

ANÁLISIS TÁCTICO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(RCM) APLICADO A LA FLOTA RETROEXCAVADORAS 345 CATERPILLAR EN
LA MINA DRUMMOND

JUAN ANTONIO ÁVILA VILLAMIL
LUIS FERNANDO GÓMEZ VELÁSQUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

ANÁLISIS TÁCTICO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(RCM) APLICADO A LA FLOTA RETROEXCAVADORAS 345 CATERPILLAR EN
LA MINA DRUMMOND

JUAN ANTONIO ÁVILA VILLAMIL
LUIS FERNANDO GÓMEZ VELÁSQUEZ

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

Director
OSCAR GALINDO GÁMEZ
Magíster en Ingeniería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la sabiduría y constancia para sacar adelante esta meta.

A nuestras familias por todo el apoyo brindado.

A la Universidad Industrial de Santander por acogernos en sus aulas y darnos la oportunidad de alcanzar esta meta.

A nuestros profesores, por los conocimientos impartidos.

A nuestro director de tesis, Oscar Galindo Gámez.

A nuestros compañeros de clase por los grandes momentos compartidos.

DEDICATORIAS

Primero gracias a Dios por darme la sabiduría y el entendimiento para cumplir mis metas.

A mi madre que me ha apoyado todos estos años, fiel amiga y consejera. Clara Isabel Velásquez.

A mi esposa por su amor, apoyo y comprensión. María Fernanda Navarro.

Luis Fernando Gómez Velásquez

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 19 |
| 1. DRUMMOND COLOMBIA | 20 |
| 1.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA COMPAÑÍA | 21 |
| 1.2. MISIÓN DE LA COMPAÑÍA | 23 |
| 1.3. VISIÓN DE LA COMPAÑÍA | 23 |
| 1.4. OBJETIVOS DE LA COMPAÑÍA | 23 |
| 1.5. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO MÓVIL | 24 |
| 1.5.1. Departamento de Mantenimiento de Camiones | 26 |
| 1.5.2. Departamento de Mantenimiento de Cargadores | 27 |
| 1.5.3. Departamento de Mantenimiento Equipo Liviano y Lubricación | 29 |
| 1.5.4. Departamento de Mantenimiento de Tractores y Excavadoras | 30 |
| 1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 31 |
| 1.7. OBJETIVOS | 33 |
| 1.7.1. Objetivo General | 33 |

| | |
|---|----|
| 1.7.2. Objetivos Específicos. | 33 |
| 1.8. JUSTIFICACIÓN | 33 |
| 2. MARCO CONCEPTUAL | 35 |
| 2.1. EL CAMBIANTE MUNDO DEL MANTENIMIENTO | 35 |
| 2.2. LA PRIMERA GENERACIÓN | 36 |
| 2.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) | 39 |
| 2.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EXCAVADORA 345 CATERPILLAR | 51 |
| 2.4.1. Sistemas representativos | 53 |
| 3. APLICACIÓN RCM AL MOTOR ACER C13 CATERPILLAR | 63 |
| 3.1. METODOLOGÍA DE RCM Y NORMA SAE JA 1011 Y JA 1012 | 63 |
| 3.2. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO | 64 |
| 3.2.1. Acta de constitución del grupo de trabajo | 65 |
| 3.2.2. Conformación del grupo de trabajo. | 66 |
| 3.2.3. Facilitadores | 67 |
| 3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN | 68 |
| 3.3.1. Sistema de información de mantenimiento | 68 |
| 3.3.2. Recolección de información | 70 |
| 3.3.3. Inventario de excavadoras 345 CATERPILLAR | 74 |

| | |
|---|----|
| 3.4. INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS ESTADISTICAS | 75 |
| 3.4.1. Tratamiento de la información recolectada | 75 |
| 3.4.2. Gráfico de fallos | 76 |
| 3.4.3. Análisis de costos por cambio de componentes mayores en las excavadoras 345 CATERPILLAR | 77 |
| 3.4.4. Conclusiones del análisis estadístico | 80 |
| 3.5. VALIDACIÓN DE DATOS PARA RCM | 80 |
| 3.5.1. Estructura jerárquica de sistemas excavadora CATERPILLAR 345 | 80 |
| 3.5.2. Nivel de estudio del análisis RCM | 82 |
| 3.5.3. Diagrama de Ishikawa | 83 |
| 3.5.4. Análisis del modo, efecto y criticidad (FMECA) | 84 |
| 3.5.5. Análisis funcional | 85 |
| 3.5.6. Fallos funcionales | 86 |
| 3.5.7. Modos de fallas | 86 |
| 3.5.8. Efectos de fallas | 86 |
| 3.5.9. Consecuencia modo de fallos | 87 |
| 3.5.10. Árbol lógico de decisiones | 90 |
| 4. CONCLUSIONES | 92 |

BIBLIOGRAFÍA

93

ANEXOS

95

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. DRUMMOND MINING COLOMBIA | 20 |
| Figura 2. Puerto DRUMMOND | 20 |
| Figura 3. Organigrama flota de equipo móvil DRUMMOND LTD | 24 |
| Figura 4. Talleres mina El Descanso | 25 |
| Figura 5. Mina Pribbenow | 25 |
| Figura 6. Área talleres Pribbenow | 25 |
| Figura 7. Camión CATERPILLAR 793D | 27 |
| Figura 8. Cargador CATERPILLAR 992C | 28 |
| Figura 9. Motoniveladora CATERPILLAR 24M | 28 |
| Figura 10. Camión Kodiak de Lubricación | 29 |
| Figura 11. Tractor CATERPILLAR D11R | 30 |
| Figura 12. Excavadora CATERPILLAR 345 | 31 |
| Figura 13. MTBS-MTTR 345/2016 | 34 |
| Figura 14. Expectativas de mantenimiento crecientes | 38 |
| Figura 15. Cambio de técnicas de mantenimiento | 38 |
| Figura 16. Diferentes puntos de vista de la falla | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 17. La perspectiva tradicional de la falla | 49 |
| Figura 18. Seis patrones de falla | 50 |
| Figura 19. Especificaciones | 52 |
| Figura 20. Motor C13 | 53 |
| Figura 21. Excavadora | 55 |
| Figura 22. Tren de rodaje | 57 |
| Figura 23. Estructura | 58 |
| Figura 24. Brazo excavadora | 60 |
| Figura 25. Cuchara excavadora | 61 |
| Figura 26. Grupo de trabajo RCM | 64 |
| Figura 27. Acta constitución grupo de trabajo RCM | 65 |
| Figura 28. Reunión grupo de trabajo | 66 |
| Figura 29. Competencias que debe tener un facilitador | 67 |
| Figura 30. Registro de fallos de la máquina. | 69 |
| Figura 31. Sistema de información de mantenimiento PeopleSoft ORACLE | 69 |
| Figura 32. Fuentes de información | 71 |
| Figura 33. Reunión grupo de trabajo RMC | 71 |
| Figura 34. Formato recolección de información | 72 |
| Figura 35. Análisis de falla de motor | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 36. Población excavadora 345 CATERPILLAR mina DRUMMOND | 74 |
| Figura 37. Registro de fallos | 75 |
| Figura 38. Diagrama de Pareto de fallas excavadora 345 CATERPILLAR | 76 |
| Figura 39. Grafico costos cambio de componentes vs Causa de fallas | 79 |
| Figura 40. Estructura jerárquica de sistemas excavadora CATERPILLAR 345 | 81 |
| Figura 41. Nivel del análisis | 82 |
| Figura 42. Diagrama de Ishikawa | 83 |
| Figura 43. Árbol lógico | 91 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Costo por cambio de componentes mayores | 77 |
| Tabla 2. Causa de las fallas de los motores | 78 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo A. FMCA Excavadora 345 CATERPILLAR | 95 |
| Anexo B. Selección del sistema | 96 |
| Anexo C. Características técnicas | 96 |
| Anexo D. Análisis funcional | 98 |
| Anexo E. Fallas funcionales | 99 |
| Anexo F. Causas o factores de falla | 99 |
| Anexo G. Efectos de fallas | 101 |
| Anexo H. Calificación consecuencia modo de fallos y severidad | 102 |
| Anexo I. Numero de prioridad de riesgo (RPM) | 103 |
| Anexo J. Actividades de mantenimiento a realizar | 104 |

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS TÁCTICO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) APLICADO A LA FLOTA RETROEXCAVADORAS 345 CATERPILLAR EN LA MINA DRUMMOND*

AUTORES:

JUAN ANTONIO ÁVILA

LUIS FERNANDO GÓMEZ VELÁSQUEZ**

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), *Kpi's*, *target*, *Dealer*,

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Este proyecto surge a raíz de la necesidad evidenciada al confrontar el comportamiento de los indicadores de mantenimiento (Kpi's) resultantes del modelo y técnica de mantenimiento aplicado a la flota Retroexcavadoras 345 CATERPILLAR EN LA MINA DRUMMOND, contra los target establecidos dentro del departamento de mantenimiento de equipo móvil. Los resultados de esta comparación indican que existe una ventana de mejora significativa que contribuiría en alcance de los objetivos de producción planteados por la compañía

Este análisis táctico fue desarrollado de acuerdo a los lineamientos establecidos por la metodología RCM, En el desarrollo de este análisis se contó con la participación de facilitadores (autores), delegado del departamento de planeación, representante del Dealer (Relianz), supervisores del área, personal técnico, y operarios. Esto permitió contar con información de primera mano sobre indicadores (Kpi's), información detallada de los programas de mantenimiento aplicados actualmente, información técnica, y tecnológica detallada del equipo, además de la experiencia del personal involucrado día a día con el mantenimiento y la operación.

Producto de este análisis se obtuvo información clara, detallada y organizada del equipo, del entorno de operación, y de las normativas aplicables. Dentro de los datos recopilados encontramos: Funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla, consecuencias de la falla etc... Esto nos permite tener una visión privilegiada sobre las técnicas de mantenimiento más pertinentes para ser aplicadas en cada componente o sistema del equipo estudiado

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director Ingeniero Oscar E. Galindo Gámez

SUMMARY

TITLE:

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) TACTICAL ANALYSIS APPLIED TO THE FLEET BACKHOES 345 CATERPILLAR AT THE DRUMMOND MINE*

AUTHOR(S):

JUAN ANTONIO ÁVILA

LUIS FERNANDO GÓMEZ VELÁSQUEZ**

KEY WORDS: Reliability Centred Maintenance (RCM), Kpi's, target, Dealer,

DESCRIPTION AND CONTENT:

This project arises from the need evidenced when confronting the behavior of the maintenance indicators (Kpi's) resulting from the model and technique of maintenance applied to the fleet Backhoes 345 CATERPILLAR AT THE DRUMMOND MINE, against the targets established within the maintenance department of Mobile Equipment. The results of this comparison indicate that there is a significant improvement window that would contribute to the achievement of the company's production objectives.

This tactical analysis was developed according to the guidelines established by the RCM methodology. In the development of this analysis, we had the participation of facilitators (authors), delegate of the planning department, Dealer representative (Relianz), area supervisors, Technical personnel, and operators. This allowed for first-hand information on indicators (Kpi's), detailed information on the maintenance programs currently applied, detailed technical and technological information of the equipment, as well as the experience of the personnel involved in maintenance and operation on a day-to-day basis.

The product of this analysis was clear, detailed and organized information of the equipment, the operating environment, and the applicable regulations. Within the collected data we found: Functions, functional faults, failure modes, fault effects, consequences of failure etc. This allows us to have a privileged view on the most pertinent maintenance techniques to be applied in each component or system of the equipment studied.

* Monograph

** Faculty of Mechanical Engineering Physics. Specialization in Maintenance Mngement.

Director: Ingeniero Oscar E. Galindo Gámez

INTRODUCCIÓN

A continuación se muestra un esquema general de cómo está establecido el trabajo:

En referencia, basados en los datos publicados por el portal web [indexmundi](http://www.indexmundi.com)¹ se observa que en los últimos cinco años la cotización del carbón colombiano en los mercados internacionales ha presentado variaciones considerables con tendencia a la baja acentuándose en febrero del año 2106 año en el cual la caída acumulada desde el 2012 represento un 59,65% de disminución del precio de este mineral.

Pasó de (81,13 a 41,38) USD/Tm respectivamente, entre los meses de marzo y diciembre de 2016 el precio presento una significativa recuperación. Pero a futuro, se espera que los precios presentaran nuevamente variaciones con tendencia negativa. Esta volatilidad en los precios del carbón imprime gran estrés en las finanzas de las compañías extractoras, obligándolas a reestructurar su esquema de gastos e inversión, a la vez las obliga hacer más eficientes en todos sus procesos.

En una primera parte la monografía establece que uno de los procesos clave para que las empresas garanticen la continuidad en el mercado es el mantenimiento. Por esta razón, estas están abocadas al desarrollo de estrategias de mantenimiento que les permitan a los activos físicos continuar haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan de forma plena y confiable. A su vez que estos programas sean lo suficientemente esbeltos para que sus costos puedan ser sostenidos cuando las condiciones de flujo de ingresos se encuentren disminuidas.

Esta monografía desarrolla textos informativos y herramientas para la estructuración del programa de mantenimiento de los motores ACER/C13 de la flota de Excavadoras 345 Caterpillar en la mina DRUMMNOD LTD, que sea costo efectivo en el rango financiero y productivo en el cual se desarrolla el negocio de la minería en Colombia.

El presente documento lista las tareas y frecuencias para cada uno de los modos de fallas en los componentes del motor ACER/C13 Caterpillar, y determina cual es la estrategia de mantenimiento pertinente a ser aplicada. Existen un gran número de autores que han escrito sobre el tema, por lo que el número de definiciones sobre el tema es muy diverso. Para finalizar se presenta una conclusión que resume los puntos básicos para la consecución de los objetivos propuestos en el análisis táctico basado en la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Este trabajo de grado representa el requisito concluyente a la formación como aspirante al título de gerencia en mantenimiento y su aprobación viene a convertirse en un requerimiento necesario para el otorgamiento de dicho grado.

¹Carbón colombiano Precio Mensual - Dólares americanos por tonelada métrica [en línea]. Indexmundi [citado 07 abril,. 2017]. Disponible en Internet: URL: <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=carbon-colombiano&meses=60>

1. DRUMMOND COLOMBIA

Figura 1. DRUMMOND MINING COLOMBIA



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. ¿Quiénes Somos ?. [En línea]. [Consultado el: 17 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.drummondltd.com/nuestras-operaciones/>

Drummond opera en los departamentos del Cesar y Magdalena en Colombia, tiene como objetivo esencial la exploración, explotación, transporte y exportación de carbón.

Las minas Pribbenow y El Descanso están ubicadas en el centro del departamento del Cesar y con el carbón que allí se explota, satisface las necesidades energéticas en más de 24 países. Tiene la capacidad para mezclar carbón de depósitos diferentes, garantizando productos consistentes y de alta calidad, con reservas totales de carbón de más de 2 mil millones de toneladas.

Figura 2. Puerto DRUMMOND



Fuente: Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. ¿Quiénes Somos ?. [En línea]. [Consultado el: 17 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.drummondltd.com/nuestras-operaciones/>

Adicional a la operaciones mineras en el Cesar, cuenta con Puerto Drummond, un puerto marítimo de aguas profundas en el mar Caribe, ubicado en Ciénaga, departamento de Magdalena. El carbón se transporta directamente desde las minas hasta este puerto, a lo largo de 193 kilómetros de vía férrea administrada por Fenoco.

1.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA COMPAÑÍA

Durante la década de los 80, Drummond Company Inc. evaluó diferentes alternativas de inversión en proyectos carboníferos en varios países del mundo, tanto en el mercado del Pacífico como del Atlántico. Finalmente, en 1987, basándose en factores como el recurso humano, la geología, la

tecnología, el acceso al mercado y la sostenibilidad ambiental, consideró a Colombia como la mejor opción.

Drummond Company Inc. constituyó Drummond para el desarrollo de sus proyectos en Colombia y obtuvo, a través de esta sucursal, los derechos para la exploración, explotación y exportación de carbón localizado en el departamento del Cesar, específicamente en el área comprendida entre los municipios de El Paso, La Jagua de Ibirico y Chiriguaná. Esta zona se denominó Mina Pribbenow, también conocida como Proyecto Carbonífero La Loma.

A comienzos de los 90, Drummond realizó los trabajos de exploración de este proyecto, así como estudios socioeconómicos y ambientales en los municipios de influencia. Estas investigaciones permitieron conocer los perfiles de la población en edad de trabajar y la situación social y económica de sus habitantes. Igualmente, se determinaron condiciones del aire, del agua, de la flora y de la fauna de la región, con el fin de protegerlos o recuperarlos.

En 1995 comenzó la producción y exportación de carbón y desde entonces la presencia de Drummond ha sido importante para la economía regional y nacional. Con el inicio de la producción, la compañía emprende un proceso de mejoramiento continuo y expansión de las operaciones mineras, férreas y portuarias. En 2009 inició la explotación de su segundo proyecto, El Descanso. De hecho, Drummond hoy cuenta con cerca de 2.000 millones de toneladas de reservas en los proyectos La Loma, El Descanso, Rincón Hondo, Similoa y Cerrolargo, los tres últimos en proceso de licenciamiento ambiental.

Paralelo al desarrollo minero está la exploración y desarrollo de proyectos de gas metano asociado a fuentes no convencionales (carbón y gas de esquisto). La compañía cuenta con dos contratos para el desarrollo de este hidrocarburo, uno en el departamento del Cesar y el otro en La Guajira, en asocio con Ecopetrol.

En 2016, Drummond exportó aproximadamente 32.6 millones de toneladas de carbón a clientes en más de 24 países en todo el mundo y actualmente cuenta con un sistema de cargue directo en Puerto Drummond.

1.2. MISIÓN DE LA COMPAÑÍA

Explotación y comercialización de carbón de alta calidad y más bajo precio en el mundo, con respeto al medio ambiente, al recurso humano y a la comunidad de influencia.

1.3. VISIÓN DE LA COMPAÑÍA

Ser el productor de carbón a largo plazo, más seguro, confiable, productivo y a bajo costo en el mundo, con altos estándares de seguridad, salud, medio ambiente, desarrollo sostenible, y con responsabilidad social.

1.4. OBJETIVOS DE LA COMPAÑÍA

Ser líder en la industria minera en cuanto sus operaciones y relaciones con las comunidades con las cuales estamos involucrados.

