

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM
PARA LA FLOTA DE MOTONIVELADORAS 24M EN LA MINA DRUMMOND**

**CARLOS AUGUSTO ABELLA GONZALEZ
ALVARO FABIO DE LA ROSA MERCADO
EMILIO VARELA SUAREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2012

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM
PARA LA FLOTA DE MOTONIVELADORAS 24M EN LA MINA DRUMMOND**

**CARLOS AUGUSTO ABELLA GONZALEZ
ALVARO FABIO DE LA ROSA MERCADO
EMILIO VARELA SUAREZ**

**Monografía de Grado presentado como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director:
Paulo Barraza Oliveros
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	17
1. MINA PRIBBENOW - DRUMMOND	19
1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA	19
1.2 PROCESO DE PRODUCCION	20
1.3 DRUMMOND COMPANY INC. HISTORIA Y SUS NEGOCIOS.....	27
1.4 DRUMMOND EN COLOMBIA	29
1.5 ORGANIGRAMA DE LA COMPAÑIA.....	31
1.6 ORGANIGRAMA DEPARTAMENTO DE EQUIPO MOVIL	31
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	33
2.1 OBJETIVOS.....	35
2.1.1 Objetivo General	35
2.1.2 Objetivos Específicos	35
2.2 JUSTIFICACIÓN.....	37
3. MARCO TEÓRICO	39
4. MARCO CONCEPTUAL	42
4.1 LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	42
4.2 RCM.....	45
4.2 EL RCM: Siete preguntas básicas.....	48
4.2.1 Funciones y sus Estándares de Funcionamiento	49
4.3 EL PERSONAL IMPLICADO	63
4.3.1 Los Facilitadores	64
4.3.2 Los Auditores.....	64

4.4 LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR RCM	65
4.5 El Enfoque de la Norma SAE	69
5. DISEÑO METODOLOGICO	72
5.1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS Y EL TIPO DE MANTENIMIENTO QUE SE REALIZA.....	72
5.2 REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS.....	72
5.3 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS Y COMPONENTES UTILIZADOS EN EL PROCESO.....	72
5.3.1 Identificación de las funciones y fallas funcionales.....	72
5.3.2 Elaboración del árbol lógico de decisiones.	73
5.3.3 Registro del plan de mantenimiento de RCM.....	73
6. INDICADORES DE GESTIÓN DE LA FLOTA	74
6.1 TIEMPO PROMEDIO ENTRE PARADAS (MTBS).....	75
6.2 Tiempo Promedio para Reparar (MTTR).....	76
6.3 DISPONIBILIDAD.....	77
7. MOTONIVELADORA CATERPILLAR 24M	78
7.1 Sistema De Tren De Potencia	83
7.1.1 Motor	84
7.1.1.1 Subsistema de Combustible.....	85
7.1.1.2 Subsistema de Admisión Y Escape.....	86
7.1.1.3 Subsistema De Lubricación.....	88
7.1.1.4 Subsistema De Enfriamiento.....	89
7.1.2 Convertidor de par	90
7.1.3 Transmisión.....	92
7.1.4. Diferencial.....	95
7.1.5. Tandem y Paquetes de Freno	96

7.2. SISTEMA HIDRÁULICO	97
7.2.1. Subsistema De implementos	97
7.2.2. Subsistema De Dirección	99
7.3. SISTEMA DE FRENO Y VENTILADOR	101
7.3.1 Sistema De Freno	102
7.3.2 Sistema Del Ventilador	104
7.4. CHASIS, CABINA Y CUCHILLA	106
7.4.1 Cuchilla	107
7.5. SISTEMA ELÉCTRICO	109
8. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE MOTONIVELADORAS 24M	111
9. PLANEACION ESTRATEGICA CON ENFASIS EN MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	124
9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM)	124
9.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (CBM)	129
9.3 PROGRAMA DE CAMBIO DE COMPONENTES MAYORES (PCR)	129
9.4 ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS (RM)	130
9.5 PROPUESTAS PLANEACIÓN ESTRATÉGICA	130
CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFIA	134

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rango de mtbs para equipos mineros	76
Tabla 2. Guías de benchmark para equipos caterpillar	76
Tabla 3. Motoniveladoras 24m en las Minas Drummond	79
Tabla 4. Condiciones Operacionales Motoniveladora 24M	81
Tabla 5. Características Técnicas de la Motoniveladora 24M	82
Tabla 6. Velocidades para la Transmisión, Motoniveladora 24M.....	94
Tabla 7. Matriz de Riesgos RCM para Motoniveladora 24M.....	117
Tabla 8. Análisis de los modos de falla del sistema de Motor	118
Tabla 9. Selección de las tareas de Mantenimiento y la frecuencia	119
Tabla 10. Análisis de los modos de falla del sistema de Motor	120
Tabla 11. Selección de las tareas de Mantenimiento y la frecuencia	121
Tabla 12. Análisis de los modos de falla del sistema de Motor	122
Tabla 13. Selección de las tareas de Mantenimiento y la frecuencia	123
Tabla 14. Intervalos de Actividades de Mantenimiento Preventivo	125
Tabla 15. Propuesta de lista de Chequeo Mantenimiento Preventivo 24M	126
Tabla 16. Propuesta de lista de Chequeo Mantenimiento Preventivo 24M	127
Tabla 17. Propuesta de lista de Chequeo Mantenimiento Preventivo 24M	128
Tabla 18. Planeación Estratégica con Énfasis en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica de la Mina Pribbenow.....	19
Figura 2. Ubicación Geográfica del Proyecto Carbonífero en Colombia	20
Figura 3. Explotación de Carbón Mina Pribbenow.....	21
Figura 4. Transporte de Carbón en Camiones de acarreo hacia la zona de pits ...	22
Figura 5. Cargue de Carbón a través de Tolva y Banda Transportadora.....	23
Figura 6. Tren cargado con destino al Puerto en Ciénaga, Magdalena	24
Figura 7. Patios de Carbón en Puerto Drummond, Ciénaga, Magdalena	25
Figura 8. Muelle de Puerto Drummond. Carbón siendo descargado en barcaza...	26
Figura 9. Cargue de Carbón desde la barcaza hasta el buque utilizando una grúa flotante	26
Figura 10. Planta de generación de energía eléctrica en Grosskrotzenburg, Alemania.....	27
Figura 11. Organigrama de la Compañía.....	31
Figura 12. Organigrama Departamento Móvil.....	32
Figura 13. Motoniveladora 24M	34
Figura 14. Motoniveladora 24M	78
Figura 15. Sistemas Motoniveladora 24M.....	80
Figura 16. Tren de Potencia Motoniveladora 24M	84
Figura 17. Sistema de Inyección de Combustible Motoniveladora 24M	86
Figura 18. Subsistema de Admisión y Escape Motoniveladora 24M	87
Figura 19. Sensor de Presión Admisión Motoniveladora 24M	88
Figura 20. Sistema de Lubricación Motoniveladora 24M.....	89
Figura 21. Sistema Enfriamiento Motoniveladora 24M.....	90
Figura 22. Convertidor de Par.....	91
Figura 23. Transmisión Motoniveladora 24M	93

Figura 24. Conjunto Diferencial Motoniveladora 24M.....	96
Figura 25. Conjunto Tandem y Paquetes de Freno Motoniveladora 24M	97
Figura 26. Subsistema Hidráulico de Implementos Motoniveladora 24M	99
Figura 27. Cilindros de Dirección Motoniveladora 24M	101
Figura 28. Estaciones de Ruedas Traseras Motoniveladora 24M	102
Figura 29. Partes de las Estaciones de Freno Motoniveladora 24M	104
Figura 30. Sistema Hidráulico de Ventilador Motoniveladora 24M	105
Figura 31. Chasis Motoniveladora 24M.....	106
Figura 32. Cabina Motoniveladora 24M	107
Figura 33. Cuchilla de Motoniveladora 24M.....	108
Figura 34. Motores de Giro de Motoniveladora 24M	108
Figura 35. Módulos de Control Electrónico Motoniveladora 24M.....	110
Figura 36. Disponibilidad de las Motoniveladoras 24M de Enero/12 hasta Jun/12	113
Figura 37. Confiabilidad (MTBS) de las Motoniveladoras 24M de Enero/12 hasta Jun/12	115
Figura 38. Mantenibilidad (MTTR) de las Motoniveladoras 24M de Enero/12 hasta Jun/12	116
Figura 39. Fallas más comunes de las Motoniveladoras 24M	131

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA LA FLOTA DE MOTONIVELADORAS 24M EN LA MINA DRUMMOND*

AUTORES:

CARLOS AUGUSTO ABELLA GONZALEZ, ALVARO FABIO DE LA ROSA MERCADO, EMILIO VARELA SUAREZ**

PALABRAS CLAVES:

RCM, PM, MTBS, MTTR, Mantenimiento, Motoniveladora

DESCRIPCION:

En la presente monografía se desarrolla un plan estratégico de mantenimiento basado en la metodología de RCM para la flota de Motoniveladoras 24M en la empresa minera de Drummond Ltd., estos equipos presentan en la actualidad indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad no sostenible en el tiempo. Se selecciona el equipo, se definen las fronteras, los estándares de funcionamiento, su función principal y secundaria, los modos de falla, la causa raíz y sus efectos, las consecuencias de la falla y el análisis de riesgo por medio de la matriz de criticidad y con toda esta información se establecen las tareas de mantenimiento necesarias para que el equipo alcance la meta de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad deseada. A cada modo de falla se le asigna un código para obtener la información completa de las caídas de los equipos y así determinar la efectividad de la gestión, buscar la causa raíz de las fallas y mejorar la confiabilidad de la flota. Se plantea el diseño del plan de mantenimiento basado en RCM y se hace una descripción de los cuatro procesos pilares de la propuesta: en el mantenimiento preventivo se proponen listas de chequeo con las tareas resultantes del análisis RCM, en mantenimiento predictivo se propone creación de tablas de desgaste personalizada para el análisis de aceite y el uso de termografía infrarroja para identificar puntos calientes en el motor, en el programa de cambio de componentes mayores se propone desarrollar un plan de trabajo anual y en administración de recursos se propone el desarrollo de un plan maestro con la finalidad de identificar consumo de partes, compras de costo directo y reparación de componentes.

* Monografía

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de mantenimiento. Director: Ing. Paulo Barraza Oliveros

SUMMARY

TITLE:

MAINTENANCE PLAN DESIGN BASED IN RELIABILITY (RCM) FOR A 24M MOTOR GRADER FLEET IN DRUMMOND MINE

AUTHORS:

CARLOS AUGUSTO ABELLA GONZALEZ, ALVARO FABIO DE LA ROSA MERCADO, EMILIO VARELA SUAREZ**

KEY WORDS:

RCM, PM, MTBS, MTTR, Maintenance, Motor grader.

SUBJECT:

This monograph develops a strategic plan based in the methodology reliability centered maintenance (RCM) for the 24M motor grader fleet to the mining company Drummond Ltd., because these equipments have unsustainable performance metrics of availability, reliability and maintainability. The equipment is selected and defined: borders, performance standards, primary and secondary function, failure modes, root causes and effects, the consequences of failure and risk analysis using the criticality matrix and with all this information establish maintenance required tasks to reach the goal of availability, reliability and maintainability desired. Each failure mode is assigned a code to get full information of fails equipment and determine the effectiveness of management, find the root cause of failures and improve reliability of the fleet. It's propose the design of a maintenance plan based on RCM and made a description of the four proposed pillars processes: in preventive maintenance a proposal is made in the checklists with the tasks resulting from the RCM analysis, in predictive maintenance a proposal is made in creation of custom wear table for oil analysis and infrared thermograph use to identify hot spots in engine, in the components change program a proposal is made to develop a major annual work plan and in resource management a proposal is made a development of a master plan in order to identify parts consumption, purchases of direct cost and component repair.

* Monograph

**Faculty of Physics- Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Eng. Paulo Barraza Oliveros

DEDICATORIA

A Dios, por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestros caminos a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A nuestras familias que durante estos dos últimos años nos apoyaron y tuvieron la paciencia necesaria para darnos la fortaleza de obtener este gran logro.

INTRODUCCION

Una Motoniveladora es considerada una de las maquinas que no puede faltar a la hora de trabajar en minería a cielo abierto, esto debido a la gran cantidad de vías que se vuelven intransitables después de cierto tiempo de producción o condiciones climáticas adversas. Por lo tanto, esta maquina llega con su poderosa cuchilla de arrastre y gran versatilidad de movimientos para darle solución inmediata al problema y de manera oportuna habilitar la vía rápidamente.

Drummond hoy día cuenta con 32 Motoniveladoras para este trabajo, de las cuales 15 son serie 24M, de las más poderosas del mundo para este tipo de trabajo tan exigente. Estas maquinas son administradas por el Departamento de Equipo Móvil de la mina, los cuales son los encargados de mantener la maquina dando su mayor rendimiento posible.

Dada la gran importancia de la aplicación de estas maquinas en la operación minera y la responsabilidad que tiene el Departamento de equipo móvil en mantener la maquina en su mayor producción, se ha diseñado una propuesta para implementar la metodología RCM con el fin de incrementar su confiabilidad y por ende la disponibilidad que toda la operación le exige.

Para ello se ha realizado un estudio detallado de cada uno de los sistemas que componen esta maquina, identificando los sistemas críticos, fallas funcionales, modos de falla y sus efectos. Dando inicio a un mantenimiento y una planeación

con mayor fundamentación para toma de decisiones en rutinas de mantenimiento, intervenciones programadas y reparaciones mayores.

Como parte de la propuesta se ha incluido cuatro procesos administrativos fundamentales para incrementar la confiabilidad de la maquina, estos procesos son: Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, Programa de Cambio de Componentes Mayores y Administración de los recursos.

La metodología RCM aplicada a esta flota combinada con los procesos de planeación estratégica lograra muy seguramente incrementar la confiabilidad de los equipos y finalmente lograra la tan anhelada estabilidad en la disponibilidad de la flota.

1. MINA PRIBBENOW - DRUMMOND

1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA

El proyecto carbonífero de La Loma, se encuentra ubicado en medio del departamento del Cesar, Colombia; más específicamente en el área comprendida entre los municipios de El Paso, La Jagua de Ibirico y Chiriguaná.

Figura 1. Ubicación Geográfica de la Mina Pribbenow



Figura 2. Ubicación Geográfica del Proyecto Carbonífero en Colombia



Fuente. Tomado de Google Earth

Proyecto Carbonífero de La Loma, Mina Pribbenow. Tomado de Google Earth

1.2 PROCESO DE PRODUCCION

El Proceso Productivo de La Empresa Drummond Ltd inicia en la Mina Pribbenow con la explotación del Carbón. Mina Pribbenow. Proceso de explotación del Carbón utilizando Palas Hidráulicas y Camiones de Acarreo.

Tomado de Informe de Sostenibilidad 2010-Sueños que nacen de la tierra.
Drummond Ltd-Colombia.

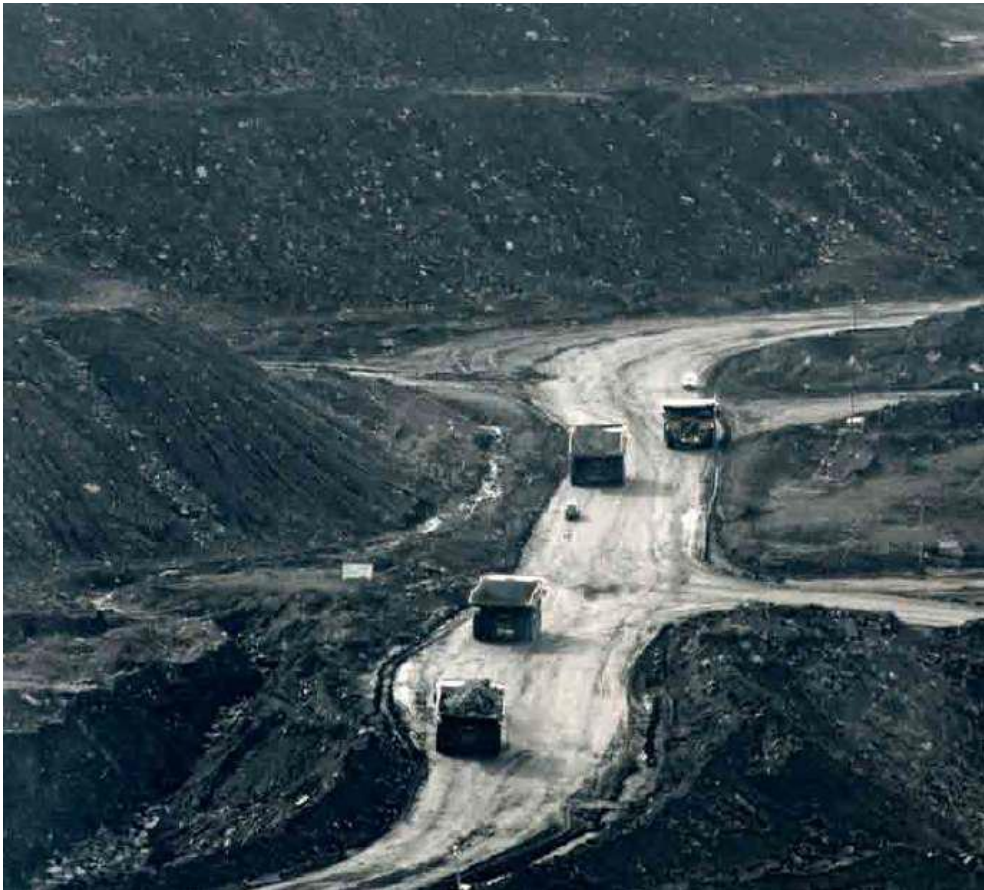
Figura 3. Explotación de Carbón Mina Pribbenow



Fuente. Mina Pribbenow

- Posteriormente, el Carbón extraído es transportado por Camiones de gran tamaño y potencia hacia la denominada zona de pits, donde este es apilado.

Figura 4. Transporte de Carbón en Camiones de acarreo hacia la zona de pits



Fuente: Tomado de Informe de Sostenibilidad 2010-Sueños que nacen de la tierra. Drummond Ltd-Colombia.

Luego, después de apilado el carbón en la zona de pits, se utilizan bandas transportadoras para llevar el material hacia las tolvas, quienes dirigen y dejan caer de manera uniforme el Carbón en cada una de las góndolas, las cuales están unidas al tren, el cual inicia su marcha con destino al Puerto en Ciénaga, Magdalena.

Figura 5. Cargue de Carbón a través de Tolva y Banda Transportadora



Fuente: Fotografías Mina Pribbenow. Drummond Ltd, Colombia.

El Tren sale cargado de la mina con destino a Puerto Drummond, localizado en Ciénaga, Magdalena.

Figura 6. Tren cargado con destino al Puerto en Cienaga, Magdalena



Fuente:. Fotografía propiedad de Drummond Ltd, Colombia

El Tren llega al Puerto donde cada Góndola es descargada en un foso donde el material es extraído a través de bandas transportadoras hacia el patio del Puerto. Aquí en esta etapa el Carbón es seleccionado y apilado según la calidad para ser enviado a su destino final.

