

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA UNO
DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LAS RETROEXCAVADORAS CATERPILLAR
345C Y D DE DRUMMOND LTD

LUIS JULIO ÁVILA VILLAMIL
EDWIN FABIÁN CASSIANI ÁVILA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA UNO
DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LAS RETROEXCAVADORAS CATERPILLAR
345C Y D DE DRUMMOND LTD

LUIS JULIO ÁVILA VILLAMIL
EDWIN FABIÁN CASSIANI ÁVILA

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

Director: JOSE ELÍAS ARZUAGA
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos están dirigidos a la institución y a sus distinguidos docentes que han depositado en nosotros, sus conocimientos

A nuestro asesor José Arzuaga por sus valiosos aportes a este proyecto

A mis amigos y compañeros que de una u otra forma ayudaron en la realización de este proyecto

DEDICATORIAS

A Dios porque a él le debo todo lo que soy
A mi madre y a mi hermano por todos sus valiosos consejos
A mi esposa por su apoyo y soporte incondicional

Luis Julio Ávila Villamil

Agradezco a Dios, a mi esposa e hijos por su apoyo constante quienes han sido el pilar de motivación para alcanzar los objetivos trazados.

Edwin Fabián Cassiani Ávila

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	15
1. DRUMMOND LTD, MINA PRIBBENOW	16
1.1 HISTORIA Y EVOLUCION	19
1.2 MISIÓN	21
1.3 VISIÓN	21
1.4 POLÍTICA DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y AMBIENTE	21
1.5 ESTRUCTURA - MARCO ORGANIZACIONAL	22
1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.7 OBJETIVOS	25
1.7.1 Objetivo General	25
1.7.2 Objetivos Específicos	25
1.8 JUSTIFICACIÓN	26
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 PRIMER CONGRESO DE MANTENIMIENTO	28
3. MARCO CONCEPTUAL	29
3.1 MANTENIMIENTO	29
3.1.1 Definición de Mantenimiento	29
3.1.2 Historia de Mantenimiento	30
3.1.3 La Evolución del Mantenimiento	30
3.1.4 Tipos y Niveles de Mantenimiento	32
3.1.5 Objetivo de Mantenimiento y la Gestion Activos	33
3.1.5 Enfoque Hacia las Acciones de Mantenimiento	34
3.2 FUNDAMENTACIÓN RCM	35
3.2.1 Historia del RCM	35
3.2.2 Definición de RCM	36
3.2.3 Beneficios de la Aplicación del RCM	37
3.2.4 las Siete Preguntas Básicas	38

3.2.5	Funciones	40
3.2.6	Fallas Funcionales	41
3.2.7	Análisis Modos de Falla	41
3.2.8	Efectos de Falla	41
3.2.9	Consecuencias de las Fallas	42
3.3	INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTA PARA RCM	42
3.3.1	Diagrama de Pareto	42
3.3.2	Análisis de Criticidad de Factores Ponderados	44
3.3.3	Diagrama de Ishikawa	45
3.3.4	Análisis del Modo, Efecto y Criticidad (FMECA)	45
3.3.5	Árbol lógico de Decisiones	46
3.5	DESCRIPCION Y ESTADO ACTUAL RETROEXCAVADORA	47
3.5.1	Componentes Representativos.	47
3.5.2	Especificaciones y Dimensiones Excavadora 345	49
3.5.2	Estado deseado Frente el Actual de la maquina	52
4.	IMPLEMENTACIÓN RCM EQUIPOS EXCAVADORA 345	55
4.1.	METODOLOGIA DE RCM Y LA NORMA SAE JA 1011 Y JA 1012	55
4.2	CONFORMACION DEL GRUPO DE TRABAJO RCM	56
4.3	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	58
4.3.1	Recolección de Información	58
4.3.2	Históricos de base de datos Peoplesoft	59
4.4	INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS ESTADISTICAS	60
4.4.1	Aplicación Diagrama de Pareto Equipo	60
4.4.2	Aplicación Análisis de Criticidad de Factores	63
4.5	ANALISIS DE CAUSAS POTENCIALES	66
4.5.1	Aplicación Técnicas de Brainstorming	66
4.5.2	Aplicación Diagrama de Ishikawa	67
4.5.3	Aplicación Análisis del Modo, Efecto y Criticidad (FMECA)	68
4.6	EVALUACION Y CALIFICACION DE MODOS DE FALLOS	73
4.6.1	Aplicación Árbol lógico de Decisiones	75

5. PROPUESTA DEL MODELO DE MTTO PARA RETROEXCAVADORA	76
6. CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFIA	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Panorámica Mina Pribbenow - La Loma - Cesar	16
Figura 2. Panorámica Mina Pribbenow - La Loma - Cesar	17
Figura 3. Panorámica Puerto Drummond - Santa Marta	18
Figura 4. Organigrama – Marco Organizacional	22
Figura 5. Mina Pribbenow, de Drummond	23
Figura 6. Disponibilidad 16 Retroexcavadoras Caterpillar	28
Figura 7. Primer Congreso Internacional de Mantenimiento	28
Figura 8. Cambio en las Técnicas de Mantenimiento	31
Figura 9. Expectativas y Evolución del Mantenimiento	31
Figura 10. Fases Teóricas Metodología RCM	37
Figura 11. Las Siete Preguntas Básicas	40
Figura 12. Diagrama de Pareto	43
Figura 13. Análisis de Criticidad de Factores Ponderados	45
Figura 14. Árbol lógico de Decisiones	47
Figura 15. Imagen Retroexcavadora 345	48
Figura 16. Motor C13 con tecnología ACERT®	49
Figura 17. Especificaciones Excavadora 345	49
Figura 18. Dimensiones Excavadora 345	51
Figura 19. Fallas en Campo Retroexcavadora	53
Figura 20. Fugas Hidráulicas en Campo Retroexcavadora	54
Figura 21. Tiempo Medio de Reparaciones Vs Tiempo Medio Entre Falla	54
Figura 22. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM	55
Figura 23. Conformación Grupo de Trabajo	56
Figura 24. Funciones Grupo de Trabajo	57
Figura 25. Imagen CMMS Oracle “Peoplesoft”	58
Figura 26. Diagrama de Pareto de Fallas Retroexcavadora	61
Figura 27. Sistema Crítico Impactado por Alta temperatura	62
Figura 28. Numero de Llamados Sistema Eléctrico	62
Figura 29. Numero de Llamados Sistema Motor	63
Figura 30. Resultados I General de la Tabla de Criticidad	63
Figura 31. Resultados II General de la Tabla de Criticidad	64
Figura 32. Resultado Matriz de Criticidad	65
Figura 33. Evidencia Técnicas de Brainstorming	66
Figura 34. Modelo de Aplicación Diagrama de Ishikawa	67
Figura 35. Análisis Funcional	69
Figura 36. Fallas Funcionales	70

Figura 37. Modo de Fallos	71
Figura 38. Descripción de Efectos de Falla	72
Figura 39. Calificación Modo de Fallos	74
Figura 40. Evaluación herramienta Árbol lógico de Decisiones	75
Figura 41. Impacto PTSNM “Partes no en Mina”	76
Figura 42. Tiempo General ADD Vs Sistemas	77
Figura 43. Impact Monthly Availability (Final Drive - Engine - Cylinders)	78
Figura 44. Descarga de Datalogger Retroexcavadora	78

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Inventario Retroexcavadora 345D EEH (7) - 345C PJW (9)	52
Tabla 2. Históricos de base Peoplesoft	59
Tabla 3. Estadística de Fallas	60

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA UNO DE LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LAS RETROEXCAVADORAS CATERPILLAR 345C Y D DE DRUMMOND LTD *

AUTOR(ES): LUIS JULIO ÁVILA VILLAMIL, EDWIN FABIÁN CASSIANI ÁVILA **

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento, Confiabilidad, Disponibilidad, Modelo de Criticidad

DESCRIPCION O CONTENIDO:

Lo que sigue pretende ser un resumen sucinto del desarrollo de un programa de mantenimiento basado en confiabilidad "RCM" aplicado a las 16 retroexcavadora de la flota de tractores de la mina Pribbenow de Drummond. Los resultados obtenidos establecieron el sistema más crítico, aplicando el análisis de Criticidad de Factores ponderado, arrojó como resultado el sistema hidráulico por alta temperatura con una calificación total de criticidad de 82, por lo tanto, de asume como el sistema donde se enfoca la labor objeto de este estudio.

El propósito principal es garantizar la disponibilidad de los equipos en estudio a lo largo de su vida útil y fomentar el desarrollo de actividades y medidas necesarias para prevenir los riesgos potenciales de accidentes en los procesos de mantenimiento actuales en los talleres de la

El trabajo aquí desarrollado describe también la creación de grupos interdisciplinarios: técnicos, supervisores e inspectores para identificar las fallas. Debido a que el RCM aprovecha los conocimientos de los operadores, diseñadores y mantenedores de equipos, una gran ventaja de la metodología es que se puede realizar un "análisis en circunstancias donde existe un escaso o nulo registro de fallas" siempre que haya personas con mucho conocimiento y experiencia en la utilización de los equipos a analizar.

Esta propuesta metodológica se constituye en un soporte para el fortalecimiento en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de los equipos e incrementar los niveles de rentabilidad de la compañía.

*Monografía

** Faculta de ingeniería Físico Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Jose Elías Arzuaga - Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: MAINTENANCE PROPOSAL BASED ON RELIABILITY FOR ONE OF THE CRITICAL SYSTEMS OF THE CATERPILLAR 345C AND D RETROEXCAVERS OF DRUMMOND LTD *

AUTHOR (S): LUIS JULIO ÁVILA VILLAMIL, EDWIN FABIÁN CASSIANI ÁVILA **

KEYWORDS: Maintenance, Reliability, Availability, Criticality Model, Pareto Diagram.

DESCRIPTION OR CONTENT:

The following is intended to be a succinct summary of the development of a reliability-based maintenance program "RCM" applied to the 16 backhoe loader of the tractor fleet at Drummond's Pribbenow mine. The results obtained established the most critical system, applying the analysis of weighted Factors Criticality, resulting in the hydraulic system by high temperature with a total criticality rating of 82, therefore it is assumed as the system where the object work is focused of this study.

The main purpose is to guarantee the availability of the equipment under study throughout its useful life and to promote the development of activities and necessary measures to prevent the potential risks of accidents in the current maintenance processes in the workshops of the

The work developed here also describes the creation of interdisciplinary groups: technicians, supervisors and inspectors to identify faults. Because the RCM takes advantage of the knowledge of operators, designers and equipment maintainers, a great advantage of the methodology is that it is possible to perform an "analysis in circumstances where there is little or no fault record" whenever there are people with a lot of knowledge. knowledge and experience in the use of the equipment to analyze.

This methodological proposal constitutes a support for strengthening the maintenance activities that have the greatest effect on the performance of the equipment and increase the levels of profitability

*Monograph

** Faculty of Mechanical Physics. Specialization in Maintenance Management.

Director: Jose Elias Arzuaga - Mechanical engineer

INTRODUCCION

En muchos países del mundo se presenta una oscilación de sus ingresos anuales entre un 14% y un 26% del presupuesto en gastos de mantenimiento.

A partir de esta problemática, esta monografía tiene el objetivo de generar riqueza, disminuir tiempo de parada, proporcionar funcionalidad en los equipos (*Disponibilidad*) y disminuir al mismo tiempo los costos de mantenimiento, por medio de propuestas de mejoramiento, basada en la estrategia centrada en confiabilidad RCM (*Reliability Centred Maintenance*¹) para la flota de tractores, en las 16 retroexcavadoras caterpillar 345C y D de la mina de carbón Pribbenow de Drummond.

Algunas herramientas que se consideraron dentro del análisis incluyeron: Proceso FMECA, Mapa de Riesgo, Diagrama Ishikawa, Árbol Lógico de Decisiones, Análisis Criticidad, y Pareto. Grafica 80-20.

La monografía culmina con un importante número de propuestas preventivas que eviten las fallas o atenúen los efectos de los fallos.

Además, de todo lo expuesto no se puede pasar por alto la existencia de una amplia bibliografía que se aporta para alcanzar los objetivos trazados.

Este trabajo de grado constituye el requisito final de la formación del aspirante al Grado de Especialización en Gerencia de Mantenimiento y su aprobación viene a convertirse en un requerimiento necesario para el otorgamiento de dicho grado.

¹ MOUBRAY John Mitchell, II RCM. Reliability Centred Maintenance - Second Edition. Aladon Limited, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

1. DRUMMOND LTD, MINA PRIBBENOW

Figura 1. Panorámica Mina Pribbenow - La Loma - Cesar



Fuente: Google Maps

Durante la década de 1980, Drummond adquiere los derechos mineros de importantes reservas de carbón en el norte de Colombia, cerca de La Loma, Cesar, e inicia su explotación a mediados de la década de 1990.

Las características de nuestro carbón se comparan favorablemente con las de otros carbones térmicos comercializados a nivel internacional. De los carbones que se exportan actualmente desde Colombia, el carbón térmico de Drummond tiene uno de los niveles más bajos de azufre y de ceniza. Este carbón cumple con las regulaciones internacionales de azufre, y también es muy bajo en emisiones de óxidos de nitrógeno².

² DRUMMOND LTD. Informe De Sostenibilidad 2011. [en línea], Citado el 8 de octubre de 2015. Disponible en Internet: <http://www.drummondltd.com>

Nuestra operación minera en Colombia incluye las minas a cielo abierto Pribbenow y El Descanso, ubicadas en la cuenca de carbón del Cesar. En la actualidad contamos con reservas de aproximadamente 2 mil millones de toneladas de carbón en nuestros proyectos La Loma, El Descanso, Rincón Hondo, Similoa y Cerro largo; los dos primeros en explotación y los tres últimos se encuentran en el proceso de licenciamiento ambiental.

Una fuerte inversión en infraestructura productiva nos ha permitido crecer en nuestras exportaciones de carbón colombiano, desde un millón de toneladas en 1995 a aproximadamente 32.6 millones de toneladas en 2016³.

Figura 2. Panorámica Mina Pribbenow - La Loma - Cesar



Fuente: Mina Pribbenow Vista Aérea

Drummond tiene una concesión portuaria del gobierno colombiano, Puerto Drummond, un puerto marítimo en el mar Caribe, en Ciénaga, Magdalena. Este

³ DRUMMOND LTD. Informe De Sostenibilidad 2011. [en línea], Citado el 8 de octubre de 2015. Disponible en Internet: <http://www.drummond.com>.

terminal marítimo fue diseñado para cargar barcos de todos los tamaños y opera como una instalación de alta capacidad de almacenamiento y carga.

Figura 3. Panorámica Puerto Drummond - Santa Marta



Fuente: Puerto Drummond Vista Aérea

El 31 de marzo de 2014 inicia la operación portuaria con el primer embarque de carbón a través del sistema de cargue directo. Con dos cargadores de buques, Puerto Drummond tiene una capacidad instalada de 60 millones de toneladas al año. La transformación del puerto, en el que se invirtieron US\$360 millones, incluyó la construcción del sistema de cargue directo y la expansión del patio de almacenamiento de carbón, entre otras obras⁴.

El muelle cuenta con sistemas de drenaje, contención y manejo de aguas industriales, supresión de polvo y aspersión de agua. Además, el Puerto tiene

⁴ DRUMMOND LTD. Informe De Sostenibilidad 2011. [en línea], Citado el 8 de octubre de 2015. Disponible en Internet: <http://www.drummondltd.com>

certificaciones en seguridad industrial y salud ocupacional OHSAS 18001, ISO 14001 y seguridad física y protección portuaria BASC y PBIP.

Actualmente, en Puerto Drummond, se puede almacenar hasta 800.000 toneladas de carbón. Este carbón es almacenado según sus características de calidad, lo que nos permite, en el momento del embarque, preparar mezclas que satisfacen los requerimientos de calidad de cada uno de nuestros clientes.