Establecer mejoras tecnológicas con el fin de realizar nuestra actividad minera de manera eficiente, segura y con el menor impacto ambiental posible.

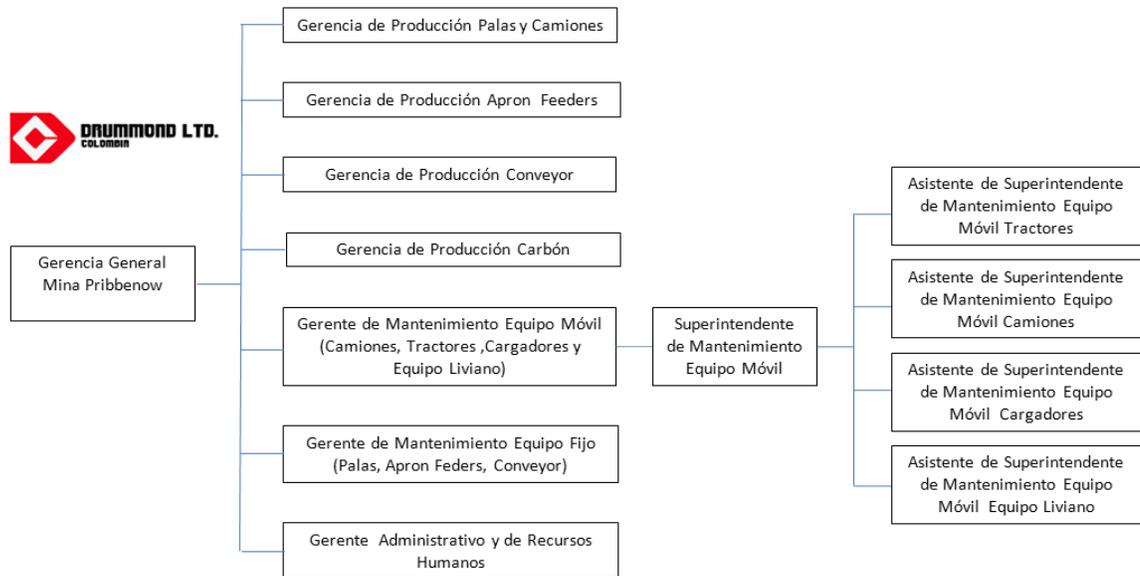
Garantizar el cumplimiento de la legislación aplicable ambiental, de seguridad y salud en el trabajo, las obligaciones establecidas por las autoridades reguladoras.

Evaluar periódicamente los programas establecidos para verificar su ejecución, medir su efectividad y definir así opciones de mejoras.

1.5. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO MÓVIL.

El Departamento de Mantenimiento Equipo Móvil de la Mina Pribbenow y Descanso se encargan de mantener las flotas de equipos Caterpillar en su gran mayoría, se clasifican en el departamento de mantenimiento de equipos pesados Camiones, Tractores y Cargadores, también se encarga del mantenimiento de Equipo Liviano y Lubricación. Los talleres de mantenimiento se encuentran ubicados en la misma área dentro de la mina

Figura 3. Organigrama flota de equipo móvil DRUMMOND LTD.



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Guía de procesos. Bogotá: La compañía. 2015.

Figura 4. Talleres mina El Descanso



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. ¿Quiénes Somos ?. [En línea]. [Consultado el: 17 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.drummondLtd.com/nuestras-operaciones/>

Figura 5. Mina Pribbenow



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. ¿Quiénes Somos ?. [En línea]. [Consultado el: 17 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.drummondLtd.com/nuestras-operaciones/>

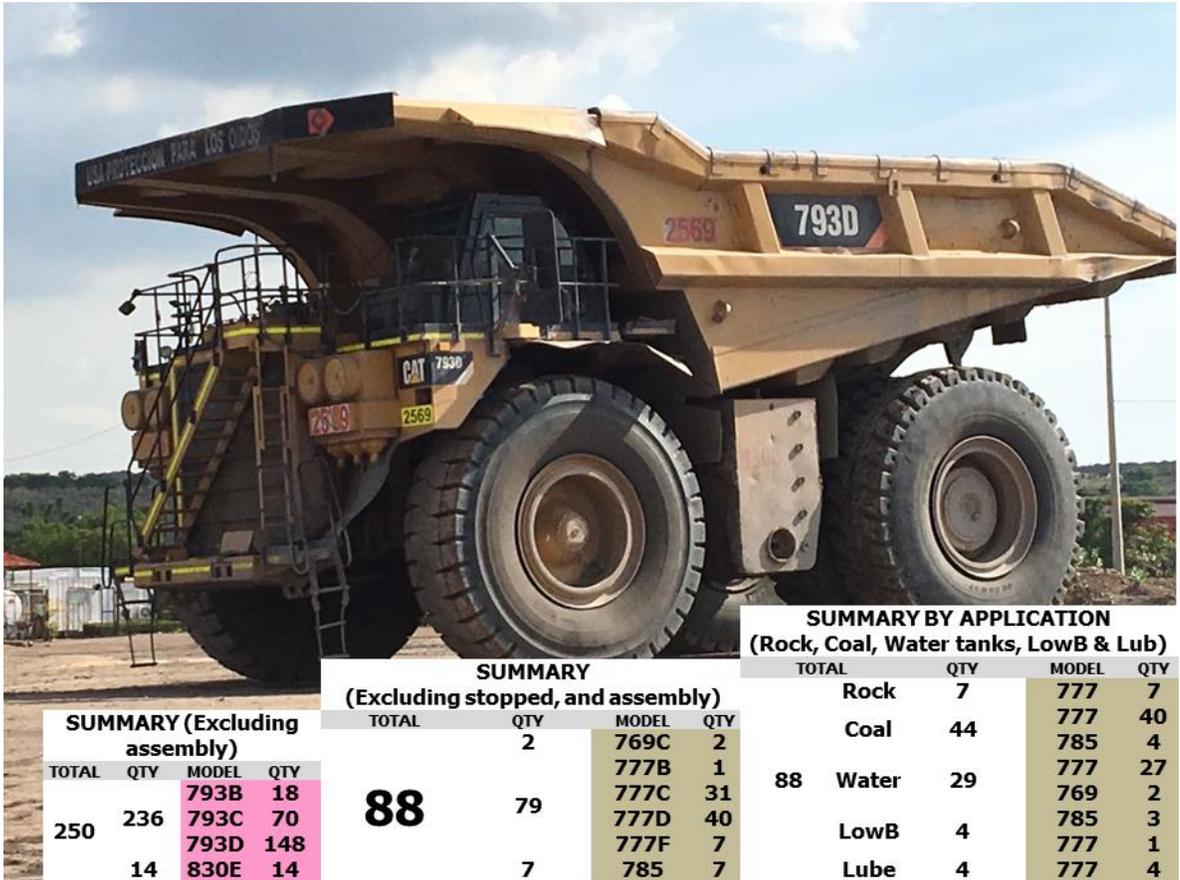
Figura 6. Área talleres Pribbenow



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. ¿Quiénes Somos ?. [En línea]. [Consultado el: 17 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.drummondLtd.com/nuestras-operaciones/>

1.5.1. Departamento de Mantenimiento de Camiones. El departamento de mantenimiento de Camiones presta servicio a los camiones de acarreo de material estéril y de carbón modelos 793, 785 y 777 de Caterpillar y Komatsu 830E, Tanqueros modelo 777, Camiones de Lubricación modelo 777 y Camabajas.

Figura 7. Camión CATERPILLAR 793D



1.5.2. Departamento de Mantenimiento de Cargadores. El departamento de Mantenimiento de cargadores maneja todos los equipos Caterpillar que ruedan sobre llantas exceptuando camiones, dentro de los tipos de equipos más representativos están los Cargadores Modelo 998, 992, Tractores de llanta 834, las motoniveladoras 24 M y H, 16 M y H, Camiones articulados modelo D250.

Figura 8. Cargador CATERPILLAR 992C



Figura 9. Motoniveladora CATERPILLAR 24M



1.5.3. Departamento de Mantenimiento Equipo Liviano y Lubricación. El departamento de mantenimiento de Equipo Liviano y Lubricación maneja todas las camionetas y camiones medianos que sirven de soporte para la operación de la mina y también se encarga de realizar todos los servicios de lubricantes a todos los equipos de la mina, en esta flota también se incluyen equipos de soporte como luminarias, compresores y generadores de energía diésel.

Figura 10. Camión Kodiak de Lubricación



1.5.4. Departamento de Mantenimiento de Tractores y Excavadoras. El departamento de mantenimiento tractores y Excavadoras maneja los modelos (D11R, D11T, D10R, D9L y D6) y excavadoras 345.

Figura 11. Tractor CATERPILLAR D11R



Figura 12. Excavadora CATERPILLAR 345



1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de la firma Drummond alcanzó los 32 millones de toneladas en 2016, lo que implicó un crecimiento del 10 % frente a las cifras reportadas un año atrás.

“En un mercado internacional complejo y con los retos que se presentaron en el entorno económico local, es satisfactorio para la compañía registrar una cifra récord en sus

exportaciones y que el carbón colombiano haya llegado a 24 países en 2016”, dijo José Miguel Linares, presidente de Drummond en el país.²

Se requiere gran competitividad para mantener estos resultados. Según el artículo “El cambiante mundo de la energía” publicado en el portal web de PB

Se anticipa que la economía mundial al menos se duplique en los próximos 20 años

La demanda mundial de energía se espera que crezca en un 30%.

El mercado se reajustara gradualmente, ya que tanto la oferta y la demanda responden a bajar los precios del petróleo.

Diversa mezcla de combustibles y tecnologías necesarias para satisfacer la demanda y las preocupaciones sobre el cambio climático.³

En este artículo también se presenta una proyección de la mezcla de fuentes utilizadas para producir energía, presentando para nuestro interés una reducción en la utilización del carbón.

De lo mencionado anteriormente es de resaltar la presión del mercado hacia la baja en los precios de los hidrocarburos, y la proyección de la disminución de la participación del carbón en la producción de energía a nivel mundial.

Por este motivo las empresas están obligadas a desarrollar producciones limpias y altamente eficientes.

En este contexto es necesario identificar oportunidades de mejora, dentro de estas encontramos los indicadores mantenimiento de las excavadoras 345 Caterpillar cuyos registros se encuentran por debajo de los target establecidos por la compañía.

² Producción de Drummond aumentó 10 [en línea]. El colombiano [citado 18 abril,. 2017].

Disponible en Internet: URL: <http://www.elcolombiano.com/negocios/empresas/drummond-elevo-10-su-prod>

³BP Energy Outlook. 2017 edition [en línea]. British Petroleum [citado 18 abril,. 2017]. Disponible en Internet: URL <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo General. El objetivo es analizar la estrategia Táctica de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) aplicado a los motores ACER/C13 de la flota de Excavadoras 345 Caterpillar en la mina Drummond.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- Fundamentar los conceptos estructurales de la metodología de RCM.
- Describir los factores técnicos y funcionales de los sistemas que componen de la retroexcavadoras 345 CAT.
- Analizar mediante la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) el sistema motor de la retroexcavadora 345 CAT.
- Determinar las actividades de mantenimiento y frecuencias para cada uno de los modos de fallas del motor ACER/C13 Caterpillar.

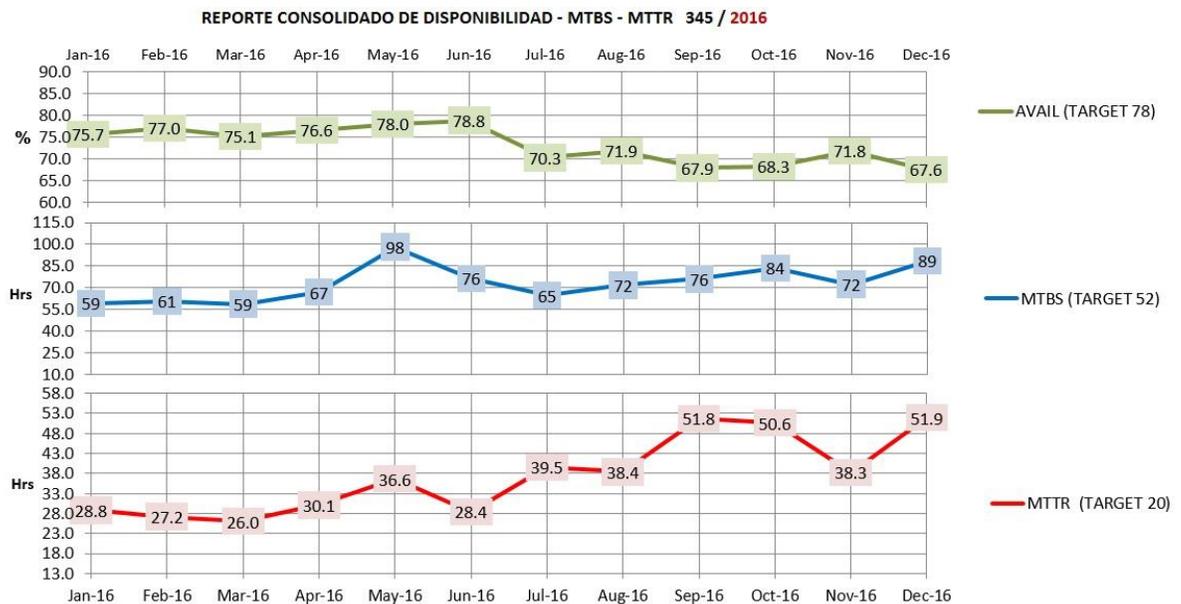
1.8. JUSTIFICACIÓN

Existen en este momento señales en el proceso productivo de Drummond Ltd que se hace imprescindible tomar en cuenta para aumentar la confiabilidad de la flota de retroexcavadoras. Actualmente se tiene una disponibilidad promedio de 73.25% en la flota y un MTBF (Mean time between failure) promedio de 66.8 Horas, la cual se ve reflejada de manera directa e indirecta en la producción diaria ya que estos equipos cumplen funciones de apoyo al proceso productivo como limpieza de área de extracción, Mantenimiento de Vías y Soporte en áreas de producción.

Ante tales tendencias, se impone la necesidad realizar el Análisis Táctico de mantenimiento centrado en confiabilidad, que pueda garantizar una disponibilidad del 78% de la flota. Siendo esta de gran importancia para la extracción de Carbón mineral según las metas establecidas por el departamento de ingeniería de producción.

Con este trabajo de enfoque Técnico busca generar propuestas perenne que optimice en Mantenimiento de equipos, mejorando la confiabilidad, para minimizar paradas imprevistas que pueden provocar costos adicionales.

Figura 13. MTBS-MTTR 345/2016



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Reporte de gestión. Bogotá: La compañía. 2016.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. EL CAMBIANTE MUNDO DEL MANTENIMIENTO

Durante los últimos veinte años, el Mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos 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 estas 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, y 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 computarizado.

Frente a esta sucesión de grandes cambios, los gerentes en todo el mundo están buscando un nuevo acercamiento al Mantenimiento. Quieren evitar arranques fallidos y callejones sin salida que siempre acompañan a los grandes cambios. Buscan en cambio una estructura estratégica que sintetice

los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía⁴

Desde la década del '30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones. El RCM está tomándose rápidamente en la piedra fundamental de la Tercera Generación, pero esta generación sólo se puede ver en perspectiva, y a la luz de la Primera y Segunda Generación⁵

2.2. 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 era simple, y la gran mayoría estaban sobredimensionados. 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. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.

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 trabajadores industriales. Esto llevó a un aumento en la mecanización. Ya en los años '50 había aumentado

⁴ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2000. p. 1.

⁵ Ibid., p. 2

la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas. La industria estaba empezando a depender de ellas.

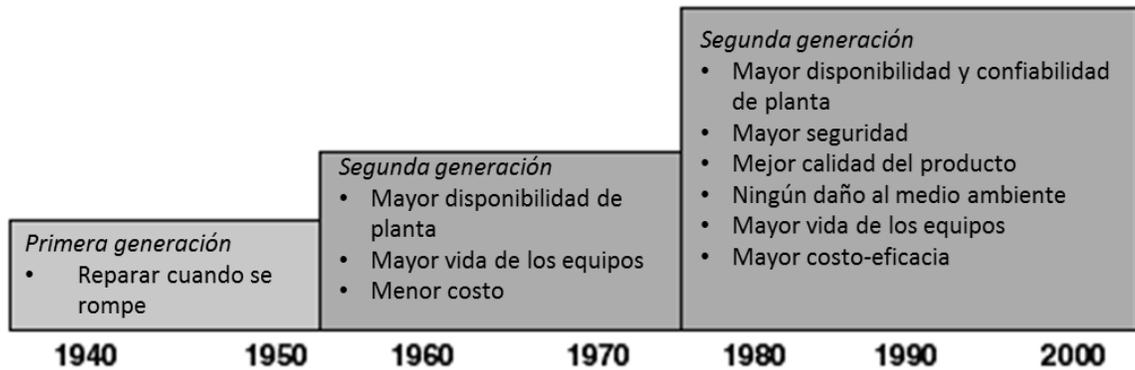
Al incrementarse esta dependencia, comenzó a concentrarse la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo. En la década del sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados.

El costo del mantenimiento comenzó a crecer rápidamente con relación a otros costos operacionales. Esto llevó al desarrollo 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 de ese capital, llevó a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos/ bienes⁶

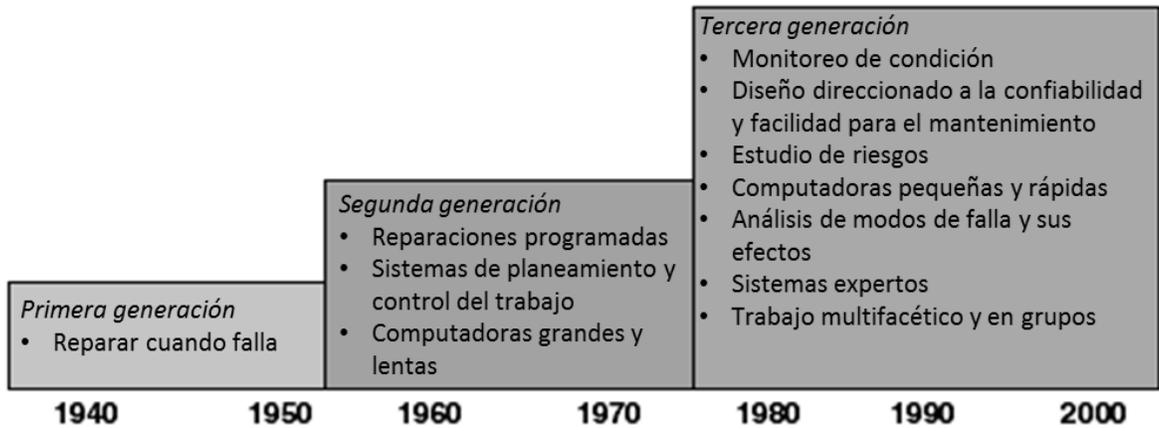
⁶ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2000. p. 2.