Figura 7. Patios de Carbón en Puerto Drummond, Ciénaga, Magdalena



Fuente. Tomado de Informe de Sostenibilidad 2010-Sueños que nacen de la tierra. Drummond Ltd-Colombia.

Luego, el carbón es llevado a través de una serie de bandas transportadoras hasta el muelle, donde se utilizan barcazas y grúas flotantes, las cuales a través de movimientos de giros y desplazamientos el Carbón es cargado al buque.

Figura 8. Muelle de Puerto Drummond. Carbón siendo descargado en barcaza



Fuente. Tomado de <http://www.semana.com>

Figura 9. Cargue de Carbón desde la barcaza hasta el buque utilizando una grúa flotante



Fuente. Tomado de Informe de Sostenibilidad 2010-Sueños que nacen de la tierra. Drummond Ltd-Colombia.

Finalmente, este Carbón es llevado a países como Alemania, Holanda, China y Estados Unidos, quienes consumen este mineral para la generación de energía eléctrica.

Figura 10. Planta de generación de energía eléctrica en Grosskrotzenburg, Alemania



fuelle. Tomado de Informe de Sostenibilidad 2010-Sueños que nacen de la tierra. Drummond Ltd-Colombia.

1.3 DRUMMOND COMPANY INC. HISTORIA Y SUS NEGOCIOS

Drummond company inc. Es una compañía familiar fundada en 1935 por H. E. Drummond, un emprendedor de Sipse (Alabama), que comenzó a operar su primera mina de carbón utilizando solo una mula y una vagoneta. Las primeras explotaciones tuvieron una producción inferior a 50.000 toneladas al año. Después del fallecimiento de H. E. Drummond a finales de los años 50, la dirección de la

empresa paso a sus hijos, quienes se encargaron de llevarla hacia la visión y las metas que su padre tenía de ella.

A comienzos de los 70 la compañía empezó a incursionar en el mercado internacional y abrió oficinas comerciales en Japón, Italia, Gran Bretaña y Holanda.

Drummond es hoy el mayor productor y comercializador de coque en los Estados Unidos y es reconocido en la industria por la calidad de su producto y por la confiabilidad del suministro ABC Coke tiene 132 hornos, con una capacidad anual de 750.000 toneladas de Coque, el cual es vendido en el mercado doméstico y a clientes internacionales.

Durante el año 2010 Drummond vendió cerca de 27 millones de toneladas de carbón, 22 de las cuales fueron producidas en Colombia.

Drummond Company Inc. Siempre se ha centrado en la tierra como recurso y en las mejores prácticas para su conservación. En esta vía creó la división de bienes raíces, para así ampliar las líneas de negocio, y hoy tiene proyectos en finca raíz en Lakeland, Florida; Birmingham, Alabama y Palm Springs, California.

En cada negocio (carbón, coque y bienes raíces) el crecimiento se ha dado gracias al trabajo mancomunado de la familia de empleados Drummond.

1.4 DRUMMOND EN COLOMBIA

Durante la década de los 80, Drummond Company Inc. Evaluó diferentes alternativas de inversión en proyectos carboníferos en varios países del mundo, tanto en el mercado del Pacífico y del Atlántico. Finalmente, consideró a Colombia como la mejor opción.

En 1987 Drummond Company Inc. Constituyó Drummond Ltd. Para el desarrollo de sus proyectos en Colombia y obtuvo, a través de esta sucursal, los derechos para exploración, explotación y exportación de carbón localizado en el departamento del Cesar, específicamente en el área comprendida entre los municipios de El Paso, La Jagua de Ibérico y Chiriguaná. Esta zona se denominó Mina Pribbenow, también conocida como Proyecto Carbonífero La Loma.

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

Simultáneamente, con las inversiones realizadas para comenzar la explotación de la mina, el Gobierno de Colombia emprendió la rehabilitación de un tramo de la Red Férrea del Atlántico para así conectar la mina con el puerto de la Compañía, que fue construido en el municipio de Ciénaga (Magdalena). En 1995

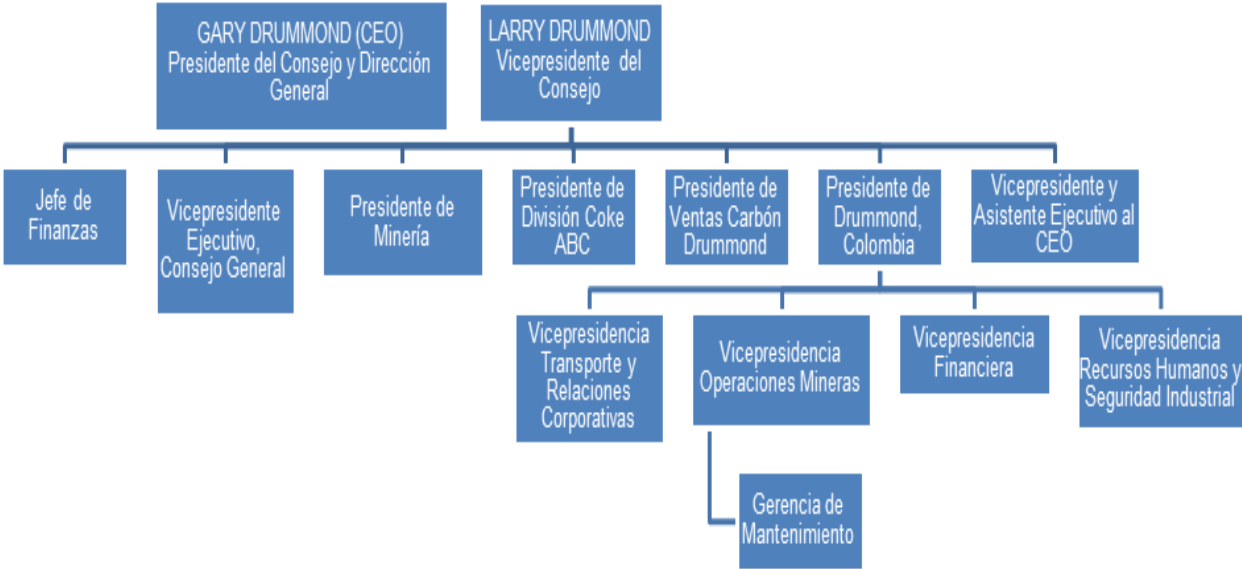
comenzaron las exportaciones de Carbón y desde entonces la presencia de Drummond ha sido importante para la economía regional y nacional.

Con el inicio de la producción en 1995, la Compañía comenzó un proceso continuo de mejoramiento y expansión de las operaciones mineras, férreas y portuarias. En el año 2009 inició la explotación de su segundo proyecto, El Descanso. De hecho, Drummond hoy cuenta con cerca de 2000 millones de toneladas de reservas en los proyectos La Loma, El Descanso, Rincón Hondo, Similoa y Cerrolargo, los tres últimos en proceso de licenciamiento ambiental.

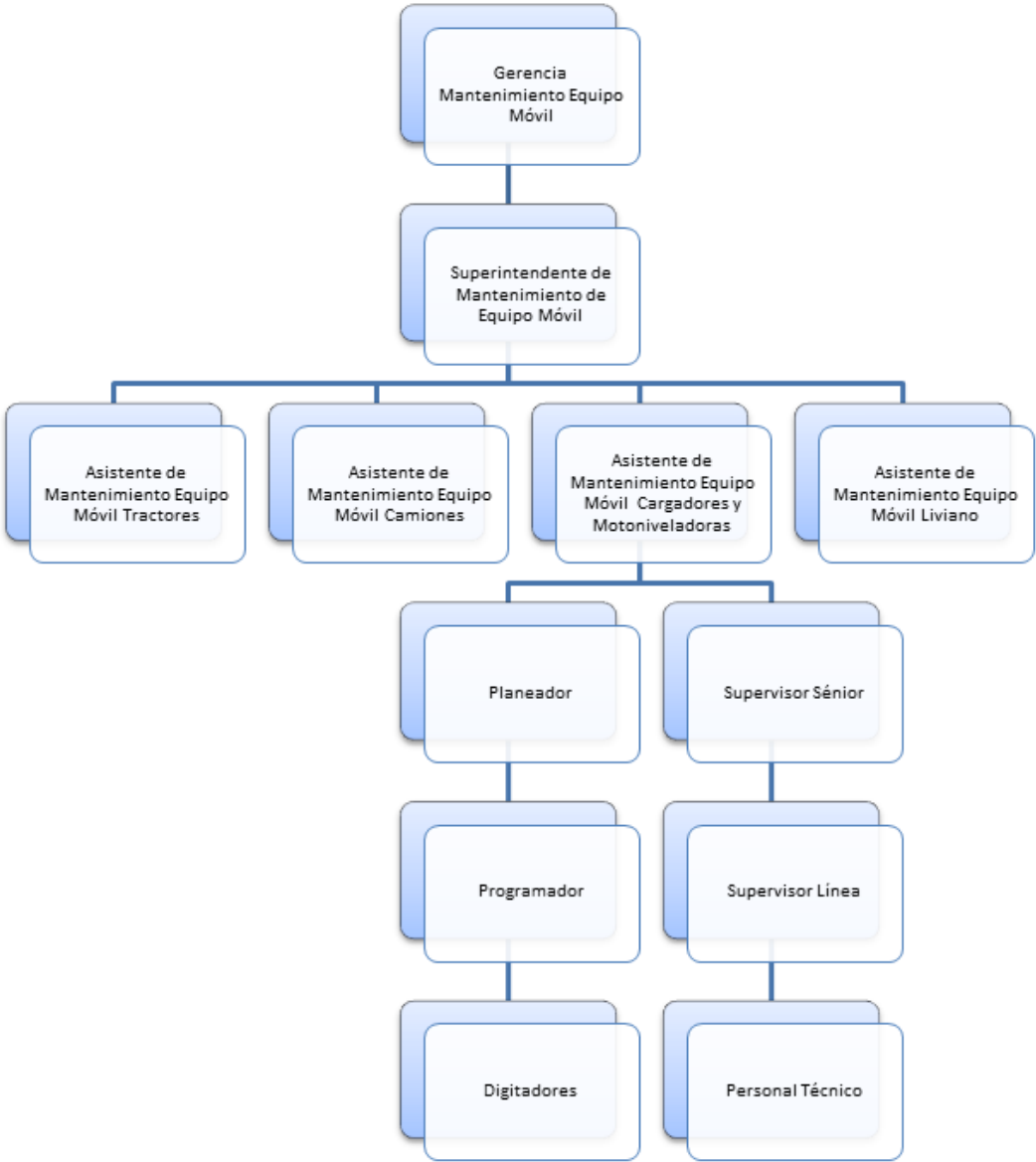
Entre 1995 y 2010, Drummond Ltd. Ha producido y exportado mas de 220 millones de toneladas, en un proceso de crecimiento sostenido, al pasar de producir un millón de toneladas en su primer año a más de 21 millones de toneladas en 2010. Se espera que la producción siga aumentando y esto se podrá lograr gracias a las inversiones en equipos de alta tecnología y al compromiso permanente de su equipo de trabajo.

1.5 ORGANIGRAMA DE LA COMPAÑÍA

Figura 11. Organigrama de la Compañía



1.6 ORGANIGRAMA DEPARTAMENTO DE EQUIPO MOVIL
Figura 12. Organigrama Departamento Móvil



Fuente: Recursos Humanos Drummond Ltd.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minería a cielo abierto, practicada en el municipio de La Loma-Cesar, mas específicamente en la mina Pribbenow de la empresa Drummond Ltd, donde su principal actividad económica es la exploración, explotación y venta de Carbón al mundo; exige toda una maquinaria especializada y de gran exigencia para el movimiento de tierra en toda su operación.

Dentro de esa maquinaria se encuentra toda una serie de equipos diseñados para la exigente empresa minera, como lo son: Camiones de gran capacidad de carga, de hasta 240 Toneladas; tractores que pueden acarrear gran cantidad de material con potencia de hasta 1200 HP (Caballos de fuerza) en sus motores, Cargadores de llantas de gran tamaño, Retroexcavadoras multifuncionales, entre otros.

Dado la gran variedad de equipos y la importancia de la movilidad de estos dentro del complejo minero es totalmente necesario mantener las vías en optimas condiciones, de ahí la gran importancia de una maquina que logra darle ese mantenimiento y acabado final a la vía para que esta pueda ser transitada sin que esto genere daños a toda esta maquinaria.

La maquina a la cual nos referimos es un equipo llamado “Motoniveladora”, diseñado para nivelar el terreno de la vía y a su vez darle el peralte o inclinación necesaria según lo exige las condiciones del camino. La operación de esta máquina se vuelve aun más exigente en época de invierno, cuando el terreno debido a la gran cantidad de agua recibida, se vuelve inestable y ondulado,

causando problemas al paso de Camiones y de otros equipos que circulan por las vías.

Drummond Ltd, hoy día cuenta con 32 Motoniveladoras, distribuidas de la siguiente manera: 2 modelos 14E, 9 modelos 16G, 2 modelos 16M, 4 modelos 24H y 15 modelos 24M. Siendo la serie 24, la flota de mayor utilización y por ende de mayor exigencia en la red vial del proyecto. Por lo tanto, debido a la gran importancia que tiene esta serie (24H/M) y que a la vez son maquinas consideradas de alta criticidad para el mantenimiento de las vías será la maquina a la cual se aplicara la metodología RCM, con el fin de lograr mejores resultados en cuanto a su disponibilidad se refiere.

Actualmente la disponibilidad de esta flota (24H/M) oscila entre 73 y 83%, la cual es muy variable y no logra la estabilidad que la operación requiere. El objetivo a alcanzar según las condiciones y exigencias de la mina esta por lo menos en un 85% y que se mantenga estable a través del tiempo.

Figura 13. Motoniveladora 24M



2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM para la flota de motoniveladoras 24H/M, de la empresa minera Drummond ltd.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar y seleccionar los sistemas que serán evaluados en la motoniveladora 24H/M para la aplicación de la metodología RCM según la criticidad de la operación.
- Definir las fronteras e interfaces de cada uno de los sistemas seleccionados.
- Definir las funciones principales y secundarias de cada uno de los sistemas.
- Establecer las fallas funcionales y los modos de falla que causan los eventos.
- Elaborar un análisis de los efectos que causan la ocurrencia de los modos de falla.

- Seleccionar las tareas y frecuencia de mantenimiento a implementar en cada uno de los sistemas evaluados, haciendo uso del diagrama lógico de decisión.
- Desarrollar el plan de mantenimiento basado en la metodología RCM a aplicar en los sistemas seleccionados.

2.2 JUSTIFICACIÓN

El buen estado de las vías dentro de un complejo minero garantiza una mayor capacidad productiva y un menor riesgo de accidentalidad. La producción depende en gran medida de la velocidad con que se desplacen los Camiones y demás equipos dentro de la zona producción. Una de las maquinas que puede garantizar la estabilidad y buen trazado del terreno es la motoniveladora, la cual debe estar operativa las 24 horas garantizando vías en optimas condiciones y Caminos seguros para el transito operacional.

Debido a que la mayoría de proyectos relacionados con la minería a cielo abierto implica movimiento de tierra, la motoniveladora se convierte en un equipo clave para realizar múltiples tareas que son de gran utilidad para lograr el mayor aprovechamiento del terreno asignado. Dentro de estas tareas o aplicaciones de la maquina, se destacan:

- Extendido de un cordón de material descargado por Camiones y nivelación.
- Mantenimiento y conservación de carreteras y pistas.
- Mezcla de materiales descargados.
- Nivelación de Taludes.
- Excavación de cunetas en tierras y conservación de las mismas.

Debido a la gran importancia que implica la buena utilización de los recursos naturales, la seguridad de los operadores para maniobrar los equipos bajo condiciones seguras de operación y la disponibilidad de las motoniveladoras para realizar labores de mantenimiento y construcción en el menor tiempo posible, se hace totalmente necesario diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para garantizar que la maquina encargada del mantenimiento de las vías se encuentre en los niveles más altos de producción y eficiencia.

La aplicación de la metodología propuesta lograra rediseñar los programas de mantenimiento, haciendo énfasis en análisis de fallas funcionales de los sistemas, modos de falla, efectos y tipos de mantenimiento que actualmente se tiene implementado en los talleres.

La propuesta esta dirigida principalmente a optimizar los recursos ya disponibles y a enfocar los esfuerzos de mantenimiento a lo realmente crítico del proceso, con el fin de obtener una mayor disponibilidad de la flota de Motoniveladoras 24H/M y a su vez que estos equipos logren incrementar su confiabilidad para que esta mejora en la disponibilidad sea perdurable a lo largo del tiempo.

3. MARCO TEÓRICO

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen uso de las maquinas a través del tiempo. La historia del mantenimiento, como parte estructural de las empresas, data desde la aparición de las maquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos¹.

El mantenimiento es algo inherente a la industria, se encuentra irremediabilmente ligado a la existencia de las maquinas. La vida de una maquina implica la necesidad del mantenimiento. El mantenimiento dirigido, organizado; el mantenimiento de alto nivel; el grupo de mantenimiento se justifica en la medida en que ²:

- Mantenga los equipos en una alta disponibilidad.
- Logren un alto rendimiento de las tareas de mantenimiento.
- Optimice los costos de mantenimiento.
- Incremente o sostenga la productividad.
- Sea activo en los programas de calidad.

Uno de los mejores modelos para el mejoramiento continuo de la administración del mantenimiento es la aplicación de las técnicas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). RCM es una de las vías más poderosas para mejorar el mantenimiento ya que este apunta al centro de lo que el cliente necesita, lo cual es, la confiabilidad. Las técnicas son una extensión de las investigaciones en confiabilidad hechas por la industria aeronáutica y el gobierno de los E.U.³

1.Mora Gutiérrez, Alberto. *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México, Alfaomega, 2009.

2.Borras Pinilla, Carlos. *Principios de Mantenimiento. Grupo de Investigación, UIS, 2011*

3.Levitt, Joel. *The Handbook of Maintenance Management*. New York, Industrial Press Inc., 1997.

Utilizando estas técnicas la industria aeronáutica fue capaz de reducir los requisitos de mantenimiento para el 747 (avión comercial transcontinental de fuselaje ancho fabricado por Boeing) a 66,000 horas de 4,000,000 horas para una generación mas vieja, como lo fue el DC8 (Avión cuatrimotor que Douglas fabrico entre 1959 y 1972).⁴

RCM es un proceso de 5 pasos. El proceso es usualmente un esfuerzo de equipo, con miembros de ambas operaciones y mantenimiento. Esto es facilitado por un especialista en RCM con buen conocimiento de los procesos ⁵.

Arzuaga ⁶, desarrolla un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de tractores de oruga D11N de la empresa minera Drummond Ltd. Esta propuesta nace de la necesidad de incrementar la confiabilidad y por ende la disponibilidad de la flota, aplicadas a cuatro áreas fundamentales de su mantenimiento, las cuales menciona como Mantenimiento Preventivo, Servicios de Campo, Cambio de Componentes Programados PCR y área de rodaje.