1.1 HISTORIA Y EVOLUCION

En 1935 comienza H.E. Drummond Coal Company en Sipse, Alabama, como un proveedor de carbón para granjas y hogares. El señor Drummond toma un préstamo por 300 dólares de Walker County Bank en Jasper, Alabama, usando tres mulas como garantía.

Con el tiempo, en 1956 con la muerte de H.E. Drummond en 1956, sus hijos se hicieron cargo de la compañía, siguiendo con los objetivos y la visión que su padre tenía. Segal Drummond es nombrado vicepresidente de ventas y finanzas. La empresa es financiada a través de un pago de seguro de vida de 50.000 dólares y 240.000 dólares de un préstamo para asociaciones empresariales pequeñas.

Entre 1960-1970: La producción anual pasa de 200.000 toneladas anuales a 1.500.000 toneladas anuales. Drummond compra Kellerman Mining Co. y se establece el primer acuerdo comercial con Japón. De ahí que, ante este panorama, en 1963 se menciona la existencia de Carbón entre La Jagua y La Loma⁵.

Ya desde entonces en 1970 Drummond entró en el mercado del carbón de exportación y se convirtió rápidamente en un líder de la industria

⁵ DRUMMOND LTD. Informe De Sostenibilidad 2011. [en línea], Citado el 8 de octubre de 2015. Disponible en Internet: <http://www.drummondltd.com>

Tiempo después, Drummond Ltd. es fundada y suscribe su primer contrato minero de carbón en Colombia

Seguidamente, Drummond establece sus operaciones en Colombia e inicia la construcción de la mina y el puerto. La primera producción de carbón se registra en 1995.

Poco después, (1997) suscribe su segundo contrato para la exploración y explotación de carbón, El Descanso, proyecto con más de 1.700 millones de toneladas de reservas.

Pero muy pronto, año 2003 Drummond adquiere tres nuevas áreas de carbón en el país: Rincón Hondo, Similoa y Cerrolargo. (Reservas totales adquiridas durante ese año: 162 millones de toneladas⁶).

Más tarde, en el 2004 Drummond entra en la exploración de gas metano en mantos de carbón (en inglés: Coal Bed Methane, CBM) en la cuenca del Cesar: Contrato La Loma y adquiere los derechos de CBM en asocio con Ecopetrol para explorar el Bloque Guajira Río Ranchería. En el año 2008 el Ministerio del Medio Ambiente otorgó la licencia ambiental.

Fue así como, en el 2011 ITOCHU Coal Americas, Inc. se convierte en socio del 20% de las operaciones de Drummond en Colombia

2012 Drummond inicia la fase de producción del contrato El Descanso

⁶ DRUMMOND LTD. Informe De Sostenibilidad 2011. [en línea], Citado el 8 de octubre de 2015. Disponible en Internet: <http://www.drummondLtd.com>

1.2 MISIÓN

Ser el productor de carbón a largo término, más seguro, confiable y productivo a bajo costo en el mundo

1.3 VISIÓN

Obtener el carbón, de manera segura, confiable, productiva y cuidando el ambiente con el mejor recurso humano.

1.4 POLÍTICA DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y AMBIENTE

Es política de DRUMMOND LTD - COLOMBIA (DLTD) conducir sus operaciones de exploración, extracción y transporte de carbón e hidrocarburos asociados de manera segura, manteniendo el sistema integrado de gestión, orientado a proteger y conservar el ambiente, la salud y la vida de sus empleados, contratistas, subcontratistas, visitantes y comunidades relacionadas.

Para el cumplimiento de esta política, DRUMMOND LTD COLOMBIA asegura los recursos necesarios y se compromete con las siguientes acciones:

Considera el cuidado de la salud, la seguridad y el ambiente como un valor primordial para el desarrollo de todas sus actividades.

Identifica y evalúa peligros de forma permanente para aplicar los controles requeridos a fin de proteger la salud y la vida de los empleados, contratistas, subcontratistas, visitantes y comunidades.

Implementa controles operacionales con el objetivo de prevenir, mitigar y compensar adecuadamente los impactos ambientales.

Garantiza el cumplimiento de la legislación aplicable en materia de ambiente, seguridad y salud en el trabajo, como también las obligaciones establecidas por las

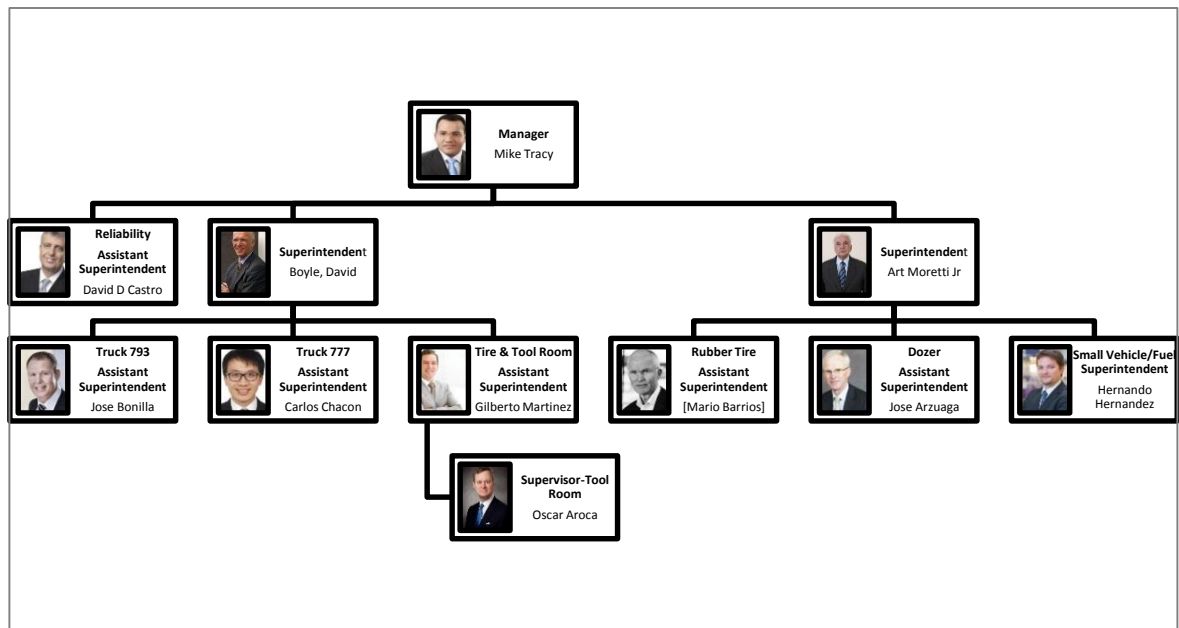
autoridades reguladoras y otros compromisos que la organización suscriba voluntariamente.

Administra responsablemente los procedimientos de trabajo, brindando entrenamiento y evaluando el desempeño, para comprometer a los empleados, contratistas, subcontratistas y proveedores, en el cumplimiento de los programas de ambiente, seguridad y salud en el trabajo establecidos.

Responde rápida y efectivamente a los accidentes y emergencias que puedan resultar de las operaciones, coopera con organizaciones industriales y agencias gubernamentales autorizadas y realiza las notificaciones oportunas a las autoridades pertinentes en cada caso.

1.5 ESTRUCTURA - MARCO ORGANIZACIONAL

Figura 4. Organigrama – Marco Organizacional



Fuente: El Autor

1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Figura 5. Mina Pribbenow, de Drummond



Fuente: Archivo el autor

En un año 2017 marcado por una importante recuperación de los precios internacionales del carbón, que contrastó con los anuncios de muchos países de prescindir de este mineral en el largo plazo para producir energía, la producción local del país no repuntó, sino que, por el contrario, tuvo un leve descenso⁷.

⁷ PERIÓDICO EL TIEMPO. Carbón: más precio no impulsó a todo el sector por igual. [en línea], Citado el 10 de marzo 2018, 10:00 p.m. [revisado 6 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/precio-del-carbon-en-2017-no-impulso-a-todo-el-sector-en-la-misma-medida-192386>

Todo esto ha hecho que el precio del carbón se cotice hoy en los mercados internacionales a US\$86 la tonelada, una dura caída desde los US\$150 donde se encontraba hace dos años. Ese desplome en los precios ha traído consecuencias nefastas para muchos jugadores en la industria. Algunos han tenido que cerrar minas y otros se han visto obligados a reacomodar sus operaciones, despidiendo a miles de trabajadores en el proceso⁸.

En este entorno poco propicio es improbable que las exportaciones sean un motor para la economía colombiana. Las tendencias mundiales sugieren un giro, puesto que países como Estados Unidos y China, que durante muchos años utilizaron el carbón como fuente principal energética, han hecho un viraje en sus políticas de sostenibilidad y producción con el objetivo de reducir las fuentes emisoras de dióxido de carbono.

A la postre, las empresas pronto tendrán que tomar decisiones en el largo plazo en sus gastos, con implicaciones para la futura producción.

Pero en esta tesitura, también es muy importante el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento basada en reducción de costos y en optimización de reparación que permita aumentar los niveles de rentabilidad financiera, mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos mineros.

⁸ REVISTA DINERO. El elegido sí afectará a Colombia. [en línea], Citado el 11/6/2012 6:00:00 AM. Disponible en Internet: <http://www.dinero.com/internacional/articulo/el-elegido-si-afectara-colombia/163329>

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo General El objetivo de este proyecto es presentar una propuesta de mantenimiento basado en confiabilidad para uno de los sistemas críticos de las retroexcavadoras Caterpillar 345C y D de la mina de carbón Pribbenow de Drummond⁹.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Fundamentar los conceptos y principios de la metodología de mantenimiento centrada en confiabilidad RCM.
- Examinar la situación actual existente de los sistemas críticos en las retroexcavadoras Caterpillar 345C y D, de la mina de carbón Pribbenow de Drummond
- Aplicar el Método RCM al sistema crítico y seleccionar las tareas de mantenimiento utilizando la técnica de Diagrama Lógico de Decisiones.
- Presentar las propuestas preventivas del análisis derivadas de los principales resultados obtenidos de la metodología.

⁹ Drummond Company, Inc. y sus filiales extraen carbón en Colombia a través de su participación en el 80 por ciento de Drummond International, LLC, una sociedad con una filial de ITOCHU Corporation, creada en octubre de 2011

1.8 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años los costos mantenimiento preventivo y correctivo de las 16 retroexcavadoras Caterpillar 345 sobrepasan los 3 millones de dólares anuales, este rubro se encuentra ubicado en un 10 % del total del presupuesto anual de toda la flota de tractores (122 Equipos). Por otra parte, hay que resaltar que la compañía espera mantener la funcionalidad de los equipos al menor costo, al tiempo que entreguen un mayor rendimiento, una mayor disponibilidad, confiabilidad y las ganancias más altas que alarguen la vida útil de los mismos.

Cabe destacar que, la mayor incidencia se encuentra en los indicadores de control que nos permiten monitorear los objetivos trazados, uno de ellos a tener en cuenta es el MTBS(Tiempo Medio Entre Falla) ¹⁰ con una tendencia ligeramente descendente de 67.4 horas promedio durante el año.

Y para completar el inquietante panorama, se encuentra el MTTR (Tiempo Medio de Reparaciones) ¹¹ con un crecimiento exponencial de 28 horas promedio de reparación, sopesando las consecuencias en tiempo de inactividad de la máquina y por ultimo no menos importante es la disponibilidad 71% con un insoslayable

¹⁰ SILVA, Pedro & ORREGO, Juan Carlos. Confiabilidad en la Práctica. Primera Edición. Medellín.: 2014. 153 p.

¹¹ *Ibidem.*, p. 147

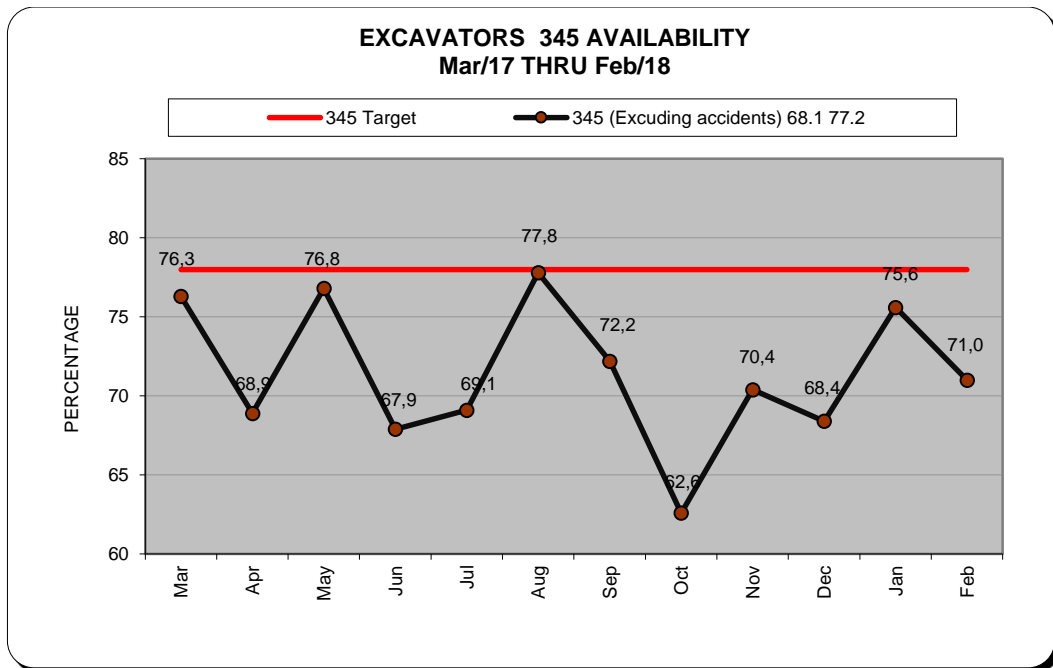
descenso alrededor de 5 puntos porcentuales frente a lo registrado en el último año, tal como se puede observar en la figura ⁶.

Esta propuesta metodológica se constituye en un soporte para el fortalecimiento en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de los equipos e incrementar los niveles de rentabilidad de la compañía. La estrategia táctica de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) ayudará a asegurar que todo lo que se gasta para la retroexcavadora se invierta en las áreas en las que se pueda tener los mejores resultados.

Además, hay que tener en cuenta el efecto inmediato que tendrá este proyecto sobre la operación. Con este trabajo de enfoque técnico busca proporcionar los criterios y elementos para el mejoramiento del proceso de la reparación y de la identificación minuciosa de la gravedad de cada fallo y de sus consecuencias.

Basado en lo anterior, esta monografía pretende ofrecer un valor agregado académico, pues puede utilizarse como soporte investigativo para futuros nuevos trabajos.

Figura 6. Disponibilidad 16 Retroexcavadoras Caterpillar



Fuente: Archivos Disponibilidad Retroexcavadora Flota de Tractores

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PRIMER CONGRESO DE MANTENIMIENTO

Figura 7. Primer Congreso Internacional de Mantenimiento



El objetivo principal del área de mantenimiento es maximizar la disponibilidad al mínimo costo posible, para lograr esto se deben alcanzar los máximos niveles tanto de Fiabilidad (similar a Confiabilidad) como de Mantenibilidad.

La segunda mitad del siglo XX trajo consigo un incremento en la automatización y robotización de las líneas de producción, tanto del modo de manufactura como de procesos continuos, en algunos casos el modo de servicios se vio también inmerso en tal avance tecnológico¹².

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 MANTENIMIENTO

3.1.1 Definición de Mantenimiento La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios que generan bienes reales¹³.

¹²MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Congreso Internacional de Mantenimiento, Canal de Panamá 2013, durante los días 16, 17 y 18 de enero de 2013. El evento se realizó en el Centro de Capacitación Ascanio Arosemena, ubicado en Balboa.