Figura 14. Expectativas de mantenimiento crecientes



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004.

Figura 15. Cambio de técnicas de mantenimiento



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004.

Nuevas Técnicas. Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos veinte años, y emergen aún más cada semana.

La Figura 16 muestra cómo ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas.

Los nuevos desarrollos incluyen:

Herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos, y sistemas expertos.

Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición.

Diseño de equipos, con un mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.

Un drástico cambio en el modo de pensar la organización hacia la participación, trabajo en grupo y flexibilidad.⁷

2.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Historia del RCM. El RCM encuentra sus raíces a principios de los años sesenta; inicialmente es desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana; el primer esfuerzo serio lo promulga la ATA (Air Transport Association) en Washington (USA) en 1968, conocido como informe MSG1; posteriormente actúa el departamento de defensa de USA y, por comisión, F. Stanley Nowlan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo bajo el nombre de Reliability Centered Maintenance en 1978 (publicación de United

⁷ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 5

Airlines por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos), que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento.

El estudio MSG2, primero, y el MSG3, promulgado en 1980, han permitido la divulgación de la metodología Moubray, 2004). El RCM se puede definir como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual (Moubray@, 2001).

La filosofía del RCM se fundamenta en:

- Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
- Identificación de los componentes críticos.
- Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
- Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional.

Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de las fallas de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo / beneficio (Jones, 1995).

El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y de la construcción de los

mismos. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga (Marks, 1997).

El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y de la construcción de los mismos. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga (Marks, 1997).

Los objetivos del RCM. Son los siguientes:

- Eliminar las averías de las máquinas.
- Suministrar fuentes de información de la capacidad de producción de la planta a través del estado de sus máquinas y equipos.
- Minimizar los costos de mano de obra de reparaciones, en base a un compromiso por parte de los responsables del mantenimiento en la eliminación de fallas de máquinas.
- Anticipar y planificar con precisión las necesidades de mantenimiento.
- Establecer horarios de trabajo más razonables para el personal de mantenimiento.
- Permitir a los Departamentos de Producción y de Mantenimiento una acción conjunta y sincronizada a la hora de programar y mantener la capacidad de producción de la planta.
- Incrementar los beneficios de explotación directamente mediante la reducción de los presupuestos del departamento de mantenimiento.⁸

Mantenimiento: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico

⁸MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Envigado: COLDI LTDA. 2015. p. 301, 302.

continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

RCM: Las siete preguntas básicas. El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?⁹

Funciones. Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por esto el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados.

Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

Funciones primarias. Que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como

⁹ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 7.

velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

Funciones secundarias. La cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta de apariencia del activo.¹⁰

Estándares de funcionamiento. El objetivo del mantenimiento es asegurarse que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. La magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo haga puede de finirse a través de un estándar mínimo de funcionamiento.

El funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos maneras:

- Funcionamiento deseado (lo que el usuario quiere que haga): Desempeño.
- Capacidad propia (lo que puede hacer).

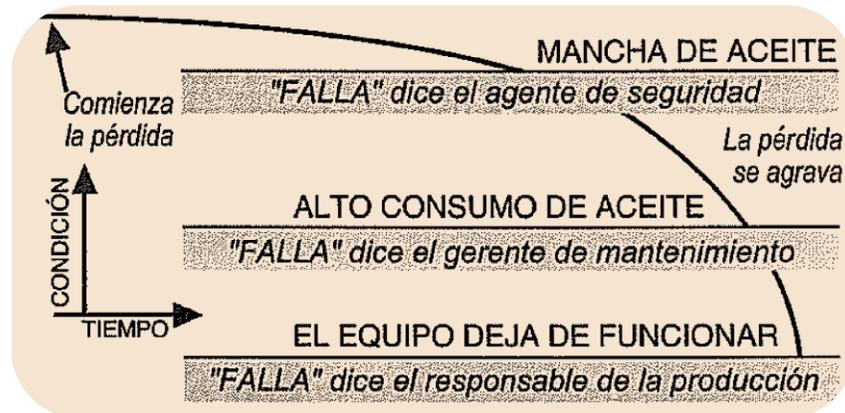
Cuando se está considerando la cuestión de la restauración se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La capacidad inicial de cualquier activo físico está establecida por su diseño y por cómo está hecho.
- El mantenimiento sólo puede restaurar al activo físico a su nivel de capacidad inicial no puede ir más allá.¹¹

¹⁰MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 8.

¹¹ Ibit., p. 23-25

Figura 16. Diferentes puntos de vista de la falla.



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004.

Este ejemplo ilustra tres puntos centrales:

- El estándar de funcionamiento utilizado para definir una falla funcional - en otras palabras el punto en que decimos "hasta aquí y no más" define el nivel de mantenimiento proactivo necesario para evitar esa falla (en o tras palabras, para mantener el nivel de funcionamiento requerido).
- Puede ahorrarse mucho tiempo y energía si se definen con claridad los estándares de funcionamiento antes de que se produzca la falla.
- Los estándares de funcionamiento utilizados para definir la falla deben ser establecidos por el personal de mantenimiento y de operaciones trabajando en conjunto con cualquier otra persona que tenga algo legítimo que decir acerca del comportamiento del activo.¹²

El contexto operacional también influye profundamente los requerimientos para las funciones secundarias.¹³

¹² MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p55.

¹³ Ibit., p. 29.

El contexto no solo afecta drásticamente las funciones y las expectativas de funcionamiento, sino que también afecta la naturaleza de los modos de falla que pueden ocurrir, sus efectos y consecuencias, la periodicidad con la que pueden ocurrir y qué debe hacerse para manejarlas.¹⁴

Fallas Funcionales Los objetivos de mantenimiento se definen por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo bajo consideración. Pero, ¿cómo lograr el mantenimiento de estos objetivos?

La única ocurrencia que es probable que deje de realizar cualquier activo con el estándar requerido por sus usuarios es algún tipo de fallo. Esto sugiere que el mantenimiento logra sus objetivos mediante la adopción de un enfoque adecuado para el tratamiento de la insuficiencia. Sin embargo, antes de poder aplicar una mezcla adecuada de herramientas de administración de fallas, necesitamos identificar lo que pueden producirse fallos. El proceso de RCM hace esto en dos niveles:

En primer lugar, mediante la identificación de qué circunstancias ascienden a un estado fallido a continuación.

En segundo lugar, preguntando qué eventos pueden causar que el activo entrar en un estado fallido.¹⁵

Análisis de Modos de Falla y sus Efectos Los modos de falla son los que causan el estado de falla en el equipo o los que inciden indirectamente para que este evento ocurra. La definición de los modos de falla consiste en establecer todas las fallas factibles reales o potenciales, o similares en equipos idénticos o afines. Se deben listar todas las factibles, con el fin de que

¹⁴ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 30

¹⁵ MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Envigado: COLDI LTDA. 2015. p.

al llevar a cabo las operaciones de mantenimiento se eliminen o se controlen, mediante su reparación o mantenimiento. Los modos de fallas pueden ser físicos, de desgaste, humano, etcétera. Se debe trabajar estrictamente con causas raíces y no con síntomas o efectos, ni con causas básicas ni inmediatas ya que ellas no erradican el problema. Se presta más relevancia a la falla en sí y a su modo de falla que a los eventos o circunstancias anexas. La nomenclatura de los modos de fallas se hace con números enteros.

Análisis de Modos de Falla y sus Efectos Los modos de falla son los que causan el estado de falla en el equipo o los que inciden indirectamente para que este evento ocurra. La definición de los modos de falla consiste en establecer todas las fallas factibles reales o potenciales, o similares en equipos idénticos o afines. Se deben listar todas las factibles, con el fin de que al llevar a cabo las operaciones de mantenimiento se eliminen o se controlen, mediante su reparación o mantenimiento. Los modos de fallas pueden ser físicos, de desgaste, humano, etcétera. Se debe trabajar estrictamente con causas raíces y no con síntomas o efectos, ni con causas básicas ni inmediatas ya que ellas no erradican el problema. Se presta más relevancia a la falla en sí y a su modo de falla que a los eventos o circunstancias anexas. La nomenclatura de los modos de fallas se hace con números enteros.

Clasificación de los modos de falla. Los modos de falla se pueden clasificar en:

- **Falla Completa** - Se pierde totalmente la funcionalidad del sistema o equipo.
- **Falla Parcial** - El sistema opera adecuadamente, pero con posibles restricciones.
- **Falla Intermitente** - La falla se presenta en forma discontinua en el tiempo, lo ideal es que falle permanentemente para evaluar sus posibles causas raíces.
- **Falla con el tiempo** - Sucede en elementos con el uso, el abuso, el desgaste, etc.

- Sobre desempeño de la función - El equipo se utiliza inadecuadamente por encima (o por debajo) de sus capacidades.¹⁶

Los efectos del fallo El cuarto paso en el proceso de la CRM implica efectos del fallo de la lista, que describen lo que sucede cuando se produce cada modo de fallo. Estas descripciones deben incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias del fallo, tales como:

- Lo que evidencia (si los hay) que se ha producido el fallo.
- De qué manera (si los hay) que representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué manera (si los hay) que afecta a la producción o de operaciones.
- Lo que el daño físico (si lo hay) es causado por la falla.
- Lo que se debe hacer para reparar la falla.¹⁷
- Consecuencias de las fallas.

Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones. También pueden afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Todas para ser reparadas tomarán tiempo y costarán dinero.¹⁸

¹⁶MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Envigado: COLDI LTDA. 2015. p. 245

¹⁷MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 10.

¹⁸ Ibid., p. 10.

El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, como sigue:

Consecuencias de las fallas ocultas: fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias graves, y hasta catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con dispositivos de protección que no son a prueba de fallos).

Consecuencias ambientales y de seguridad: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede herir o matar a alguien. Tiene consecuencias ambientales si se pudiera llevar a un incumplimiento de cualquier norma ambiental corporativa, regional, nacional o internacional.

Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción (producción, calidad, servicio al cliente o los costos de operación, además del coste directo de la reparación).

Consecuencias no operacionales: las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni la seguridad ni la producción, solo se relacionan con el costo directo de la reparación.¹⁹

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escaso efecto.

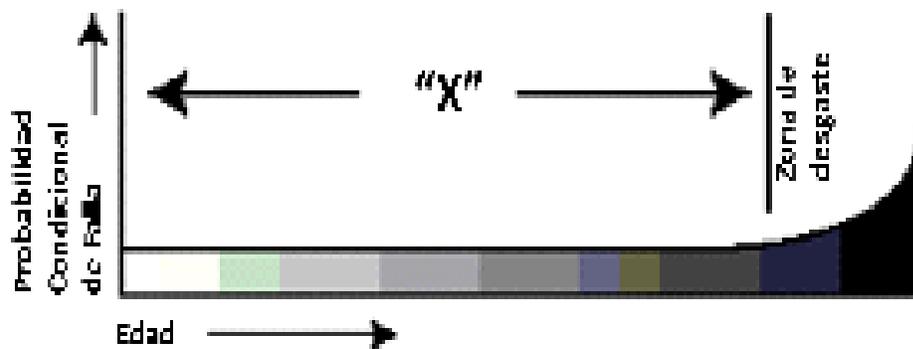
¹⁹ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2000 p. 10, 11.

También nos alienta a pensar de una manera más amplia acerca de diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarnos en prevenir fallas. Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías:

Tareas proactivas: estas tareas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento "predictivo" o "preventivo", aunque veremos luego que RCM utiliza los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.

Acciones a falta de: estas tratan directamente con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones "a falta de" incluyen búsqueda de falla, rediseñar, y mantenimiento a rotura.²⁰

Figura 17. La perspectiva tradicional de la falla.



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004.

²⁰ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 11.

La figura 18 se basa en la presunción de que la mayoría de los equipos operan confiablemente por un periodo "X", y luego se desgastan. El pensamiento clásico sugiere que los registros extensivos acerca de las fallas nos permiten determinar y planear acciones preventivas un tiempo antes de que ellas ocurran.

Este patrón es cierto para algunos tipos de equipos simples, y para algunos ítems complejos con modos de falla dominantes.

Sin embargo, los equipos en general son mucho más complejos de lo que eran hace veinte años atrás. Esto ha traído aparejado sorprendentes cambios en los patrones de falla, como lo muestra la figura 1.5. Los gráficos muestran la probabilidad condicional de falla en relación a la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos.²¹

Figura 18. Seis patrones de falla.



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Aladon LLC, 2004.

²¹ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 12.

Estudios realizados en aeronaves comerciales demostraron que un 4% de los elementos correspondían al patrón A, un 2% al B, un 5% al C, un 7% al D, un 14% al E, y no menos de un 68% al patrón F. (El número de veces que estos patrones ocurren en aeronaves no es necesariamente el mismo que en el área industrial, pero no cabe duda de que a medida que los elementos se hacen más complicados, encontramos más y más patrones E y F).²²

Acciones "a falta de".

RCM reconoce tres grandes categorías de acciones a falta de:

Búsqueda de fallas: las tareas de búsqueda de falla implican revisar las funciones periódicamente para determinar si han fallado (mientras que las tareas basadas en la condición implican revisar si algo está por fallar

Rediseñar: rediseñar implica hacer cambios de Única vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y también cubre los "cambios de una sola vez" a los procedimientos.

Mantenimiento no programado: como su nombre lo indica, aquí no se hace esfuerzo alguno en tratar de anticipar o prevenir los modos de falla a los que se aplica. De este modo se deja que la falla simplemente ocurra, para luego repararla. Esta tarea a falta de también es llamada mantenimiento correctivo o "a rotura".²³

2.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EXCAVADORA 345 CATERPILLAR

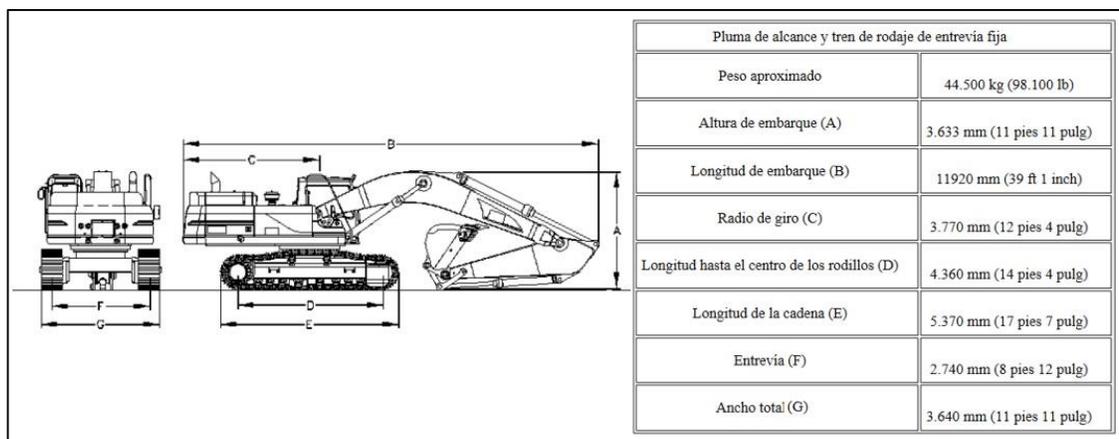
Esta máquina está diseñada para excavar con un cucharón o para trabajar con herramientas aprobadas. La máquina se debe operar con el tren de rodaje

²² MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 13.

²³ Ibit., p. 14, 15.

en posición fija ya que la superestructura normalmente tiene la capacidad para girar 360 grados con el equipo montado. Esta máquina se puede utilizar en aplicaciones de manipulación de objetos que estén dentro de la capacidad de levantamiento de la máquina. Cuando esta máquina se utiliza en aplicaciones de manipulación de objetos, utilice los puntos de levantamiento y los dispositivos de levantamiento aprobados.

Figura 19. Especificaciones



Fuente: CATERPILLAR. Información Industrial. [En línea]. [Consultado el: 18 de marzo de 2017]. Disponible en: http://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/excavators/large-excavators/1000007037.html

2.4.1. Sistemas representativos.

2.4.1.1. Motor C13 con Tecnología ACER.

Figura 20. Motor C13



Fuente: Fuente: CATERPILLAR. Información Industrial. [En línea]. [Consultado el: 18 de marzo de 2017]. Disponible en: http://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/excavators/large-excavators/1000007037.htm

Rendimiento. Los elementos clave de la tecnología ACERT son los sistemas de alimentación y de admisión de aire y el control electrónico – que aumentan la eficiencia energética y reducen el desgaste del motor.

Emisiones. La tecnología ACERT es una tecnología especial que reduce las emisiones en el punto de combustión. Esta tecnología aprovecha al máximo la experiencia de Caterpillar en tres sistemas fundamentales del motor: combustible, aire y sistemas electrónicos.

Sistema de combustible. El Motor C13 Cat® (Figura 22) se caracteriza por tener controles electrónicos para el sistema de inyección de combustible unitario activado mecánicamente (MEUI). El sistema MEUI proporciona la presión alta requerida para ayudar a reducir las emisiones de partículas y entregar mejor economía de combustible a través de una atomización de combustible más fina y una combustión más completa.

Controladores. El sistema de inyección de combustible unitario de accionamiento mecánico se caracteriza por ser un sistema de presión alta, que prueba la reducción significativa del consumo de combustible y la emisión de partículas. La Inyección Unitaria Electrónica (EUI) produce presiones altas y permite la integración de los circuitos electrónicos con menos componentes. El diseño modular del sistema de control electrónico garantiza la actualización, la flexibilidad, mejora la facilidad de servicio y disminuye los costos de reparación.