Ariza ⁷; el resultado, de la aplicación de RCM a los Taladros de Voladura en la mina Caypa en Carbones Colombianos del Cerrejón, es la creación de una metodología de gestión del mantenimiento la cual asegura que los activos continúen cumpliendo con las funciones por las cuales fueron diseñados. En términos generales, permite distribuir de forma efectiva los recursos asignados a la gestión del mantenimiento, teniendo en cuenta la importancia de los activos dentro del contexto operacional y los posibles efectos o consecuencias de los modos de falla que estos puedan causar sobre la seguridad, medio ambiente y operaciones.

4.Moubray. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997.

5.Levitt, Joel. The Handbook of Maintenance Management. New York, Industrial Press Inc, 1997.

6.Arzuaga Churio, Jose Elias. Modelo de RCM en la flota de tractores de oruga D11N de la empresa minera Drummond Ltd. UIS, Monografía de grado, 2011.

7. Ariza Rincón, Albert Jair. Aplicación de RCM a la flota de Taladros de voladura en la empresa Carbones Colombianos del Cerrejón S.A. UIS, Monografía de grado, 2008.

En términos generales, RCM se convierte en una herramienta clave para ser implementada en la gestión de mantenimiento en cualquiera de las áreas de trabajo en la minería a cielo abierto, las cuales son exigidas a entregar a sus clientes una alta confiabilidad y máxima eficiencia de las maquinas o equipos a su cargo.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Como todo proceso en evolución, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica.

✓ **La Primera Generación**

La primera Generación cubre el período hasta la II Guerra Mundial. Es esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas ni importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

✓ **La Segunda Generación**

Durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la Guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos. Las empresas habían comenzado a depender de ellas.

Pérez, Carlos Mario, Trabajo de traducción y adaptación del libro de Jhon Mubray. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Soporte y Cia Ltda [www. Soporteycia.com.co](http://www.Soporteycia.com.co)

Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más evidente. Esto llevó a la idea de que las fallas se podían y debían de prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del concepto del mantenimiento programado. En los años 60 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos.

El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar sistemas de control y planeación del mantenimiento. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

✓ **La Tercera Generación**

Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse así:

Nuevas expectativas: El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento.

Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento.

Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente.

Nueva Investigación: Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

4.2 RCM

Como en los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad, el mantenimiento de aeronaves ha sido el motor que ha activado los mejores planteamientos dentro del mantenimiento.

Estas teorías también se han ampliado con estudios efectuados en grandes flotas de transporte urbano, y aunque no se pueden aplicar a la totalidad de una fábrica u otra empresa, debido a la falta de homogeneidad en los equipos instalados a las grandes diferencias entre fábricas y a la carencia de organismos que regulen, que coordinen y tengan autoridad en lo que respecta a la práctica del mantenimiento. No es que las bases teóricas globales, estén vedadas a las fábricas u otras empresas, pero a la vista de la situación general y a la necesidad de atender prioritariamente los problemas inmediatos y de medio plazo, la experiencia es el mejor camino.

Ante esta situación, puede ser de primera necesidad el conseguir y seguir un método que pretenda únicamente unificar criterios dentro de una misma organización. Criterios que, como primer caso, se basen en la lógica y el conocimiento de los equipos y de sus misiones. Son los mismos parámetros que se aplican a diario, pero sistematizados para obtener una mayor uniformidad. El plan así diseñado, puede ser un buen punto de partida para que posteriormente sea afinado y retocado con aportaciones de mayor nivel.

Pérez, Carlos Mario, Trabajo de traducción y adaptación del libro de Jhon Mubray. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Soporte y Cia Ltda [www. Soporteycia.com.co](http://www.Soporteycia.com.co)

Algunos diccionarios definen mantener como la causa para continuar o para mantener en un estado existente. Ambas definiciones ponen de manifiesto que el mantenimiento significa la preservación de algo.

Pero cuando se tiene que tomar la decisión de mantener algo, ¿qué es lo que se desea causar que continúe? ¿Cuál es el estado existente que se desea preservar?.

La respuesta a estas preguntas puede encontrarse en el hecho de que todo elemento físico se pone en servicio para cumplir una función o funciones específicas. Por lo tanto, cuando se mantiene un equipo, el estado en que se desea preservarlo debe ser aquel en el que se desea que continúe para cumplir la función determinada.

Mantenimiento: Asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas.

Claramente, para que esto sea posible, los equipos deben ser capaces de cumplir esas funciones previstas.

Esto es porque el mantenimiento - el proceso de “causar que continúe” -solamente puede entregar la capacidad incorporada (confiabilidad inherente) de cualquier elemento. No puede aumentarla. En otras palabras, si cualquier tipo de equipo es incapaz de realizar el funcionamiento deseado en principio, el mantenimiento por sí solo no puede realizarlo. En tales casos, debemos modificar los elementos de forma que pueda realizar el funcionamiento deseado, o por el contrario reducir nuestras expectativas.

RCM se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada confiabilidad inherente.

No se puede lograr mayor confiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas que la brindada por sus diseñadores. Cada componente tiene su propia y única combinación de modos de falla, con sus propias intensidades de falla.

Cada combinación de componentes es única y las fallas en un componente pueden conducir a fallas en otros componentes. Cada sistema opera en un ambiente único consistente de ubicación, altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a procesar fluidos o productos, velocidad, aceleración, entre otros.

La función determinada de cualquier equipo puede definirse de muchas formas dependiendo exactamente de dónde y cómo se esté usando (el contexto operacional).

Como resultado de esto, cualquier intento de formular o las políticas de mantenimiento deberían comenzar con las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento en su contexto operacional presente. Esto lleva a la siguiente definición formal de RCM:

Reliability Centered Maintenance: Es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional.

Pérez, Carlos Mario, Trabajo de traducción y adaptación del libro de Jhon Mubray. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Soporte y Cia Ltda [www. Soporteycia.com.co](http://www.Soporteycia.com.co)

Una definición más amplia de RCM podría ser “un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente”.

4.2 EL RCM: Siete preguntas básicas

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa, y decidir cuáles son las que deben estar sujetas al proceso de revisión del RCM.

En la mayoría de los casos, esto significa que se debe de realizar un registro de equipos completo si no existe ya uno.

Más adelante, RCM hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como sigue:

- Cuáles son las funciones?
- De qué forma puede fallar?
- Qué causa que falle?
- Qué sucede cuando falla?
- Qué ocurre si falla?
- Qué se puede hacer para prevenir los fallas?
- Qué sucede si no puede prevenirse el falla?

4.2.1 Funciones y sus Estándares de Funcionamiento

Cada elemento de los equipos debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

4.2.1.1 Fallas Funcionales

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

4.2.1.2 Modos de Falla (Causas de Falla)

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir.

Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

4.2.1.3 Efectos de las Fallas

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Esta paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el

funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

4.2.1.4 Consecuencias de las Fallas

Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla. La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar de encontrar las fallas.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

- Consecuencias de las fallas no evidentes: Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

- Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

- Consecuencias que no son operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación. Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo del falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

4.2.1.5 Tareas de mantenimiento

La mayoría de la gente cree que el mejor modo de mejorar al máximo la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento de forma rutinaria. El conocimiento de la Segunda Generación sugiere que esta acción preventiva debe de consistir en una reparación del equipo o cambio de componentes a intervalos fijos.

Supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión para un período y luego se deterioran rápidamente. El pensamiento tradicional sugiere que un histórico extenso acerca de las fallas anteriores permitirá determinar la duración de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar.

Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes.

Pérez, Carlos Mario, Trabajo de traducción y adaptación del libro de Jhon Mubray. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Soporte y Cia Ltda [www. Soporteycia.com.co](http://www.Soporteycia.com.co)

En particular, las características de desgaste se encuentran a menudo donde los equipos entran en contacto directo con el producto.

El reconocimiento de estos hechos ha persuadido a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea del mantenimiento sistemático. De hecho, esto puede ser lo mejor que hacer para fallas que tengan consecuencias sin importancia. Pero cuando las consecuencias son significativas, se debe de hacer algo para prevenir las fallas, o por lo menos reducir las consecuencias.

RCM reconoce cada una de las tres categorías más importantes de tareas preventivas, como siguen:

- Tareas “A Condición”: La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, han creado los nuevos tipos de prevención de fallas. La mayoría de estas técnicas nuevas se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. Estas advertencias se conocen como fallas potenciales, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas se usan para determinar cuando ocurren las fallas potenciales de forma que se pueda hacer algo antes de que se conviertan en verdaderas fallas funcionales. Estas técnicas se conocen como tareas a condición, porque los elementos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

Muchas fallas serán detectables antes de que ellas alcancen un punto donde la falla funcional donde se puede considerar que ocurre la falla funcional.

- Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica: Los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento.

Si la falla no es detectable con tiempo suficiente para evitar la falla funcional entonces la lógica pregunta si es posible reparar el modo de falla del ítem para reducir la frecuencia (índice) de la falla.

Algunas fallas son muy predecibles aún si no pueden ser detectadas con suficiente tiempo. Estas fallas pueden ser difíciles de detectar a través del monitoreo por condición a tiempo para evitar la falla funcional, o ellas pueden ser tan predecibles que el monitoreo para lo evidente no es una garantizado. Si no es práctico reemplazar componentes o restaurar de manera que queden en condición "como nuevos" a través de algún tipo de uso o acción basada en el tiempo entonces puede ser posible reemplazar el equipo en su totalidad.

Con frecuencia es difícil de determinar la frecuencia de las labores. Sin embargo por ahora es suficiente con reconocer que la historia de la falla es un determinante principal. Usted debe reconocer que las fallas no sucederán exactamente cuando se fueron predecidas, de manera que usted debe permitir algún margen de tiempo.

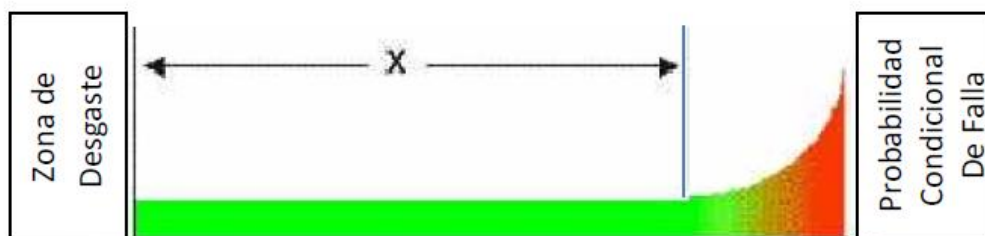
Reconozca también que la información que usted está usando para basar su decisión puede ser errónea o incompleta. Para simplificar el próximo paso, el cual supone el agrupado de tareas similares, ello tiene sentido para predeterminar un número de frecuencias aceptables tales como diarias, semanales, unidades producidas, distancias recorridas o número de ciclos operativos, etc.

Seleccionar aquellos que están más cerca de las frecuencias que su mantenimiento y sus historia operativa le ordena tiene sentido en realidad.

Una gran ventaja del RCM es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir (si hiciera falta) qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y si fuera así para decidir la frecuencia en que se hace y quien debe de hacerlo. Estos criterios forman la mayor parte de los programas de entrenamiento del RCM. El RCM también ordena las tareas en un orden descendiente de prioridad. Si las tareas no son técnicamente factibles, entonces se debe tomar una acción apropiada, como se describe a continuación.

- Tareas proactivas.

Sabemos que todos los materiales se desgastan, por tanto los equipos compuestos por estos también lo hacen.



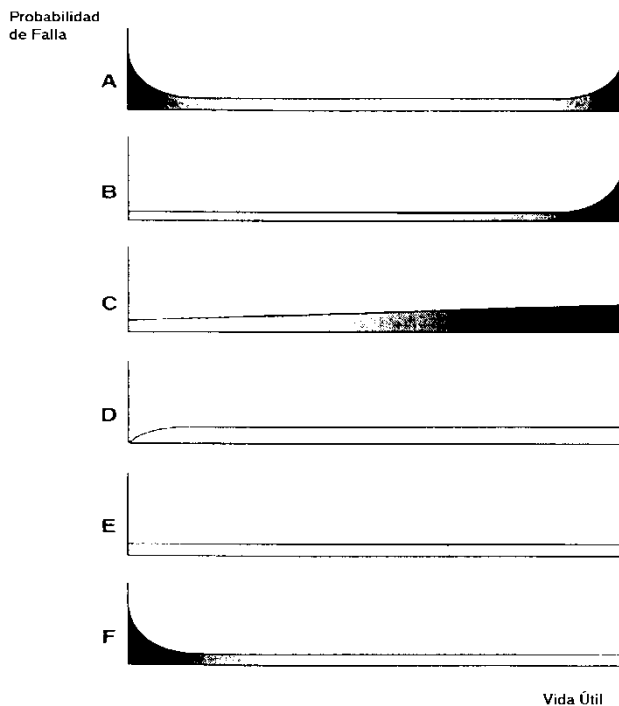
La anterior figura se basa en la presunción de que la mayoría de los equipos operan confiablemente por período determinado y luego se desgastan.

Este patrón es cierto para algunos equipos simples y para algún modo de falla dominante.

En particular las características de desgaste se encuentran a menudo en casos en los que el equipo tiene contacto directo con el producto. Para el caso de las motoniveladoras 24M sus componentes están todo el tiempo expuestos a la polución y por tanto a la contaminación por silicio, componente de mayor proporción en la arena o tierra, por lo que el desgaste abrasivo y adhesivo se hace presente todo el tiempo y por tanto se necesitan tareas proactivas que ayude a un desgaste en menor proporción. Las fallas relacionadas con la edad frecuentemente van asociadas a la fatiga, corrosión, abrasión y evaporación.

Los equipos más complejos han traído patrones de falla diferentes. Los gráficos de la figura 2 muestran la probabilidad condicional de falla en relación con la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos.

Figura 2.



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos13/mante/mante.shtml>

El patrón A comienza con una gran incidencia de falla (mortalidad infantil), seguida por un incremento gradual o constante de la probabilidad de falla y por último la zona de desgaste. El patrón B muestra una probabilidad condicional de falla que es constante o de lento crecimiento y termina en la zona de desgaste. El patrón C muestra una probabilidad de falla que crece lentamente pero no tiene una edad de desgaste apreciable. El patrón D ilustra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién salido de la fábrica, seguido de un veloz incremento

hasta un nivel constante. El patrón de falla E es una probabilidad de falla constante a todas las edades por igual (falla al azar). El patrón F es una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad de falla constante o que asciende lentamente.

Los límites de edad tienen que ver poco o nada con mejorar la confiabilidad de los componentes complejos. De hecho las reparaciones pueden aumentar la probabilidad de falla al introducir la mortalidad infantil en otros sistemas que de otra manera serían estables.

La toma de conciencia de estos hechos ha llevado a algunas organizaciones a abandonar el mantenimiento proactivo, esto es acertado para fallas con consecuencias menores, pero cuando las consecuencias de falla son importantes, algo debe hacerse para reducir las consecuencias. Esto nos lleva de nuevo a la cuestión de las tareas proactivas.

4.2.1.6 Acciones a “falta de”

Además de preguntar si las tareas sistemáticas son técnicamente factibles, el RCM se pregunta si vale la pena hacerlas. La respuesta depende de cómo reaccione a las consecuencias de las fallas que pretende prevenir.

Al hacer esta pregunta, el RCM combina la evaluación de la consecuencia con la selección de la tarea en un proceso único de decisión, basado en los principios siguientes:

“ Una acción que signifique prevenir la falla de una función no evidente sólo valdrá la pena hacerla si reduce el riesgo de una falla múltiple asociado con esa función a un nivel bajo aceptable. Si no se puede encontrar una acción sistemática apropiada, se debe llevar a cabo la tarea de búsqueda de fallas.

En el caso de modos de falla ocultos que son comunes en materia de seguridad o sistemas protectores no puede ser posible monitorear en busca de deterioro porque el sistema está normalmente inactivo.

Si el modo de falla es fortuito puede no tener sentido el remplazo de componentes con base en el tiempo porque usted podría estar remplazando con otro componente similar que falla inmediatamente después de ser instalado.

En estos casos la lógica RCM pide explorar con pruebas para hallar la falla funcional. Estas son pruebas que pueden causar que el dispositivo se active, demostrando la presencia o ausencia de una funcionalidad correcta. Si tal prueba no es posible se debe re–diseñar el componente o sistema para eliminar la falla oculta.

Las tareas de búsqueda de fallas consisten en comprobar las funciones no evidentes de forma periódica para determinar si ya han fallado. Si no se puede encontrar una tarea de búsqueda de fallas que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, entonces la acción “a falta de” secundaria sería que la pieza debe rediseñarse.

Una acción que signifique el prevenir una falla que tiene consecuencias en la seguridad o el medio ambiente merecerá la pena hacerla si reduce el riesgo de ese falla en sí mismo a un nivel realmente bajo, o si lo suprime por completo. Si no se puede encontrar una tarea que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, el componente debe rediseñarse.

Si la falla tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar una tarea sistemática si el costo total de hacerla durante cierto tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación durante el mismo período de tiempo. Si no es justificable, la decisión “a falta de” será el no mantenimiento sistemático. (Si esto ocurre y las consecuencias operacionales no son aceptables todavía, entonces la decisión “a falta de” secundaria sería rediseñar de nuevo).

En otras palabras en el caso de fallas que no están ocultas y en las que no se puede predecir con suficiente tiempo para evitar la falla funcional y no se puede prevenir la falla a través del uso o realizar remplazos con base en el tiempo es posible puede o re – diseñar o aceptar la falla y sus consecuencias. Si no hay consecuencias que afecten la operación pero hay costos de mantenimiento, se puede optar por una elección similar.

En estos casos la decisión está basada en las economías – es decir, el costo de re – diseñar contra el costo de aceptar las consecuencias de la falla (tal como la producción perdida, costos de reparación, horas extras, etc.).

“ De forma similar, si una falla no tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar la tarea sistemática si el costo de la misma durante un período de tiempo es menor que el de la reparación durante el mismo período. Si no son

justificables, la decisión inicial “ a falta de” sería de nuevo el no mantenimiento sistemático, y si el costo de reparación es demasiado alto, la decisión “a falta de” secundaria sería volver a diseñar de nuevo.

Este enfoque gradual de “arriba-abajo” significa que las tareas sistemáticas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente. Esta característica del RCM normalmente lleva a una reducción significativa en los trabajos rutinarios. También quiere decir que las tareas restantes son más probables que se hagan bien. Esto combinado con unas tareas útiles equilibradas llevará a un mantenimiento más efectivo.

Si esto compara el enfoque gradual tradicional de abajo a arriba. Tradicionalmente, los requerimientos del mantenimiento se evaluaban en términos de sus características técnicas reales o supuestas, sin considerar de nuevo que en diferentes condiciones se aplican consecuencias diferentes. Esto resulta en un gran número de planes que no sirven para nada, no porque sean “equivocados”, sino porque no consiguen nada.