¹³ MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. Ciudad de México.: Alfaomega, 2009. 528 p. ISBN: 978-958-682-769-0

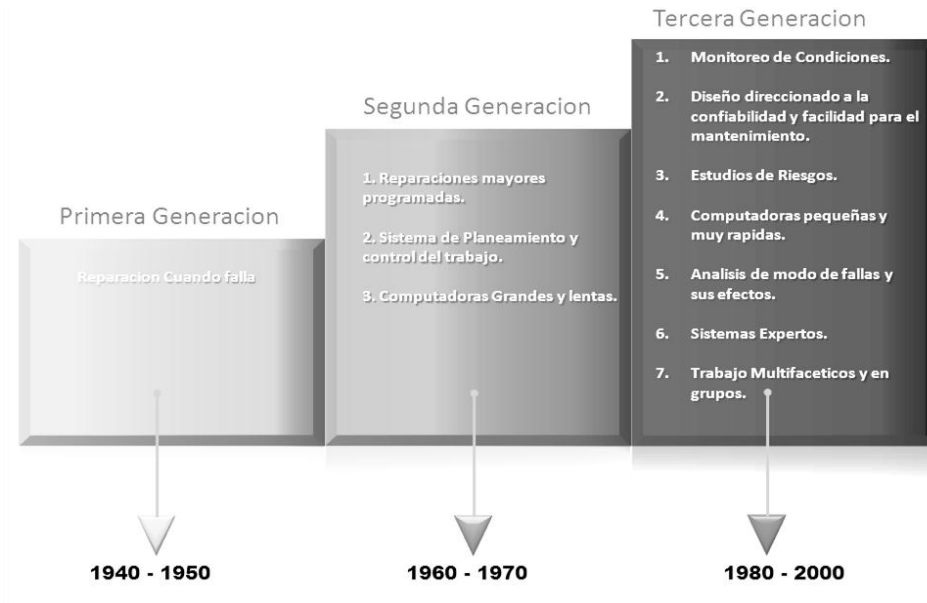
3.1.2 Historia de Mantenimiento La historia del mantenimiento, como parte estructural de las empresas, data desde el momento mismo de la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos.

Se reconoce la aparición de los primeros sistemas organizacionales de mantenimiento para sostener las máquinas desde principios del siglo XX, en los Estados Unidos, donde todas las soluciones a fallas y paradas imprevistas de equipos se solucionan vía mantenimiento correctivo. El autor Junior Reed reconoce la similitud de conceptos, pero se remonta al siglo XVIII con las teorías de producción de David Ricardo, como el origen claro de los sistemas de mantenimiento. Se ha convenido en que la evolución del mantenimiento durante el siglo xx ha tenido tres etapas, a las que llamaremos, a partir de ahora, primera, segunda y tercera Generación¹⁴.

3.1.3 La Evolución del Mantenimiento

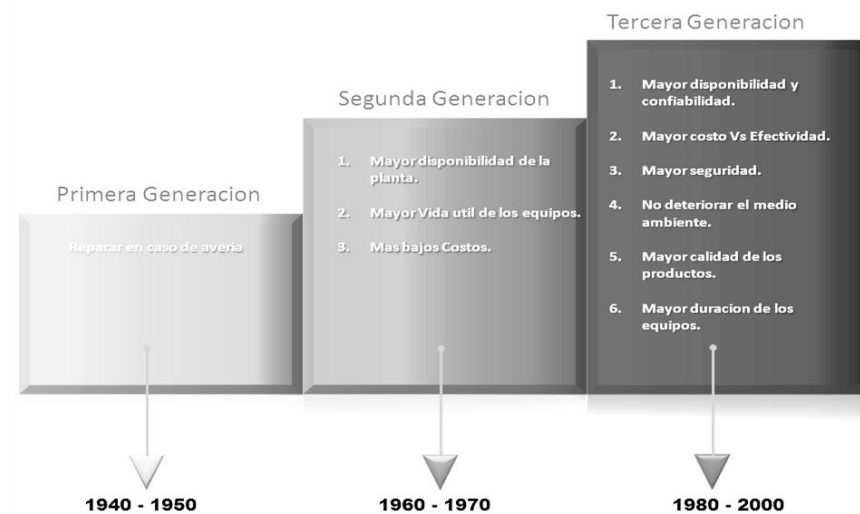
¹⁴ GONZÁLEZ, Francisco. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 1 ed. Madrid.: Fundación Confemetal, 2003. 525 p. ISBN 84-96169-03-0.

Figura 8. Cambio en las Técnicas de Mantenimiento



Fuente: GONZÁLEZ, Francisco. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 1 ed. Madrid.: Fundación Confemetal, 2003. 525 p. ISBN 84-96169-03-0.

Figura 9. Expectativas y Evolución del Mantenimiento



Fuente: GONZÁLEZ, Francisco. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 1 ed. Madrid.: Fundación Confemetal, 2003. 525 p. ISBN 84-96169-03-0.

3.1.4 Tipos y Niveles de Mantenimiento Una vez realizada la lista de equipos, desglosados incluso en los elementos que los componen e identificado cada ítem con un código único que permite referenciarlo, la siguiente tarea que debemos abordar es la de decidir cómo vamos a mantener cada uno de esos equipos¹⁵.

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

- **Mantenimiento correctivo:** Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.
- **Mantenimiento preventivo:** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno¹⁶.
- **Mantenimiento predictivo:** Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

¹⁵ GARCIA, Santiago. Organización Y Gestión Integral De Mantenimiento.1 ed. España.: Díaz De Santos, 2003. 320 p. SBN: 9788479785482

¹⁶ Ibid., p. 18

Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.

3.1.5 Objetivo de Mantenimiento y la Gestion Activos El objetivo del mantenimiento y la gestión integral de activos es conservar todos los bienes que componen los eslabones de un sistema de producción o servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, aplicando estrategias de confiabilidad y productividad teniendo siempre presente los beneficios reales tras una inversión¹⁷.

Este mantenimiento no solo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones de iluminación, redes de computación, sistemas de energía eléctrica, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos, etcétera.

La importancia de introducir mejoras en los procesos productivos y aplicar reformas en la confiabilidad radica en la necesidad que tienen las empresas de mejorar la cadencia en la producción, bajar los tiempos d set-up, mejorar la seguridad, sin producir un desmedro en la calidad¹⁸.

Los objetivos de mantenimiento deben alinearse con los de la empresa y éstos deben ser específicos y estar presentes en las acciones que realice el área. Estos objetivos serán los que mencionamos a continuación:

- Máxima disponibilidad
- Mínimo costo

¹⁷ TORRES, Leandro. Gestión Integral De Activos Físicos Y Mantenimiento. 1 ed. Buenos Aires, Argentina.: Alfaomega, 2015. 516p. ISBN 9788426722997.

¹⁸ Ibídem., p. 3

- Conservación de los activos físicos (máquinas, equipos y sistemas)
- Conservación de la energía - Implicación del Personal:
- Conservación del medio ambiente

3.1.5 Enfoque Hacia las Acciones de Mantenimiento Como fenómeno general y complejo, la automatización y complejidad tecnológica y de gestión de las líneas de producción, ha cambiado el paisaje industrial tradicional y, por consiguiente, ha transformado las formas de trabajo y de pensar. Esto es apreciado, incluso a nivel de taller, como un “choque tecnológico” bastante duro, pues se trata de un cambio a largo plazo, que requiere un tiempo de adaptación, obligándonos a cambiar las organizaciones y las tareas asignadas a los profesionales de las distintas funciones relacionadas con la producción¹⁹.

Es el momento de implantar, en paralelo con esta necesidad, la organización «participativa» y de trabajo en equipo, encuadrada en la teoría Z de las organizaciones.

A través de un cambio en la organización, el mismo acto de producirse transforma radicalmente. A partir de este momento, el operador no está solamente para ejecutar un trabajo con la ayuda de sus capacidades manuales, sino para vigilar el «comportamiento de una o varias máquinas a él asignadas y que son las que verdaderamente realizan el trabajo de «producir».

En este contexto, la naturaleza del trabajo ha cambiado y el nivel de competencias, preparación y responsabilidad de los operadores también ha cambiado²⁰.

¹⁹ REY, Sacristán Francisco. Hacia la Excelencia en Mantenimiento. 1 ed. Tgp Hoshin S.L. Madrid.: Tgp Hoshin, S.L. 1996. 411 p. ISBN 84-87022-21-9

²⁰ Ibid., p. 27

Además, estas transformaciones chocan profundamente con el resto de protagonistas de la producción (mantenimiento, control, procesistas, etc.) cuyas mentalidades deben «necesariamente evolucionar».

3.2 FUNDAMENTACIÓN RCM

3.2.1 Historia del RCM Es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. De éstos procesos, el RCM es el más efectivo²¹.

A mediados de 1970, el gobierno de los Estados Unidos de América quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves. Y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines.

Ellos lo titularon “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE” (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aún sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos.

Está disponible en el Servicio de Información Técnica Nacional del Gobierno de los Estados Unidos de América, en Springfield, Virginia.

Este reporte fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los Estados Unidos de América, un proceso que produjo inicialmente el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG – 1, Manual:

²¹ RELIABILITYWEB. El Camino hacia el RCM [en línea], Citado el 18 de febrero de 2015. [revisado 3 Abril 2018]. Disponible en Internet: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm>

Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970: MSG-2 Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los EEUU).

3.2.2 Definición de RCM Se define como un proceso usado para determinar qué es lo que debe hacerse para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en un contexto operacional presente²².

Una de las técnicas organizativas más actuales para aplicar en mantenimiento y mejorar significativamente sus resultados es la del Mantenimiento Centrado en Fiabilidad, a partir de ahora RCM (Reliability Centered Maintenance)²³.

El RCM se implementa sobre la base de una serie de pasos muy planificados y relacionados. Primero hay que examinar bien las metas de productividad y de mejora que ha definido la Dirección, para lo que se precisará una clara estrategia por parte de ésta sobre los principales parámetros a mejorar.

Una vez claro esto, hay que evaluar las maneras y métodos por los que estas metas pueden alcanzarse y los efectos de las averías o de los fallos. Teniendo claras las metas y cómo se pretenden alcanzar, debemos llevar a cabo un trabajo casi de investigación para deducir los modos de fallos más factibles y la mejor manera de eliminar o reducir las consecuencias de cada fallo. En determinados casos, el análisis de fallos asociado al análisis de costes nos aconsejará dejar que el equipo

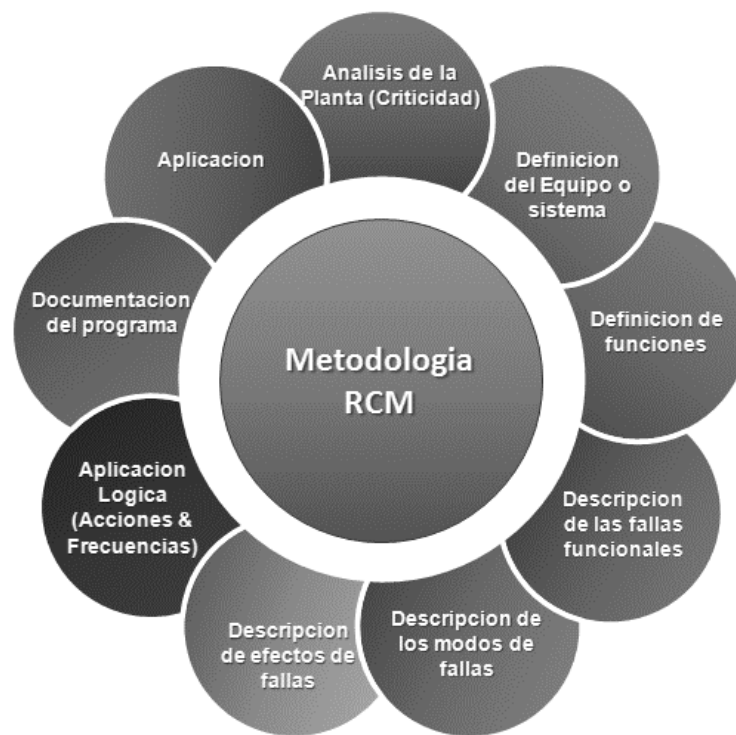
²² MOUBRAY John Mitchell, II RCM. Reliability Centred Maintenance - Second Edition. Aladon Limited, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

²³ GONZÁLEZ, Francisco. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 1 ed. Madrid.: Fundación Confemetal, 2003. 525 p. ISBN 84-96169-03-0.

siga funcionando hasta que falle, y no hacer ningún tipo de mantenimiento preventivo.

En otros, por ejemplo, también se nos inducirá a dejar que el equipo siga trabajando hasta que falle, pero con un sistema alternativo en paralelo, cuya incorporación mediante una reforma es más barata que realizar el periódico mantenimiento preventivo.

Figura 10. Fases Teóricas Metodología RCM



Fuente: Archivo el autor

3.2.3 Beneficios de la Aplicación del RCM Ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos quince años. Cuando se aplica correctamente,

produce los siguientes beneficios: Mejora en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes²⁴.

- La disposición de nuevos dispositivos de seguridad.
- La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
- Claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones "a falta de" que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas preventivas apropiadas.
- Menos fallas causadas por un mantenimiento innecesario.

3.2.4 las Siete Preguntas Básicas El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar²⁵:

- ¿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?

²⁴ TORRES, Leandro. Gestión Integral De Activos Físicos Y Mantenimiento. 1 ed. Buenos Aires, Argentina.: Alfaomega, 2015. 516p. ISBN 9788426722997.

²⁵ MOUBRAY John Mitchell, II RCM. Reliability Centred Maintenance - Second Edition. Aladon Limited, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

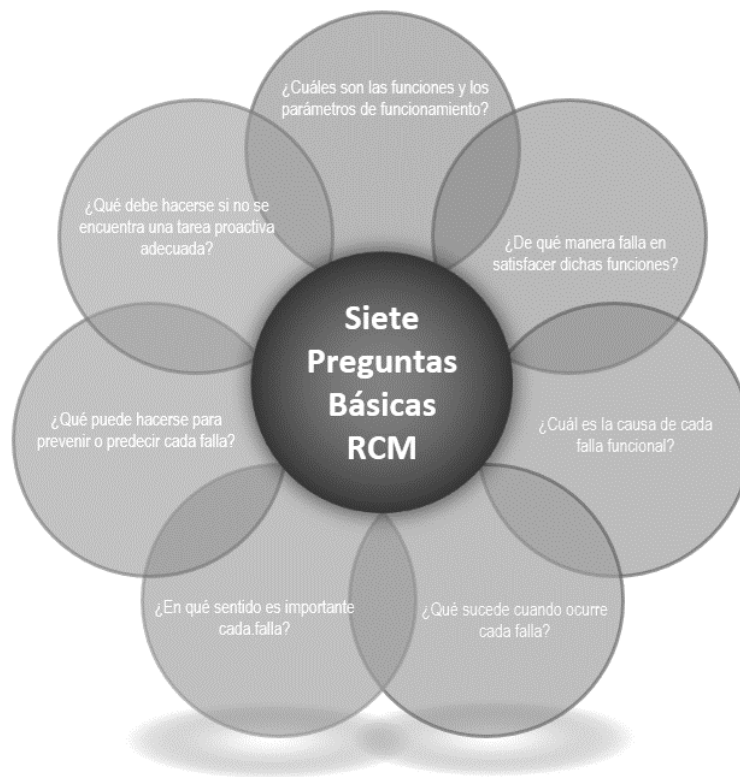
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Debido a que el RCM aprovecha los conocimientos de los operadores, diseñadores y mantenedores de equipos, una gran ventaja de la metodología es que se puede realizar un "ANÁLISIS EN CIRCUNSTANCIAS DONDE EXISTE UN ESCASO O NULO REGISTRO DE FALLAS" siempre que haya personas con mucho conocimiento y experiencia en la utilización de los equipos a analizar.

