tanto la mitigación de estos representa una mayor rentabilidad, cumplimiento y reducción de riesgos y en este ejercicio representan cerca de 100 a 250 horas de trabajo para una máquina que trabaja en promedio 1500 horas al año.
- Si no se realiza un correcto mantenimiento preventivo las fallas se pueden convertir en críticas por su aumento en la frecuencia ya que las consecuencias de fallas generan tiempo muerto elevado por su mantenimiento, desplazamiento y también el tiempo de consecución de los repuestos que al tener una rotación con alto nivel de incertidumbre y su costo elevado no es viable tenerlo en almacén a menos que sea requerido.
- Los factores operacionales que afectan los equipos son los terrenos de difícil acceso y los desplazamientos largos que en algunos casos requieren un transporte adicional para la máquina.
- La hoja de decisión RCM ayuda a tener una evaluación de cada sistema, sus funciones, sus modos de falla y efectos lo que representa un estudio

adecuado de tareas para mitigar o reducir los riesgos de falla de las maquinas en operación.

- Las actividades de rutina pre operacionales son importantes ya que se involucra de manera activa tanto al personal operativo como técnico en la optimización de recursos y reducción de fallas que son de beneficio para toda la organización.

BIBLIOGRAFIA

BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento preventivo, Colombia, 2013. p. 4-11

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

CLUB ENSAYOS, Sistema eléctrico motores diésel [citado en septiembre de 2016] disponible en:

<https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Sistema-Electrico-Motores-Diesel/70242.html>

INTERSEAL, Pistones radiales [citado en agosto de 2016] disponible en:

<http://www.interseal.com/index.php/pistones-radiales>

JARAMILLO, Julian. Filosofía, gestión tecnológica y teoría de la predicción pag 5, Colombia, 2015

LAS PALMAS TECNOLOGIA, Sistemas de lubricación [citado en junio del 2016] disponible en:

<http://laspalmastecnologica.blogspot.com.co/2015/03/motores-tema-53-sistemas-de-lubricacion.html>

MECANISMOS DIESEL, Sistemas de admisión y escape [citado en agosto de 2016] disponible en:

<http://www.mecanismosdiesel.com/sistema-de-admision-y-escape/>

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, pág. 19-21 20 buenos aires: Ellmann, 2004. p. 9-175

Ortiz Plata, Daniel. Principios de mantenimiento. Colombia, Ortiz Ruiz consultores, 2015

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

VOLVO, Manual de taller EC 210B edición 1, elanders novum, goteborg, 2002, p 4: 1-23