El proceso del RCM considera los requisitos del mantenimiento de cada elemento antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener los equipos como está funcionando hoy, y no como debería de estar o puede que esté en el futuro.

Después analizar los modos de falla a través de la lógica mencionada anteriormente, los expertos deben luego consolidar las labores en un plan de mantenimiento para el sistema. Este es el "producto final" del RCM. Cuando esto

ha sido producido, el encargado del mantenimiento y el operador deben continuamente esforzarse por optimizar el producto.

4.3 EL PERSONAL IMPLICADO

El proceso del RCM incorpora siete preguntas básicas. En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a todas estas preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas (si no la mayoría) de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Esto se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben de tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM

El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

4.3.1 Los Facilitadores

Los grupos de revisión del RCM trabajan bajo la asesoría de un especialista bien entrenado en el RCM, que se conoce como un facilitador. Los facilitadores son el personal más importante en el proceso de revisión del RCM. Su papel es asegurar que:

- Se aplique el RCM correctamente (que se hagan las preguntas correctamente y en el orden previsto, y que todos los miembros del grupo las comprendan.)
- Que el personal del grupo (especialmente el de producción y mantenimiento) consiga un grado razonable de consenso general acerca de cuales son las respuestas a las preguntas formuladas.
- Que no se ignore cualquier componente o equipo.
- Que las reuniones progresen de forma razonable.
- Que todos los documentos del RCM se llenen debidamente.

4.3.2 Los Auditores

Inmediatamente de que se haya completado la revisión de cada elemento de los equipos importantes, el personal gerente que tenga la responsabilidad total de la planta necesitará comprobar que ha sido hecha correctamente y que está de acuerdo con la evaluación de las consecuencias de las fallas y la selección de las tareas. Este personal no tiene que efectuar la intervención personalmente, sino que pueden delegarla en otros que en su opinión estén capacitados para realizarla

4.4 LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR RCM

✓ *Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:*

- Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- 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 sistemáticas apropiadas.
- Menos fallas causados por un mantenimiento innecesario.

✓ *Mejores rendimientos operativos, debido a:*

- Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
- Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
- Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas · Menos problemas de

“desgaste de inicio” después de las interrupciones debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.

- La eliminación de elementos superfluos y como consecuencia los fallas inherentes a ellos.
- La eliminación de componentes poco fiables.
- Un conocimiento sistemático acerca de la nueva planta.

✓ *Mayor Control de los costos del mantenimiento, debido a:*

- Menor mantenimiento rutinario innecesario.
- Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre las consecuencias de las fallas).
- La prevención o eliminación de las fallas costos.
- Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva.
- Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal tiene mejor conocimiento de las plantas.

- Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición (“condition monitoring”).
- Además de la mayoría de la lista de puntos que se dan más arriba bajo el título de “Mejores rendimientos operativos”.
 - ✓ Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.
 - ✓ Una amplia base de datos de mantenimiento, que:
 - Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
 - Provee un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
 - Provee una base valiosa para la introducción de los sistemas expertos
Conduce a la realización de planos y manuales más exactos
 - Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver a considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.
- ✓ Mayor motivación de las personas, especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento

general de la planta en su contexto operacional mucho mejor, junto con un “compartir” más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.

- ✓ Mejor trabajo de grupo, motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones.

Esto mejora la comunicación y la cooperación entre:

- Las áreas: Producción u operación así como los de la función del mantenimiento.
- Personal de diferentes niveles: los gerentes los jefes de departamentos, técnicos y operarios.
- Especialistas internos y externos: los diseñadores de la maquinaria, vendedores, usuarios y el personal encargado del mantenimiento.

Muchas compañías que han usado ambos sistemas de mantenimiento han encontrado que el RCM les permite conseguir mucho más en el campo de la formación de equipos que en la de los círculos de calidad, especialmente en las plantas de alta tecnología.

Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento, y muchos ya son la meta de los programas de mejora.

Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez, y para hacer participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.

4.5 El Enfoque de la Norma SAE

Cuando el grupo SAE empezó a trabajar, pensó en los mismos términos que muchos otros: El grupo pensaba que un “estándar” RCM era menos importante que un proceso RCM estándar. Por tal motivo se empezó a trabajar en el desarrollo del proceso. Esto fue difícil, porque diferentes miembros del grupo estaban usando procesos diferentes mientras ejecutaban el RCM.

Los primeros miembros del grupo tuvieron que trabajar juntos, cerca de un año, en reuniones ocasionales antes de que ellos fueran desarrollando el respeto por la experiencia individual y les permitiendo escucharse mutuamente sin rechazar las respuestas de cada uno de ellos. Se toma otro año para empezar a ponerse de acuerdo sobre un proceso común que podría ser llamado un proceso RCM estándar.

Después de que el grupo SAE diseñara tal proceso, la retroalimentación informal recibida por parte de la comunidad RCM, por fuera del grupo, mostró que esas personas inadvertidamente habían sido muy cuidadosos con los compromisos particulares que resultaron en el proceso del grupo y que esas personas no veían la necesidad de tales compromisos: se hizo claro que el esfuerzo para desarrollar

un “proceso estándar” sólo produciría otra versión del RCM, la cual simplemente agrandaría el grupo de procesos que ya estaban compitiendo por el nombre “RCM”. Se tomó otro medio año para darse cuenta de que no había otra forma.

La norma aprobada por la SAE no representa un proceso RCM estándar. Su título es “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)”. Ésta norma presenta criterios contra los cuales se puede comparar un proceso: Si el proceso satisface los criterios, el usuario puede, con confianza, llamarlo un “proceso RCM”. Si los criterios no lo satisfacen, no debería llamarse “Proceso RCM”.

Esto no necesariamente significa que los procesos que no cumplen con la norma SAE RCM no sean procesos válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento, simplemente significa que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos.

Se espera que la norma SAE sea aplicada por numerosas organizaciones que quieran recibir los beneficios del RCM y saber si un proceso que consideran usar es RCM. El proceso puesto a consideración puede ser uno usado por la organización, u otro aplicar en el futuro.

El subcomité SAE RCM terminó su trabajo sobre la norma en Febrero de 1999. Después de la aprobación inicial por parte del comité de asistencia de la SAE en mayo de 1999, la norma fue aprobada por la Junta de Normas Técnicas de la SAE y el Consejo Aeroespacial de la SAE en Septiembre de 1999.

Se espera que la norma SAE para el RCM ayude a aquellos que desean aplicar el RCM mientras evalúan los procesos propuestos por vendedores y asesores mediante el uso de la norma, las personas serán capaces de determinar qué procesos son RCM y cuáles no lo son

La norma no es un documento extenso. Incluyendo el prólogo, el glosario y la bibliografía, sólo contiene 4.000 palabras en aproximadamente 10 páginas de papel A4. Su título oficial es “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)” (SAE JA1011). Su pagina web es: www.sae.org/BOOKSTORE.

5. DISEÑO METODOLOGICO

5.1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS Y EL TIPO DE MANTENIMIENTO QUE SE REALIZA.

Esto nos permite determinar como se ha estado llevando su mantenimiento y su funcionamiento actualmente

5.2 REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

Aquí se describe el esquema del proceso operativo de la maquina escogida, se identifican los componentes principales y dispositivos que intervienen en el proceso y se delimita el inicio y el fin del proceso.

5.3 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS Y COMPONENTES UTILIZADOS EN EL PROCESO.

Es muy significativo la identificación y clasificación de los sistemas y componentes para determinar su participación e importancia en el proceso operativo.

5.3.1 Identificación de las funciones y fallas funcionales.

Se identifican los tipos de fallas que pueden ocurrir así como también el análisis de los modos de fallas, efectos de fallas y consecuencias de las fallas.

5.3.2 Elaboración del árbol lógico de decisiones.

Con el análisis de la información obtenida se procede con la construcción del árbol lógico de cada equipo el cual contiene las actividades de mantenimiento, su frecuencia y los recursos necesarios.

5.3.3 Registro del plan de mantenimiento de RCM.

Se registran las funciones que debe realizar el departamento de mantenimiento.

6. INDICADORES DE GESTIÓN DE LA FLOTA

El principal objetivo y responsabilidad del departamento de mantenimiento es mantener los equipos en óptimas condiciones evitando cualquier problema o falla. Una de las herramientas claves del departamento de Mantenimiento es la medición del desempeño de la flota. Para ser efectivo, la medición del desempeño no debe solo darnos una precisa fotografía de cómo está nuestro desempeño relativo para establecer metas y/o benchmarks globales sino también proveernos una predicción o proyección de que esperamos en términos de desempeño futuro. El término “Métrica de desempeño” es usado para describir el resultado de cualquier proceso usado para recolectar, analizar, interpretar y presentar datos de forma cuantitativa. Es una medida que permite ver el desempeño de determinados parámetros y compararlos con metas preestablecidas o un benchmark.

“Benchmark” es otro término frecuentemente usado para describir el desempeño de una flota. Se define como una medida de desempeño de clase-mundial estándar. Un benchmark representa y cuantifica “un desempeño de clase mundial o buena práctica” de una flota determinada con una operación y funciones específicas de la máquina. Un benchmark está determinado por una representación actual, documentada y sostenible en un tiempo determinado de las métricas de desempeño¹.

¹ FLOREZ, Abelardo. Metrics (KPI'S) To Assess Process Performance. Prioria: Caterpillar Inc, 2007. P.2.

6.1 TIEMPO PROMEDIO ENTRE PARADAS (MTBS)

Las más exitosas operaciones mineras son aquellas en las que hay una administración y mantenimiento de equipos con una disponibilidad por periodos largos sin interrupción por servicios de mantenimiento. El MTBS es una medida que combina los efectos de la confiabilidad inherente de la máquina y la efectividad de la administración del mantenimiento de la organización. Todo esto se logra evitando problemas repetitivos, detectando defectos y planeando, programando y ejecutando las reparaciones. MTBS es simplemente el más importante indicador del desempeño de la administración de equipos. La Metodología de cálculos es:

$$\text{MTBS(horas)} = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Numero de paradas}}$$

Las horas operadas se toman del horómetro de la máquina y el número de paradas de se obtienen del historial de reparaciones del equipo. El Benchmark de MTBS varia significativamente según el modelo de la máquina, para camiones Caterpillar nuevos 793 el MTBS es de 80 horas y para una flota madura es de 60 horas en las tablas siguientes se encuentran listadas las características de la organizaciones de mantenimiento según los resultados del MTBS según los modelos de equipos mineros más comunes²:

² CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc, 2005. P.15.

Tabla 1 RANGO DE MTBS PARA EQUIPOS MINEROS

MTBS	CARACTERISTICAS DE LA ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO
50 a 60 horas	Excelente, alto % de paradas programadas. La adm. del Mtto es altamente proactiva
40 a 50 horas	Aceptable, la mayor parte del tiempo en paradas programadas: Se debe mejorar la adm. del Mtto
30 a 40 horas	Marginal, la mitad del tiempo en paradas programadas: La Adm. De Mtto no funciona completamente
20 a 30 horas	Marginal, < 40% del tiempo en paradas programadas. La Adm. Del Mtto hace un esfuerzo mínimo
< 20 horas	Pobre, solo los PM's son programados: La Adm. Del Mtto es totalmente reactiva

Fuente: CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Equipment

Tabla 2 GUIAS DE BENCHMARK PARA EQUIPOS CATERPILLAR

MODELO	MTBS
D10 / D11 TTT's	55 a 75 horas
992 / 994 WL's	55 a 75 horas
16 MG	95 a 105 horas
24 MG	55 a 75 horas
5000 HEX	55 a 75 horas

Fuente: CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Equipment

6.2 Tiempo Promedio para Reparar (MTTR)

Es el tiempo promedio de las paradas de los equipos, se expresa en horas. Las reparaciones planeadas, la administración y la ejecución son todos factores que contribuyen a la duración de la parada de la máquina. El MTTR es un indicador de desempeño que cuantifica la duración de las reparaciones, que tan rápido (o lento) el equipo es retornado a la operación una vez se solicita el servicio. El MTTR combina los efectos de la mantenibilidad / Servicio inherente de la máquina y la eficiencia de la administración del mantenimiento en entregar un rápida acción en las necesidades de reparación. La metodología de cálculos es:

$$\text{MTTR(horas)} = \frac{\text{Total Tiempo de Paradas}}{\text{Numero de paradas}}$$

El Benchmark de MTTR para equipos mineros varia también según los tipos y modelos de máquinas, para Motoniveladoras 24M es de 5 horas aproximadamente³.

6.3 DISPONIBILIDAD

Es la relación entre el MTBS (tiempo promedio de paradas) y la suma del MTBS y MTTR (Tiempo Promedio para reparar), se expresa en porcentaje. La disponibilidad es el resultado de la frecuencia y la duración del tiempo de parada del equipo. La metodología de cálculos es:

$$\text{Disponibilidad}(\%) = \frac{\text{MTBS}}{\text{MTBS} + \text{MTTR}} \times 100$$

El Benchmark de la disponibilidad para equipos mineros varia también según los tipos y modelos de máquinas, para Motoniveladoras 24M es de 85% aproximadamente⁴.

³ CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc, 2005. P.16.

7. MOTONIVELADORA CATERPILLAR 24M

La Motoniveladora Caterpillar® 24M está diseñada para cumplir con los requisitos especializados de las operaciones de minería de gran escala, especialmente los de mantenimiento de caminos de acarreo para camiones con capacidades de 172 toneladas métricas (190 toneladas) o más. El motor Cat® C18 ACERT™ de 18,1 litros de la 24M desarrolla una potencia neta de 533 hp (397 kW) y genera un par máximo de 2.389 N-m (1.762 lb-pie)¹. En el proyecto Drummond Ltd. hay 14 Motoniveladoras 24M.

Las características técnicas y las condiciones de operacionales de estos equipos se listan a continuación en la Tabla 3.

Figura 14. Motoniveladora 24M



¹CATERPILLAR, Brochure Smart Grading/Cat Large Motor Graders (Global Mining): Caterpillar Inc, 2011. P.17

Tabla 3. MOTONIVELADORAS 24M EN LAS MINAS DRUMMOND

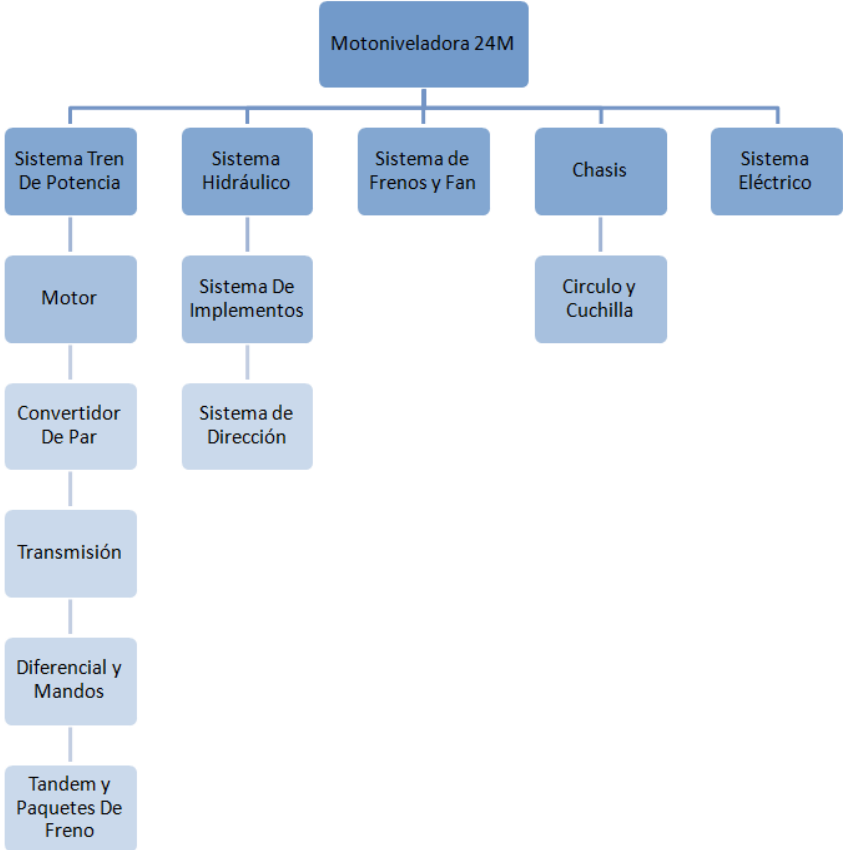
24M MOTORGRADERS				
ASSET	MOD	SERIAL	RECVD	ASS
8017	24M	B9K00323	Apr-09	ROADS
8018	24M	B9K00324	Apr-09	ROADS
8019	24M	B9K00334	Jun-09	ROADS
8020	24M	B9K00339	Nov-09	ROADS
8021	24M	B9K00341	Jan-10	ROADS
8022	24M	B9K00345	Feb-10	ROADS
8023	24M	B9K00346	Feb-10	ROADS
8024	24M	B9K00455	Aug-11	ROADS
8025	24M	B9K00468	Sep-11	ROADS
8026	24M	B9K00481	Oct-11	ROADS
8027	24M	B9K00490	Dec-11	ROADS
8028	24M	B9K00499	Nov-11	ROADS
8029	24M	B9K00519	Feb-12	ROADS
8031	24M	B9K00528	Feb-12	ROADS

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Móvil

Los sistemas principales de la Motoniveladora son:

- Sistema de Tren de Potencia.
- Sistema Hidráulico y Dirección.
- Sistema de Frenos y Fan.
- Chasis y Herramienta de corte
- Sistema Eléctrico

Figura 15. Sistemas Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M motor Grader Service Training Meeting Guide, 2007

Tabla 4. Condiciones Operacionales Motoniveladora 24M

SISTEMA	CONDICIONES OPERACIONALES	
MOTOR	RPM en Bajas	800 +/- 10
	RPM en Altas	2250 +/- 25
	RPM Motor Caldo	1800 +/- 10
	Presión de Refuerzo Motor Calado	23 +/- 3 psi
FRENOS	RPM del Fan Hidráulico Mínimas	550 +/- 50
	RPM del Fan Hidráulico Máximas	1300
	Presión del Freno de Servicio Tandem RH	675 +/- 51 psi
	Presión del Freno de Servicio Tandem LH	675 +/- 51 psi
	Carga de los acumuladores CUT-IN	1400 +/- 50 psi
	Carga de los acumuladores CUT-OUT	2300 +/- 50 psi
SISTEMA HIDRAULICO	Presión Piloto del Sistema Hidráulico	580 +/- 29 PSI
	Tiempo desplazamiento cilindro de levante (distancia de 305 mm o 12")	2.8 +/- 0.3 seg
	Tiempo desplazamiento cilindro Centershift	6 +/- 0.9 seg
	Tiempo desplazamiento cilindro Inclinación de la Rueda	2.3 +/- 0.3 seg
	Tiempo desplazamiento cilindro Inclinación de la Cuchilla	4.8 +/- 0.7 seg
	Tiempo desplazamiento cilindro de la Cuchilla	14.3 +/- 1.7 seg
	Tiempo de Articulación máquina	5.9 +/- 0.4 seg
	Tiempo desplazamiento Ripper (distancia de 305 mm o 12")	3.6 +/- 0.4 seg
	Tiempo de 1/4 de vuelta del circulo de Giro	12.3 +/- 1.6 seg
	TREN DE POTENCIA	Presión de salida del Convertidor Motor Calado
Presión de Embrague de Lockup del Convertidor		254 +/- 10 psi
Presión de Alivio de Transmisión		320 +/- 5 psi
Presión de Alivio de la Traba del Diferencial		350 +/- 29 psi