También, se aplica la metodología RCM para afinar las prácticas de mantenimiento de los equipos ya en operación desde el punto de vista de mejorar la disponibilidad, confiabilidad operacional y costos de dichos equipos²⁶.

²⁶ SILVA, Pedro & ORREGO, Juan Carlos. Confiabilidad en la Práctica. Primera Edición. Medellín.: 2014. 153 p.

Figura 11. Las Siete Preguntas Básicas



Fuente: Archivo el autor

3.2.5 Funciones Un principio bien establecido por la ingeniería es que las definiciones de funciones deben consistir de un verbo y de un objeto. También ayuda mucho iniciar las definiciones con un verbo en infinitivo ("bombear agua", "transportar gente", etc.).

Sin embargo y como se explica con detenimiento a continuación, los usuarios no esperan sólo que el activo cumpla con una función. También esperan que lo haga con un nivel de funcionamiento aceptable. Entonces la definición de una función y por ende la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico no está completa a menos que especifique el nivel de funcionamiento deseado por el

usuario, tan precisamente como le sea posible (en oposición a su capacidad de diseño)²⁷.

3.2.6 Fallas Funcionales Definiremos como fallo funcional aquel fallo que impide al equipo o al sistema analizado cumplir su función. Así, si analizamos el sistema de lubricación de un compresor, el fallo funcional podría ser: El sistema no lubrica. Para determinar un fallo funcional, no tenemos más que determinar la función que cumple y definir el fallo como la anti función, como el no cumplimiento de su función. Otros ejemplos: el fallo funcional de una bomba será que no bombea; el fallo funcional de un sistema de refrigeración será que no consigue enfriar²⁸.

3.2.7 Análisis Modos de Falla Un modo de falla es una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar.

Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten. Mientras más complejo es un sistema, más modos de falla tendrá. Por ejemplo, una alarma de incendio residencial puede fallar debido a una batería descargada o a la falta de ella, cableado defectuoso, detector defectuoso o alarma defectuosa. Un avión puede tener muchos modos de falla. ¿Qué ocasiona cada falla funcional? Llamamos modo de falla al fenómeno responsable del evento o condición de falla.

3.2.8 Efectos de Falla El cuarto paso en el proceso de revisión RCM consiste en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla. Los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla.

²⁷ MOUBRAY John Mitchell, II RCM. Reliability Centred Maintenance - Second Edition. Aladon Limited, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

²⁸ GARCIA, Santiago. Organización Y Gestión Integral De Mantenimiento.1 ed. España.: Díaz De Santos, 2003. 320 p. SBN: 9788479785482

Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre? La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas.

3.2.9 Consecuencias de las Fallas Una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene? El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas: las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente).
- Consecuencias Ambientales y para la seguridad: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación).
- Consecuencias No-Operacionales: Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación.

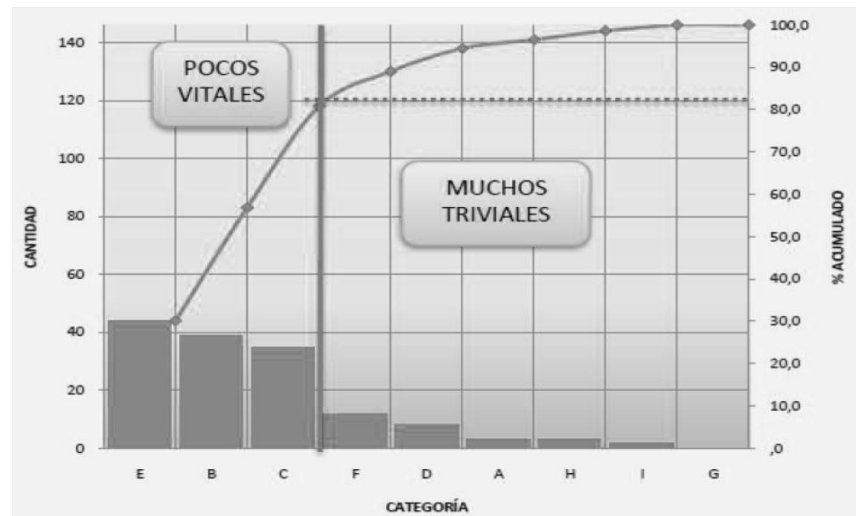
3.3 INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTA PARA RCM

3.3.1 Diagrama de Pareto El diagrama de Pareto, también llamado curva cerrada o Distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite

asignar un orden de prioridades. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Mediante la gráfica colocamos los "pocos que son vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha²⁹.

El diagrama facilita el estudio de las fallas en las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales psicosomáticos, como se puede ver en el ejemplo de la gráfica.

Figura 12. Diagrama de Pareto



Fuente: Archivo el autor

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal, sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos y rebotes internos del pronosticado. El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer

²⁹ WIKIPEDIA. Diagrama de Pareto [en línea], Citado el 31 de Marzo de 2018 [revisado 1 Abril 2018]. Disponible en Internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pareto

un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarla.

3.3.2 Análisis de Criticidad de Factores Ponderados El Análisis de Criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar por su importancia, los elementos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos).

En otras palabras, el análisis de criticidad, ayuda a determinar eventos potenciales indeseados, en el contexto de la confiabilidad operacional, entendiéndose confiabilidad operacional como: la capacidad de instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico en un tiempo determinado.

El valor de frecuencia de fallos se ubica en el eje vertical y el valor de consecuencias se ubica en el eje horizontal (se toma el resultado final de la expresión (2): $(IO \times FO) + CM + SHA$).

La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en tres áreas.

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

Figura 13. Análisis de Criticidad de Factores Ponderados

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: Archivo el autor

3.3.3 Diagrama de Ishikawa Los instrumentos avanzados de mantenimiento pueden contar con una herramienta vital en los procesos de causa de fallas o productos y/o servicios defectuosos, la cual es el diagrama Causa efecto, desarrollado en Japón por Kaoru Ishikawa en 1953³⁰.

La utilización del Diagrama de Ishikawa se complementa de buena forma con el Diagrama de Pareto el cual permite priorizar las medidas de acción relevantes en aquellas causas que representan un mayor porcentaje de problemas y que usualmente en términos nominales son reducidas.

3.3.4 Análisis del Modo, Efecto y Criticidad (FMECA) Es un método que analiza sistemáticamente todos los posibles modos potenciales de falla de un sistema e identifica el efecto resultante de tales fallas sobre el sistema. En algunos casos, el FMEA también contiene un estimado de la frecuencia de todos los modos de falla. Obviamente, el FMEA, puede ser de inmenso valor en la predicción de la

³⁰ MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. Ciudad de México.: Alfaomega, 2009. 528 p. ISBN: 978-958-682-769-0

confiabilidad y mantenibilidad, así como en el mejoramiento de los programas de mantenimiento³¹.

El FMEA fue, por primera vez, utilizado en tiempo pasado; en 1950, en el proyecto y desarrollo de sistemas de control de vuelo. Desde entonces la técnica ha sido ampliamente utilizada en la industria³².

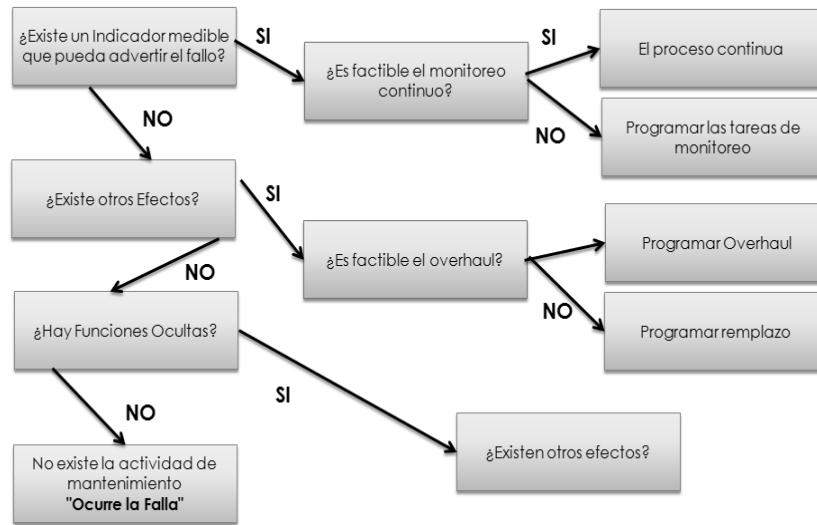
3.3.5 Árbol lógico de Decisiones Es un proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo, correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis.

Son las herramientas que permiten seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según sea la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

³¹ TAVARES, Lourival; DA SILVA, Joao; CALIXTO, Marco y POYDO, Paulo. Mantenimiento Centrado en el Negocio. 2 ed. México.: Publicado por: Noria Latín América, 2013. 260 p

³² *Ibidem.*, p. 139

Figura 14. Árbol lógico de Decisiones



3.5 DESCRIPCION Y ESTADO ACTUAL RETROEXCAVADORA

3.5.1 Componentes Representativos. Es una máquina versátil capaz de realizar una amplia gama de tareas mediante el uso de diversas herramientas de trabajo disponibles. El peso operativo es aproximadamente 44,970 Kg (99,150 lbs) para una máquina estándar; esta clasifica el 345C en la clase de excavadoras de 45 toneladas métricas.

Figura 15. Imagen Retroexcavadora 345



Fuente: Catálogo Especificaciones y Dimensiones Excavadora 345

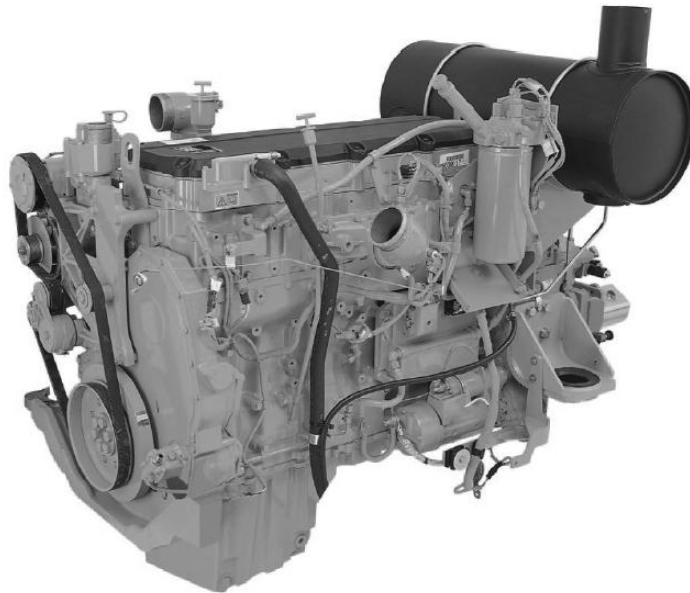
La tecnología ACERT³³ ofrece una cilindrada un 21% mayor que la del 3176C, y funciona a velocidades un 10% menores consumiendo menos gasolina y reduciendo el desgaste. La 345CL, equipada con un motor C13 ACERT, proporciona un 8% más de potencia comparado con el 3176C de la 345B Serie II. Con la tecnología ACERT³⁴, el motor C13 cumple con estas emisiones de EPA Tier 3 de EE.UU. produciendo además un bajo consumo de combustible.

El motor Cat C13 ACERT usa un turbocompresor con válvula de derivación de los gases de escape para mejorar el rendimiento. Este turbocompresor controla el volumen de aire que llega a los cilindros y funciona de modo eficiente durante las condiciones de carga baja y alta.

³³ Advanced Combustion Emissions Reduction Technology

³⁴ Advanced Combustion Emissions Reduction Technology

Figura 16. Motor C13 con tecnología ACERT®



Fuente: Catálogo Especificaciones y Dimensiones Excavadora 345

El sistema hidráulico de Cat suministra la potencia y el control preciso para mantener el material en movimiento. El sistema hidráulico piloto controla las operaciones del varillaje delantero, de rotación y de desplazamiento de la máquina. El operador puede seleccionar la modalidad de levantamiento pesado pulsando un botón para aumentar la capacidad de levantamiento y mejorar la capacidad de control de las cargas pesadas.

3.5.2 Especificaciones y Dimensiones Excavadora 345

Figura 17. Especificaciones Excavadora 345

Motor

Modelo de motor	C13 ACERT™ Cat®	
Potencia neta al volante	283 kW	380 hp
Potencia neta – ISO 9249	283 kW	380 hp
Potencia neta – SAE J1349	283 kW	380 hp
Potencia neta – EEC 80/1269	283 kW	380 hp
Calibre	130 mm	5,1 pulg
Carrera	157 mm	6,2 pulg
Cilindrada	12,5 L	763 pulg ³
Cilindros	6	

- La potencia neta anunciada es la potencia disponible al volante cuando el motor está equipado con ventilador, filtro de aire, silenciador y alternador.
- No se requiere una reducción de potencia del motor hasta los 2.300 m (7.500 pies) de altitud.

Pesos

Peso en orden de trabajo – Tren de rodaje largo	45.375 kg	100.040 lb
Peso en orden de trabajo – Longitud variable	49.265 kg	108.610 lb

- Alcance de la pluma para servicio pesado de 6,9 m (22 pies 8 pulg), brazo R 3,9 m (12 pies 10 pulg), cucharón GP-C de 1.219 mm (48 pulg), zapatas de cadena TG de 750 mm (30 pulg), tren de rodaje largo

Mecanismo de rotación

Velocidad de rotación	8,7 rpm	
Par de rotación	148,5 kN-m	109.560 lb-pie

Mando

Velocidad máxima de desplazamiento	4,5 km/h	2,8 mph
Fuerza de arrastre máxima en la barra de tiro – Tren de rodaje largo	337,7 kN	75.920 lb

Capacidades de llenado de servicio

Capacidad del tanque de combustible	705 L	186 gal
Sistema de enfriamiento	35,5 L	9,4 gal
Aceite del motor	42 L	11 gal
Mando de giro (cada uno)	10 L	2,6 gal
Mandos finales (cada uno)	15 L	4 gal
Sistema hidráulico (incluido el tanque)	570 L	150 gal
Tanque hidráulico	243 L	64 gal

Sistema hidráulico

Sistema principal – Flujo máximo (Total)	734 L/min	194 gal/min
Presión máxima – Equipos – Normal	35.000 kPa	5.080 lb/pulg ²
Presión máxima – Equipos – Levantamiento pesado	38.000 kPa	5.511 lb/pulg ²
Presión máxima – Desplazamiento	35.000 kPa	5.080 lb/pulg ²
Presión máxima – Rotación	31.400 kPa	4.550 lb/pulg ²
Sistema piloto – Flujo máximo	43 L/min	11 gal/min
Sistema piloto – Presión máxima	4.110 kPa	596 lb/pulg ²
Cilindro de la pluma – Calibre	160 mm	6,3 pulg
Cilindro de la pluma – Carrera	1.575 mm	62 pulg
Cilindro del brazo – Calibre	190 mm	7,5 pulg
Cilindro del brazo – Carrera (para frentes de alcance y largo alcance)	1.778 mm	70 pulg
Cilindro del brazo – Carrera (para frentes de excavación en gran volumen)	1.758 mm	69,2 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia TB – Calibre	160 mm	6,3 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia TB – Carrera	1.356 mm	53,4 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia UB – Calibre	170 mm	6,7 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia UB – Carrera	1.396 mm	55 pulg
Presión normal de alivio principal	35.000 kPa	5.080 lb/pulg ²

Rendimiento acústico

Rendimiento	Cumple con los requisitos de OSHA y MSHA, ANSI/SAE J1166 MAY90
-------------	--

- Con instalación correcta y buen mantenimiento, la cabina ofrecida por Caterpillar cumple con los requisitos de OSHA y MSHA en lo relacionado con los límites de exposición de ruido del operador vigentes en el momento de la fabricación, cuando se prueba con puertas y ventanas cerradas, según la norma ANSI/SAE J1166 OCT 98.
- Es posible que se requiera protección para los oídos cuando se opere una máquina con cabina y puesto de operador abiertos (si no se le efectúa el mantenimiento necesario, o las puertas y ventanas permanecen abiertas) durante períodos prolongados o en ambientes muy ruidosos.