Controlador A4 ADEM™ del Motor. El módulo de control electrónico A4 ADEM™ administra el suministro de combustible para proporcionar el mejor rendimiento por litro o galón de combustible utilizado. El sistema de administración del motor hace posible una distribución flexible de combustible que le permite responder rápidamente a las necesidades variables de la aplicación. Este sistema hace seguimiento al estado del motor y de la máquina, y mantiene el motor funcionando a la eficiencia máxima.

Turbocompresor. El C13 Cat usa un turbocompresor de la válvula de derivación de gases de escape para proporcionar un mejor rendimiento.

Bajos niveles de ruido y vibración. Los montajes del motor son aisladores de caucho específicos para la unidad del motor, que proporcionan una reducción óptima del ruido y la vibración. Y se ha disminuido aún más el ruido mediante

cambios de diseño en la cubierta superior aislada, en el cárter de aceite, en la estrategia de inyección múltiple, la tapa de sincronización aislada y en el cárter.

Sistema de enfriamiento. El diseño de la 345D L separa completamente el sistema de enfriamiento del compartimiento del motor. El ventilador de enfriamiento es de impulsión hidráulica, con control de velocidad variable, basado en la temperatura del medio ambiente, la temperatura del refrigerante y la temperatura del aceite hidráulico. Esta característica única ayuda en la administración de la potencia del motor y mejora la eficiencia del ruido mientras proporciona óptimo enfriamiento.

2.4.1.2. Sistemas hidráulicos.

Figura 21. Excavadora



Sistema piloto. La bomba piloto es independiente de las bombas principales y controla el varillaje delantero, la rotación y el desplazamiento. La operación de la válvula de control piloto es proporcional al movimiento de la palanca de control.

Disposición de los componentes. La ubicación de los componentes y el diseño del sistema hidráulico proporcionan el nivel más alto de eficiencia del sistema. Las bombas principales, la válvula de control y el tanque hidráulico están ubicados lo más cerca posible unos de otros. Este diseño hace posible el uso de tuberías más cortas entre componentes, reduciendo las pérdidas por la fricción y las caídas de presión.

Sistema de detección hidráulico en cruz. El sistema de sensores hidráulicos usa cada una de las dos bombas hidráulicas a potencia plena del motor en todas las condiciones de operación. Esto mejora la productividad gracias a que aumenta la velocidad del implemento y permite hacer giros más rápidos y fuertes.

Circuitos de regeneración del brazo y de la pluma. Un circuito de regeneración del brazo, de operación hidráulica, ahorra energía y mejora el rendimiento de las funciones múltiples durante la operación de retracción del brazo. Nuevo en la 345DL (Figura 23), el circuito de regeneración de la pluma es de operación eléctrica y es administrado por el ECM de la máquina. El sistema mejora los tiempos de ciclo y la eficiencia de combustible, aumenta su productividad y reduce los costos de operación.

Prioridad de la pluma y del giro. El sistema hidráulico de la 345D L proporciona función de prioridad automática para las operaciones de subida y giro de la pluma, eliminando la necesidad de botones en la modalidad de trabajo. Cuando se activa la pluma o la palanca de giro, el sistema asigna automáticamente la prioridad basado en la demanda del operador.

Amortiguadores de cilindro hidráulicos. Los amortiguadores ubicados en el extremo del vástago de los cilindros de la pluma y en ambos extremos de los cilindros del brazo amortiguan los impactos y reducen los niveles de ruido, prolongando la vida útil de los componentes.

2.4.1.3. Tren de rodaje.

Figura 22. Tren de rodaje



Opciones de tren de rodaje. La cadena con dos pasadores de retención firme (PPR2) y ruedas guía fundidas están disponibles como accesorios en la 345D L. La cadena PPR2 evita que se afloje el pasador de cadena del eslabón, y la rueda guía fundida está diseñada para tener una vida útil prolongada. Ambas opciones son ideales para aplicaciones extremas o para aquellas que requieren una gran cantidad de desplazamiento.

Motores de desplazamiento. Los motores hidráulicos de pistón axial de dos velocidades proporcionan a la 345D L potencia de impulsión y selección de velocidades.

Circuito de desplazamiento en línea recta. El circuito de desplazamiento en línea recta se incorpora al sistema hidráulico, lo que mantiene el desplazamiento en línea recta en velocidad baja, aún si está en operación el varillaje delantero.

Mandos finales. Los mandos finales son del tipo de reducción planetaria de tres etapas. Este diseño resulta en una unidad completa de mando/freno.

Cadena. (Figura 24) La 345D L viene con una cadena lubricada de grasa como equipo estándar, llamada GLT4. Los eslabones de la cadena están ensamblados y sellados con grasa para disminuir el desgaste interno de los casquillos, reducir el ruido y prolongar su vida de servicio, reduciendo los costos.

Defensas de las cadenas. El protector de la rueda guía y los protectores de centro emperrados son equipo estándar en la máquina. Estos ayudan a mantener la alineación de la cadena durante el desplazamiento o en trabajos en pendientes.

2.4.1.4. Estructuras.

Figura 23. Estructura



Bastidor inferior. (Figura 25) La 345D L tiene opciones de dos trenes de rodaje para cumplir con los requisitos de transporte regional y las necesidades de la aplicación.

Entrevía fija para transporte por sitios angostos y áreas sensibles al peso.

Entrevía variable para aumentar el espacio libre entre la cadena y el suelo y el levantamiento sobre el lado.

Bastidor principal. Usa un diseño sin columnas que permite que el cojinete de giro pueda montarse directamente en la plancha superior para proporcionar mayor rigidez y resistencia.

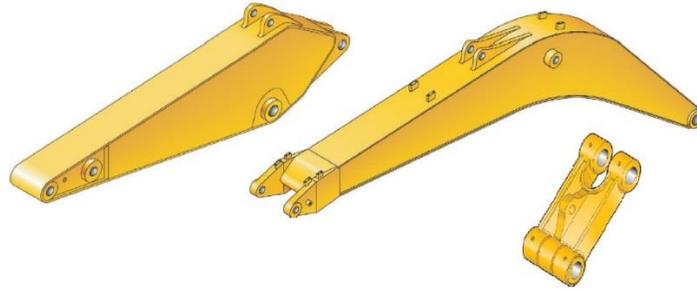
Superestructura. El bastidor principal de alta resistencia está diseñado para proporcionar máxima duración. El bastidor exterior utiliza rieles laterales curvados que aumentan la rigidez contra las cargas de flexión y torsión.

Contrapesos. La 345D L tiene varias opciones de contrapesos que aumentan la compatibilidad de la máquina a su aplicación.

Bastidor de rodillos inferiores. Tren de rodaje de entrevía fija, usa una sección pentagonal formada a presión para el bastidor de cadena. El bastidor de cadena se ha diseñado de modo que la parte superior del bastidor tiene un ángulo profundo para ayudar a evitar la acumulación de escombros y lodo.

2.4.1.5. Pluma, brazos y accesorios.

Figura 24. Brazo excavadora



Accesorios de varillaje delantero. (Figura26) Hay disponibles tres longitudes de plumas y cinco tipos de brazos, ofreciendo una gama de configuraciones disponibles para una amplia variedad de aplicaciones y condiciones.

Estructura de la pluma. Las plumas de la 345D L tienen secciones transversales grandes y planchas deflectoras internas para proporcionar larga vida útil.

Pluma. Está diseñada para proporcionar un conjunto equilibrado de alcance, fuerza de excavación y capacidad de cucharón, ideal en una gran variedad de aplicaciones.

Estructura del brazo. Los brazos de la 345D L se fabrican de acero de alta resistencia elástica, usando un diseño de sección de caja grande, planchas deflectoras interiores y un protector inferior adicional.

Eslabón hidráulico. El eslabón hidráulico de la 345D L mejora la duración, aumenta la capacidad de levantamiento de la máquina en las posiciones de

levantamiento clave y facilita su uso comparado con los diseños de barra de levantamiento anteriores.

2.4.1.6. Herramientas.

Figura 25. Cuchara excavadora.



Cucharones de servicio pesado. (Figura 27) Los cucharones de servicio pesado están diseñados para una amplia gama de aplicaciones moderadamente abrasivas, tales como tierra mezclada, arcilla y roca. Los cucharones de servicio pesado han optimizado las características de carga y descarga, y tienen un diseño más robusto que los cucharones de uso general.

Vida útil. Los cucharones Caterpillar aumentan la vida útil y reducen los costos de reparación.

El diseño de radio doble aumenta la vida útil y reduce el desgaste.

Soldadura robótica del conjunto de bisagras para mayor penetración de la soldadura y una vida útil más larga.

Incorpora el sistema de herramientas de corte K Series™, más agresivo y fácil de instalar.

Aceros de alta resistencia y con tratamiento térmico que exceden la calidad del acero T-1 en las áreas de desgaste alto.²⁴

²⁴ Sistemas y componentes [sis web cat]. CATERPILLAR [citado 18 enero,. 2017]. Disponible en Internet: URL <https://sisweb.cat.com/sisweb/servlet/cat.cis.sis.PController.CSSISConfigServlet>

3. APLICACIÓN RCM AL MOTOR ACER C13 CATERPILLAR

3.1. METODOLOGÍA DE RCM Y NORMA SAE JA 1011 Y JA 1012

Esta investigación se desarrolló utilizando como marco de referencia los criterios establecidos en la Norma SAE JA 1011 y JA 1012. Los cuales tienen como fin garantizar que un proceso que pretenda ser RCM en realidad lo sea y se puedan lograr las metas propuestas por Nowlan and Heap.

La información tratada se recolecto de diferentes fuentes entre las que se encuentran personal técnico de mantenimiento, supervisores de mantenimiento, operarios, y representante del Dealer CAT en Colombia (Relianz). Por medio de este nutrido grupo fue posible contrastar desde diferentes ópticas la información, obteniendo como resultado un mayor conocimiento del equipo y por ende un mayor grado de veracidad en los resultados de los parámetros técnicos analizados.

3.2. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

“El objetivo de cada grupo es usar el proceso RCM para determinar los requisitos de mantenimiento de un activo específico o de una parte del proceso en particular. Bajo la conducción de un facilitador, el grupo analiza el contexto en el cual está operando el activo y luego completa la hoja de decisión.”²⁵

Para efecto de lo anteriormente mencionado se conformó el siguiente grupo de trabajo.

Figura 26. Grupo de trabajo RCM.

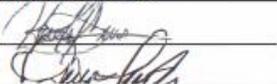
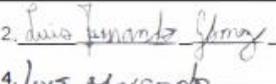
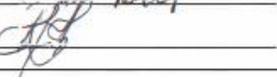
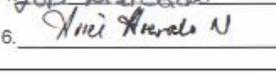
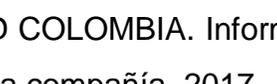
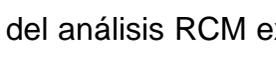


Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

²⁵ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. P271

3.2.1. Acta de constitución del grupo de trabajo.

Figura 27. Acta constitución grupo de trabajo RCM.

|  DRUMMOND LTD. | | ACTA DE REUNIÓN | |
|---|---|------------------------|--------------------------------------|
| Acta No: | 01 | Tema: | Constitución de grupo de trabajo RCM |
| Fecha: | Octubre 05 / 16 | Grupo: | 01 |
| Ubicación: | MTTO Tractores | Responsables: | Luis Gómez, Juan Ávila |
| Hora Inicio: | 8 :00 AM | Hora Fin: | 9 :00 AM |
| Objetivo: | Analizar la estrategia Táctica de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) aplicado a los motores ACER/C13 de la flota de Excavadoras 345 Caterpillar en la mina Drummond. | | |
| Agenda: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificación de asistencia. 2. Revisar acciones pendientes. 3. Discusión del tema de la reunión. 4. Inquietudes adicionales. 5. Acordar acciones nuevas y generar Acta. 6. Programación de la siguiente reunión. | | |
| Participantes: | Luis Gómez (Facilitador / Coordinador MP), Juan Ávila (Facilitador / Dieler Caterpillar), Luis Mercado (Analista de flota), Hugo Berdugo (Técnico electromecánico), Ariel Arévalo (Técnico electromecánico), Gustavo Martínez (Operador). | | |
| Desarrollo de la reunión: | | | |
| Se realiza presentación del grupo de trabajo, se realiza introducción al RCM para contextualizar al personal que lo desconosca. | | | |
| Compromisos: | | | |
| | Acción | Responsable | Fecha |
| | Traer indicadores anuales de la flota de excavadoras 345D. | Luis Mercado. | 15/10/16 |
| | Análisis de confiabilidad anual de la flota de excavadoras 345D. | Luis Mercado. | 15/10/16 |
| | Asistencia a la siguiente reunión. | Todos. | 15/10/16 |
| Asistentes: | Luis Gómez (Facilitador / Coordinador MP), Juan Ávila (Facilitador / Dieler Caterpillar), Luis Mercado (Analista de flota), Hugo Berdugo (Técnico electromecánico), Ariel Arévalo (Técnico electromecánico), Gustavo Martínez (Operador). | | |
| Firma de Responsables | <ol style="list-style-type: none"> 1.  2.  3.  4.  5.  6.  | | |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

3.2.2. Conformación del grupo de trabajo.

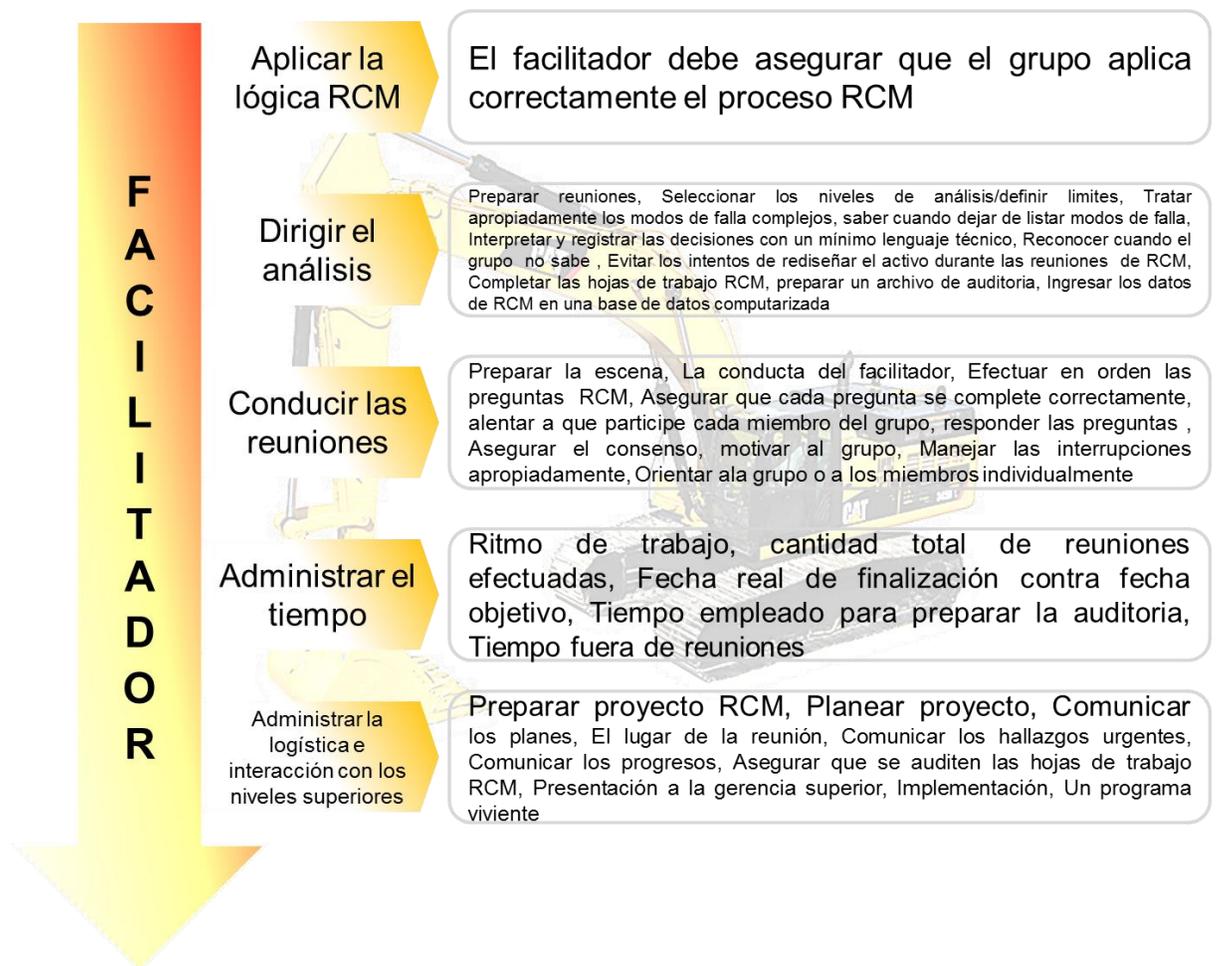
Figura 28. Reunión grupo de trabajo



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

3.2.3. Facilitadores. Los facilitadores designados en esta investigación fueron el Ingeniero Juan Antonio Ávila quien se desempeña como ingeniero III de servicios en la empresa Dimantec contratista de Relianz en la mina Drummond, y el ingeniero Luis Fernando Gómez quien se desempeña como coordinador de PM flota Tractores y Excavadoras en la empresa Drummond Ltd

Figura 29. Competencias que debe tener un facilitador.



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004.

3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.3.1. Sistema de información de mantenimiento. Para la gestión de las operaciones en Colombia Drummond Ltd utiliza el software ERP PeopleSoft de Oracle, por medio de este la compañía controla y gestiona procesos tan importantes como lo son compras, inventarios y gestión de ciclo de vida de activos.

El área de mantenimiento de equipo móvil utiliza PeopleSoft como herramienta fundamental y obligatoria para la gestión de sus operaciones e interacción con las demás áreas (financiera, administrativa y producción).

Dentro de este software se encuentran los registros de todos eventos sufridos por los equipos de la flota móvil, además de las hojas de vida, programas de mantenimiento y demás protocolos establecidos para el desarrollo de la actividad.