Fuente: CATERPILLAR, 24M motor Grader Testing and Adjusting

Tabla 5. Características Técnicas de la Motoniveladora 24M

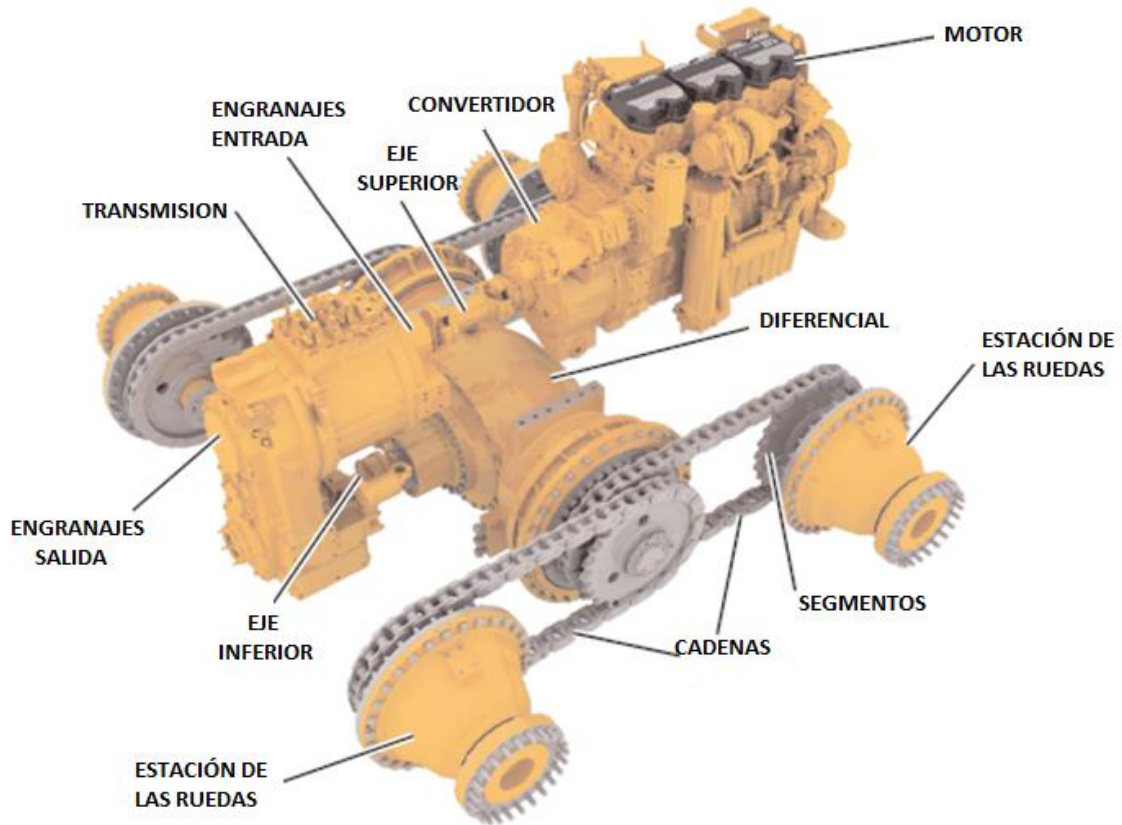
SISTEMA	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO		
MOTOR	Fabricante	Caterpillar®	
	Modelo	Cat® C18 ACERT™	
	Potencia neta básica (todas las velocidades)	397 kW	533 hp
	Cilindrada	18.1 L	1104.5 pulg ³
	Velocidad a potencia nominal	1800 RPM	
	Admisión de Aire	Turbocargado	
INFORMACIÓN OPERACIONAL	Peso Operacional	62457 kg	137694 lb
	Capacidad Tanque de Combustible	350 gal	1326 L
	Capacidad Tanque Hidráulico	36 gal	135 L
TRANSMISIÓN	Tipo	Transmisión Planetaria (ECPC)	
	Numero de Cambios Hacia Adelante	6	
	Numero de Cambios Hacia Atrás	3	
	Velocidad máxima - Avance	43 km/h	26.7 millas/h
	Velocidad máxima - Retroceso	41.2 km/h	25.6 millas/h
SISTEMA HIDRÁULICO	Flujo de la bomba	145 gal/min	550 L/min
	Presión máxima del sistema	24150 kPa	3500 lb/pulg ²
	Presión de reserva	3100 kPa	450 lb/pulg ²
CUCHILLA	Ancho	7.315 m	24 pie
	Altura	1067 mm	42 pulg
	Espesor	50 mm	2 pulg
	Radio del arco	550 mm	21.7 pulg
DIMENSIONES DEL EQUIPO	Altura hasta la parte superior de la cabina	4452 mm	175.3 pulg
	Altura a la parte superior de los cilindros	3846 mm	151.4 pulg
	Espacio libre sobre el suelo en el eje trasero	607 mm	23.9 pulg
	Longitud Total (contrapesa al ripper)	16102 mm	633.9 pulg
	Ancho parte externa de las llantas	4280 mm	168.5 pulg

Fuente: CATERPILLAR, 24M motor Grader Brochure

7.1 Sistema De Tren De Potencia

El flujo de potencia es a través del tren de fuerza y va de la siguiente forma: motor, convertidor de torque, eje de mando superior, engranajes de transferencia de entrada, transmisión planetaria, engranajes de transferencia de salida, eje de mando inferior, diferencial y mandos finales, cadenas, segmentos y por ultimo la estación de las ruedas. El motor diesel envía potencia mediante la unión entre el volante y el convertidor de par. El convertidor de par multiplica la potencia del motor y la envía por medio del eje de mando superior a los engranajes de transferencia de entrada de la transmisión. La Transmisión es tipo planetaria con control electrónico de presión del embrague (ECPC) y el ECM de transmisión/chasis controla la modulación de la presión de los embragues en la transmisión, por un suministro variable de corriente apropiada a la válvula solenoide proporcional. El ECM de transmisión/chasis monitorea al operador por el requerimiento de la marcha, el dato del torque del ECM de motor, el dato de la velocidad de los sensores de velocidad de la transmisión y la temperatura de transmisión para determinar la apropiada marcha. La transmisión tiene seis velocidades de avance y tres velocidades de reversa. Cuando el operador selecciona una velocidad y un sentido, se envía potencia desde la transmisión hacia los engranajes de salida y por medio del eje a los engranajes de salida de la transmisión se transmite hacia el diferencial. El diferencial divide la potencia hacia ambos mandos en igual proporción. Las cadenas llevan la potencia hacia las estaciones de las ruedas.

Figura 16. Tren de Potencia Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.1.1 Motor

El motor de este equipo es un C18 ACERT™ utilizan el módulo de control electrónico A4. La tecnología de ACERT™ proporciona un control electrónico avanzado, una entrega del combustible de precisión, y la administración refinada del aire. El motor C18 es también un arreglo en línea del seis cilindros con un desplazamiento volumétrico de 18.1 litros. El motor tiene 4 subsistemas: sistema

de enfriamiento, sistema de admisión y escape, sistema de combustible y sistema de lubricación.

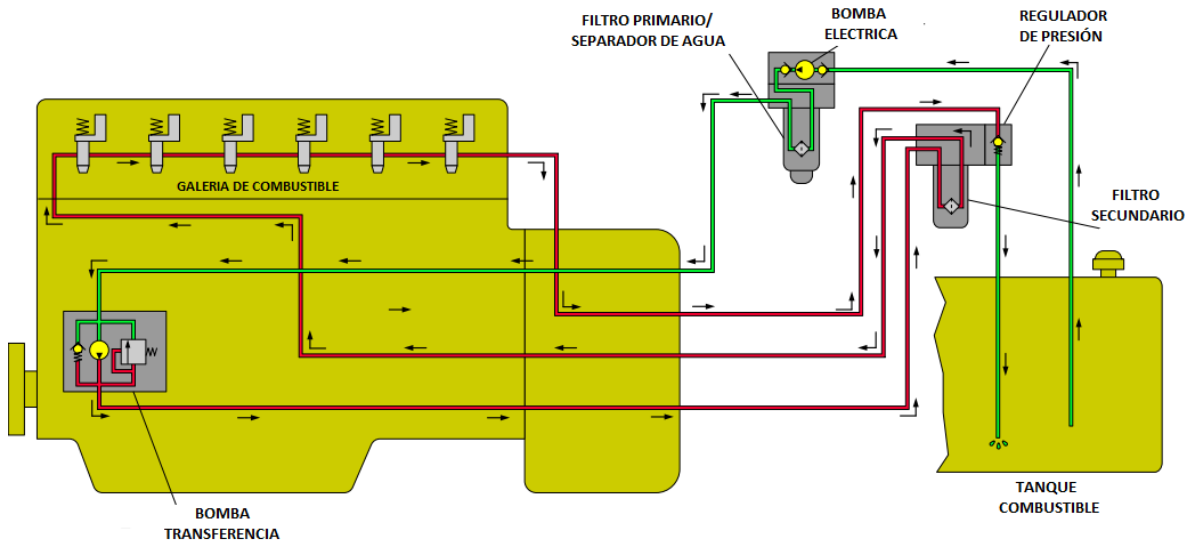
7.1.1.1 Subsistema de Combustible

El combustible es extraído del tanque de combustible a través del filtro de combustible y del separador de agua primarios por una bomba con engranaje de transferencia de combustible. La bomba de la transferencia de combustible entonces dirige el combustible al filtro de combustible secundario. El combustible entonces fluye a la culata del motor. El combustible que es introducido a la culata fluye en la galería del combustible, donde se pone a disposición cada uno de los seis inyectores de combustible (MEUI). Cualquier exceso no inyectado del combustible y los flujos de culata retornan de nuevo al filtro de combustible secundario. Entonces, el exceso de los flujos de combustible fluye más allá del regulador de la presión de combustible.

El regulador de la presión de combustible es una válvula de verificación que está instalada en el filtro de combustible secundario. El regulador de la presión de combustible mantiene la presión del sistema de combustible entre la bomba de la transferencia de combustible y el regulador de la presión de combustible.

Desde el regulador de la presión de combustible, el exceso del flujo de combustible vuelve al depósito de combustible. El cociente del combustible usado para la combustión y del combustible vuelto al tanque es aproximadamente 3:1 (es decir cuatro veces el volumen requerido para la combustión se suministra al sistema para la combustión, el enfriamiento y la lubricación del inyector). La presión de combustible no debe aumentar de 758 Kpa (110 PSI).

Figura 17. Sistema de Inyección de Combustible Motoniveladora 24M



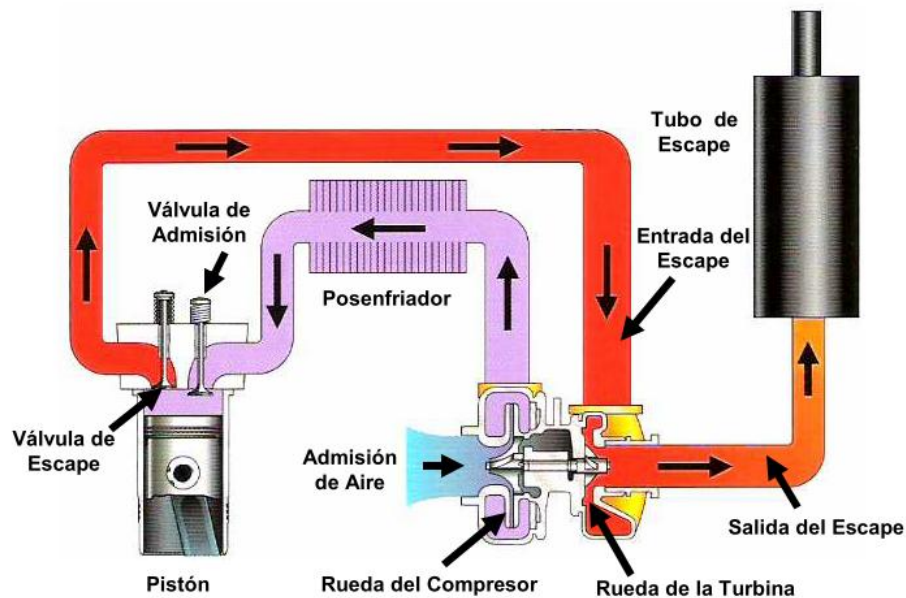
Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.1.1.2 Subsistema de Admisión Y Escape.

Los componentes del subsistema de admisión de aire y de escape controlan la calidad y la cantidad del aire disponible para la combustión. Hay un árbol de levas que controla el movimiento de los componentes del sistema de válvulas. El sistema también consta de un turbocompresor con una rueda compresora que introduce el aire de admisión a través del filtro del aire y dentro de la admisión de aire. El aire fluye a través del núcleo del posenfriador y la temperatura del aire comprimido baja. El núcleo del posenfriador es un núcleo de enfriador separado que está montado a lo largo del lado del radiador del motor. El ventilador del motor causa que el aire ambiente se mueva a través de ambos núcleos. Esto enfría el aire de admisión turbo comprimido y el refrigerante del motor. Se hace pasar el

aire del pos-enfriador al múltiple de admisión. Esto ayuda a proporcionar una entrega mayor de potencia. Los gases de escape pasan a través de la rueda de la turbina y la impulsan. La rueda de la turbina y la rueda del compresor giran a velocidades de hasta 90.000 rpm

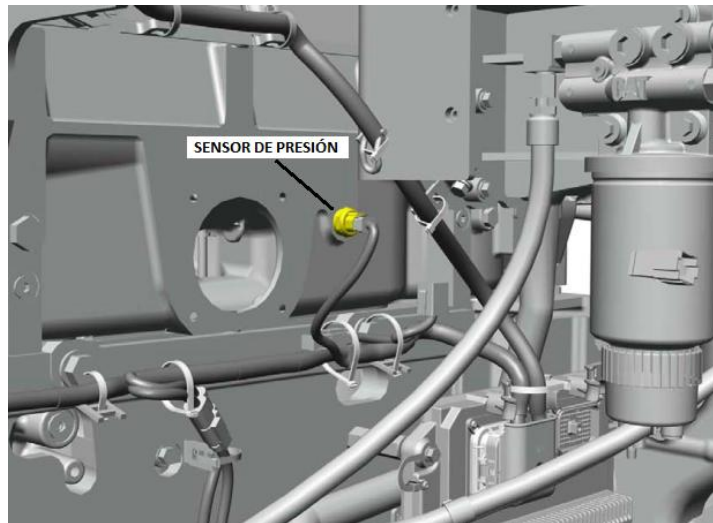
Figura 18. Subsistema de Admisión y Escape Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

El sistema tiene un sensor de la presión del turbocompresor del múltiple de entrada de aire está situado en lado izquierdo del motor. Los datos de entrada del sensor de la presión de entrada al múltiple de admisión son utilizados por el ECM de motor para controlar electrónicamente el cociente aire-combustible. Esta característica permite el control muy exacto del humo, que no era posible con los motores mecánicamente gobernados.

Figura 19. Sensor de Presión Admisión Motoniveladora 24M



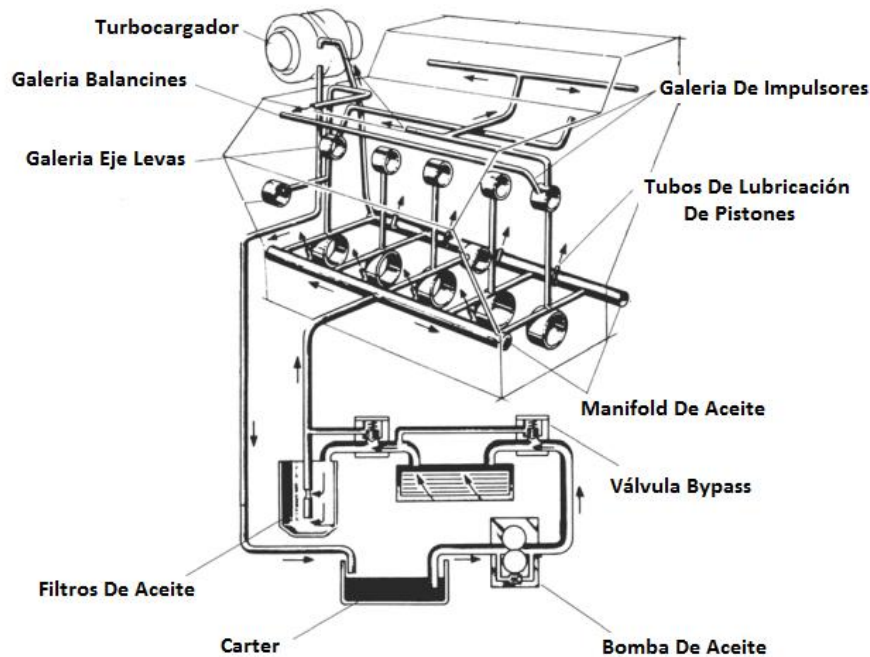
Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.1.1.3 Subsistema De Lubricación

Este subsistema lleva aceite a todas las partes del motor. El flujo de aceite empieza por la bomba, el aceite se extrae del Carter del motor por medio de la bomba de aceite tipo engranajes. La bomba de aceite empuja el aceite caliente a través del enfriador de aceite y el filtro del aceite. Luego pasa al bloque de motor y a la tubería de suministro de aceite del turbocompresor. El aceite del Carter del motor se envía bajo presión, a través de conductos perforados a los cojinetes de bancada del cigüeñal. Este aceite lubrica también los cojinetes de biela. Hay una válvula de control de presión de la bomba de aceite. Esta válvula controla la presión del aceite que fluye de la bomba de aceite. Un conducto de aceite proporciona lubricación al sello trasero de cigüeñal. El aceite se desplaza a los muñones de cojinete de árbol de levas y a los tres soportes de los ejes centrales del balancín por los conductos perforados en la culata de cilindros. Los soportes

lubrican cada eje de balancín. El aceite fluye a los bujes del balancín del inyector de combustible a través de los agujeros en el eje del balancín. Este mismo aceite lubrica la válvula y los rodillos. El exceso de aceite regresa al colector de aceite del motor.