Normas

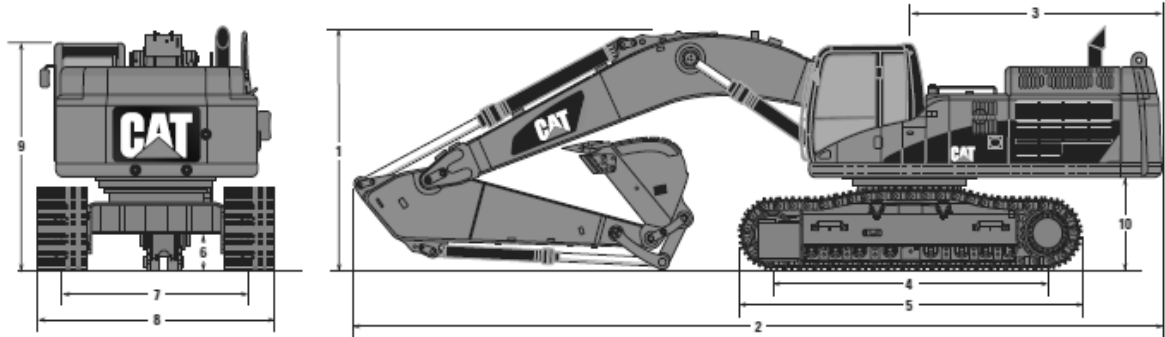
Frenos	SAE J1026 APR90
Cabina/FOGS	ISO 10262-1998 y SAE J1356 FEB88

Fuente: Catálogo Especificaciones y Dimensiones Excavadora 345

Figura 18. Dimensiones Excavadora 345

Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.



Pluma	Pluma de largo alcance 7,4 m (24 pies 3 pulg)		Pluma de alcance HD 6,9 m (22 pies 8 pulg)		Pluma para excavación de gran volumen 6,55 m (21 pies 6 pulg)	
Brazo	R4.3TB (14 pies 1 pulg)	R3.9TB (12 pies 10 pulg)	R3.9TB (12 pies 10 pulg)	R3.35TB (11 pies 0 pulg)	M3.0UB (9 pies 10 pulg)	M2.5UB (8 pies 2 pulg)
1 Altura de embarque						
Tren de rodaje de entrevía fija	3.680 mm (12 pies 1 pulg)	3.570 mm (11 pies 8 pulg)	3.660 mm (12 pies 0 pulg)	3.690 mm (12 pies 1 pulg)	4.020 mm (13 pies 2 pulg)	3.960 mm (13 pies 0 pulg)
Tren de rodaje de entrevía variable	3.630 mm (11 pies 11 pulg)	3.550 mm (11 pies 7 pulg)	3.640 mm (11 pies 11 pulg)	3.720 mm (12 pies 2 pulg)	4.050 mm (13 pies 3 pulg)	4.000 mm (13 pies 2 pulg)
2 Longitud de embarque						
Tren de rodaje de entrevía fija	12.450 mm (40 pies 10 pulg)	12.430 mm (40 pies 9 pulg)	11.950 mm (39 pies 2 pulg)	11.940 mm (39 pies 2 pulg)	11.640 mm (38 pies 2 pulg)	11.710 mm (38 pies 5 pulg)
Tren de rodaje de entrevía variable	12.400 mm (40 pies 8 pulg)	12.370 mm (40 pies 7 pulg)	11.910 mm (39 pies 1 pulg)	11.910 mm (39 pies 1 pulg)	11.620 mm (38 pies 1 pulg)	11.680 mm (38 pies 4 pulg)
3 Radio de giro de cola	3.770 mm (12 pies 4 pulg)	3.770 mm (12 pies 4 pulg)	3.770 mm (12 pies 4 pulg)	3.770 mm (12 pies 4 pulg)	3.770 mm (12 pies 4 pulg)	3.770 mm (12 pies 4 pulg)
Tren de rodaje	Entrevía fija		Entrevía variable			
4 Longitud hasta el centro de los rodillos	4.360 mm (14 pies 4 pulg)		4.340 mm (14 pies 3 pulg)			
5 Longitud de cadena	5.360 mm (17 pies 7 pulg)		5.340 mm (17 pies 6 pulg)			
6 Espacio libre al suelo	510 mm (1 pie 8 pulg)		740 mm (2 pies 5 pulg)			
7 Entrevía						
Posición retraída (transporte)	2.740 mm (9 pies 0 pulg)		2.640 mm (8 pies 8 pulg)			
Posición extendida (trabajo)	2.740 mm (9 pies 0 pulg)		2.890 mm (9 pies 6 pulg)			
8 Ancho de cadena*						
Posición retraída (transporte)	3.640 mm (11 pies 11 pulg)		3.540 mm (11 pies 7 pulg)			
Posición extendida (trabajo)	3.640 mm (11 pies 11 pulg)		3.790 mm (12 pies 5 pulg)			
9 Altura de cabina	3.210 mm (10 pies 6 pulg)		3.360 mm (11 pies 0 pulg)			
10 Altura del contrapeso (hasta la parte inferior)	1.320 mm (4 pies 4 pulg)		1.470 mm (4 pies 10 pulg)			

* El ancho de cadena que se muestra corresponde a zapatas de cadena de 900 mm (36 pulg). Reste 150 mm (6 pulg) para zapatas de cadena de 750 mm (30 pulg).

Fuente: Catálogo Especificaciones y Dimensiones Excavadora 345

3.5.2 Estado deseado Frente el Actual de la maquina

Para la gestión de mantenimiento se cuenta con 16 excavadoras, de las cuales 7 son de modelo 345D EEH y 9 de 345C PJW relacionados tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Inventario Retroexcavadora 345D EEH (7) - 345C PJW (9)

EQ-	EQ.	MOD	S	SERIAL	ENGINE
M06141	6141	345D	EEH	EEH00652	C-13-MHX-0
M06142	6142	345D	EEH	EEH00666	C-13-MHX-0
M06143	6143	345D	EEH	EEH00649	C-13-MHX-0
M06144	6144	345D	EEH	EEH00661	C-13-MHX-0
M06145	6145	345D	EEH	EEH00668	C-13-MHX-0
M06146	6146	345D	EEH	EEH00671	C-13-MHX-0
M06147	6147	345D	EEH	EEH00285	C-13-MHX-0
M06150	6150	345CL	PJW	PJW01409	C-13-MHX-0
M06151	6151	345CL	PJW	PJW00771	C-13-MHX-0
M06152	6152	345CL	PJW	PJW02004	C-13-MHX-0
M06154	6154	345CL	PJW	PJW02410	C-13-MHX-0
M06156	6156	345CL	PJW	PJW01410	C-13-MHX-0
M06158	6158	345CL	PJW	PJW00454	C-13-MHX-0
M06159	6159	345CL	PJW	PJW01382	C-13-MHX-0
M06195	6195	345CL	PJW	PJW01163	C-13-MHX-0
M06196	6196	345CL	PJW	PJW00938	C-13-MHX-0

Figura 19. Fallas en Campo Retroexcavadora



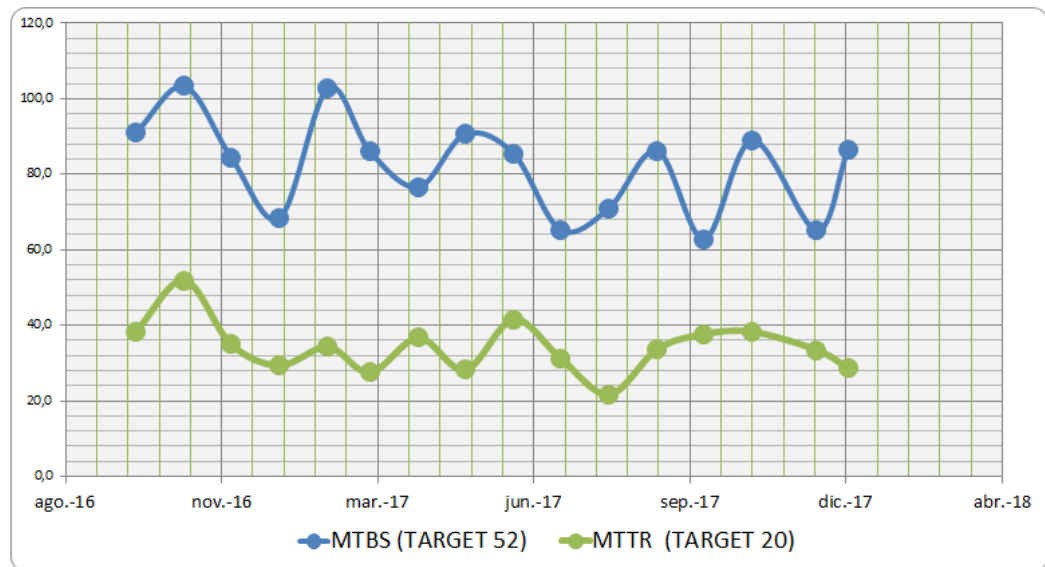
Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd

Figura 20. Fugas Hidráulicas en Campo Retroexcavadora



Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd.

Figura 21. Tiempo Medio de Reparaciones Vs Tiempo Medio Entre Falla



Fuente: Archivo Tiempo Medio de Reparaciones Vs Tiempo Medio Entre Falla)

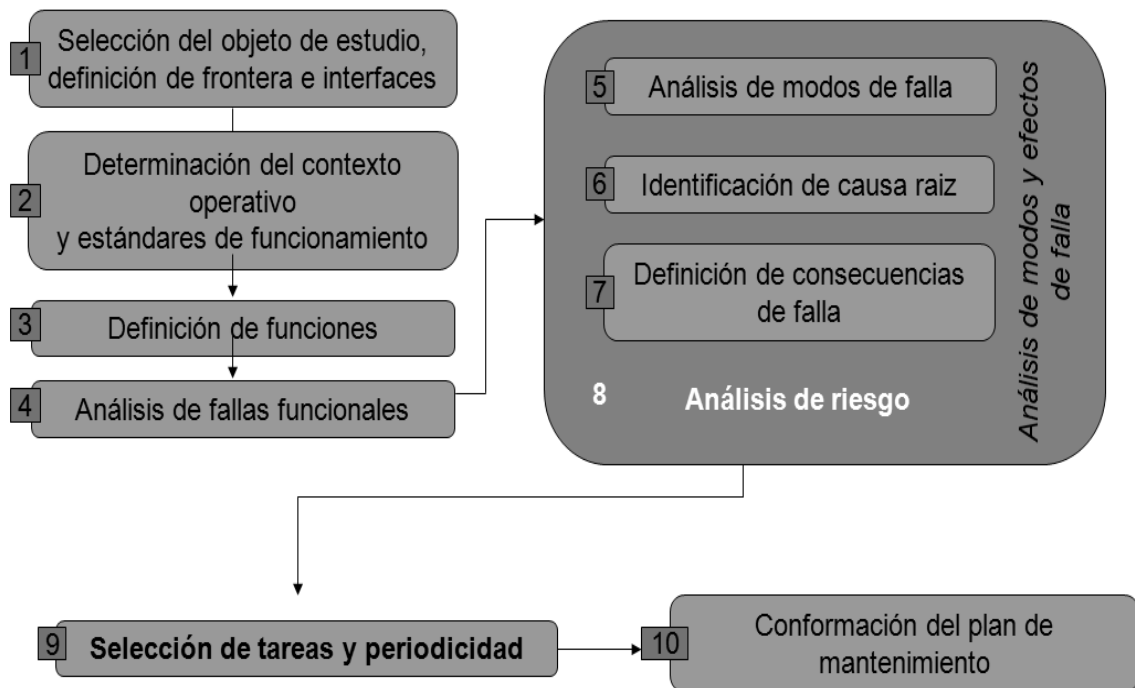
4. IMPLEMENTACIÓN RCM EQUIPOS EXCAVADORA 345

4.1. METODOLOGIA DE RCM Y LA NORMA SAE JA 1011 Y JA 1012

El desarrollo de esta investigación se encuentra fundamentada en la Norma SAE JA 1011 y JA 1012 donde establecen la metodología para la implementación de la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM o MCC).

El proceso de RCM incluye llevar a cabo análisis de modos, efectos y criticidad de falla (FMECA), seleccionando funciones relevantes y llevando a cabo una evaluación y selección de soluciones para evitar fallos, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 22. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM



Fuente: Memorias Curso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. Daniel Ortiz Plata

4.2 CONFORMACION DEL GRUPO DE TRABAJO RCM

Una de las primeras actividades fue crear el grupo de trabajo, la información fue suministrada por el personal operarios y técnicos de mantenimiento, respaldadas por las experiencias, rutinas, y situaciones reales ocurridas en las retroexcavadoras 345. Esas enseñanzas asimiladas añadieron un valor agregado muy meritorio para poder ampliar todas las identificaciones técnicas del proceso.

Figura 23. Conformación Grupo de Trabajo



Fuente: Archivo el autor

El grupo de proyecto RCM define y clasifica los objetivos y el alcance del análisis, requerimientos y políticas de criterio de aceptación con respecto a la seguridad y protección del medio ambiente. El equipo de trabajo debe ser pluridisciplinario altamente proactivo, conformado por personas de los departamentos de mantenimiento, operaciones y especialistas. Estas personas deberán estar altamente familiarizadas con los temas que les competan.

Figura 24. Funciones Grupo de Trabajo



Fuente: Archivo el autor

Las funciones del grupo de trabajo están enmarcadas en ejecutar acciones de mejoramiento duradero en las operaciones de la empresa.

Estos estudios nos permiten conocer el orden de implantación de las técnicas a usar, de manera de avalar un impacto significativo en los sistemas estudiados.

De igual manera se formaliza un protocolo de reunión, que tiene como propósito establecer parámetros que son imprescindibles para una correcta organización del grupo de trabajo establecido en la filosofía de RCM, orientadas a mejorar la confiabilidad de las retroexcavadoras 345.

Vale la pena resaltar, el esfuerzo denodado y comprometido que demostraron los integrantes del grupo en aportan al proceso de mejora continua, para alcanzar el más alto nivel de calidad. Además, de todo lo expuesto también se puede subrayar que durante las reuniones del grupo se obtuvieron propuestas de mejoramiento y políticas a la seguridad y protección del medio ambiente.

4.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.3.1 Recolección de Información El siguiente paso fue indagar por los registros de Información digital que quedaron a cargo del CMMS³⁵ sistema computarizado y administrado por Oracle ³⁶ “Peoplesoft” y el intervalo de fechas utilizado comprendido entre el mes de enero del 2014 y diciembre del 2016. Peoplesoft suministró información histórica, igualmente reseñas de los tipos de mantenimientos preventivos y correctivos ejecutados a cada uno de camiones.

Se colige fácilmente, que el registro sistemático y riguroso de la información suministro poner en orden el cúmulo de información, sintetizando tal manera que su recopilación fuese ágil y eficiente.

Figura 25. Imagen CMMS Oracle “Peoplesoft”

The screenshot displays the Oracle CMMS interface for a Work Order. The main form includes the following fields and sections:

- Work Order:** 000283432
- Description:** Fuga por sello de union del TK de direccion, (4) gotas JOSE R. HENAO
- Created On:** 10/18/2017 2:46AM
- By:** Bolano, Jairo
- Required Start:** 10/18/2017
- End:** 10/18/2017
- WO Duration:** 6.00 Hours
- WO Status:** Open / Abierta
- Approval Status:** Approved
- *WO Type:** Backlog orders
- *Priority:** M_Proximo PM (Cualquiera)
- *Shop:** PL_BAJA_PM
- Asset Unit:** 3084M
- Asset ID:** M02250
- Asset Location:** MINAPRIB
- Area ID:** (empty)
- Asset Details:** CAT 793C Overburden Truck
- Asset Location:** Mina Pribbenow

The **Work Order Tasks** section contains a table with the following data:

Sequence	*Description*	*Asset ID*	Status*	Problem Group	Descr	Problem	Descr	Cause	Descr	Task Duration (Hrs)	Resolution
1	10 Fuga por sello de union del TK	M02250	Sched / BK-Gre	4300	Sistema de Direccion	4332	Tanque de Direccion	410	Fuga / Leak	6.00	

Buttons at the bottom include: Print, Print Preview, Copy To New Work Order, Save, Return to Search, Previous in List, Next in List, Notify, and Refresh.