Figura 30. Registro de fallos de la máquina.

| Asset ID | Shop | SMU | Work Order | Task No. | WO Header Descr | Task Descr | Problem Group | Problem | Actual Start | Actual End | Duration | Status | Priority Code | Parent WO |
|----------|-------------|-------|------------|----------|---|---|---------------|---------|-----------------------|-----------------------|----------|--------|---------------|------------|
| M06141 | PM_BACKLINE | | 0000125716 | 3 | Revisar estado de la línea de lubricación de turbo motor C13. Cambiar si esta en mal estado. Realizar en PM D, XD o H, Xh, o cuando el equipo venga a taller por parada larga | Revisar estado de la línea de lubricación de turbo motor C13. Cambiar si esta en mal estado. Realizar en PM D, XD o H, Xh, o cuando el equipo venga a taller por parada larga | 1000X | | 11/08/2016 10:00:00AM | 11/08/2016 10:30:00AM | 5 | CPNM | NPM | 0000228071 |
| M06141 | FIELD | 15400 | 0000127623 | 3 | Baja Potencia RPM. Evaluando temperatura sistema hdo. | Cambiar líneas de inclinación que llegan a la barra de estabilizadora | | | 01/02/2016 8:00:00AM | 01/03/2016 6:00:00AM | 22 | CPNM | B | |
| M06141 | FIELD | 15400 | 0000127623 | 4 | Baja Potencia RPM. Evaluando temperatura sistema hdo. | Se retiraron los limpiavidrios puerta rh, lh, para instalarnos al 5723 | 7300X | V107 | 01/05/2016 11:00:00PM | 01/06/2016 12:50:00AM | 1.83 | CPNM | B | |
| M06141 | FIELD | 15400 | 0000127623 | 6 | Baja Potencia RPM. Evaluando temperatura sistema hdo. | Prueba de humo + revisión de la cabina. | 7300X | V106 | 01/05/2016 8:00:00PM | 01/05/2016 9:00:00PM | 1 | CPNM | B | |
| M06141 | FIELD | 15423 | 0000127757 | 1 | Alarma de alta temperatura de aceite hco. | Ub. Taller Liviano pit 3 | OP_R&I | | 01/03/2016 1:15:00PM | 01/03/2016 3:40:00PM | 2.42 | CPNM | B | |
| M06141 | FIELD | 15423 | 0000127757 | 2 | Alarma de alta temperatura de aceite hco. | Reparar luces direccionales y de reversa - Se instaló una exploradora para la luz de reversa - | 1400V | 1429 | 01/03/2016 1:15:00PM | 01/03/2016 3:40:00PM | 2.42 | CPNM | B | |
| M06141 | PM_BACKLINE | | 0000128861 | 1 | UC - bastidor LH - rodillos 6 y 9 con tornillos | UB. campo | OP_F | | 01/13/2016 9:00:00PM | 01/13/2016 10:00:00PM | 1 | CPNM | CON | 0000139783 |
| M06141 | PM_BACKLINE | | 0000128861 | 2 | Bojos Confirmar si esta tarea fue realizada por el grupo # 1 Que realizo el pm REFros | Problema de limpiavidrios. Cambio de motorazo PIN 1350611 por quemado | 1400X | E034 | 01/13/2016 9:00:00PM | 01/13/2016 10:00:00PM | 1 | CPNM | CON | 0000139783 |
| M06141 | FIELD | 15494 | 0000128876 | 1 | Alta temperatura de refrigerante y hidraulico | UB. Taller pit 3 | | | 01/18/2016 6:00:00AM | 01/19/2016 3:40:00PM | 33.67 | CPNM | B | |
| M06141 | FIELD | 15494 | 0000128876 | 2 | Alta temperatura de refrigerante y hidraulico | PM XS | 7500X | PM-X | 01/18/2016 6:00:00AM | 01/19/2016 6:00:00AM | 29 | CPNM | B | |
| M06141 | FIELD | 15494 | 0000128876 | 3 | Alta temperatura de refrigerante y hidraulico | Evaluar / Corregir problema hidraulico del slick, no abre ni cierra. | | | 01/19/2016 12:30:00AM | 01/19/2016 6:00:00AM | 5.5 | CPNM | B | |

Figura 31. Sistema de información de mantenimiento PeopleSoft ORACLE

Oracle PeopleSoft Maintenance Management - Work Order Management - Work Order

Search Criteria:

- Business Unit: COMCA
- Work Order ID: begins with
- Long Description: begins with
- Shop: begins with
- Priority Code: begins with
- Service Group: MDOZERS
- Work Order Type: begins with
- Work Order Status: begins with
- Asset Business Unit: begins with
- Asset Identification: M06141
- Service Request Unit: begins with
- Service Request ID: begins with

Search Results:

| Business Unit | Work Order ID | Long Description |
|---------------|---------------|---|
| COMCA | 0000254613 | No Prende cambio de Baterias (30H) EN corto Interno Cantidad (2) Piers DLTD. Evaluar voltage Se hace test sistema de carga Adjunta attachments |

3.3.2. Recolección de información. Se accedió a información histórica de mantenimiento almacenada en el software PeopleSoft, y se extrajeron los registros referentes a la maquina comprendidos entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016, dentro de los registros consultados se encuentran actividades de mantenimiento (programado, no programado, y monitoreo de condición), costos (operación y mantenimiento), y registros de análisis de causa raíz efectuados en el pasado.

Los registros históricos sirvieron como marco de referencia para determinar el comportamiento de la máquina. La participación de los diferentes integrantes del grupo permitieron realizar una retrospectiva de como afecto esta situación la labor desempeñada por cada uno y que factores pudieron influenciar las tendencias presentadas

La información pudo ser comparada con estándares de funcionamiento del fabricante por medio de la participación del representante del Dealer de CATERPILLAR (Relianz).

Figura 32. Fuentes de información



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Figura 33. Reunión grupo de trabajo RMC.



Figura 34. Formato recolección de información.

| DRUMMOND LTD. COLOMBIA | | FORMATO RECOLECCION DE INFORMACION | |
|--|---------|------------------------------------|--|
| EQUIPO: | 6145 | FECHA DE INICIO: | MES DIA AÑO 11 23 2016 HORA 8:00 PM |
| SISTEMA: | Motor | HOROMETRO: | 32788 |
| SUSISTEMA: | Radador | ELABORADO POR: | Andrés Chaves |
| Descripción del problema: El equipo presenta alta temperatura de refrigerante. | | | |
| Suministrar información de los eventos del equipo: | | | |
| El operador reporta alta temperatura de refrigerante por debajo de los 98°C. | | | |
| Estimar cómo era la operación del equipo antes de la parada: | | | |
| Normal | | | |
| Determinar los eventos que conllevaron a la parada del equipo: | | | |
| El sistema de monitoreo electrónico reporta alarma por alta temperatura de refrigerante. | | | |
| Proporcionar información entregada por el personal de mantenimiento: | | | |
| El radador presenta una fisura por la cual se disipa el refrigerante. | | | |

| DRUMMOND LTD. COLOMBIA | | FORMATO RECOLECCION DE INFORMACION | |
|---|----------------|------------------------------------|--|
| EQUIPO: | 6141 | FECHA DE INICIO: | MES DIA AÑO 11 12 2016 HORA 8:00 PM |
| SISTEMA: | Motor | HOROMETRO: | 71456 |
| SUSISTEMA: | Turbocompresor | ELABORADO POR: | Hugo Bedoya |
| Descripción del problema: El equipo presenta baja potencia. | | | |
| Suministrar información de los eventos del equipo: | | | |
| El operador reporta baja potencia por debajo de las 1980 rpm. | | | |
| Estimar cómo era la operación del equipo antes de la parada: | | | |
| Normal. | | | |
| Determinar los eventos que conllevaron a la parada del equipo: | | | |
| Presencia de humo negro y ruido extraño en el compartimiento del motor. | | | |
| Proporcionar información entregada por el personal de mantenimiento: | | | |
| Al inspeccionar el turbocompresor se observa los albes picados. | | | |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Figura 35. Análisis de falla de motor.

GTF04V2 / 05-02-2016

| | | | |
|---|--|--|--|
| | | COMPONENT REBUILD CENTER C.R.C. On Expressway to Airport, 19 Ave. Soledad, Atlántico-Colombia Phone: (+57) 310 337 200 Fax: 3103580 e-mail: karen.goemaga@relianz.com.co | |
| CRC WORK ORDER: 5228064 | | FAILURE REPORT: KAF0A13-16 | |
| DATE: May 04, 2016 | | | |
| Customer Name: Drummond Machine Model: 345C Equipment Serial: EE340052 Asset No: 9141 Equipment SMU (Hrs): 20821 Component: Engine C13 Failed Serial/Code: MXH09570 Component SMU (Hrs): 1539 Inlet Component code: 131005065 Reman W.O. Component inst: 5443461 | Prev Work Order: 5327180 Why Sales Order: 5481752 Finding at field: Compression pass Removal Work Order: 1738032 Warranty Start Date: December 01, 2015 Failure's Date: May 14, 2016 P/N Causing Failure: 197-00203 Liner-Cylinder B OP Causing Failure: 303-1304 Cylinder Block A Description Code: Out of specifications Warranty Definition: Accepted | | |

1.0 COMPLAINT: Machine was reported by compression pass to radiator and presence of sodium in the oil.
 2.0 BACKGROUNDS: The Engine SN MXH09570 was repaired previously with WO 5327180 under Warranty.

| Project W.O. | Project W.O. | Model | Contract Type | Hours | Delivery Date | Actual Date |
|--------------|--------------|--------|-----------------|-------|---------------|-------------|
| 5481752 | 5327180 | 345C | Why Accepted | 2500 | 20/09/2015 | 20/09/2015 |
| 5462424 | 5431339 | 345C L | Over | 5344 | 20/03/2012 | 25/05/2012 |
| 3430565 | 5439987 | 345C L | OP | 32009 | 14/07/2014 | 23/07/2014 |
| 5459872 | 5337380 | 345C | Why Accp Pareta | 493 | 06/07/2015 | 13/11/2015 |
| 3430567 | 5328280 | 345C | Why | 1536 | 20/09/2015 | |
| Total Hours | | | | 22150 | | |

Chart 1. Engine Repair History

| Project W.O. | Project W.O. | Model | Contract Type | Hours | Delivery Date | Actual Date |
|--------------|--------------|--------|-----------------|-------|---------------|-------------|
| 5481752 | 5327180 | 345C | Why Accepted | 2500 | 20/09/2015 | 20/09/2015 |
| 5462424 | 5431339 | 345C L | Over | 5344 | 20/03/2012 | 25/05/2012 |
| 3430565 | 5439987 | 345C L | OP | 32009 | 14/07/2014 | 23/07/2014 |
| 5459872 | 5337380 | 345C | Why Accp Pareta | 493 | 06/07/2015 | 13/11/2015 |
| 3430567 | 5328280 | 345C | Why | 1536 | 20/09/2015 | |
| Total Hours | | | | 22150 | | |

| Year | Month | Day | Hour | Temp (°C) | Pressure (bar) | Flow (L/min) | Speed (RPM) | Altitude (m) | Humidity (%) | Wind Speed (km/h) | Wind Dir (°) | Cloud (%) | Visibility (km) | Pressure (hPa) | Relative Humidity (%) | Soil Temp (°C) | Air Temp (°C) |
|------|-------|-----|-------|-----------|----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|-----------|-----------------|----------------|-----------------------|----------------|---------------|
| 2016 | 5 | 14 | 10:00 | 100 | 1.0 | 100 | 1000 | 1000 | 100 | 10 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Chart 2. SOS Report

GTF04V2 / 05-02-2016

| | | | |
|---|--|---|--|
| KAF0A13-16-WO 5328180 ENGINE C13 MXH09570 345C 6141 DRUMMOND | | Equipment SMU (Hrs): 20821 Component SMU (Hrs): 1538 Finding At Field: Compression pass and sodium in the oil | |
| Prev CRC Work Order: 5327180 Why Sales Order: 5481752 | | Warranty Start Date: December 01, 2015 Failure's Date: May 14, 2016 | |

The SOS report shows normal behavior of the wear elements; however, samples taken on February 2016 indicate high levels of silicon suggesting external contamination with sand, this condition was monitorable and improved. Since March increase of Sodium and Potassium was registered indicating coolant in the oil.

According to the ECM the engine logged the following events:

- Event code E878 (2) High Hydraulic Oil Temperature: 52 events of High hydraulic oil temperature between 19037 hrs. and 20177 hrs. of Machine. This event requires changing the operation of the machine or performing a maintenance procedure. Failure to correct the problem that caused this warning may result in damage to the involved system components of the machine.
- Event E361 (level 1 and 2) High engine coolant temperature several events of high coolant temperature during the engine service hours.

Logged Event Codes [Diagnostic Clock = 20127 hours] - Machine Control 345D (EH00882)

| Code | Description | Occ. | First | Last |
|----------|--------------------------------|------|-------|-------|
| E878 (2) | High Hydraulic Oil Temperature | 52 | 19037 | 20177 |

Logged Event Codes [Diagnostic Clock = 840.7732 hours] - C13 345C (MXH09570)

| Code | Description | Occ. | First | Last |
|----------|---------------------------------|------|-------|------|
| E381 (1) | High Engine Coolant Temperature | 39 | 671 | 830 |
| E381 (2) | High Engine Coolant Temperature | 31 | 671 | 827 |

Chart 3. Cat Electronic technician March 29, 2016

Logged Event Codes [Diagnostic Clock = 1072.0225 hours] - C13 345C (MXH09570)

| Code | Description | Occ. | First | Last |
|----------|---------------------------------|------|-------|------|
| E381 (1) | High Engine Coolant Temperature | 2 | 976 | 1024 |
| E381 (2) | High Engine Coolant Temperature | 1 | 976 | 976 |

Chart 4. Cat Electronic technician April 12, 2016

Logged Event Codes [Diagnostic Clock = 1248.7207 hours] - C13 345C (MXH09570)

| Code | Description | Occ. | First | Last |
|----------|---------------------------------|------|-------|------|
| E381 (1) | High Engine Coolant Temperature | 20 | 1113 | 1211 |
| E381 (2) | High Engine Coolant Temperature | 14 | 1113 | 1193 |

Chart 5. Cat Electronic technician April 26, 2016

3.0 FINDINGS AT SITE: During inspections at field were identified the following events:

- 06Feb16: High coolant temperature. The radiator was found clogged.
- 15Feb16: Low power. The air filter were found with restriction.
- 20Feb16: High temperature. Hose-Radiator (Upper) P/N 230-2781 pin was found broken.



Picture 3. Hose-Radiator (Upper) P/N 230-2781.

| | | | |
|---|--|---|--|
| KAF0A13-16-WO 5328180 ENGINE C13 MXH09570 345C 6141 DRUMMOND | | Equipment SMU (Hrs): 20821 Component SMU (Hrs): 1538 Finding At Field: Compression pass and sodium in the oil | |
| Prev CRC Work Order: 5327180 Why Sales Order: 5481752 | | Warranty Start Date: December 01, 2015 Failure's Date: May 14, 2016 | |



Picture 7. Cylinder head bolts check.

When Cylinder head was removed the cylinder Head Gasket were found rusted with presence of coolant and with signs of overheating near to cylinder #4 and #5.



Picture 8. Cylinder head gasket.

| | | | |
|---|--|---|--|
| KAF0A13-16-WO 5328180 ENGINE C13 MXH09570 345C 6141 DRUMMOND | | Equipment SMU (Hrs): 20821 Component SMU (Hrs): 1538 Finding At Field: Compression pass and sodium in the oil | |
| Prev CRC Work Order: 5327180 Why Sales Order: 5481752 | | Warranty Start Date: December 01, 2015 Failure's Date: May 14, 2016 | |

| Specifications | |
|---|---|
| Liner Projection | 0.06 to 0.18 mm (0.0024 to 0.0071 inch) |
| Maximum Variation in Each Liner | 0.050 mm (0.0020 inch) |
| Maximum Average Variation Between Adjacent Liners | 0.08 mm (0.0031 inch) |
| Maximum Variation Between A2 6 Liners | 0.100 mm (0.0040 inch) |

Chart 7. Cylinder liner projection specifications

According to the guide, if liner does not meet the recommended cylinder liner projection specification, the block and cylinder liners need to be checked. The following charts and pictures show the results achieved:

Depth of Cylinder block: Should be 100.00 ± 0.03 mm (3.937 ± 0.001 inch). The block were found with specifications.



Picture 15. Depth of the cylinder block.

The liner flange: Should be 100.12 ± 0.03 mm (3.9417 ± 0.001 inch). All cylinders liner were checked and the cylinder liner #4 was found out of specifications.



Picture 16. Liner flange

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

3.3.3. Inventario de excavadoras 345 CATERPILLAR. En la actualidad DRUMMOND LTD cuenta 16 excavadoras 345 CATERPILLAR utilizadas para dar soporte en las áreas de Load out, vías, carbón, y bombas.

Figura 36. Población excavadora 345 CATERPILLAR mina DRUMMOND

| Equipo | ID-S/N | Componente | Cod. |
|---------------|---------------|--------------------|-------------|
| 6141 | 13100565 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6142 | MHX09317 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6143 | 13100435 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6144 | MHX09324 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6145 | 13100491 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6146 | 13100359 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6147 | 13100530 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6150 | MHX11909 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6151 | TXF03475 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6152 | 13100528 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6154 | 13100443 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6156 | 13100585 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6158 | MHX10763 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6159 | TXF04983 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6195 | 13100611 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |
| 6196 | 13100527 | MOTOR ACER C13 345 | 1000 |

3.4. INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS ESTADISTICAS

3.4.1. Tratamiento de la información recolectada. Para el desarrollo de este análisis se extrajo del software PeopleSoft datos referentes a fallos (llamados) ocurridos en las excavadoras 345 CATERPILLAR en el periodo comprendido entre el 1 de enero y 31 de diciembre de 2016.