Figura 20. Sistema de Lubricación Motoniveladora 24M



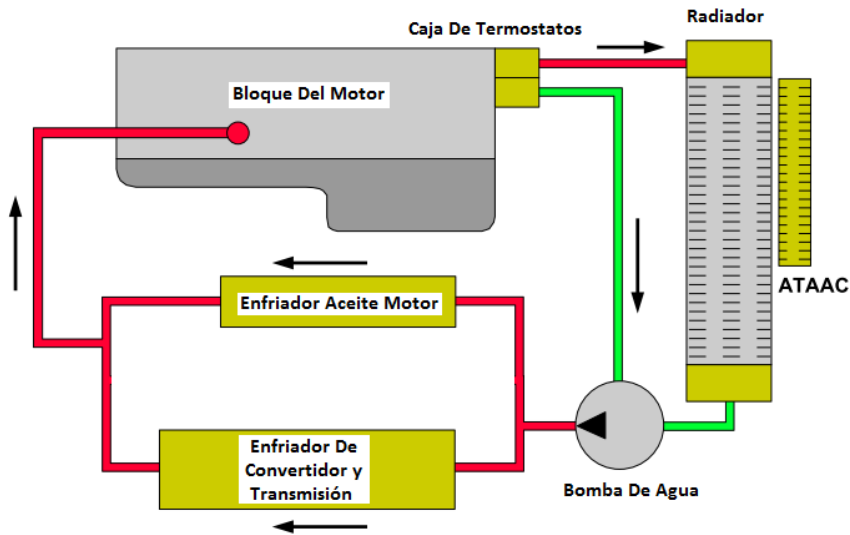
Fuente: CATERPILLAR, 24M Engine System Operation

7.1.1.4 Subsistema De Enfriamiento

El motor está equipado con un sistema de enfriamiento a presión que utiliza una tubería de derivación, lo que proporciona dos ventajas. Primero, el sistema de enfriamiento se puede operar de forma segura a una temperatura más alta que la del punto de ebullición del agua. También se impide la cavitación en la bomba de

agua. Un sistema presurizado de enfriamiento evita la formación de bolsas de aire o de vapor en el sistema de enfriamiento. Durante la operación del motor, la bomba del agua de las camisas hace circular la mayor parte del refrigerante del radiador en el enfriador de aceite del motor. El refrigerante fluye entonces del enfriador de aceite del motor al enfriador de aceite del convertidor y la transmisión. Los enfriadores de aceite transfieren eficazmente el calor del aceite al refrigerante. Esto ayuda a regular la temperatura del aceite en el motor y el tren de fuerza.

Figura 21. Sistema Enfriamiento Motoniveladora 24M



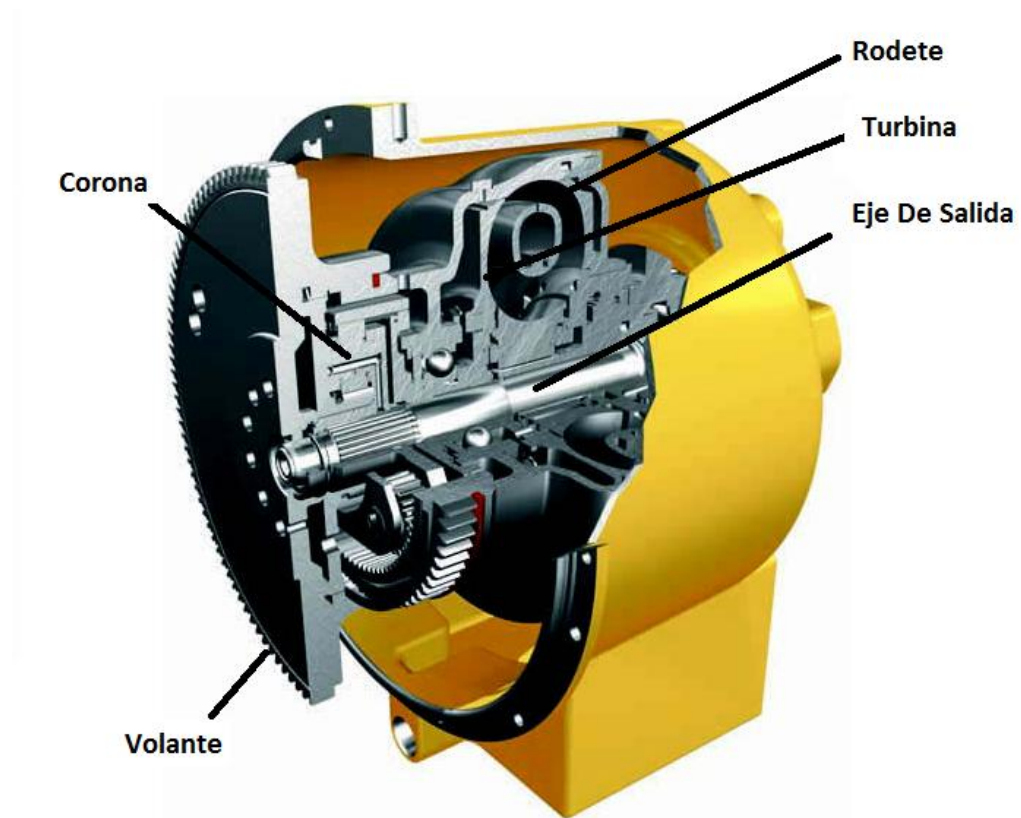
Fuente: CATERPILLAR, 24M Engine System Operation

7.1.2 Convertidor de par

La principal función del convertidor de torque es multiplicar el par del motor, es decir, la potencia suministrada desde el volante del motor es “administrada” en el convertidor, en donde se reduce la velocidad angular para incrementar el torque. Los componentes internos del convertidor son movidos por el volante del motor y

giran a la velocidad del motor. La Turbina está apernada al Cubo y este está conectado al Eje de Salida por medio de estriados al eje. Estos componentes giran como una unidad permitiendo transmitir la potencia a la transmisión. El Estator está fijo y se conecta al Conjunto del Transportador por estriados.

Figura 22. Convertidor de Par

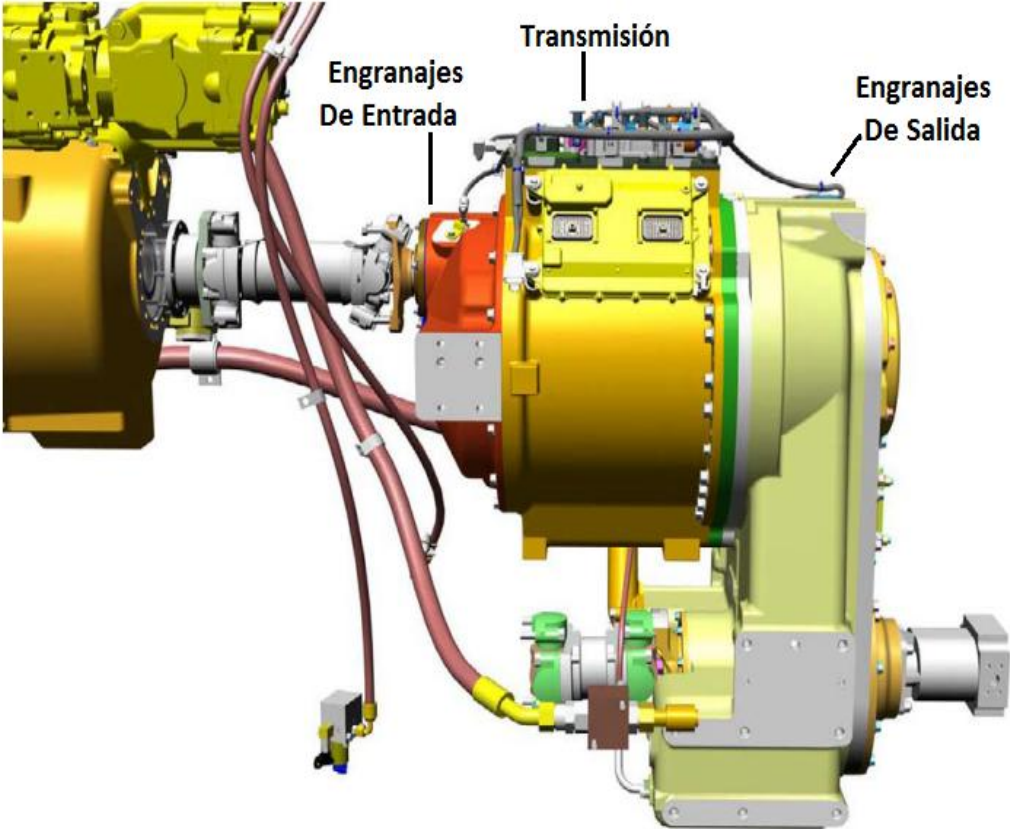


Fuente: CATERPILLAR, 24M Engine System Operation

7.1.3 Transmisión

La transmisión es la encargada del control de la dirección y velocidad en el equipo, es decir, la potencia proveniente del convertidor se transforma en potencia útil. Su funcionamiento está basado en el principio de varios conjuntos de engranajes planetarios. La potencia suministrada a la Transmisión es “administrada” para poder tener control tanto de la velocidad como de la dirección del equipo, deteniendo un determinado componente del conjunto de engranajes planetarios. La detención de este determinado componente del conjunto de engranajes planetarios se consigue por el suministro de aceite hidráulico a un conjunto de Embragues. El control en el suministro de aceite hidráulico a los embragues adecuados, permite la obtención de “potencia útil” desde la transmisión. Esta “potencia útil” es suministrada al resto de los componentes del tren de potencia obteniendo así, la dirección y velocidad deseadas por el operador. La transmisión planetaria de la Motoniveladora 24M provee seis velocidades de avance y tres velocidades de reversa, estos embragues son enganchados hidráulicamente y liberados por resortes. Un embrague de velocidad y uno de dirección son enganchados en su secuencia para enviar potencia a través de la transmisión. El embrague No. 1, el No. 2 y el No. 3 son embragues de dirección y son cerrados para la entrada a la transmisión. El embrague No. 1 es de dirección reversa, el embrague No. 2 es de dirección de avance de baja, y el embrague No. 3 es de dirección de avance de alta. El embrague No. 4, el No. 5 y el No. 6 son embragues de velocidad.

Figura 23. Transmisión Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M Engine System Operation

Tabla 6. Velocidades para la Transmisión, Motoniveladora 24M

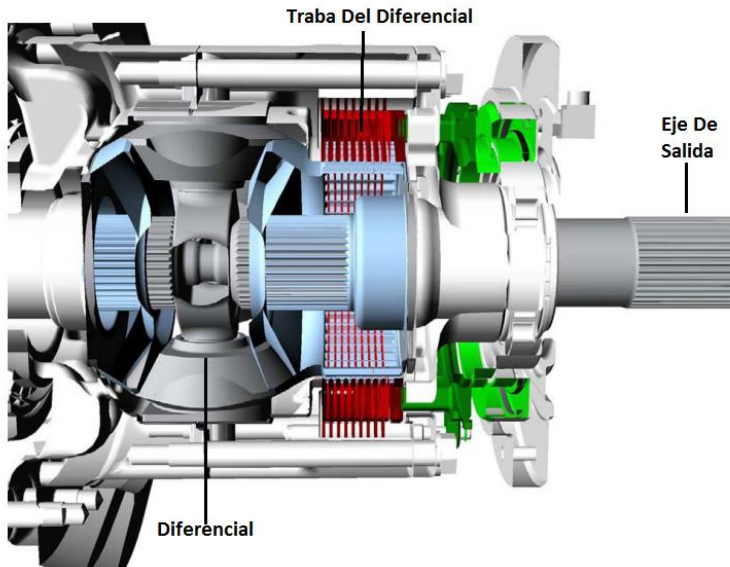
VELOCIDAD	EMBRAGUE CONECTADO
Neutral	4
Primera marcha en avance	2 y 6
Segunda marcha en avance	3 y 6
Tercera marcha en avance	2 y 5
Cuarta marcha en avance	3 y 5
Quinta velocidad en avance	2 y 4
Sexta velocidad en avance	3 y 4
Primera marcha en retroceso	1 y 6
Segunda marcha en retroceso	1 y 5
Tercera marcha en retroceso	1 y 4

Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.1.4. Diferencial

La función del diferencial es dividir el par de entrada igualmente entre los dos mandos. La velocidad de entrada del diferencial es siempre igual a la velocidad promedio de los engranajes laterales de salida. Si la máquina se mueve en línea recta y ninguno de los lados gira, ambos engranajes laterales giran a la misma velocidad. La caja del diferencial girará también a la misma velocidad. El par se dividirá de manera equivalente. El eje de salida del engranaje de transferencia envía potencia al piñón cónico. El piñón cónico hace girar la corona cónica que está asegurada al porta diferencial. El portador tiene cuatro piñones, un eje transversal para los piñones y dos engranajes laterales. La conexión entre los cuatro piñones y los dos engranajes laterales está en ángulo recto a través de una conexión de los engranajes. Las estrías hacen la conexión entre los engranajes laterales y los semiejes. Las masas del porta diferencial operan sobre cojinetes de rodillos cónicos. Los piñones (3) giran sobre cojinetes de rodillos cónicos. Los piñones y los engranajes laterales giran contra las arandelas de tope. Las arandelas de empuje evitan el desgaste entre los engranajes laterales y el porta diferencial.

Figura 24. Conjunto Diferencial Motoniveladora 24M

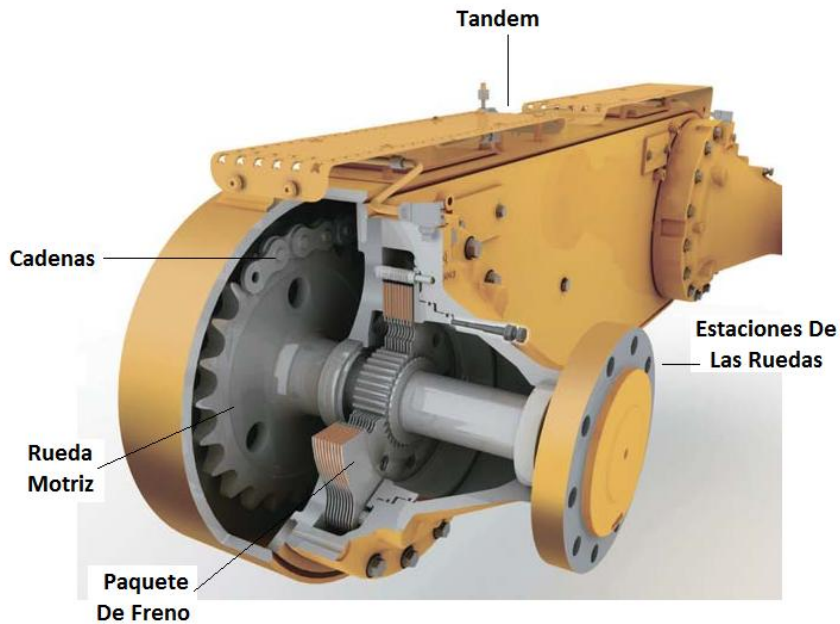


Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.1.5. Tandem y Paquetes de Freno

La caja del tándem está conectada con pernos a la caja del pivote. La caja permite que las ruedas hagan oscilar la caja. Hay dos ruedas motrices acopladas mediante estrías a cada eje de salida del mando final. Estas ruedas motrices están en el centro del mando de tándem entre las ruedas. La cadena que se encuentra entre el centro y las ruedas motrices frontal y trasera impulsa cada una de las ruedas del mando de tándem. La punta de eje de la rueda está acoplada mediante estrías a la rueda motriz. En el interior del porta rueda se encuentran los paquetes de freno del equipo, los cuales son accionados por resortes y liberados hidráulicamente.

Figura 25. Conjunto Tandem y Paquetes de Freno Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.2. SISTEMA HIDRÁULICO

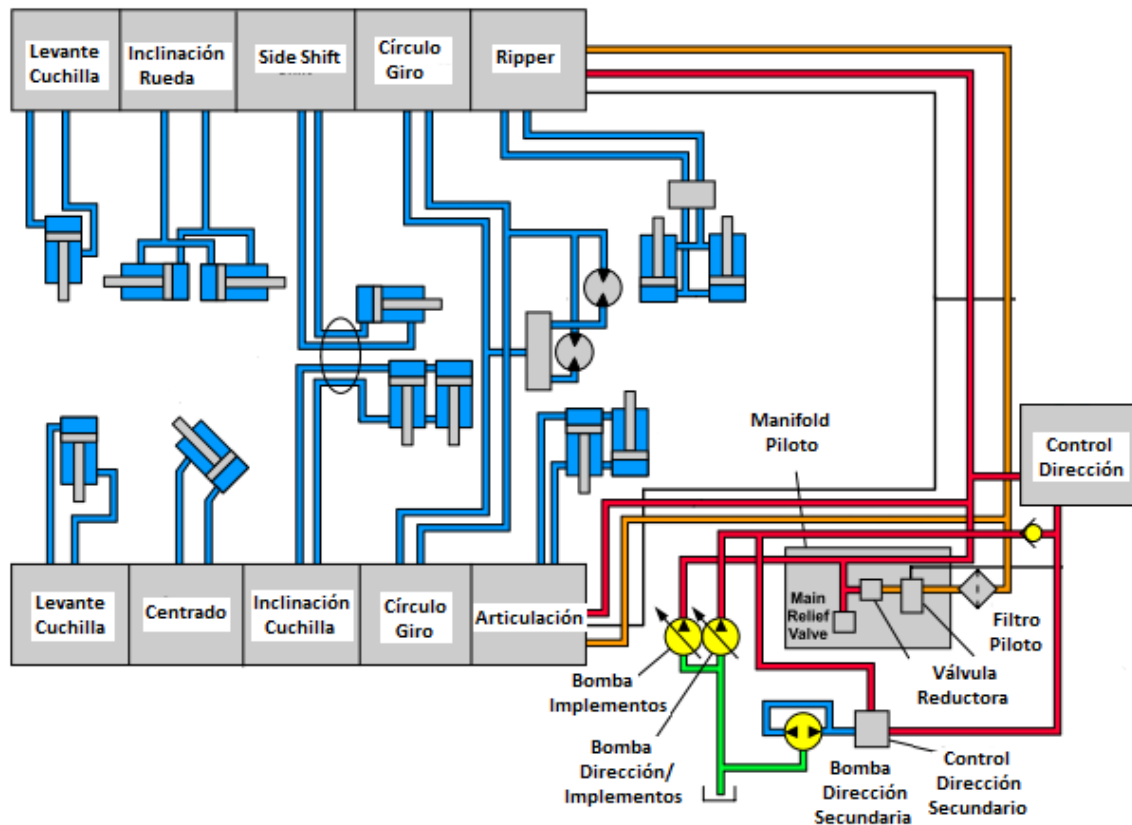
El sistema hidráulico de los tractores está compuesto por el subsistema hidráulico de implementos y subsistema de dirección.