Fuente: Archivos Sistema Peoplesoft

³⁵ Sistema de Mantenimiento Computarizado. También conocido por las siglas GMAO

³⁶ Compañía especializada en el desarrollo de soluciones de nube y local. Oracle tiene sede en la localidad California de Redwood City

Otras herramientas utilizadas para la recolección de información:

- Recolección de información mediante el diagrama de Ishikawa donde se inspecciona cada causa y por medio del consenso establecen cuales son las verdaderas fallas.
- Recolección de Información técnicas de Brainstorming “La tormenta de Ideas” busca la cooperación de todos los miembros del grupo de trabajo de RCM.

4.3.2 Históricos de base de datos Peoplesoft Estos registros permiten respaldar los hallazgos y condiciones del sistema, consintió en visualizar eventos repetitivos (frecuencia), categorizar sobre qué aspectos se debe trabajar de manera inmediata sobre los equipos.

Tabla 2. Históricos de base Peoplesoft

Asset ID	Unit	Mode	Shop	Work Order	Statu	Long Descr	In	final down	Problem	Descr Group	Problem	Descr Problem	Causa	Des
M06142	COMED	345	FIELD DESC	0000179385	2	CLSD	PM (XA)	###	05/01/2017	7500X	Eq. Mov-PM (Tractores)	PM-A	PM-A	
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000179563	2	CLSD	no prende evaluar, se reemplazan las cuatro baterías y se corrige corto eléctrico en la	###	03/01/2017	1400R	Eq. Mov-Sistema Eléctric	1401	Baterías	710
M06151	COMED	345	FIELD DESC	0000180015	2	CLSD	Pasador del gato del boom se esta saliendo. evaluar	###	06/01/2017	5100R	Eq. Mov-Cilindros / Hydra	5406	Cilindro de Boom	
M06142	COMED	345	FIELD DESC	0000180336	2	CMPL	Link master oruga RH P.JWTK1126, partido se envía cadena a pribbenow para ser rep	###	12/01/2017	4150R	Eq. Mov-Sistema Rodaje	4311U	Estabón (Master)	U1048
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000180427	2	CLSD	Tomillos faltantes de segmento de sproket de ambos mandos finales LH y RH	###	07/01/2017	4150R	Eq. Mov-Sistema Rodaje	4211U	Sprockets	U054
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000180434	2	CLSD	Filtros de combustible obstruidos. PIN3261643 y PIN 1R0755 interno.	###	07/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	1260	Filtro de Combustible	530
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000180500	2	CLSD	Eval. fuga por Línea que une los controles HYD de implemento PIN 292-7282	###	08/01/2017	5050R	Eq. Mov-Hidráulico	5057	Lineas Hidráulicas	TP087
M06151	COMED	345	FIELD DESC	0000180579	2	CLSD	Evaluar Baja potencia se cambian filtros de aire INT PIN 1421403 Ext PIN 1421390	###	08/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	12345	Causa No Identificada	12345
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000180706	2	CLSD	Evaluar fuga de combustible. se cambió bombin PIN1832823 y sello PIN 9Y-8389	###	09/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	12589	Bombin Cebado Cont	98588
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000180732	2	CLSD	PM XG	###	11/01/2017	7500X	Eq. Mov-PM (Tractores)	PM-G	PM-G	
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000180839	2	CLSD	se apaga. evaluar/se cambian filtros de aire y secundarios pin 1421340—pin14014	###	10/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	12345	Causa No Identificada	12345
M06151	COMED	345	FIELD DESC	0000180923	2	CLSD	Oruga rh. des tensionada se cambia V/V del tensor RH	###	10/01/2017	4150R	Eq. Mov-Sistema Rodaje	428U	Grupo Tensor	U086
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000180936	2	CLSD	Eval. fuga hydca, se cambio sello. pin 1p- 37 04	###	13/01/2017	5050R	Eq. Mov-Hidráulico	5057	Lineas Hidráulicas	TP087
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000181069	2	CLSD	PM XC3	###	14/01/2017	7500X	Eq. Mov-PM (Tractores)	PM-X	PM-X	
M06154	COMED	345	FIELD DESC	0000181344	2	CLSD	Presenta fuga hyd. por manguera del cilindro lado lh. del boom pin57290	###	13/01/2017	5100R	Eq. Mov-Cilindros / Hydra	H023		
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000181467	2	CLSD	aluma bajo flujo de refrigerante, tiene nivel de refrigerante completo (evaluar/se revis	###	13/01/2017	1400R	Eq. Mov-Sistema Eléctric	12345	Causa No Identificada	12345
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000181508	2	CLSD	Fuga hyd. evaluar. Se encontró racor flujo de una línea del joystick se retroquesa	###	13/01/2017	7300R	Eq. Mov-Cabina del Oper	5705	Joystick de implemen	TP490
M06159	COMED	345	FIELD DESC	0000181521	2	CLSD	Caucho de la puerta en mal estado. evaluar/ se le hace resellado a la cabina p1513	###	13/01/2017	7300R	Eq. Mov-Cabina del Oper	7308	Puerta Cabina	TP157
M06142	COMED	345	FIELD DESC	0000181524	2	CLSD	Evaluar fuga hyd. Se encontró línea rota se cambia. PIN 2927247	###	14/01/2017	5050R	Eq. Mov-Hidráulico	5057	Lineas Hidráulicas	TP076
M06159	COMED	345	FIELD DESC	0000181716	2	CLSD	Evaluar problemas de luces se le cambian dos lamparas parte superior de la cabina	###	15/01/2017	1400R	Eq. Mov-Sistema Eléctric	1429	Luces	75141
M06142	COMED	345	FIELD DESC	0000181720	2	CLSD	Evaluar Alarma filtros hyd obst. Cambiar filtros Hidráulicos. PIN 1795806. se cambia	###	15/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	12345	Causa No Identificada	12345
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000181728	2	CLSD	Cambio filtros de admisión PIN 1421340	###	15/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	12345	Causa No Identificada	12345
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000181790	2	CLSD	Fuga de combustible. bombin agrietado/se cambia bombin pin 1832823	###	15/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	12589	Bombin Cebado Cont	98588
M06159	COMED	345	FIELD DESC	0000181809	2	CLSD	PM XG2	###	19/01/2017	7500X	Eq. Mov-PM (Tractores)	PM-X	PM-X	
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000181866	2	CLSD	WTY Presenta baja potencia y se apaga Motor con 5.326.00 Hrs de senicio. Instalad	###	17/01/2017	1000R	Eq. Mov-Motor	12345	Causa No Identificada	12345
M06159	COMED	345	FIELD DESC	0000181901	2	CLSD	Evaluar fuga hidráulica /se cambia sellos del control piloto. que salen del control y lleg	###	16/01/2017	5050R	Eq. Mov-Hidráulico	12345	Causa No Identificada	12345
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000181916	2	CLSD	presenta fuga hyd. evaluar/se corrige fuga. por línea que sale del control al diver se la	###	17/01/2017	5050R	Eq. Mov-Hidráulico	5057	Lineas Hidráulicas	TP094
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000182100	2	CLSD	Eval. Alarmas multiples.	###	17/01/2017	1400R	Eq. Mov-Sistema Eléctric	12345	Causa No Identificada	12345
M06159	COMED	345	DESC SHOP3	0000182203	2	CPNM	Colocar diente al balde	###		6000R	Eq. Mov-Balde. Hoja, Car.	6001	Balde	TP484
M06159	COMED	345	FIELD DESC	0000182535	2	CLSD	Compresor descomprimado y sistema AA contaminado. Cambiar compresor Inst	###	20/01/2017	7320R	Eq. Mov-Aire Acondicion	1802	Compresor de A/C	TP208
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000182706	2	CLSD	Presenta corto en la cabina. evaluar. se corrige corto switch encendido	###	21/01/2017	7300R	Eq. Mov-Cabina del Oper	7301	Cabina / Cab	TP155
M06150	COMED	345	FIELD DESC	0000182750	2	CLSD	Cerradura puerta LH, mal estado, resellado vidrio In inferior. Reparacion de cerradura	###	21/01/2017	7300R	Eq. Mov-Cabina del Oper	7310	Vidrios Ventanas / W	TP326
M06196	COMED	345	FIELD DESC	0000182884	2	CLSD	Fuga hyd. evaluar/se corrige sensor de presion de los sellos pin2385080	###	22/01/2017	5050R	Eq. Mov-Hidráulico	5057	Lineas Hidráulicas	TP087

Fuente: Peoplesoft

4.4 INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS ESTADISTICAS

4.4.1 Aplicación Diagrama de Pareto Equipo La teoría basada sobre el diagrama de Pareto se encuentra fundamentada en el marco conceptual de este estudio.

Para esto se empezó por clasificar todos los defectos posibles en sus diversos tipos de fallas, entre enero 2017 a diciembre del 2017, mediante los archivos históricos se identificaron todos los inconvenientes de los sistemas.

Posteriormente se estudió la información para ser ordenada y determinar la frecuencia de cada tipo de defecto, encontrando así los tipos de errores con una frecuencia general que afectan en los equipos.

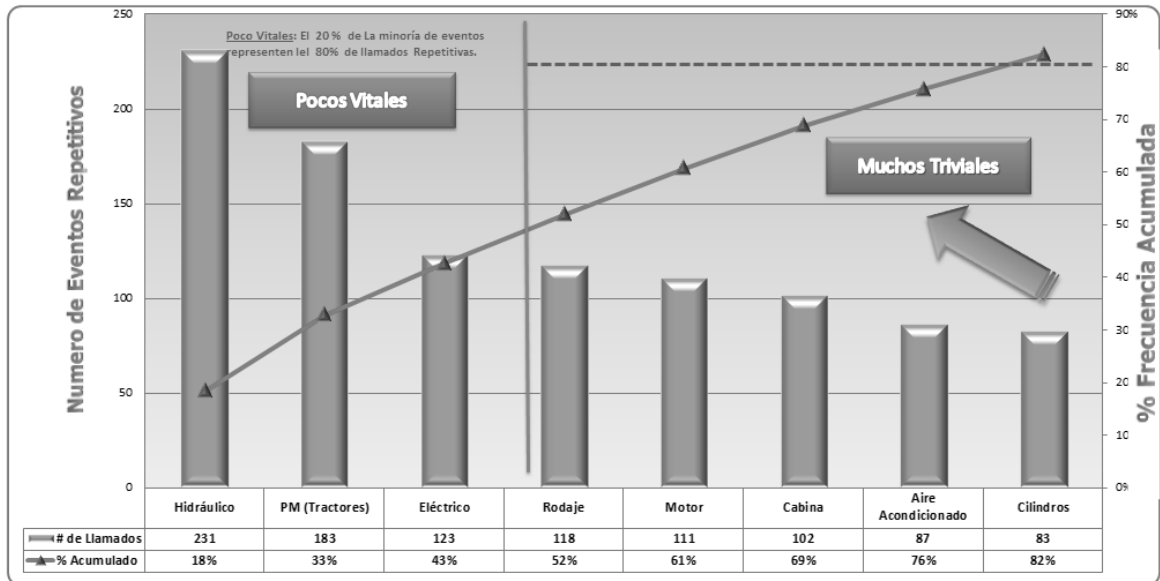
Mediante una representación gráfica o tabular en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor.

Tabla 3. Estadística de Fallas

Codigo Modo de Fallo	Sistema /General	# de Llamados	% Acumulado
9700	Eq_Mov-Hidráulico	231	22%
1000R	Eq_Mov-PM (Tractores)	183	40%
1353R	Eq_Mov-Sistema Eléctrico	123	52%
1400R	Eq_Mov-Sistema Rodaje	118	63%
3030R	Eq_Mov-Motor	111	74%
4051R	Eq_Mov-Cabina del Operador	102	84%
4150R	Eq_Mov-Aire Acondicionado	87	92%
5050R	Eq_Mov-Cilindros / Hydraulic	83	100%
Total de Llamados		1038	

Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

Figura 26. Diagrama de Pareto de Fallas Retroexcavadora

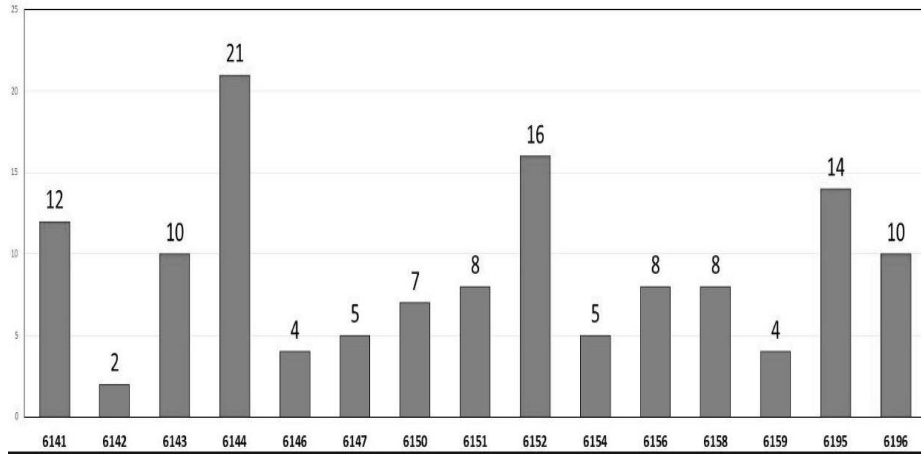


Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

Como se puede observar en la tabla de cálculo de Pareto, el 20 % de la minoría de eventos representan el 80% de llamados repetitivos que corresponde al sistema Hidráulico con un acumulado del 22%, los mantenimientos preventivos con un acumulado del 40%, Sistema Eléctrico con un acumulado del 52, el Sistema Rodaje con un acumulado del 63, y por último el sistema de Motor con un acumulado del 74 % (frecuencia acumulada) estas causas afectan la disponibilidad de las 16 retroexcavadoras de la flota de tractores.

A continuación, se define las fallas que corresponden al sistema que impacta al equipo y así garantizar con exactitud aspectos que se presentan con mayor frecuencia, y que permitan dar alcances de las acciones orientadas a mejorar la confiabilidad.

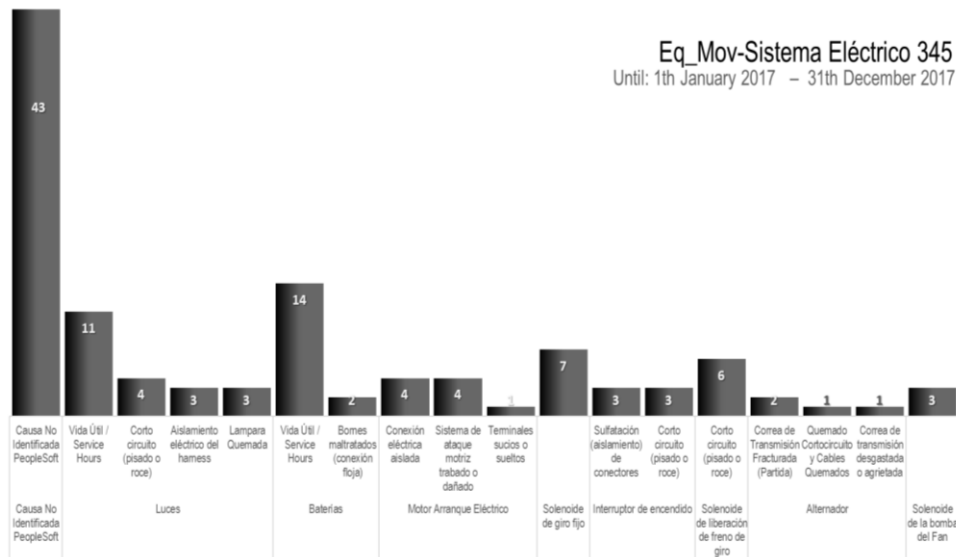
Figura 27. Sistema Crítico Impactado por Alta temperatura



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

La utilización de esta herramienta permitió visualizar el 80% de eventos repetitivos (frecuencia), decidir sobre qué aspectos se debe trabajar de manera inmediata sobre los equipos. Cabe anotar el sistema Hidráulico por alta temperatura predomina en las retroexcavadoras, debido a los altos costos anuales de mantenimiento, entre enero 2017 a diciembre del 2017.