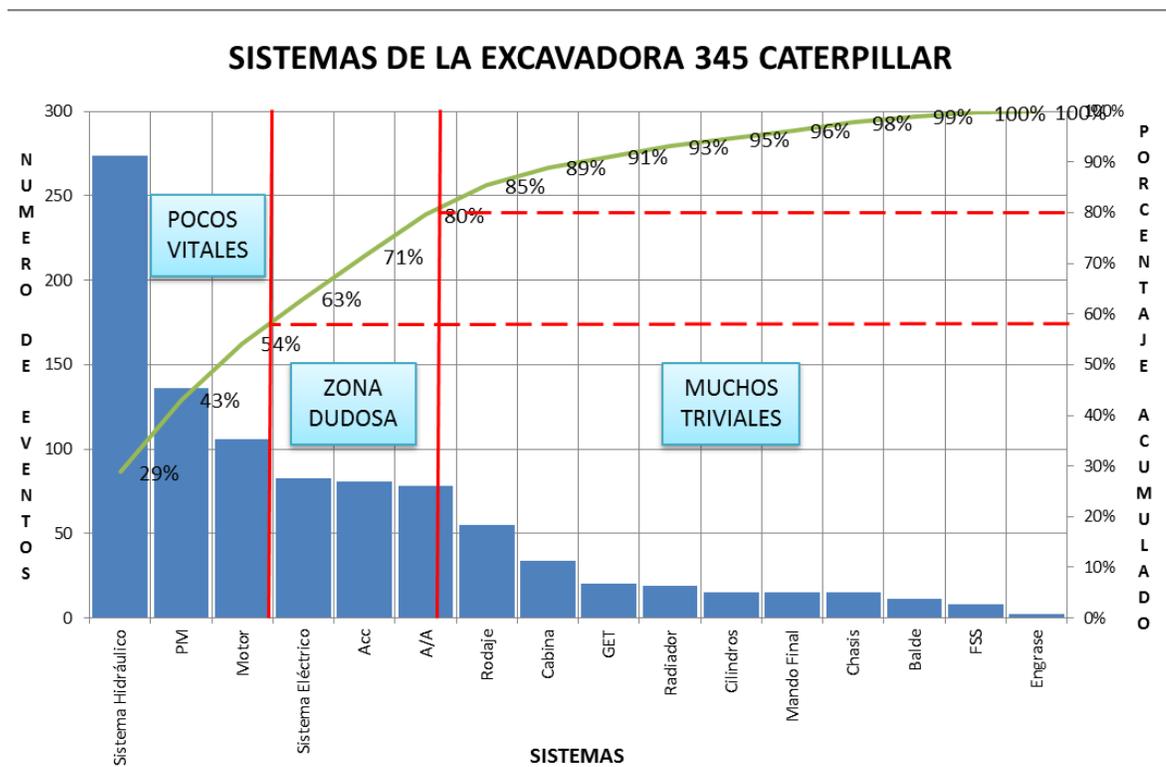
Los datos obtenidos se depuraron clasificaron y organizaron para determinar qué nivel de representación tiene cada uno.

Figura 37. Registro de fallos

| Problem Group | Descripción | # de Llamados | % Acumulado |
|---------------|--------------------|---------------|-------------|
| 5050 | Sistema Hidráulico | 274 | 29% |
| 7500 | PM | 136 | 43% |
| 1000 | Motor | 106 | 54% |
| 1400 | Sistema Eléctrico | 83 | 63% |
| 9700 | Acc | 81 | 71% |
| 7320 | A/A | 78 | 80% |
| 4150 | Rodaje | 55 | 85% |
| 7300 | Cabina | 34 | 89% |
| 6800 | GET | 20 | 91% |
| 1353 | Radiador | 19 | 93% |
| 5100 | Cilindros | 15 | 95% |
| 4051 | Mando Final | 15 | 96% |
| 7050 | Chasis | 15 | 98% |
| 6000 | Balde | 11 | 99% |
| 7401 | FSS | 8 | 100% |
| 7540 | Engrase | 2 | 100% |
| TOTAL | | 952 | |

3.4.2. Gráfico de fallos. El gráfico presentado en la figura 31, nos permite apreciar que los pocos vitales corresponden al sistema hidráulico con un acumulado del 29 %, mantenimiento preventivo con un acumulado del 43% y motor con un acumulado de 54 % estas fallas afectan la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos.

Figura 38. Diagrama de Pareto de fallas excavadora 345 CATERPILLAR



3.4.3. Análisis de costos por cambio de componentes mayores en las excavadoras 345 CATERPILLAR. Este análisis permitió establecer desde el punto de vista económico el nivel de criticidad de cada componente mayor reemplazado.

De acuerdo a la tabla 1, y a la figura 36 podemos evidenciar que el motor es el componente que mayor gasto presento, con una inversión de un millón doscientos trece mil cuatrocientos setenta y siete dólares (USD 1.213.477,00) representando el 31% de los gastos del periodo analizado, seguido de Mando final y Cilindros este último presento el mayor número de remplazos realizados.

Tabla 1. Costo por cambio de componentes mayores.

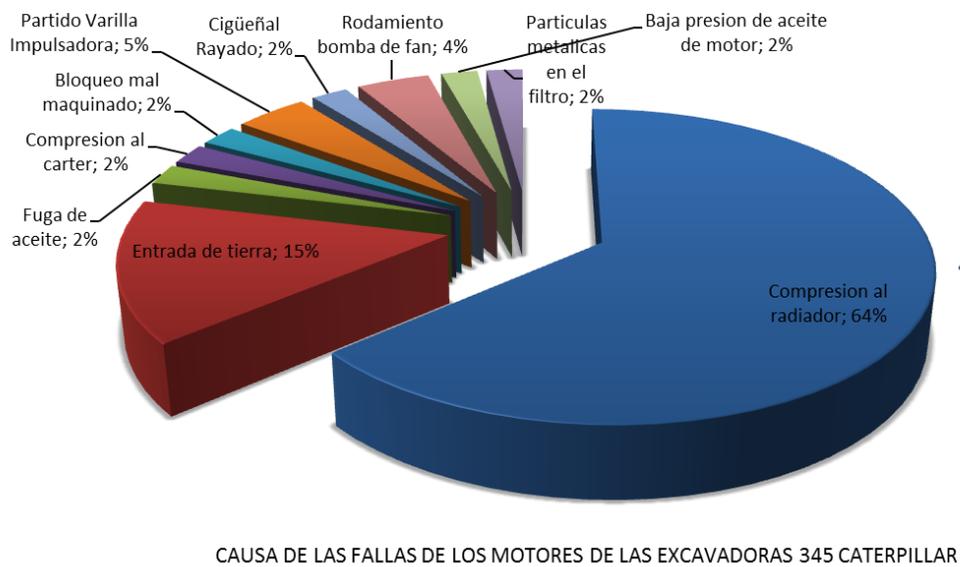
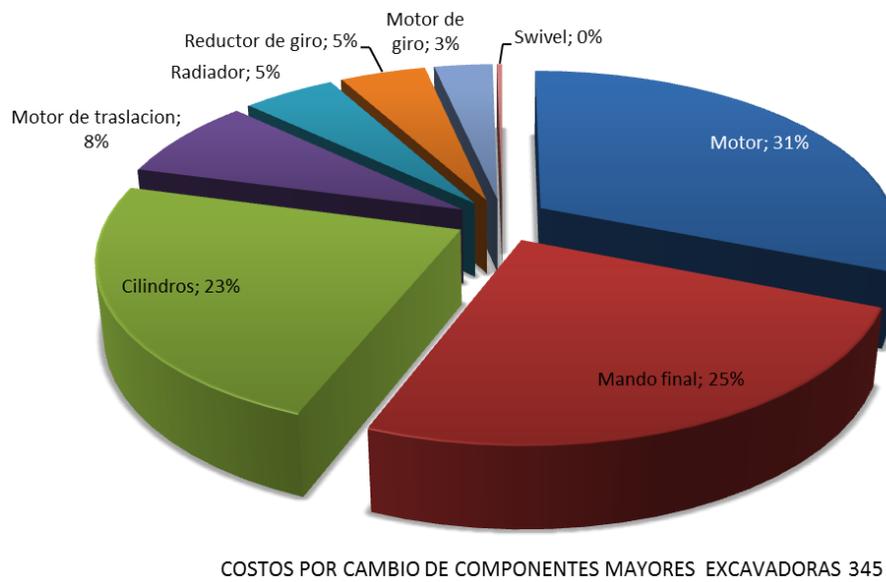
| Componentes | Qty | USD |
|---------------------|-----|------------------------|
| Motor | 47 | \$ 1.231.477,00 |
| Mando final | 46 | \$ 985.374,00 |
| Cilindros | 142 | \$ 921.743,00 |
| Motor de traslación | 45 | \$ 310.075,00 |
| Radiador | 23 | \$ 196.433,00 |
| Reductor de giro | 13 | \$ 182.004,00 |
| Motor de giro | 24 | \$ 123.585,00 |
| Swivel | 6 | \$ 11.486,00 |
| Total | | \$ 3.962.177,00 |

De acuerdo a la tabla 2, y a la figura 36 la causa más repetitiva de falla de los motores de las excavadoras 345 CATERPILLAR fue “Compresión al radiador” con un total de treinta (30) eventos asociados, representando el 64% del total de causa de fallas, seguido de lejos por “Entrada de tierra” con seis (6) eventos asociados, representando el 15% del total de causa de fallas.

Tabla 2. Causa de las fallas de los motores.

| Causa | Cantidad |
|-----------------------------------|----------|
| Compresión al radiador | 30 |
| Entrada de tierra | 7 |
| Fuga de aceite | 1 |
| Compresión al Carter | 1 |
| Bloqueo mal maquinado | 1 |
| Partido varilla impulsadora | 2 |
| Cigüeñal rayado | 1 |
| Rodamiento bomba de fan | 2 |
| Baja presión de aceite de motor | 1 |
| Partículas metálicas en el filtro | 1 |

Figura 39. Grafico costos cambio de componentes vs Causa de fallas



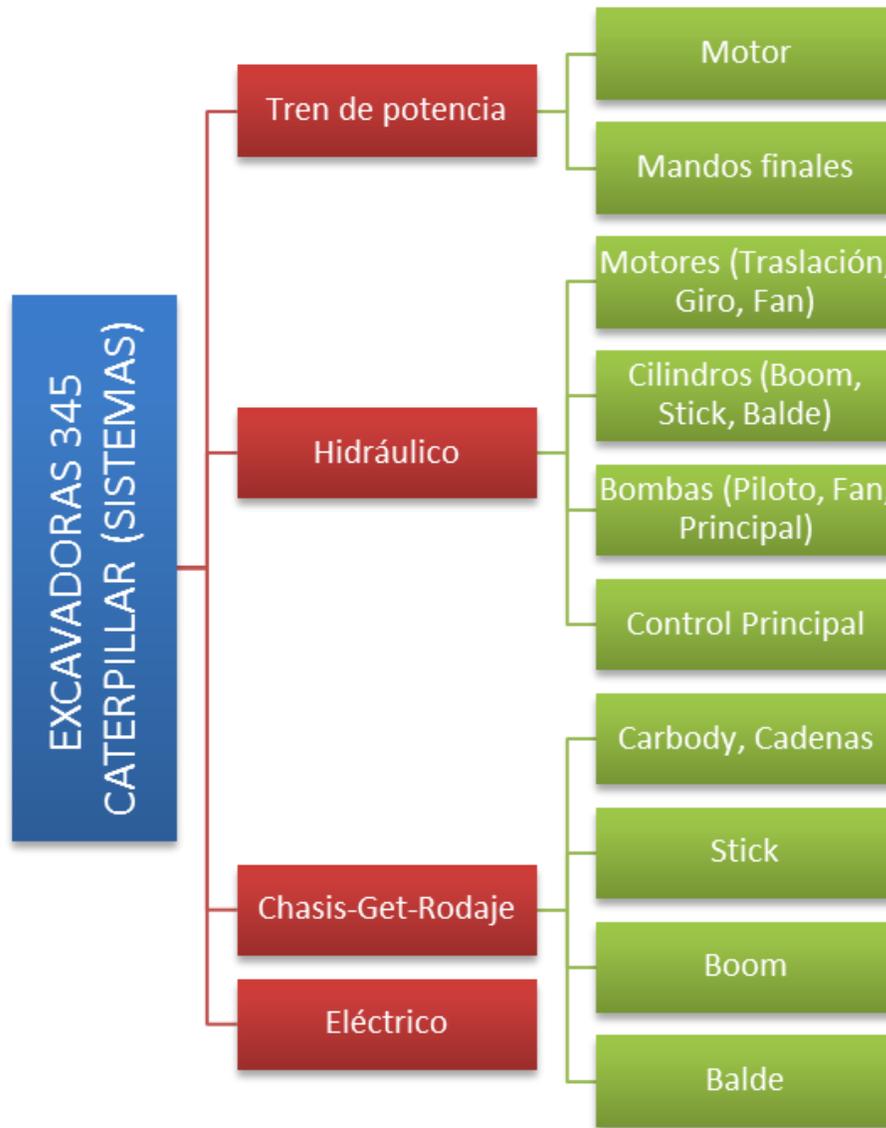
3.4.4. Conclusiones del análisis estadístico. ...De la sección 4.4.2... podemos concluir que el sistema que presenta mayor número de eventos registrados es el sistema hidráulico. Sin embargo, esto no es razón suficiente para elegir el sistema como objeto principal de nuestro análisis ya que...en la sección 4.4.3... evidenciamos que el motor es el componente con mayor impacto en los costos asociados a reparaciones en las excavadoras 345 CATERPILLAR.

Al contrastar los resultados...de las secciones 4.4.2 y 4.4.3... determinamos que el factor relevante que prevalece es el asociado a los costos directos de reemplazo de motor por lo cual aplicaremos un análisis táctico basado en RCM a este componente.

3.5. VALIDACIÓN DE DATOS PARA RCM

3.5.1. Estructura jerárquica de sistemas excavadora CATERPILLAR 345. El análisis estadístico realizado tomo como objeto de estudio todos los sistemas de la excavadora 345 CATERPILLAR, e hizo énfasis en el sub-sistema del Motor C13 HACER, dados los resultados cuantitativos obtenidos de los análisis de criticidad llevados a cabo. Este sub-sistema depende del sistema principal tren de potencia.

Figura 40. Estructura jerárquica de sistemas excavadora CATERPILLAR 345

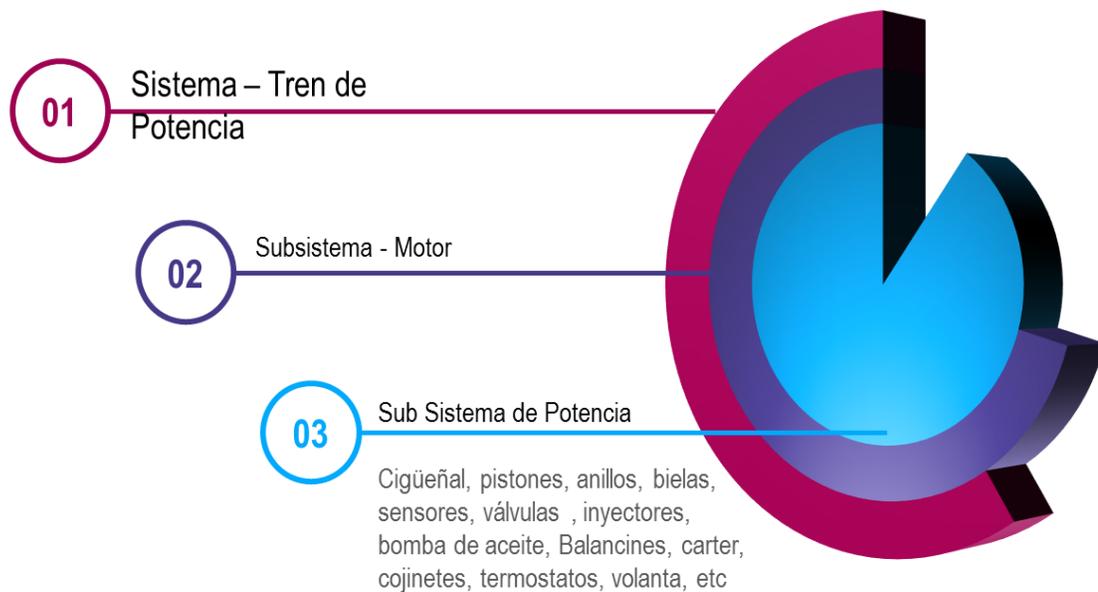


Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

3.5.2. Nivel de estudio del análisis RCM. Este análisis táctico, aplicado a las excavadoras 345 CATERPILLAR se estructuró para llegar hasta un tercer nivel como se ilustra en la figura 40.

Figura 41. Nivel del análisis.

NIVEL DE INVESTIGACION EN RCM EQUIPO APLICADO AL MOTOR ACER/C13 DE CATERPILLAR EN LA MINA DRUMMOND

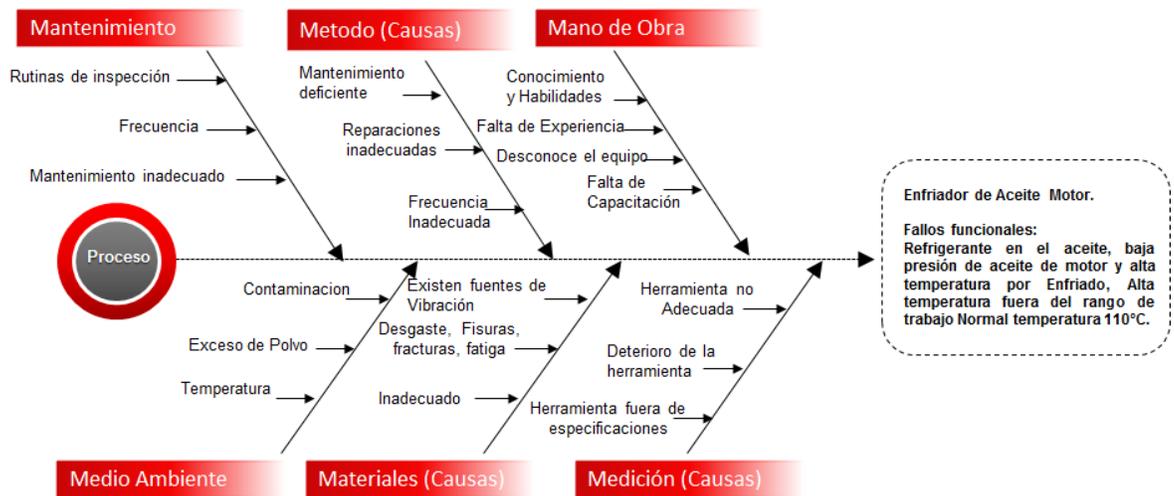


Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

3.5.3. Diagrama de Ishikawa. Este diagrama fue aplicado según los parámetros establecidos en el marco conceptual de esta investigación.

3.5.3.1. Construcción del diagrama de Ishikawa. Para la construcción de este diagrama se realizó una discusión objetiva y organizada en la cual se hondo en las posibles causas y a través del análisis riguroso y consensuado se establecieron las causas reales del problema.