7.2.1. Subsistema De implementos

El subsistema hidráulico del implemento controla el movimiento de la cuchilla y el desgarrador según los requerimientos del operador. La Motoniveladora 24M está equipada con el sistema hidráulico PPPC (prioridad proporcional presión compensada). El sistema de PPPC detectará una demanda para el flujo en la

bomba de implementos y de dirección, ya sea, en máximo ángulo o mínimo ángulo y proporcionará el flujo necesario sin pérdida de velocidad en los implementos. El sistema hidráulico es un sistema con bomba de pistones de caudal variable. La bomba de implemento provee aceite al múltiple de control piloto y a las válvulas de control de implementos. La bomba de dirección e implementos suministra aceite para la válvula de prioridad. La válvula de prioridad divide el flujo de aceite entre el circuito de dirección e implementos. La 24M está equipada con dos bombas de desplazamiento variable para los sistemas de dirección e implementos. La bomba de dirección e implementos suministra aceite para los sistemas de dirección e implementos y se une al mando de bomba. Ambas bombas contienen una válvula de control para variar la cantidad de flujo que es producida. Estas bombas tienen un sensor presión que envía una señal para el ECM de implementos, para indicar la presión de la bomba de dirección e implemento. El aceite estará disponible en cada uno de los controles de implementos para cuando el operador requiera hacer algún movimiento.

Figura 26. Subsistema Hidráulico de Implementos Motoniveladora 24M



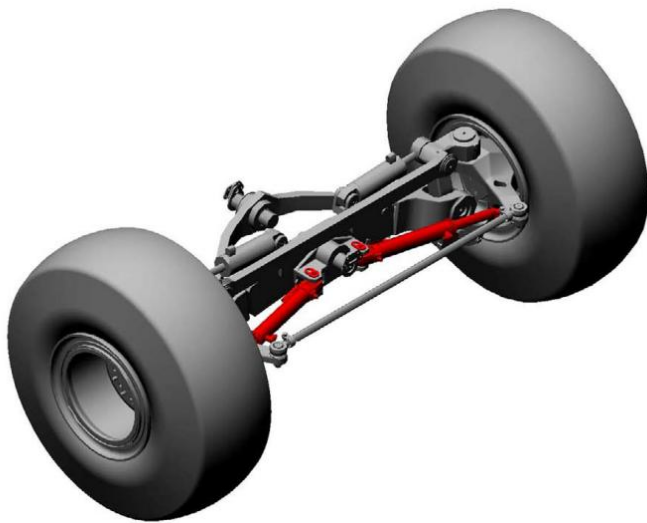
Fuente: CATERPILLAR, 24M Motorgrader System Operation

7.2.2. Subsistema De Dirección

El subsistema de dirección controla la posición de los cilindros de las ruedas dependiendo de los requerimientos del operador. Este subsistema trabaja con una bomba de pistones de caudal variable. El circuito tiene una válvula de control de dirección que está situada delante de la cabina. Posee además solenoides de respaldos de dirección secundaria por seguridad en el caso que se presente algún

daño en el circuito de dirección primaria. La válvula de control de dirección es una válvula electro hidráulica que consiste en dos sistemas distintos. El primer sistema es la sección hidráulica que tiene una válvula de prioridad que se asegura de que las demandas del circuito de dirección estén cubiertas antes de que cualquier aceite hidráulico se envíe al circuito de implementos. La sección hidráulica también tiene una válvula reductora que mide el aceite piloto a los solenoides de respaldo secundarios de dirección. La función principal de la válvula de control de dirección es dirigir el aceite de alimentación de la bomba a los cilindros de dirección cuando el operador pide un giro con la palanca de mando izquierda. El segundo sistema en la válvula de control de dirección es el sistema electrónico. El módulo de control de dirección envía el aceite piloto para mover el carrete del control direccional dentro de la válvula de control de dirección. Los cilindros de dirección comenzarán a moverse. El ECM supervisará la posición de los cilindros de dirección así como la posición del carrete del control direccional dentro de la válvula de control de dirección. El ECM de implementos disminuirá la señal de control al módulo de control de dirección como los cilindros de dirección se acercan a la posición deseada esto hace que el sistema no se comporte de manera brusca.

Figura 27. Cilindros de Dirección Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M Motorgrader System Operation

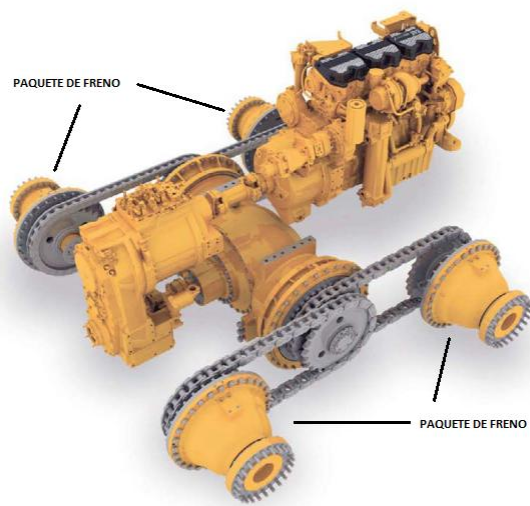
7.3. SISTEMA DE FRENO Y VENTILADOR

Ambos sistemas hidráulicos tanto el de frenos como el del ventilador que enfría el radiador trabajan con una bomba de pistones de desplazamiento variable en común y una válvula de combinación que asegura que el flujo de aceite que va al sistema de frenos tenga prioridad sobre el sistema del ventilador para garantizar que se carguen los acumuladores de freno y tenga aceite disponible para cuando el operador lo requiera.

7.3.1 Sistema De Freno

El aceite de la válvula de combinación fluye a los acumuladores de freno y a la válvula de prioridad del ventilador del motor. La válvula de prioridad dirige la mayoría del aceite al sistema de frenos hasta que los acumuladores de freno estén completamente cargados. Una vez que se hayan cargado los acumuladores, todo el flujo del aceite se envía al sistema del ventilador del motor dependiendo de la temperatura de los sistemas de la máquina. El solenoide de velocidad del ventilador controla la cantidad de aceite de la señal que es enviada a la bomba del sistema para angular el plato y variar el caudal. El solenoide de velocidad del ventilador es controlado por el ECM de motor. Posee una válvula de alivio principal que limita la máxima presión del sistema de frenos y del ventilador del motor.

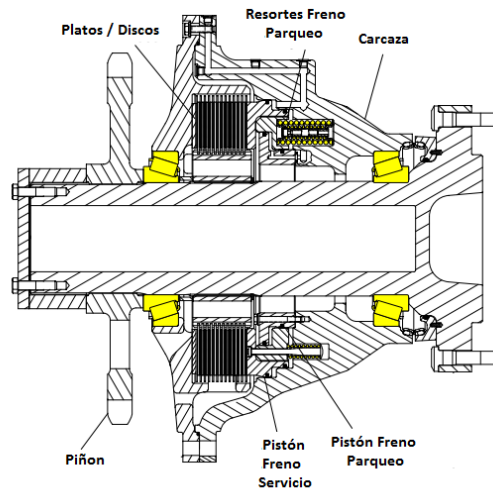
Figura 28. Estaciones de Ruedas Traseras Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

Cada estación de las ruedas contiene frenos de discos que son usados para los frenos de servicio y frenos de estacionamiento. La cadena del mando gira con el segmento sproket. El sproket gira el eje de la rueda el cual a su vez gira los discos de frenos. Los platos de frenos con conectados en la rueda estacionaria de la caja de eje. Cuando los frenos de servicio son enganchados, la válvula de control de freno de servicio dirige aceite para el pistón del freno de servicio. El pistón del freno de servicio comprime juntos los platos y los discos para disminuir o parar la velocidad de la rueda. Cuando los frenos de servicio son liberados, el aceite fluye al tanque a través de la válvula de control de freno de servicio. El resorte de retracción mueve el pistón de freno de servicio para liberar la posición. Cuando el freno de estacionamiento es liberado la válvula de control de freno de estacionamiento dirige aceite para el pistón del freno de estacionamiento. El pistón de freno de estacionamiento se mueve a la derecha en contra la fuerza del resorte para liberar el freno de estacionamiento. Cuando el freno de estacionamiento es enganchado, el aceite fluye hacia el tanque a través de la válvula del freno de estacionamiento. La fuerza del resorte causa que el pistón del freno de estacionamiento comprima juntos los platos y los discos para mantener detenida la rueda.

Figura 29. Partes de las Estaciones de Freno Motoniveladora 24M



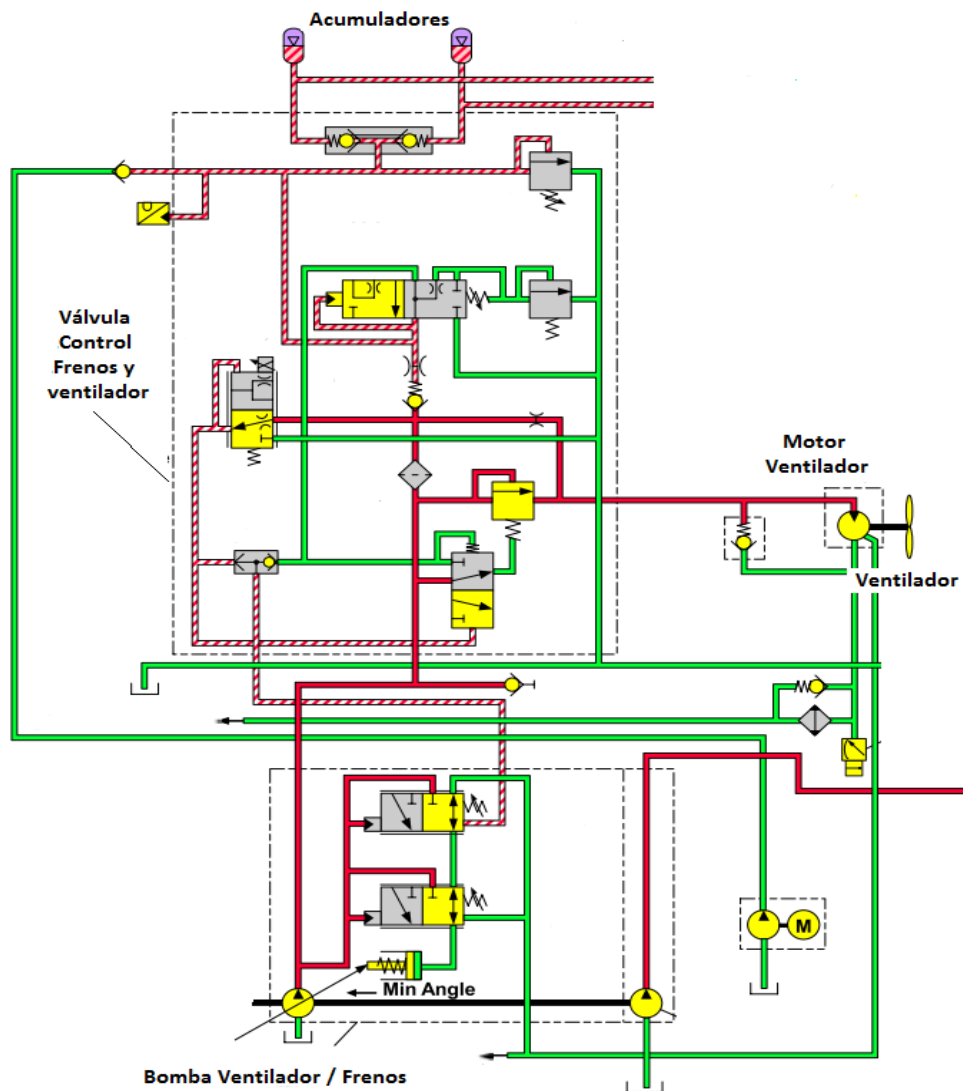
Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.3.2 Sistema Del Ventilador

El motor del ventilador que enfría el refrigerante del motor, el aire de admisión y el aceite hidráulico está ubicado en la parte trasera de la máquina. El motor del ventilador es un motor de tipo de engranajes con una válvula anti-cavitación, que previene que el motor del ventilador tenga cavitación cuando el motor diesel se detiene. El circuito del aceite hidráulico tiene un sensor de temperatura que monitorea la temperatura de aceite antes de entrara al enfriador. El sensor de temperatura es una entrada para el ECM de implemento. El ECM de implemento envía una lectura de la temperatura para el ECM de motor para controlar la corriente del solenoide de la velocidad del ventilador. El sistema de ventilador tendrá prioridad una vez que el circuito del freno se carga completamente. Si la

máquina requiere el enfriamiento máximo, el ECM del motor disminuirá la señal al solenoide de la velocidad del ventilador.

Figura 30. Sistema Hidráulico de Ventilador Motoniveladora 24M

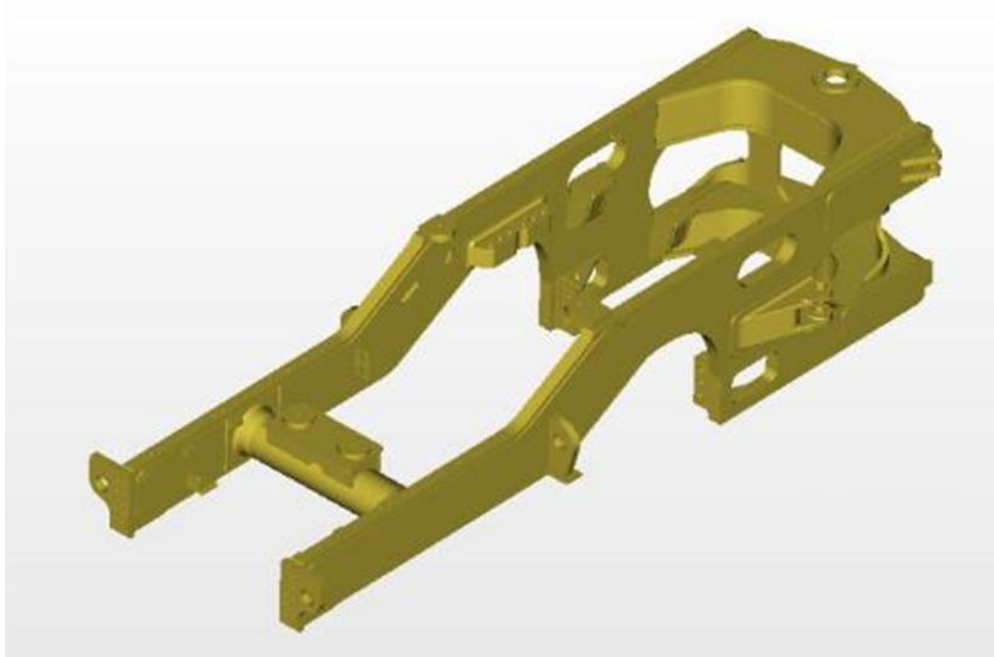


Fuente: CATERPILLAR, 24M System Operation

7.4. CHASIS, CABINA Y CUCHILLA

El chasis es la estructura sobre la cual están montados los componentes del equipo. La cabina es el lugar en donde el operador controla las funciones de la máquina por medio de los joystick electrónicos y los botones del panel de control. Además, tiene acceso a los parámetros de operación por medio del panel de instrumentos, al igual que a las alertas de los sistemas. Estas cabinas le brindan al operador confort y visibilidad.

Figura 31. Chasis Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M Motorgrader System Operation

Figura 32. Cabina Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M Motorgrader System Operation

7.4.1 Cuchilla

La cuchilla es la herramienta con la que la maquina cumple la función de cortar el terreno y de esta manera proceder a nivelarlo, lo hace por capas o por pasadas en la que cada pasada significa que el terreno ha perdido " x " cantidad de pulgadas hasta llegar al nivel indicado. La máxima profundidad de corte es de 25.9 in, , esta varía según la velocidad de la máquina. La cuchilla se encuentra ubicada en el centro de la máquina y se comanda por medio de una tornamesa que le otorga inclinación dado en ángulos, la posición de la cuchilla para el corte del terreno es diagonal para dar salida a la tierra que se arrastra, puede acomodarse lateralmente, subir y bajar de acuerdo a la exigencia.

Figura 33. Cuchilla de Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M motor Grader Brochure

Figura 34. Motores de Giro de Motoniveladora 24M



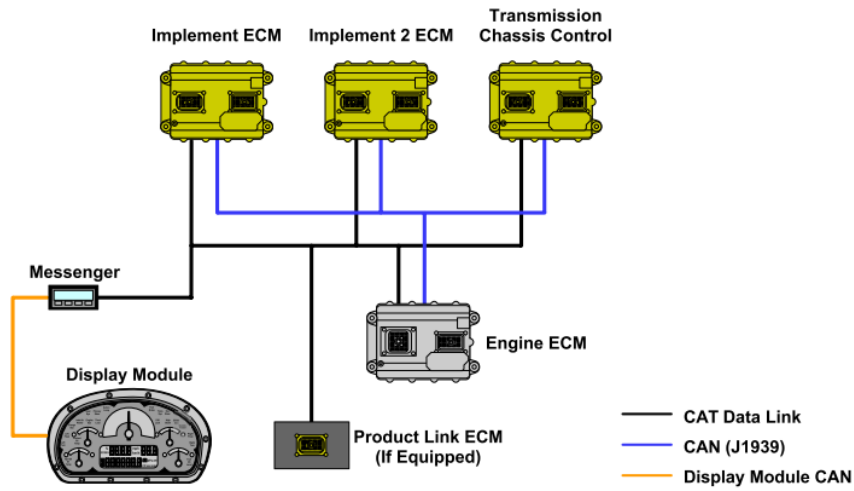
Fuente: CATERPILLAR, 24M motor Grader Brochure

7.5. SISTEMA ELÉCTRICO

La función del sistema eléctrico es la de proporcionar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del equipo, además de generar y almacenar la energía suficiente para el arranque del equipo. El sistema eléctrico posee 4 ECM's (Módulos de Control Electrónico) los cuales reciben señales de entrada de los dispositivos como sensores, switches, joystic, etc. Para alimentar la información electrónica al ECM para el procesamiento. El ECM procesa la información de entrada y, entonces, envía las señales electrónicas apropiadas a varios tipos de dispositivos de salida, como solenoides, luces indicadoras, alarmas, etc. Por otra parte, el sistema eléctrico consta de una alternador el cual cuando el motor esta en movimiento genera la energía suficiente para mantener los componentes electrónicos en funcionamiento y para cargar las baterías. Las baterías almacenan la energía necesaria para mover el motor de arranque cuando el operador lo requiera. Los principales componentes del sistema eléctrico son:

- ECM de motor, Implementos y tren de potencia.
- Messenger
- Solenoides
- Sensores y Switches
- Arneses
- Baterías
- Motor de Arranque
- Alternador

Figura 35. Módulos de Control Electrónico Motoniveladora 24M



Fuente: CATERPILLAR, 24M Motorgrader System Operation

8. RECOPIACIÓN Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE MOTONIVELADORAS 24M

La gerencia del mantenimiento de Dummond Ltd. estableció como sus indicadores clave para evaluar la eficiencia del mantenimiento realizado en sus flotas la disponibilidad, la confiabilidad (MTBS) y la mantenibilidad (MTTR) por lo cual es indispensable analizar estos indicadores para determinar el estado actual de la gestión de mantenimiento de la flota de Motoniveladoras con el fin de presentar una propuesta para mejorarlos con la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad. Por otra parte, las Motoniveladoras 24M son equipos mucho más complejos de los que se tenía antes porque fueron fabricados con nuevas tecnologías lo que hace que muchas veces las reparaciones que se hacen solo apunten a corregir algún síntoma que presente el equipo y no se corrija la causa raíz, dando como resultado una baja confiabilidad del equipo.