Figura 28. Numero de Llamados Sistema Eléctrico



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

Figura 32. Resultado Matriz de Criticidad

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

La matriz de criticidad permitió establecer o constituir de forma fácil tres zonas específicas: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Esta información es la que permite orientar la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad.

Los resultados obtenidos establecieron el sistema más crítico, es el **SISTEMA HIDRAULICO POR FALLA POR ALTA TEMPERATURA** criticidad total: 82, adquirió mayor valor de criticidad, se asumirá como el sistema donde se enfoca la labor objeto de este estudio.

4.5 ANALISIS DE CAUSAS POTENCIALES

4.5.1 Aplicación Técnicas de Brainstorming La Lluvia de Ideas es una técnica que tiene como objetivo generar la mayor cantidad de ideas posibles en un periodo de tiempo determinado. En este método, los participantes son invitados a pensar ideas rápidamente alrededor de una pregunta, problema u oportunidad, La única regla para desarrollar una lluvia de ideas son: “ninguna idea es mala”. Esta técnica, que prioriza la cantidad sobre la calidad de las ideas, es usada generalmente como un proceso divergente para estimular la creatividad y la innovación, y posteriormente, se transforma en un proceso convergente al agrupar y evaluar las ideas generadas durante el proceso

Figura 33. Evidencia Técnicas de Brainstorming



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

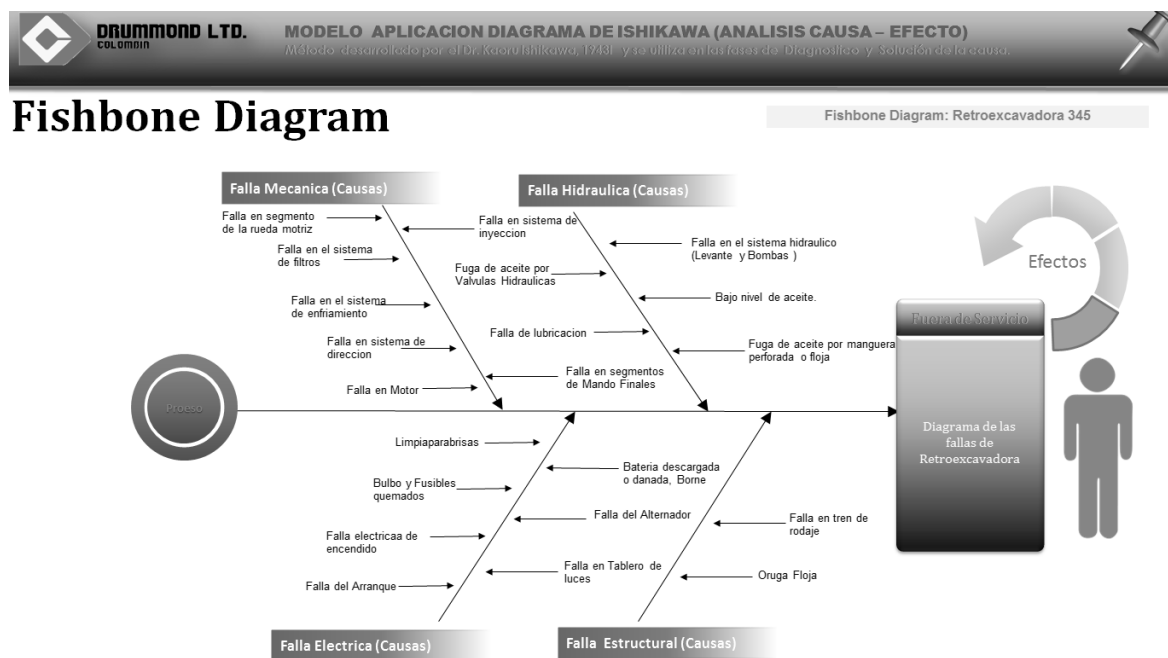
La tormenta de ideas (**Brainstorming**), busca la cooperación de todos los miembros del grupo de trabajo de RCM, ya que todas las ideas son válidas y

ninguna puede ser rechazada, haciendo el proceso más eficiente y obteniendo datos con criterio, como resultado de las reuniones establecidas en el grupo de trabajo de RCM, se estableció la divulgación a todos los empleados involucrados en el área de mantenimiento (técnicos, eléctricos, operarios), el formato para la recolección de información necesaria para la construcción del diagrama de Ishikawa.

4.5.2 Aplicación Diagrama de Ishikawa El equipo de trabajo inspecciona cada causa y por medio del consenso establecen cuales son las verdaderas causas que están produciendo el problema a los equipo en el sistema de Hidráulico.

Las identificaciones de las consecuencias recolectadas por la técnica del diagrama de Ishikawa en cada uno de los sub-sistema del sistema hidráulico, tal como se muestran en la plantilla de análisis de FMECA.

Figura 34. Modelo de Aplicación Diagrama de Ishikawa



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

4.5.3 Aplicación Análisis del Modo, Efecto y Criticidad (FMECA) Se determinó emplear la filosofía del RCM (Reliability Centered Maintenance) al Sistema Hidráulico por alta temperatura con mayor valor de criticidad. Los componentes a evaluar se seleccionaron del siguiente modo:

Radiador

Bomba de agua

Enfriador de aceite de motor

Termostato

Refrigerante

Tanque de expansión

Tapa de Tanque de Expansión

Tapa de radiador

Galerías del Bloque del Motor

Empaque de Culata

Ventilador

Tuberías y Mangueras de Refrigerante

Tuberías y Mangueras de Aceite Hidráulico

Enfriador de aceite hidráulico

Válvula Bypass

Motor del Ventilador

Válvula Compensadora de Bomba del Ventilado

Solenoides de la Bomba del Ventilador

Bomba del Ventilador

- **Evaluación y análisis Funcional**

Las funciones fueron enfocadas en las siguientes Preguntas: ¿Por qué fue instalado el sistema? y ¿Qué tiene que hacer el sistema para cumplir con su misión? (Verbo + Sujeto/Acción + Parámetros de Funcionamiento).

Figura 35. Análisis Funcional

Elemento De Estudio	Cód. Func.	Función
Radiador	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente
	RAD2	Contener el refrigerante
Bomba de agua	BOM1	Bombear líquido refrigerante a una presión entre 15 y 30 PSI
	BOM1	Bombear líquido refrigerante a una presión entre 15 y 30 PSI
	BOM1	Bombear líquido refrigerante a una presión entre 15 y 30 PSI
Enfriador de aceite de	ENF1	Transferir el calor del aceite de motor para cederlo al refrigerante

Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

- **Descripción de las Fallas Funcionales**

Generalmente se describe como el equipo fallo. ¿Cómo Fallo? No él ¿Por qué?, adicionalmente se respondieron las siguientes preguntas: ¿puede hacer más?, ¿puede hacer menos?, ¿puede hacer otra cosa? sobre la base de lo indicado en la función y en las condiciones operacionales.

Figura 36. Fallas Funcionales

Elemento De Estudio	Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA
Radiador	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A1	Bajo flujo de aire por bajas RPM del ventilador	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A2	Refrigerante no circula por obstruccion en manguera	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A3	Bajo flujo de aire por taponamiento en la parte exterior	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A4	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD2	Contener el refrigerante	RAD1B	No contiene el refrigerante	RAD1B1	Estructura del radiador rota	Fugas de refrigerante	NO
Bomba de agua	BOM1	Bombear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 1	Interiores de la Bomba frenados	Sobrecalentamiento del Motor	NO
	BOM1	Bombear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 2	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO
	BOM1	Bombear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 3	Fuga por testigo de la bomba	Sobrecalentamiento del motor	NO
Enfriador de aceite de	ENF1	Transferir el calor del aceite de motor para cederlo al refrigerante	ENF1A	No transfiere el calor	ENF1A1	Tuberia obstruida con cedimentos	Sobrecalentamiento del motor	NO

Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

- **Descripción del Modo de Fallo**

Una vez que se ha identificado la falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que puedan haber causado cada estado de falla.

La descripción del modo de falla relacionados tiene como mínimo un sustantivo y un verbo, fueron evitados usar los verbos: Falla, Daño, Mal funcionamiento, se utilizaron causas precisas.

Figura 37. Modo de Fallos

Elemento De Estudio	Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA
Radiador	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A1	Bajo flujo de aire por bajas RPM del ventilador	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A2	Refrigerante no circula por obstrucción en manguera	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A3	Bajo flujo de aire por taponamiento en la parte exterior	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A4	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO
	RAD2	Contener el refrigerante	RAD1B	No contiene el refrigerante	RAD1B1	Estructura del radiador rota	Fugas de refrigerante	NO
Bomba de agua	BOM1	Bompear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 1	Interiores de la Bomba frenados	Sobrecalentamiento del Motor	NO
	BOM1	Bompear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 2	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO
	BOM1	Bompear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 3	Fuga por testigo de la bomba	Sobrecalentamiento del motor	NO
Enfriador de aceite de	ENF1	Transferir el calor del aceite de motor para cederlo al refrigerante	ENF1A	No transfiere el calor	ENF1A1	Tuberia obstruida con cedimentos	Sobrecalentamiento del motor	NO

Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

- **Descripción de Efectos de Falla**

En las descripciones de efectos de fallas se utilizaron las siguientes preguntas: ¿Qué ocurre Después?, ¿Qué se registra? ¿Qué evidencia se ha producido en el modo de falla?, ¿La manera en que el modo de falla supone una amenaza para la seguridad y para el medio ambiente?, ¿La manera en que el modo de falla afecta la producción y/o la operación? ¿Daños físicos, causados por el modo de falla?, ¿Que debe hacerse para corregir el fallo?

Figura 38. Descripción de Efectos de Falla

Elemento De Estudio	Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	R. Ambiental	R. Humano	R. Econó m	R. Image n
Radiador	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A1	Bajo flujo de aire por bajas RPM del ventilador	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	D2	D5
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A2	Refrigerante no circula por obstrucción en manguera	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	C2	D5
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A3	Bajo flujo de aire por taponamiento en la parte exterior	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	C5	F2	C5
	RAD1	Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A4	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	F2	C5
	RAD2	Contener el refrigerante	RAD1B	No contiene el refrigerante	RAD1B1	Estructura del radiador rota	Fugas de refrigerante	NO	F5	D5	F2	C5
Bomba de agua	BOM1	Bombear liquido refrigerante a una presión entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 1	Interiores de la Bomba frenados	Sobrecalentamiento del Motor	NO	D5	D5	D2	C5
	BOM1	Bombear liquido refrigerante a una presión entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 2	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	D2	C5
	BOM1	Bombear liquido refrigerante a una presión entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 3	Fuga por testigo de la bomba	Sobrecalentamiento del motor	NO	F5	D5	D2	D5
Infriador de aceite de	ENF1	Transferir el calor del aceite de motor para cederlo al refrigerante	ENF1A	No transfiere el calor	ENF1A1	Tubería obstruida con cedimentos	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	D3	D5

Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

4.6 EVALUACION Y CALIFICACION DE MODOS DE FALLOS

El número de prioridad de riesgo (NPR o RPN) es el producto matemático de la severidad, la ocurrencia y la detección, es decir:

$$RPN = S * PO * PD$$

Los índices más bajos son los mejores. Consecuentemente en cuanto menor sea el RPN menor será el riesgo, este valor se emplea para identificar los riesgos más serios para buscar acciones correctivas.

Lo que hace el RPN es jerarquizar cada una de las tareas por realizar en los diferentes elementos o equipos, con fin de priorizar sus esfuerzos en los equipos que más lo requieran, de acuerdo a su grado de criticidad³⁷, antes de Calcular el RPN se debe calcular la severidad de la siguiente manera:

El cálculo de la Severidad se realiza en dos partes, una de las cuales asigna unos valores probabilísticos a cada criterio y en la segunda parte que se obtiene por análisis y discusión del Grupo de Trabajo de RCM.

Corresponde a la tabla de calificación de consecuencia, resultados del análisis y discusión del Grupo de trabajo.

- FO - Fallas Ocultos
- SF - Impacto Seguridad Física
- MA - Impacto Medio Ambiente
- IC - Impacto en Imagen Corporativa

³⁷ MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. Ciudad de México.: Alfaomega, 2009. 528 p. ISBN: 978-958-682-769-0

- CR - Costos de Reparaciones o Mantenimientos
- EO - Efectos Operacionales o con el Cliente.

Las asignaciones de valores probabilísticos a cada modo de fallos.

$$\text{Severidad} = \text{FOxKFO} + \text{SFxKSF} + \text{MAxKMA} + \text{ICxKIC} + \text{CRxKOR} + \text{EOxKOC}$$

Donde los coeficientes de los factores son constantes (su suma es de 1.0 o del 100%).