Figura 42. Diagrama de Ishikawa



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

3.5.4. Análisis del modo, efecto y criticidad (FMECA). Se determina hacer el análisis al motor ACER/C13 Caterpillar por razones antes expuestas donde se determina su criticidad, a continuación los componentes a evaluar:

- Bloque.
- Culatas.
- Múltiple de Admisión.
- Balancín de Válvulas.
- Válvulas de Admisión.
- Válvulas de Escape.
- Precleaner.
- Bomba de Aceite Motor.
- Motor de Arranque Eléctrico.
- Empaque de culatas.
- Switch de acelerador.
- Bielas.
- Pistones.
- Cilindros.
- Cigüeñal.
- Filtro de Combustible (Ultra High Efficiency 4 Micras).
- Filtros de Aceite Motor.
- Ultra High Efficiency 12 Micras.
- Filtro Separador de Agua.
- Sensor de temperatura del aire de admisión.
- Carter.
- Turbo cargador.
- Cojinetes de bancadas.
- Posenfriador.

- Múltiple de Escape.
- Termostatos.
- Inyectores.
- Camisas.
- Sensor Velocidad Motor (Cigüeñal).
- Enfriador de Aceite Motor.
- Tapa de válvulas.
- Filtros de aire.
- Sensor de temperatura de Refrigerante.
- Bomba de Transferencia.
- Bomba de Agua.
- Radiador.
- Volanta.
- Compresor Aire de Servicio.
- Anillos
- Manguera de Aceite o Refrigerante.
- Ventilador.
- Sensor Velocidad Motor (Árbol de leva).
- Sensor Temperatura de Combustible.
- Sensor Presión de Combustible.
- Sensor Presión atmosférica.

3.5.5. Análisis funcional. La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar del funcionamiento deseado por el usuario. En este análisis las funciones fueron enfocadas en las siguientes preguntas:
 ¿Por qué fue instalado el sistema?

¿Qué tiene que hacer el sistema para cumplir con su misión?²⁶

3.5.6. Fallos funcionales. Describe cuando un activo no hace aquello que sus usuarios quieren que haga. Las fallas funcionales fueron enfocadas en las siguientes preguntas:

¿Cómo fallo?

¿Puede hacer más o menos?

¿Puede hacer otra cosa?²⁷

3.5.7. Modos de fallas. Describe cualquier evento que causa una falla funcional, debe consistir de un sustantivo y un verbo. Deben usarse con moderación expresiones como “falla”, “rotura” o “mal funcionamiento de”, ya que dan muy poca información sobre cuál podría ser la manera adecuada de manejar esta falla²⁸.

3.5.8. Efectos de fallas. Los efectos de falla fueron enfocados en las siguientes preguntas:

¿Daños físicos, causados por el modo de falla?

¿Qué debe hacerse para corregir la falla?

¿Qué evidencia se ha producido en el modo de falla?

¿Qué ocurre después?²⁹

²⁶ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance), Edición en Español. USA: Aladon. 2004. p. 23.

²⁷ Ibit., p. 48.

²⁸ Ibit., p. 56.

²⁹ Ibit., p. 71.

3.5.9. Consecuencia modo de fallos.

Fallos Ocultos: FO. Se llama así a las fallas no detectables por los operarios bajo circunstancia normales, haría falta un procedimiento para ser detectado. No evidentes en condiciones normales de operación, mayormente dispositivos de seguridad y control como: Fusibles, paracaídas, disco de ruptura, detectores de gas, detectores de fuego, de humo, interruptores de nivel, carteles de advertencia, válvula de check, respaldos

Calificación:

- 0. El modo de falla nunca será oculto y no podrá llevar a Fallas múltiples.
- 1. Existe posibilidad baja de que el modo de falla no sea detectada y ocasione fallas múltiples.
- 2. En condiciones normales tiene posibilidad media de ser oculta y ocasionar fallas múltiples.
- 3. Existe una posibilidad alta de que la falla no sea detectada y ocasione fallas múltiples
- 4. La falla siempre será oculta y ocasionará fallas múltiples a gran escala.

Seguridad Física: SF.

Calificación:

- 0. No se afecta la seguridad física, ni equipos.
- 1. Afecta a una persona, y puede generar incapacidad de carácter temporal
- 2. Afecta de 2 a 5 personas, y puede generar incapacidad de carácter temporal
- 3. Afecta a más de 5 personas con incapacidad temporal, o una con incapacidad permanente
- 4. Afecta a más de una persona con incapacidad permanente, o causando la muerte

Medio Ambiente: MA. Se evalúa si el modo de falla puede lesionar o matar a alguien, o si puede conducir a una infracción de cualquier norma relacionada con el medio ambiente

Calificación:

- 0. No se afecta el medio ambiente

- 1. Afecta el medio ambiente pero puede ser controlado. No afecta ecosistemas
- 2. Afecta la disponibilidad de recursos comunitarios o ecosistemas. Es reversible en menos de 6 meses con un costo menor a \$50'000.000
- 3. Afecta la disponibilidad de recursos comunitarios o ecosistemas. Es reversible en menos de 3 años a un costo menor a \$500'000.000
- 4. Afecta la disponibilidad de recursos comunitarios o ecosistemas. Es reversible en más de 3 años a un costo mayor a \$500'000.000, o es irreversible

Imagen Corporativa: IC. Estima el impacto en la sociedad de los modos de falla.

- -Determina si es de conocimiento interno o externo.
- -Debe considerar cumplimiento de contratos.
- -Afectación en regulaciones locales o internacionales.

Calificación:

- 0. No es trascendente
- 1. La falla afecta la credibilidad de los clientes pero es reversible con explicaciones directas
- 2. La falla afecta la credibilidad de los clientes pero es reversible con campañas con un valor inferior a \$50'000.000
- 3. La falla afecta la credibilidad de los clientes pero es reversible con campañas con un valor mayor a \$50'000.000 e inferior a 500'000.000
- 4. La falla afecta la credibilidad de los clientes. E reversible con campañas con un valor superior a \$500'000.000 o es irreversible.

Costo de Reparación: CR. Cuando el modo de falla puede tener un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional:

- Producción perdida o diferida
- Mano de obra y desplazamientos.
- Costos externos para reparación
- Costo y dificultad de los repuestos

Calificación:

- 0. Los costos de reparación son menores a \$1.000.000.
- 1. Los costos de reparación son mayores a \$1.000.000 y menores de \$10'000.000.
- 2. Los costos de reparación son mayores a \$10'000.000 y menores de \$50'000.000.

- 3. Los costos de reparación son mayores a \$50'000.000 y menores de \$500'000.000.
- 4. Los costos de reparación son mayores a \$500'000.000.

Efectos Operacionales: E0. Cuando el modo de falla puede tener un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional, Rendimiento total, Calidad del producto, servicio al cliente, Penalización por regulaciones

Calificación:

- 0. No genera ningún efecto significativo sobre la producción, las operaciones o la calidad.
- 1. Repercute en costos operativos adicionales asociados a la disponibilidad del equipo.
- 2. Impacta los niveles de Producción o calidad.
- 3. Parada Inmediata de un sector de la línea de producción.
- 4. Parada Inmediata de toda la planta o línea de producción.

Posibilidad de Ocurrencia o Frecuencia: PO. En este paso es necesario observar la causa del fallo y determinar con qué frecuencia ocurre. Esto puede lograrse mediante la observación de productos o procesos similares y la documentación de sus fallos. La causa de un fallo está vista como un punto débil del diseño. Todas las causas potenciales de modo de fallos deben ser identificadas y documentadas utilizando terminología técnica.

Calificación:

- 4. Frecuente - 1 falla en 1 mes.
- 3. Ocasional - 1 falla en 1 año.
- 2. Remota - 1 falla en 5 años.
- 1. Poco probable - 1 falla en 20 años.

Posibilidad de Detección o Detectabilidad: PD. Cuando las acciones adecuadas se han determinado, es necesario comprobar su eficiencia y realizar una verificación del diseño. Debe seleccionarse el método de

inspección adecuado. En primer lugar se debe observar los controles actuales del sistema que impidan los modos de fallos o bien que lo detecten antes de que alcance al consumidor.

Posteriormente deben identificarse técnicas de testeo, análisis y monitorización que hayan sido utilizadas en sistemas similares para detectar fallos. De estos controles, se puede conocer qué posibilidad hay de que ocurran fallos y como detectarlos. Cada combinación de los dos pasos anteriores recibe un número de detección (PD). Este número representa la capacidad de los test planificados y las inspecciones de eliminar los defectos y detectar modos de fallos.

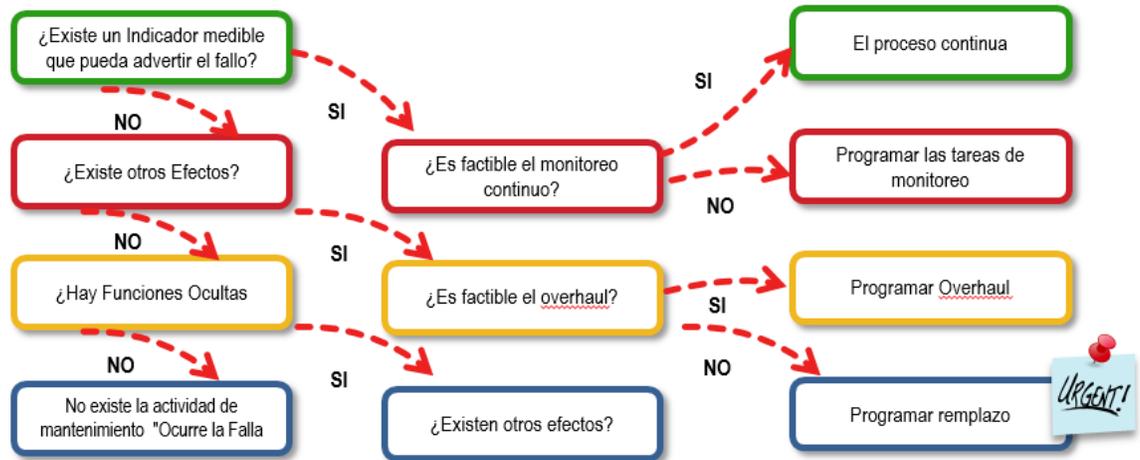
Es necesario no confundir control y detección, pues una operación de control puede ser eficaz al 100%, pero la detección puede resultar nula si las piezas no conformes son finalmente enviadas al cliente.

Calificación:

- 4. Nula - No se puede detectar una causa potencial / mecanismo y modo de fallo subsecuente.
- 3. Baja - Baja probabilidad para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes.
- 2. Media - Mediana probabilidad para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes.
- 1. Seguro - Siempre se detectarán causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes.

3.5.10. Árbol lógico de decisiones. El siguiente Paso corresponde a la implementación de Árbol lógico de decisiones con el fin de tomar acciones para cada modo de fallos, como resultado serán las actividades que se utilizaran para resolver el nivel de criticidad en cada modo de fallos.

Figura 43. Árbol lógico.



Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

4. CONCLUSIONES

Se estudió, desarrollo y aplico la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a las excavadoras 345 Caterpillar para un estudio de tercer nivel al sub-sistema de potencia.

Se adquirió conocimiento técnico y funcional de la excavadora 345 Caterpillar y en especial en el sub-sistema de potencia por ser fuente de análisis de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad.

La recolección de información y el análisis estadístico arrojó como resultado que el motor ACER/C13 es el componente más crítico, esto implica una mayor atención y replantear las tareas de mantenimiento existentes con el fin de tener una mejor respuesta ante una falla.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad ayudo de gran manera a la toma de decisiones asertivas en cuanto a las posibles fallas de las Excavadoras 345 Caterpillar.

Por medio del FMECA se pudo identificar las funciones de los sistemas con sus correspondientes fallas de función, modos de fallas y efectos de falla, análisis de las consecuencias y criticidad de cada modo de fallas, facilitando la selección de las tareas de mantenimiento adecuadas.

BIBLIOGRAFÍA

BLANCHARD, Benjamín S. 1995. Ingeniería Logística – Traducido de Logistics Engineering and Maintenance – ISDEFE. Madrid: ISDEFE© - Monografías.com, 1995.153 p. ISBN: 84-89338-06X.

GARCIA GARRIDO, Santiago, Organización Y Gestión Integral De Mantenimiento. Editorial: DIAZ DE SANTOS, 2003. 320 p. ISBN: 9788479785482.

GONZALEZ FERNANDEZ , Francisco Javier, Teoría Y Practica Del Mantenimiento Industrial Avanzado, Editorial: FUND. CONFEMETAL. 2003. 525 p. ISBN: 9788496169036.

MOUBRAY John Mitchell, II RCM. Reliability Centred Maintenance - Second Edition. Aladon Limited, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento Estratégico. Medellín: Editorial AMG- 2009. 528 p.

_____. Mantenimiento - Planeación, Ejecución Y Control. Medellín: Editorial Alfaomega 2009. 528 p.

O'CONNOR, Patrick. 1989. Practical Reliability Engineering. Mew York : John Wiley & Sons, 1989. 0471905518.

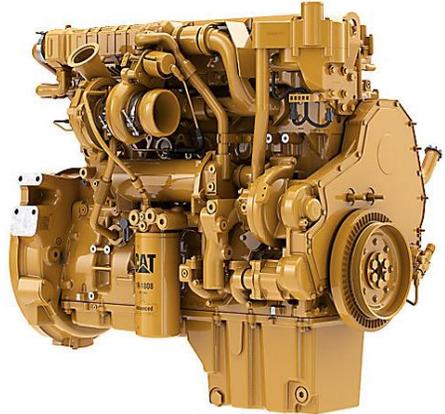
_____. 2002. Practical Realibility Engineering. Stevenage : Wiley-John Wiley and son., 2002. pág. p. 540. ISBN 0-470-84463-9.

REY SACRISTAN, Fráncico, Hacia La Excelencia En Mantenimiento. Editorial: Tecnologías de Gerencia y Producción, S.A. 1996. 390 p.. ISBN: 9788487022210.

SILVA ARDILA, Pedro. Confiabilidad en la Práctica, editorial: Silva Ardila, Pedro Eliseo. 2009. 151 p. ISBN: 978-958-44-4915-3

ANEXOS

Anexo A. FMCA Excavadora 345 CATERPILLAR

| Equipo | Diagrama del Equipo | Funciones Primarias | Condiciones Ambientales del Equipo | Cod: Sub-Sistema Motor Caterpillar ACER C13 diesel | Definición | Diagrama Sub-Sistema Motor Caterpillar ACER C13 diesel |
|---|--|--|--|--|------------|--|
| E X C A V A D O R A 3 4 5 |  | La Excavadora 345 Caterpillar es un equipo utilizado en la producción diaria, cumpliendo funciones de apoyo al proceso productivo como limpieza de área de extracción, Mantenimiento de Vías y Soporte en áreas de producción. | La Mina Drummond se encuentra ubicada a una Altitud de 168 metros sobre el nivel del mar, Precipitaciones de 1.000 mm anuales, Humedad relativa que es de 67% y Temperatura Media Anual es de 28,4 °C, con máximas y mínimas de 22 °C y 34 °C respectivamente. | 1100 | MOTOR |  |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo B. Selección del sistema

| Diagrama Sub-Sistema Motor Caterpillar ACER C13 diesel | Condiciones Operacionales Sub-Sistema Motor Caterpillar ACER C13 diesel | Función del Sub-Sistema Motor Caterpillar ACER C13 diesel | Especificaciones Técnicas Sub-Sistema Motor Caterpillar ACER C13 diesel | |
|---|---|---|--|--|
|  | Sistema de lubricación (Lubricación System) | | Fabricante y modelo | |
| | Presión del aceite lubricante | 22.33 Psi a 1800 RPM | Caterpillar ACER C13 Tier 4 | |
| | Mínimo para una operación segura | 6.81 psi Psi a 900 RPM | | |
| | Temperatura nominal del aceite | 110 °C (230 °F) | | |
| | Capacidad total de aceite del motor con filtros | 10.5 Gal | | |
| | Sistema de Aire (Air System) | | Un motor Caterpillar diesel el encendido se produce por una alta temperatura que posibilita la compresión del aire al interior del cilindro de éste. | Principio de funcionamiento |
| | Restricción de admisión de aire | | | Turbocompresor, motor diesel de inyección electrónica de baja emisión con aftercooler. |
| | Restricción máxima (filtro usado) | 6,2 kPa (25 pulg de H2O) | | Full Load Speed: 1800 ± 10 rpm |
| | Restricción máxima (filtro limpio) | 3,7 kPa (15 pulg de H2O) | | High Idle Speed: 1980 ± 10 rpm |
| | Exhaust back pressure maximum full load | 44 in Hg | | Low Idle Speed: 900 ± 10 rpm |
| | Fuel System (Sistema de combustible...) | | Torquemáx. | 181kgf.m / 1400rpm |
| | Fuel rate | 18.2 Gal/Hr | Potencia | 410 hp / 1800 rpm |
| | Dirty fuel filter | 8 in Hg (27 kPa) | Número de cilindros | 6 |
| | | Oil Pressure | 22.33 Psi a 1800 RPM | |
| | | Oil Capacity (includes filter change) | 10.5 Gal | |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo C. Características técnicas