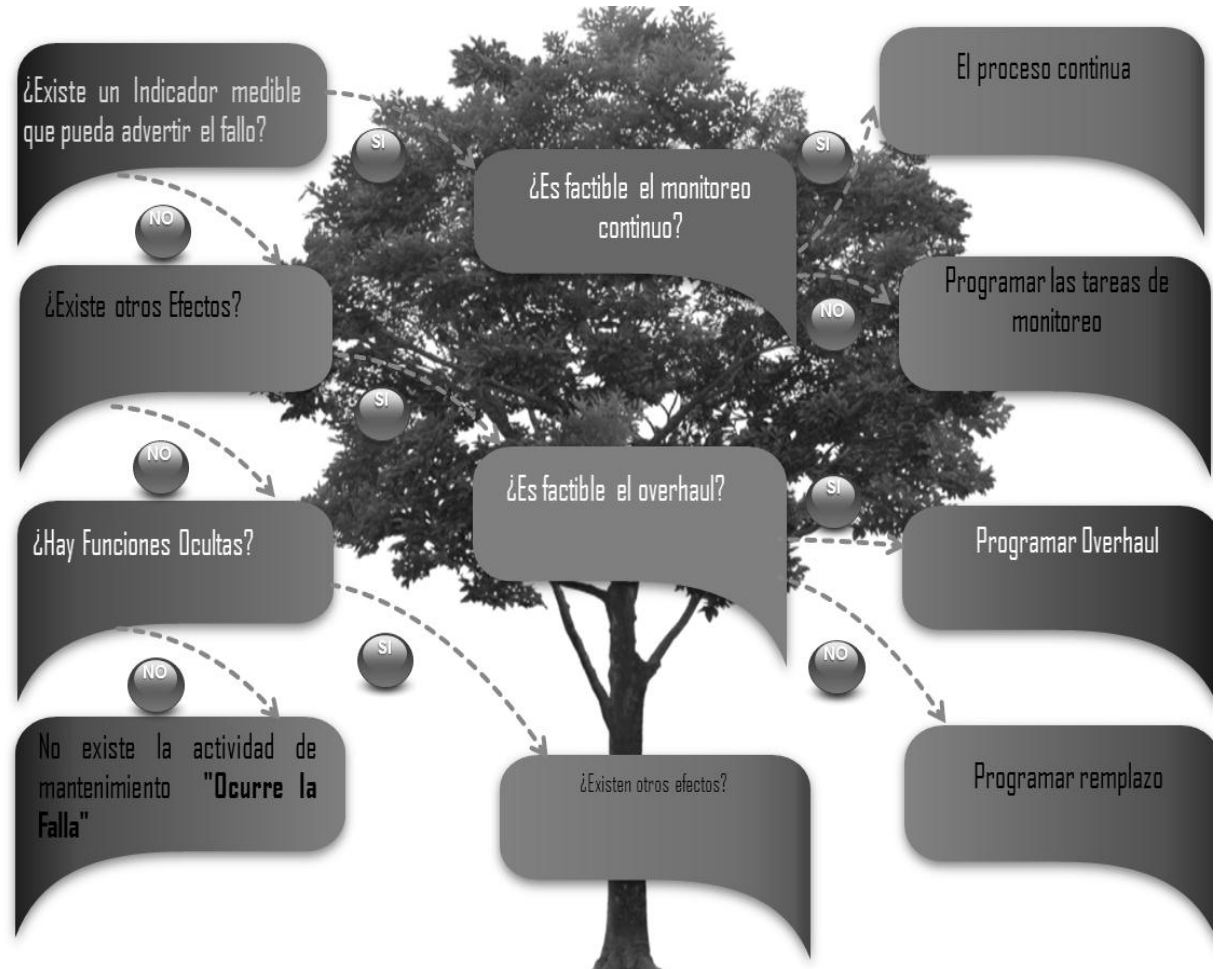
Figura 39. Calificación Modo de Fallos

Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	R. Ambiental	R. Humano	R. Económico	R. Imagen	Calculo RPN RPN = S * PO * PD	Valor económico del riesgo (\$)	Representacion Grafica RPN
Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A1	Bajo flujo de aire por bajas RPM del ventilador	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	D2	D5	10	BAJO	
Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A2	Refrigerante no circula por obstruccion en manguera	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	C2	D5	15	MEDIO	
Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A3	Bajo flujo de aire por taponamiento en la parte exterior	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	C5	F2	C5	18,6	ALTO	
Intercambiar el calor del refrigerante para cederlo al medio ambiente	RAD1A	No intercambia calor	RAD1A4	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	F2	C5	12,4	MEDIO	
Contener el refrigerante	RAD1B	No contiene el refrigerante	RAD1B1	Estructura del radiador rota	Fugas de refrigerante	NO	F5	D5	F2	C5	7,5	BAJO	
Bompear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 1	Interiores de la Bomba frenados	Sobrecalentamiento del Motor	NO	D5	D5	D2	C5	4	BAJO	
Bompear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 2	Bajo nivel de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	D2	C5	6,2	BAJO	
Bompear liquido refrigerante a una presion entre 15 y 30 PSI	BOM1A	No bombea refrigerante	BOM1A 3	Fuga por testigo de la bomba	Sobrecalentamiento del motor	NO	F5	D5	D2	D5	3,1	BAJO	
Transferir el calor del aceite de motor para cederlo al medio ambiente	ENF1A	No transfiere el calor	ENF1A1	Tuberia obstruida con cedimentos	Sobrecalentamiento del motor	NO	D5	D5	D3	D5	4,2	BAJO	

Fuente: 1.Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

4.6.1 Aplicación 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 utilizarán para resolver el nivel de criticidad en cada modo de fallos. Las ramas que salen de cada nodo corresponden en los posibles valores de acciones en cuestión.

Figura 40. Evaluación herramienta Árbol lógico de Decisiones



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

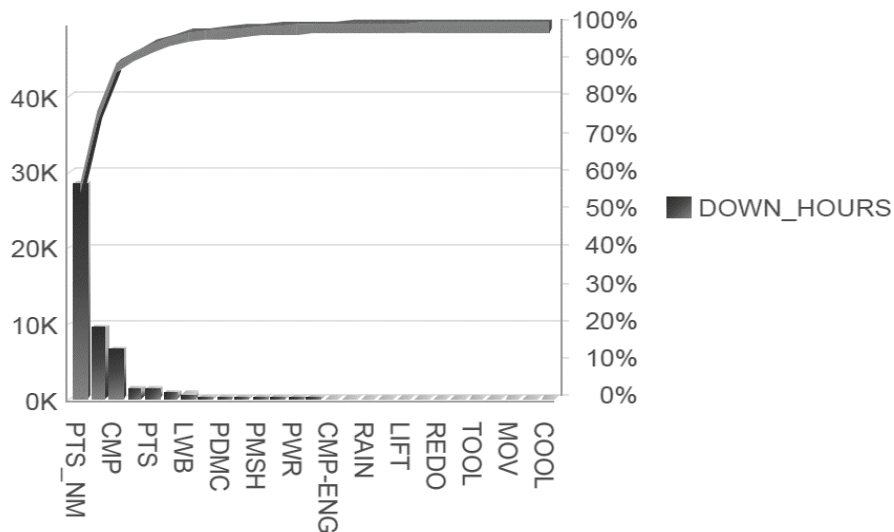
5. PROPUESTA DEL MODELO DE MTTO PARA RETROEXCAVADORA

Basándose en los resultados obtenidos se presentarán una serie de recomendaciones y propuestas:

La primera y más importante propuesta será establecer un equipo pluridisciplinario altamente proactivo, que lidere todo el proceso, conformado por personas de los departamentos de mantenimiento, operaciones y especialistas. Estas personas deberán estar altamente familiarizadas con los temas que les competan, para mejorar los problemas que fueron mencionados dentro de la sección del diagnóstico.

También hay que fortalecer las estrategias para reducir el impacto de stock de repuesto que es deseable que permanezca en la mina. Un análisis a fondo sobre este tema determino que existen demoras por PTSNM “Partes no en Mina” muy recurrentes con más de 12 días de espera en promedio hasta que lleguen las partes, esto dejando de incluir el tiempo de instalación.

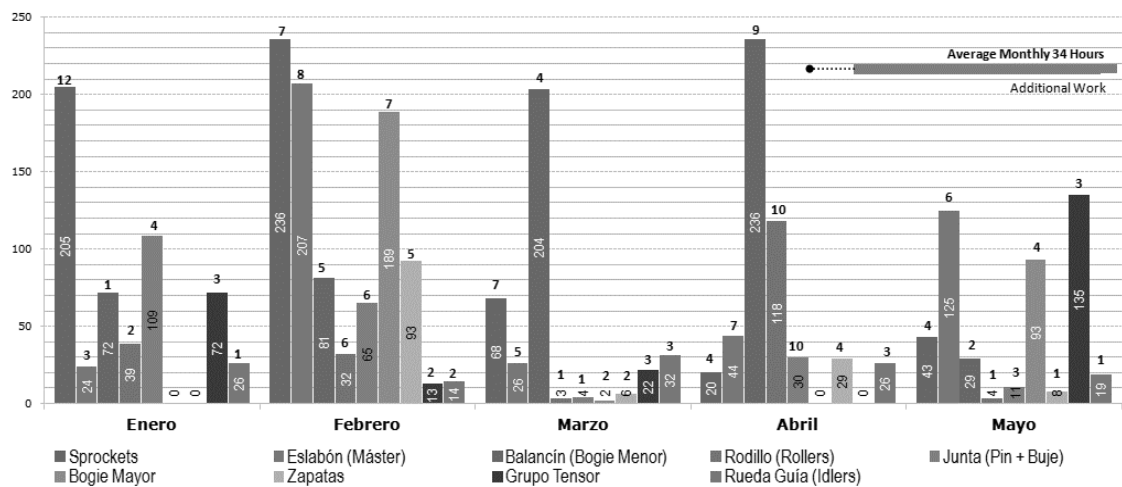
Figura 41. Impacto PTSNM “Partes no en Mina”



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

Otra de las tareas que cada vez se hace más necesario resolver es disminuir el tiempo de parada en los equipos, no solo en aspectos averías imprevistas “correctivos”, sino también en lo preventivo. Se logró detectar deficiencia en la detección oportuna de fallas crónicas, incrementando esto los trabajos adicionales “Encontrados o ADD”. Sobre esta situación conviene que se haga entrenamiento a los técnicos, con el fin de mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos.

Figura 42. Tiempo General ADD Vs Sistemas

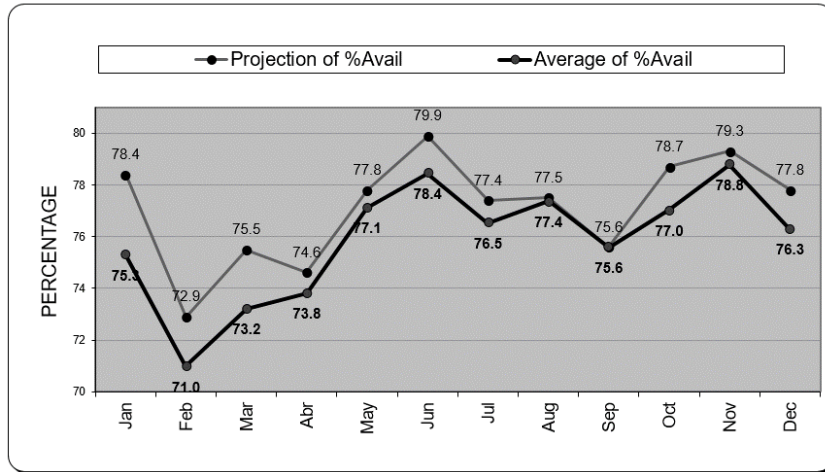


Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

Uno de los retos más grandes es la programación de cambios de componentes por condición mediante alarmas predictivas basadas en estadísticas, tal es el caso, por ejemplo, de la Campana_Gauss (Distribución Normal) de esta manera podremos definir y predecir cuándo ocurrirá el fallo.

De manera inmediata, hay que desarrollar acciones permanentes y conjuntas con el fabricante de la máquina, debido al impacto que se ha tenido en la disponibilidad los efectos de fábrica y las malas reparaciones en los motores, cilindros y mando finales. Sería conveniente evaluar cada modo de fallas y la vida útil de cada componente por sistemas.

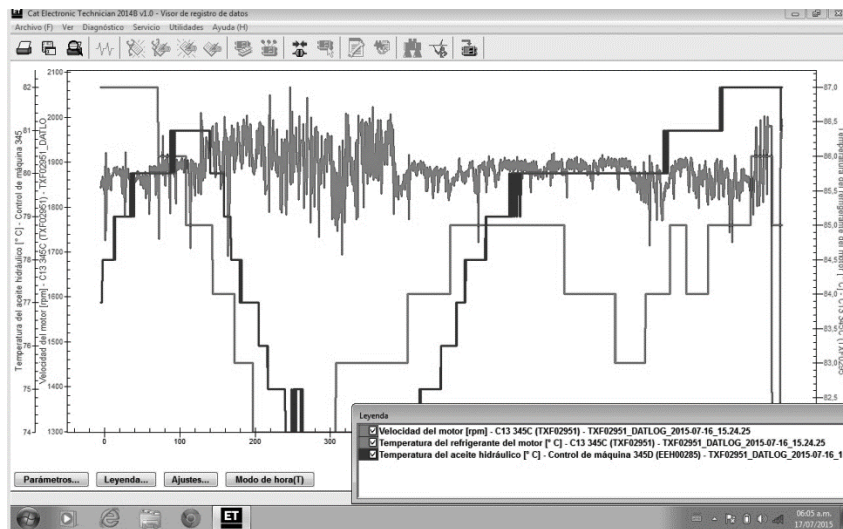
Figura 43. Impact Monthly Availability (Final Drive - Engine - Cylinders)



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

Se necesitan acciones inmediatas al tema de las altas temperaturas en las 16 retroexcavadoras. De un modo ejemplificante, se debe realizar diariamente “Datalogger” que permitan identificar las verdaderas causas raíz de esta falla, a su vez deben ser asignadas a la persona idoneo para su respectiva interpretación de datos.

Figura 44. Descarga de Datalogger Retroexcavadora



Fuente: Archivo de Análisis RCM Retroexcavadora 345

6. CONCLUSIONES

El RCM ayudó de gran manera a la toma de decisiones asertivas en cuanto a las posibles fallas de las retroexcavadoras 345.

Los resultados obtenidos establecieron el sistema más crítico, el **SISTEMA HIDRAULICO POR ALTA TEMPERATURA** criticidad total: 82, adquirió mayor valor de criticidad, se asumirá como el sistema donde se enfocó la gestión de mantenimiento

Se realizó el análisis de causa y efecto (**Diagrama de Ishikawa**) donde se pudo establecer la relación cualitativa de los fallos funcionales.

Por medio análisis del Modo, Efecto y Criticidad de las Falla Potencial (**FMECA**) se pudo identificar cada una de las funciones de los sistemas con sus correspondientes fallas de función, modos de fallas y efecto de falla, permitiendo posteriormente el análisis de las consecuencias y criticidad de cada modo de falla, ayudando a la selección de las tareas de mantenimiento adecuadas.

BIBLIOGRAFIA

BLANCHARD, Benjamín S. Ingeniería Logística. Primera Edición. Madrid.: Editorial ISDEFE. 1995.133 p. ISBN 9788489338067.

DOUNCE, Enrique. La Productividad en el Mantenimiento Industrial. 1 ed. México, D.F.: Grupo Editorial Patria, 1989. 350 p. ISBN: 978-968-26-1089-9.

DUFFUAA, Salih O. Sistemas de Mantenimiento: Planeación y Control. 1 ed. Ciudad de México.: Editorial: LIMUSA, 2000. 420 p. ISBN 9789681859183

GARCIA, Santiago. Organización Y Gestión Integral De Mantenimiento.1 ed. España.: Díaz De Santos, 2003. 320 p. SBN: 9788479785482

GONZÁLEZ, Francisco. Auditoría Del Mantenimiento e Indicadores De Gestión. 2 ed. Madrid.: Fundación Confemetal, 2004. 260 p. ISBN: 84-96169-36-7

GONZÁLEZ, Francisco. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. 1 ed. Madrid.: Fundación Confemetal, 2003. 525 p. ISBN 84-96169-03-0.

KELLY, Anthony & M.J. Harris. Gestión del Mantenimiento Industrial. 1 ed. Madrid.: Gráficas Mar-Car S.A. Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo, 1998. 218 p. ISBN 84-923506-0-1

KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad. Joaquín (Traducción). Primera Edición. Madrid.: Editorial ISDEFE. 1996. 211 p. ISBN 84-89338-08-6.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios. 2 Ed. Medellín Colombia.: AMG, 2009. 306 p. ISBN 978-958-3382185.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. 2 ed. Medellín Colombia.: Coldi Limitada, 2012. 346 p. ISBN 978-958-98902-0-2.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control. Ciudad de México.: Alfaomega, 2009. 528 p. ISBN: 978-958-682-769-0

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

NACHLAS, Joel A. Fiabilidad. 2 ed. Madrid.: Isdefe. 1995. 217 p. ISBN: 84-89338-07-8

REY, Sacristán Francisco. Hacia la Excelencia en Mantenimiento. 1 ed. Tgp Hoshin S.L. Madrid.: Tgp Hoshin, S.L. 1996. 411 p. ISBN 84-87022-21-9

SILVA, Pedro & ORREGO, Juan Carlos. Confiabilidad en la Practica. Primera Edición. Medellin.: 2014. 153 p.

SMITH, Anthony M. Reliability Centered Maintenance. 2 ed. New York.: McGraw Hill, Inc. School Education Group, 1992. 216 p. ISBN 007059046X

STAMATIS, D. H. Failure Mode and Effect Analysis - FMEA. 2 ed. BookCrafters Inc.. - Wisconsin.: ASQC Quality Press, 1995. 496 p. ISBN 0-87389-300-X

TORRES, Leandro. Gestión Integral De Activos Físicos Y Mantenimiento. 1 ed. Buenos Aires, Argentina.: Alfaomega, 2015. 516p. ISBN 9788426722997.