| Cod: sub-sistemas de potencia | Parte Numero | sub-sistemas de potencia | Característica Técnicas | Conformación de Partes | Condiciones Ambientales | Vida Util (Por el Fabricante) |
|-------------------------------|--------------|------------------------------------|--|---|-------------------------|-------------------------------|
| BL01 | 303-1383 | Bloque | Pieza fundida en hierro o aluminio | Pieza que aloja los cilindros de un motor de combustión interna así como los soportes de apoyo del cigüeñal | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| CU02 | 308-6358 | Culatas | la culata esta construida de hierro colado principalmente y es hueca, lo cual sirve para mantener el motor refrigerado | Asiento, Cámara de combustión, Espárragos, Conductos de refrigeración, Eje de Balancines, Orificios de múltiple de admisión. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| AL03 | 257-4095 | Árbol de leva | Fabricada en acero forjado. | Eje con Discos, Lev a, Ranuras, Placa de retención, Piñón de señal, Descansos. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| MA04 | 223-7463 | Múltiple de Admisión | Fabricados de Aluminio y Hierro | Juntas, Tornillos de Anclajes. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| BV05 | 260-0252 | Balancín de Valvulas | Fabricada con Aluminio y Hierro | Brazos, Empujador, Eje fijo ordinario. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| VA06 | 224-3028 | Valvulas de Admisión | Pieza metálica en forma de clav o grande con una gran cabeza, | Asientos, Cabeza, Guía, Vástago, Saliente, Chav eta. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| VE07 | 224-3030 | Valvulas de Escape | Pieza metálica en forma de clav o grande con una gran cabeza, | Asientos, Cabeza, Guía, Vástago, Saliente, Chav eta. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| PR08 | 150-1714 | Precleaner | Restricción de admisión de aire Dirty air cleaner In25 H2O (6.2 kPa) Clean air cleaner in 15. H2O (3.7kPa) | Carcasa, Abrazaderas de ajuste, Ductos de admisión, Tapa, Sellos, Turcas. | Ninguna en particular | 250 Horas |
| BA09 | 233-5221 | Bomba de Aceite Motor | Bomba de engranajes, se construye en hierro fundido | Retenedor de sellos, Cámara de expulsión, Carter, Piñón impulsado, Pasadores. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |
| MA10 | 307-4584 | Motor de Arranque Electrico | Fabricados de Aluminio y Hierro | Piñón del sistema de arranque, Bobina inductora, Manguito de acoplamiento, Piñón con rueda libre, Muelle de retención, Abrazaderas. | Ninguna en particular | Condiciones de trabajo |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo D. Análisis funcional

| Cod: sub-sistemas de potencia | Parte Numero | sub-sistemas de potencia | Análisis Funcional |
|-------------------------------|--------------|---|--|
| BL01 | 3031383 | Bloque | Servir de soporte estructural, Disipación del calor por conducción a través de su cuerpo. |
| CU02 | 3086358 | Culatas | Servir como tapa principal del motor. |
| AL03 | 2574095 | Árbol de leva | Proporciona la apertura y el cierre de las Valvulas de admisión y escape, mediante la rotación coordinada de excéntricas. Convertir el movimiento circular o rotacional en movimiento alternativo u oscilatorio. |
| MA04 | 2237463 | Múltiple de Admisión | Encargado de Ayudar a entrar el aire rápidamente con la velocidad adecuada a los cilindros de los inyectores, Permitir un buen rendimiento volumétrico, Transmite calor a la mezcla de aire/combustible. |
| BV05 | 2600252 | Balancín de Valvulas | Transmite el movimiento de la leva o de la varilla a la válvula y Controla la entrada del aceite a las piezas en la culata |
| VA06 | 2243028 | Valvulas de Admisión | Al girar el eje de levas, el saliente de levas comienza a levantar el impulsor, el cual transmite movimiento al vástago de la válvula, venciendo la resistencia del resorte para permitir la salida de gases, al continuar la leva su giro hace retornar la válvula a su asiento, sellando el paso de gases. |
| VE07 | 2243030 | Valvulas de Escape | Las válvulas permiten el escape de los gases de la cámara de combustión, Transmite el calor de la combustión. |
| PR08 | 1501714 | Precleaner | Elimina partículas sólidas, Previenen desgaste mecánico y contaminación, Bloquea las partículas de polvo. |
| BA09 | 2335221 | Bomba de Aceite Motor | Suministrar una presión elevada, Regula el volumen y la presión del aceite, Crea flujo de aceite o caudal. |
| MA10 | 3074584 | Motor de Arranque Electrico | Transforma la energía eléctrica que le es suministrada en energía mecánica para dar la inercia necesaria al motor térmico para empezar la combustión por si solo. |
| EC11 | 2219392 | Empaque de culatas | Permiten formar una estanqueidad (sellar), Evitan fuga de compresión, Facilitar Compresibilidad, Dar cierre estanco a los cilindros. |
| SA12 | 2510544 | Switch de acelerador | convierte el movimiento que realiza el operador en el acelerador en una señal, la alimentación del sensor es de 5V. |
| BI13 | 2239150 | Bielas | Convierte un movimiento giratorio continuo en lineal, Encargada de transmitir fuerza al cigüeñal. |
| PI14 | 2611506 | Pistones | Aspirar aire, expulsar gases, Llevar cargas de combustión, Llevar cargas de empuje, Sostener anillos, Transferir carga al pasador. |
| CI15 | 1352559 | Cilindros | Espacio de trabajo formado del cilindro con la tapa del cilindro y el pistón, Transmite calor. |
| CG16 | 2243881 | Cigüeñal | Suministra superficie de sellar a retenedores de aceite, mueve los engranajes y volantes, ofrece superficie resistente al desgaste para cojinetes, envía aceite a presión a los cojinetes de bancada y de biela, tolera cargas pesadas de flexión, torsión y empuje, convierte el movimiento lineal en movimiento giratorio. |
| FC17 | 3070684 | Filtro de Combustible Ultra High Efficiency 4 Micras | Mantener limpio el sistema de alimentación de motores, detienen los contaminantes no deseados, diseñados para mantener la limpieza del sistema. |
| FA18 | 2444484 | Filtros de Aceite Motor Ultra High Efficiency 12 Micras | Mantener limpio el sistema de alimentación de motores, detienen los contaminantes no deseados, diseñados para mantener la limpieza del sistema. |
| FS19 | 2129580 | Filtro Separador de Agua | Detienen los contaminantes no deseados, mantener limpio el sistema de alimentación de motores, carcasa agrietada, diseñados para mantener la limpieza del sistema, evitar la penetración de agua en el sistema. |
| ST20 | 2747395 | Sensor de temperatura del aire de admisión | Determinar la densidad del aire, mide la temperatura del aire, trabaja en función de la temperatura, variar la cantidad de combustible inyectado. |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo E. Fallas funcionales

| Cod: sub-sistemas de potencia | Parte Numero | sub-sistemas de potencia | Fallos Funcionales |
|-------------------------------|--------------|-----------------------------|---|
| BL01 | 3031383 | Bloque | El operador repita que el motor ha perdido fuerza, pega tirones. No trabaja correctamente se para el equipo. |
| CU02 | 3086358 | Culatas | La presión de aceite cae por debajo de 6.8 psi a 900 rpm - 22.33 psi a 1900 rpm, la alarma de baja presión de aceite aparece en el tablero y el operador para el equipo, si el equipo sigue operando con esta alarma puede causar daños severos en el motor |
| AL03 | 2574095 | Árbol de leva | El operador reporta aceleraciones bruscas del motor, "Golpea". Y Baja Potencia Oil Pressure (6.8 psi a 900 rpm - 22.33 psi a 1900 rpm) & fuera del rango de trabajo Calado: 1980±10 rpm Máx:410hp a1800rpm el equipo. |
| MA04 | 2237463 | Múltiple de Admisión | El Motor ha perdido fuerza, pega tirones e incluso los turbos dejan de funcionar, El operador reporta ruido en la entrada de los colectores. |
| BV05 | 2600252 | Balancín de Valvulas | El operador reporta aceleraciones bruscas del motor, "Golpea". Y Baja Potencia Oil Pressure (6.8 psi a 900 rpm - 22.33 psi a 1900 rpm) & fuera del rango de trabajo Calado: 1980±10 rpm Máx:410hp a1800rpm el equipo. |
| VA06 | 2243028 | Valvulas de Admisión | El operador reporta aceleraciones bruscas del motor, "Golpea". Y Baja Potencia. El Motor presenta falla interna, se debe traer el equipo al taller para evaluación |
| VE07 | 2243030 | Valvulas de Escape | El operador reporta aceleraciones bruscas del motor, "Golpea". Y Baja Potencia. |
| PR08 | 1501714 | Precleaner | Exceso de humo negro o gris en el escape, el equipo Presenta Baja Potencia fuera del rango de trabajo Calado: 1980±10 rpm Máx :410hp a 1800rpm Dirty air cleaner 6,2 kPa (25 pulg de H2O) Clean air cleaner . . . 3,7 kPa (15 pulg de H2O) |
| BA09 | 2335221 | Bomba de Aceite Motor | Baja Presión de Aceite de Motor fuera del rango de trabajo Oil Pressure (6.8 psi a 900 rpm - 22.33 psi a 1900 rpm) |
| MA10 | 3074584 | Motor de Arranque Electrico | El motor no arranca aunque la batería tiene carga y no se produce el típico sonido de la puesta en marcha.(Motor de arranque de 24 voltios, 350 amperes de arranque en frío @ -18°C [0°F |
| EC11 | 2219392 | Empaque de culatas | El Equipo presenta sobrecalentamiento por falta de refrigerante, aumento dramático de presión en el radiador y deposito de refrigerante ,progresiva perdida de potencia ,excesivo vapor de agua en el escape |
| SA12 | 2510544 | Sw itch de acelerador | El Operador reporta que el motor tarda en arrancar, arranca y se para, bajo en revoluciones, acelerado, motor no tiene potencia, No hace cambios de velocidades, No tiene sobremarcha. |
| BH13 | 2239150 | Bielas | El operador reporta aceleraciones bruscas del motor, "Golpea". |
| PH14 | 2611506 | Pistones | Consumo excesivo de aceite fuera del rango 10,5 Gal. y el operador reporta salida de humo azulado del escape. El Motor presenta falla interna, se debe traer el equipo al taller para evaluación |
| CH15 | 1352559 | Cilindros | El operador reporta la utilización de más combustible de lo habitual. Las Velocidad del motor calado están por debajo de: 1980±10 rpm Máx:410hp a1800rpm el equipo. |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo F. Causas o factores de falla

| Cod: sub-sistemas de potencia | Código | (Causas o Factores de fallos) |
|-------------------------------|--------------|--|
| BL01 | BL011 | Desgaste asentamiento de la camisa |
| | BL012 | Inserto del bloque desprendido |
| | BL013 | Nivel de oxidación en cantidades Altas |
| | BL014 | Desgaste por falta de lubricación con otros componentes. |
| | BL015 | Presenta Plenitud no estándar |
| | BL016 | Desgaste en rosca de tornillos de sujeción de culatas |
| | BL017 | Distorsión del bloque/Roturas Verticales. |
| | BL018 | Fracturas y ralladuras (Anillos/Pistones) |
| CU02 | CU021 | Agrietamiento causada por sobrecalentamiento del motor |
| | CU022 | Culata torcida o sin plenitud (Deformada) |
| | CU023 | Fuga de Aceite |
| | CU024 | Grieta en estructura / Cracked |
| | CU025 | Maquinado incorrecto |
| | CU026 | Instalación no Adecuada. |
| AL03 | AL031 | Lubricación inadecuada (Por Quality Oil) |
| | AL032 | Levas Picadas (Rupturas de la nariz de leva) |
| | AL033 | Desgaste por excesivo Juego de válvulas (Excesiva Valve Lash) |
| | AL034 | Levas Picadas (Rupturas de la nariz de leva) |
| | AL035 | Fractura del lóbulo de la leva por Bloqueo hidráulico (Hydraulic Lock) |
| | AL036 | Quemaduras en asientos d escape o Válvulas de escape |
| | AL037 | Rotura por golpes violentos (Apertura violenta de la válvula) |
| | AL038 | Herrumbre u oxidación del árbol de levas o en el rodillo |
| | AL039 | Torcido (Pérdida de Sincronización, Explosiones por el escape) |
| MA04 | MA041 | Acoplamiento incorrecto. |
| | MA042 | Modificación en su diámetro y longitud (inercia-resonancia) |
| | MA043 | Instalación Inadecuada (mano de obra) |
| | MA044 | Picaduras en la estructuras |
| | MA045 | Fatiga en Tornillería (Flojos o Partidos) |
| | MA046 | Tubería obstruida con sedimentos |
| | BV051 | Desgastes en los extremos de la varilla de empuje. |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo G. Efectos de fallas

| Código | Efectos de fallas |
|--------------|---|
| BL011 | Realizar reparacion de Bloque por presentar Desgaste asentamiento de la camisa , Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 120 |
| BL012 | Realizar reparacion de Bloque por presentar Inserto del bloque desprendido, Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 120 |
| BL013 | Realizar cambio de Bloque por presentar Nivel de oxidación en cantidades Altas, Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 600 |
| BL014 | Realizar reparacion de Bloque por presentar Desgaste por falta de lubricación con otros componentes., Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 120 |
| BL015 | Realizar reparacion de Bloque por presentar Presenta Plenitud no estándar, Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 120 |
| BL016 | Realizar reparacion de Bloque por presentar Desgaste en rosca de tornillos de sujeción de culatas, Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 120 |
| BL017 | Realizar cambio de Bloque por presentar Distorsión del bloque/Roturas Verticales., Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 600 |
| BL018 | Realizar reparacion de por presentar Fracturas y ralladuras (Anillos/Pistones), Los costos de reparación es mayores a USD 10,090 y con un tiempo de reparacion en HM de 120 |
| CU021 | Realizar cambio de Culatas por presentar Agrietamiento causada por sobrecalentamiento del motor, Los costos de reparación es mayores a USD 2,622 y con un tiempo de reparacion en HM de 24 |
| CU022 | Realizar cambio de Culatas por presentar Culata torcida o sin plenitud (Deformada), Los costos de reparación es mayores a USD 2,622 y con un tiempo de reparacion en HM de 24 |
| CU023 | Realizar reparacion de Culatas por presentar Fuga de Aceite, Los costos de reparación es mayores a USD 2,622 y con un tiempo de reparacion en HM de 6 |
| CU024 | Realizar cambio de Culatas por presentar Grieta en estructura / Cracked, Los costos de reparación es mayores a USD 2,622 y con un tiempo de reparacion en HM de 24 |
| CU025 | Realizar reparacion de Culatas por presentar Maquinado incorrecto, Los costos de reparación es mayores a USD 2,622 y con un tiempo de reparacion en HM de 12 |
| CU026 | Realizar reparacion de Culatas por presentar Instalación no Adecuada., Los costos de reparación es mayores a USD 2,622 y con un tiempo de reparacion en HM de 12 |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo H. Calificación consecuencia modo de fallos y severidad

| (Causas o Factores de fallos) | CALIFICACION CONSECUENCIA MODO DE FALLOS / VALORES POR ANALISIS Y DISCUSION GRUPO DE TRABAJO | | | | | | |
|--|--|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|
| | FO Fallos Ocultos | SF Seguridad Fisica | MA Medio Ambiente | IC Imagen Corporativa | CR Costo de Reparacion | EO Efectos Operacional es | Severidad FOxKFO + SFxKSF + MAxKMA + ICxKIC + ORxKOR + EOxKOC |
| Desgaste asentamiento de la camisa | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,750 |
| Inserto del bloque desprendido | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,750 |
| Nivel de oxidación en cantidades Altas | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,750 |
| Desgaste por falta de lubricación con otros componentes. | 4 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,250 |
| Presenta Plenitud no estándar | 4 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,250 |
| Desgaste en rosca de tornillos de sujeción de culatas | 4 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,250 |
| Distorsión del bloque/Roturas Verticales. | 4 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,250 |
| Fracturas y ralladuras (Anillos/Pistones) | 4 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,250 |
| Agrietamiento causada por sobrecalentamiento del motor | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1,750 |
| Culata torcida o sin plenitud (Deformada) | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1,250 |
| Fuga de Aceite | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1,350 |
| Grieta en estructura / Cracked | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1,750 |
| Maquinado incorrecto | 4 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3,250 |
| Instalación no Adecuada. | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1,250 |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo I. Numero de prioridad de riesgo (RPM)

| NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (RPN) VALORES PROBABILISTICOS | | | | | | |
|---|---------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| PO Ocurrencia | IPO | PD Detección | IPD | Calculo RPN RPN = S * PO * PD | Interpretación RPN | Representacion Grafica RPN |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,8 | BAJO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,8 | BAJO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,8 | BAJO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,3 | BAJO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,3 | BAJO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,3 | BAJO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,3 | BAJO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 1 | SEGURO / SIEPRE SE DETECTAN | 3,3 | BAJO | |
| 4 | FRECUENTE | 3 | BAJA / PROBABILIDAD PARA DETECTAR | 21,0 | ALTO | |
| 1 | POCO PROBABLE | 3 | BAJA / PROBABILIDAD PARA DETECTAR | 3,8 | BAJO | |
| 4 | FRECUENTE | 3 | BAJA / PROBABILIDAD PARA DETECTAR | 16,2 | MEDIO | |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.

Anexo J. Actividades de mantenimiento a realizar

| (Causas o Factores de fallos) | ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO A REALIZAR | | | | Frecuencia Horas |
|--|---|------------|------------------|--------------|------------------|
| | Antes de Falla | | Despues de Falla | | |
| | Preventivo | Predictivo | Reactivo | Modificativa | |
| Desgaste asentamiento de la camisa | | | X | | 12000 |
| Inserto del bloque desprendido | | | X | | 12000 |
| Nivel de oxidación en cantidades Altas | | | X | | 12000 |
| Desgaste por falta de lubricación con otros componentes. | | X | | | 12000 |
| Presenta Plenitud no estándar | | | X | | 12000 |
| Desgaste en rosca de tornillos de sujeción de culatas | | | X | | 12000 |
| Distorsión del bloque/Roturas Verticales. | | | X | | 12000 |
| Fracturas y ralladuras(Anillos/Pistones) | | | X | | 12000 |
| Agrietamiento causada por sobrecalentamiento del motor | X | | | | 250 |
| Culata torcida o sin plenitud (Deformada) | | | X | | 250 |
| Fuga de Aceite | X | | | | 250 |
| Grieta en estructura / Cracked | X | | | | 250 |
| Maquinado incorrecto | | | X | | 250 |
| Instalación no Adecuada. | | | X | | 8000 |
| Lubricación inadecuada (Por Quality Oil) | | X | | | 8000 |
| Levas Picadas(Rupturas de la nariz de leva) | | | X | | 8000 |
| Desgaste por excesivo Juego de válvulas (Excesiva Valve Lash) | X | | | | 8000 |
| Levas Picadas (Rupturas de la nariz de leva) | | | X | | 8000 |
| Fractura del lóbulo de la leva por Bloqueo hidráulico (Hydraulic Lock) | | | X | | 8000 |
| Quemaduras en asientos de escape o Válvulas de escape | | | X | | 8000 |

Fuente: DRUMMOND LTD COLOMBIA. Informe del análisis RCM excavadora 345 CATERPILLAR. Bogotá: La compañía. 2017.