Estos indicadores que a la final son puramente informativos nos dan a la gerencia de mantenimiento una visión rápida del desempeño inmediato, la pregunta es si son o no sostenibles? o si por el contrario se debe al esfuerzo extra de un mes en donde se logro la meta, lo que al final se verá reflejado en el indicador del mes siguiente en donde no se cumplirán los objetivos trazados.

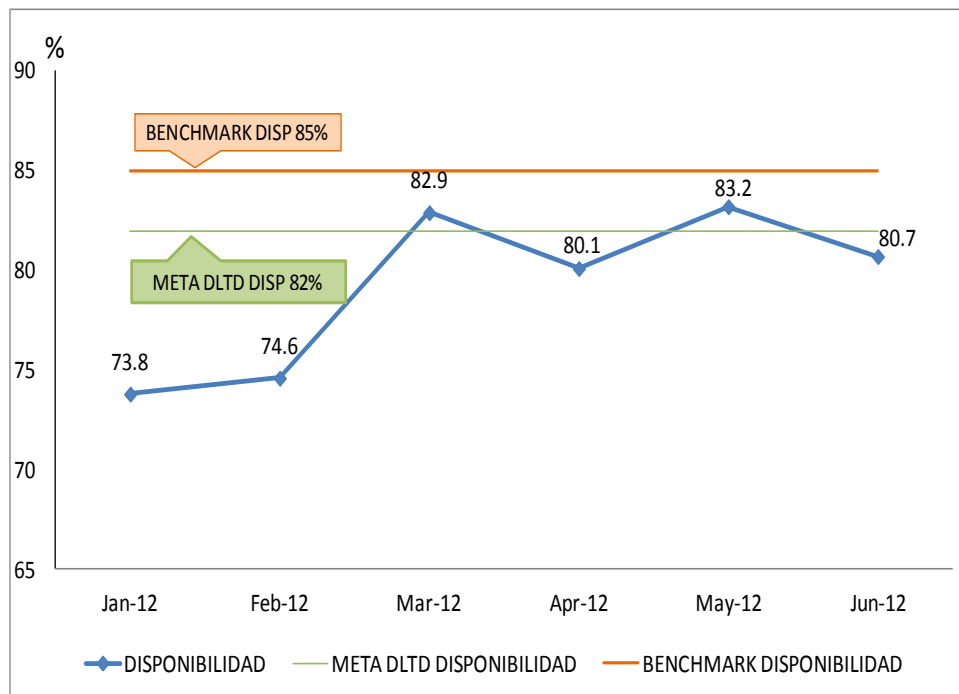
La función principal de este departamento es la de corregir las fallas que los equipos presenten para poder continuar con las operaciones, y no se cuenta con una base de datos de donde se pueda realizar un análisis completo, ya que, la información plasmada en el People Soft es muy general y no se presta para esto,

como se verá mas adelante. Por otra parte, los componentes menores se llevan al máximo y cuando estos fallan simplemente son remplazados, no se lleva un programa de cambio de componentes menores críticos por horas de operación.

La disponibilidad es el resultado de la frecuencia y la duración de las caídas de los equipos. Al realizar el análisis de la información de disponibilidad de las motoniveladoras en los meses de Enero a Junio del 2012, determina que en los meses de Enero y Febrero estuvo muy por debajo de la meta con tan solo el 73.8 y 74.6 % respectivamente. Por otra parte, en los meses de Marzo y Mayo la disponibilidad se alcanzó la meta con 82.9 y 83.2 %. Estos resultados no sostenibles demuestran que no se está haciendo una planeación y programación de los trabajos de manera acertada y los puntos de disponibilidad que se ganan en un mes por un alto esfuerzo del equipo de trabajo no pueden ser alcanzados el mes siguiente.

La meta planteada por el departamento de mantenimiento de 82% puede ser mejorada según el benchmark sugerido por Caterpillar a un 85% y esta no se a alcanzado en ninguno de los 6 meses anteriores. Para alcanzar el benchmark se requiere de una mejor planeación y programación de los trabajos de mantenimiento y mejorando la confiabilidad por medio de la implementación del RCM.

Figura 36. Disponibilidad de las Motoniveladoras 24M de Enero/12 hasta Jun/12



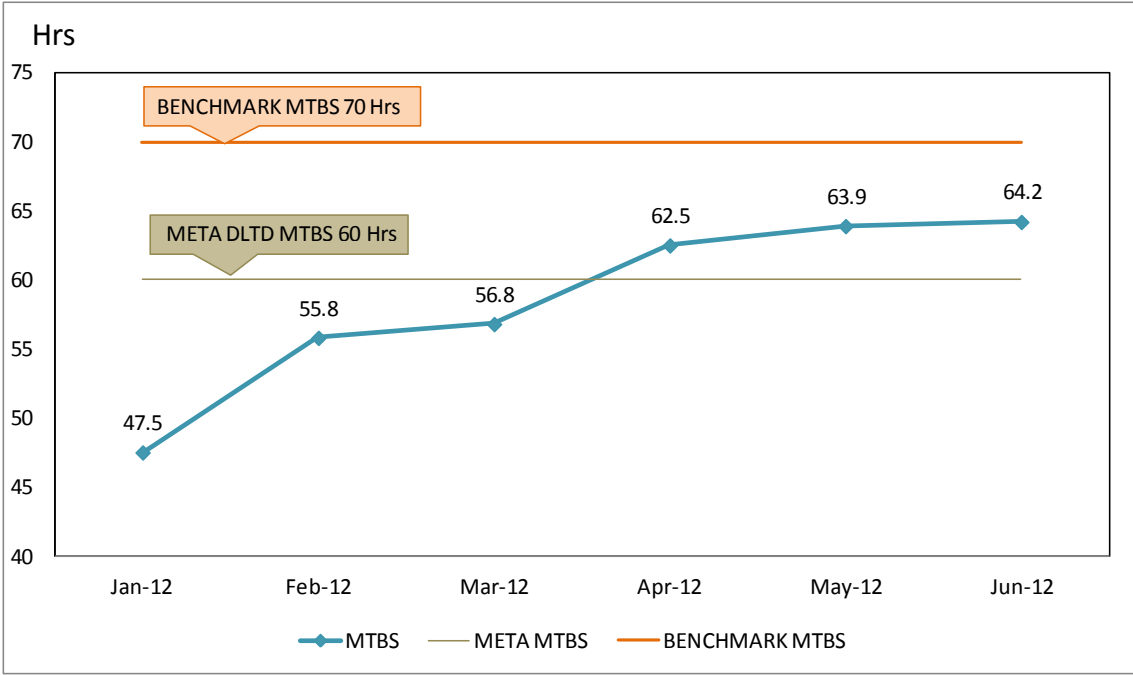
Fuente: Planeación Drummond Ltd. Mantenimiento Equipo Móvil

Otro de los indicadores claves es el MTBS. Las operaciones mineras más exitosas son aquellas en las cuales administran y el mantienen los equipos de tal manera que están disponibles por periodos extendidos en la operación. El MTBS indica que tan confiables son los equipos. El uso del MTBS como herramienta de mantenimiento implica que las reparaciones antes de la falla son la mejor forma de buscar la mejor eficiencia y efectividad en la estrategia de mantenimiento y asegurar el máximo desempeño de la flota y a un costo óptimo.

Al realizar el análisis de la información de Mantenibilidad (MTTR) de las motoniveladoras en los meses de Enero a Junio del 2012, muestra que en los meses de Enero, Febrero y Abril no se cumplió la meta de MTTR, en cambio, para los meses de Marzo y Mayo no se alcanzó la meta, esto indica que no hay una gestión sostenible y los recursos usados en la actualidad deben ser evaluados.

Aunque para los meses de Abril a Junio se alcanzó la meta de MTBS propuesta por el departamento de mantenimiento de DltD que es de 60 horas, no se alcanzó el benchmark que según Caterpillar es de 70 Horas lo que indica que hay que aumentar los esfuerzos para llegar a un MTBS de clase mundial, osea que todavía hay trabajo por hacer. La confiabilidad de los equipos no ha llegado al benchmark por lo que el mantenimiento actual no apunta a la causa raíz de las fallas y las reparaciones no están bien encaminadas esto se refleja en la variación de la disponibilidad. La aplicación de un plan de mantenimiento basado en RCM y enfocado a corregir la causa raíz de las fallas permitirá alcanzar el benchmark.

Figura 37. Confiabilidad (MTBS) de las Motoniveladoras 24M de Enero/12 hasta Jun/12



Fuente: Planeación Drummond Ltd. Mantenimiento Equipo Móvil

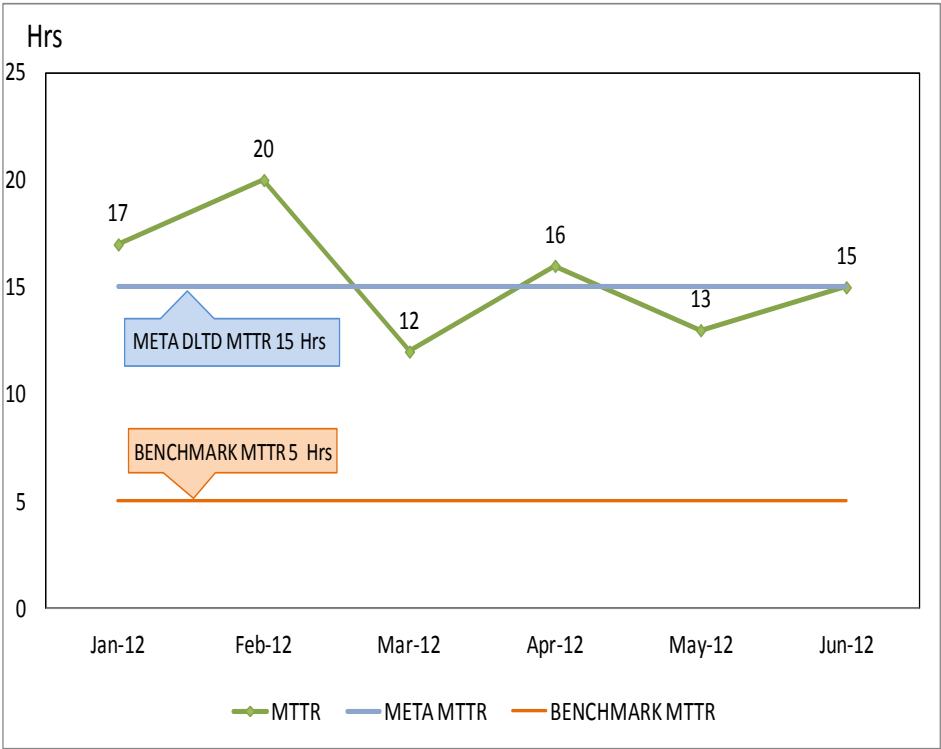
Un alto o un incremento en el MTTR es un indicador de problemas de detección, planeación o ejecución de las reparaciones e ineficiencia en el uso de los recursos mientras que una disminución es un indicador de que se le hace un “reparqueo” en vez de corregir definitivamente los problemas. Es notable que la disponibilidad se puede comprar disminuyendo el MTTR con un exceso de recursos, como técnicos, partes, equipo de soporte, etc. lo que conlleva a un aumento en el costo.

Al realizar el análisis de la información de Mantenibilidad (MTTR) de las motoniveladoras en los meses de Enero a Junio del 2012, muestra que en los meses de Enero, Febrero y Abril no se cumplió la meta de MTTR esto indica que

no hay una gestión sostenible y los recursos usados en la actualidad deben ser evaluados.

La meta planteada por el departamento de mantenimiento de 15 Horas puede ser mejorada según el benchmark sugerido por Caterpillar a solo 5 Horas y esta no se ha alcanzado en ninguno de los 6 meses anteriores. Para alcanzar el benchmark se requiere de una mejor planeación y programación de los trabajos de mantenimiento y un estudio de los recursos que se tienen actualmente en la flota de motoniveladoras

Figura 38. Mantenibilidad (MTTR) de las Motoniveladoras 24M de Enero/12 hasta Jun/12



Fuente: Planeación Drummond Ltda. Mantenimiento Equipo Móvil

Como los modos de falla encontrados al realizar el análisis son muy generales se realizo una hoja de RCM y se identificaron los modos de falla y sus efectos para poder definir claramente la causa raíz de la falla evaluar su criticidad usando la matriz de riesgo y así determinar las tareas de mantenimiento adecuadas a realizar. A continuación se muestran las hojas de RCM¹.

Tabla 7. Matriz de Riesgos RCM para Motoniveladora 24M

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA	PROBABILIDAD						
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN		IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE	
Mas de un muerto	Efectos irreversibles	>150	Internacional	Catastrofico	1						
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 150M - 50M	Nacional	Critico	2						
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 50 M- 11M	Regional	Marginal	3						
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 11M-1M	Local	Insignificante	4						
Nunguna	No afecta el medio ambiente	<1M	Ninguno	Ninguno	5						
						> 2 Años	Anual	Semestral	Mensual	Semanal	Diario
						A	B	C	D	E	F

Fuente: Hoja de análisis de RCM Motoniveladora 24M

¹ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. UIS. Bucaramanga 2010

Tabla 8. Análisis de los modos de falla del sistema de Motor

Cod. MF II	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	R. Ambien	R. Human	R. Económ	R. Imagen
1001	Alta presión de combustible por válvula reguladora de retorno con atascamiento	El ECM del Motor genera alarma de prevención. Código de evento activo E096(1)	NO	C4	C4	C5	C4
1002	Alta presión de combustible por válvula de alivio mal armada o con resorte fuera de especificaciones		NO	C4	C4	C5	C4
1003	Alta presión de combustible por línea de combustible con restricción		NO	C4	C4	C5	C4
1004	Alta restricción en los filtros de aire por filtros de aire obstruidos	Baja Potencia. El motor se derratea en un 2% por cada Kpa sobre el punto de disparo (7,5 Kpa/1 psi). Código de evento activo E172 (2). La máquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	D4	D5	D4	D5
1005	Alta temperatura de escape por mala operación del motor, altura y/o carga excesiva	Baja Potencia. El motor se derratea dependiendo del software. Código de evento activo E194 (2). La máquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	F3	F4	F4	F4
1006	Alta temperatura de escape por flujo de aire o flujo de refrigerante obstruidos a través del posenfriador		NO	C3	F5	C4	C4
1007	Alta temperatura de escape por falla en el suministro de energía al sensor de presión atmosférica		NO	C3	F5	D5	C4
1008	Baja presión de aceite motor por bajo nivel de aceite motor	Baja Potencia. El derrateo del motor es de 17.5% por cada segundo. El máximo derrateo es del 35%. Código de evento activo E360 (3). La máquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	F3	F4	F2	F3
1009	Baja presión de aceite motor por viscosidad incorrecta		NO	F3	F4	F2	F3
1010	Baja presión de aceite motor por aceite contaminado		NO	F3	F4	F2	F3
1011	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por filtro de aceite taponado		NO	E5	E5	E5	E5
1012	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por línea de aceite desconectada o rota		NO	D1	D4	D2	D3
1013	Baja presión de aceite motor (Circulación de aceite deficiente) por por enfriador de aceite obstruido		NO	C5	C5	C4	C4
1014	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por director de aceite partido, obstruido y/o instalado incorrectamente		NO	C1	C4	C4	C3
1015	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por screen de succión obstruido		NO	D5	D5	D3	D4
1016	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por tubo del screen agrietado o partido		NO	F3	F4	F2	F3
1017	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente en el motor) por piñones de la bomba de aceite con excesivo desgaste		NO	C5	C5	C4	C4
1018	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente en el motor) por válvula reguladora de presión atascada en posición	NO	C5	C5	C4	C4	
1019	Baja presión de aceite motor por excesiva tolerancia en cojinetes de	NO	C5	C5	C3	C3	
1020	Alta temperatura de refrigerante del motor por bajo nivel de refrigerante y/o fugas	El derrateo es 25% por cada grado sobre el nivel de disparo (111°C / 232 °F). El máximo derrateo es el 100%. código de evento activo E361 (2). La máquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	D4	D4	D4	D4
1021	Alta temperatura de refrigerante del motor por válvula reguladora de temperatura y/o de alivio de presión con atascamiento		NO	D4	D4	D4	D4
1022	Alta temperatura de refrigerante del motor por solenoide de la bomba hidráulica del ventilador en corto		NO	D4	D4	D4	D4
1023	Alta temperatura de refrigerante del motor por impeller de la bomba de refrigerante desgastado y/o erosionado		NO	D4	D4	D4	D3
1024	Alta temperatura de refrigerante del motor por sensor de temperatura de refrigerante en corto interno	NO	C5	C5	C5	C5	
1025	Sobrerrevolución del motor por aire con exceso de combustible (hidrocarburos) en el ambiente	Código de evento activo E362 (2). Una alarma de prevención visual se activará cuando alcance las 2500 rpm, posteriormente una alarma	NO	F1	F3	F2	F2
1026	Sobrerrevolución del motor por caída de carga repentina	NO	C5	C5	C2	C5	
1027	Alta temperatura de suministro de combustible por válvula reguladora de presión de retorno atascada	Baja Potencia. El derrateo es 12.5% por cada grado sobre el punto de disparo (91°C / 196°F). El máximo derrateo es 25%. Código de evento activo E363 (2). La máquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	C5	C5	C5	C5
1028	Alta temperatura de suministro de combustible por bajo nivel de combustible	NO	C5	C5	C5	C5	
1029	Alta temperatura de suministro de combustible por líneas de combustible de retorno obstruidas	NO	C5	C5	C5	C5	
1030	Alta restricción en filtro de combustible por filtro saturado	Baja Potencia. El motor se derratea en un 35% cuando el filtro está saturado. Código de evento activo E390 (2). La máquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	E4	E5	E5	E5

Fuente: Hoja de análisis de RCM Motoniveladora 24M

Tabla 9. Selección de las tareas de Mantenimiento y la frecuencia

Cod. MF II	Modo de Falla	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)
1001	Alta presión de combustible por válvula reguladora de retorno con atascamiento	Preventivo	Evaluar atascamiento y cambiar válvula reguladora de retorno	1000
1002	Alta presión de combustible por válvula de alivio mal armada o con resorte fuera de especificaciones	Preventivo	Evaluación y Cambio de válvula de alivio	1000
1003	Alta presión de combustible por línea de combustible con restricción	Preventivo	Evaluar restricción en líneas de combustible, cambiar si es necesario	500
1004	Alta restricción en los filtros de aire por filtros de aire obstruidos	Preventivo	Evaluar precleaner si aplica y cambiar filtros de aire	250
1005	Alta temperatura de escape por mala operación del motor, altura y/o carga excesiva	Preventivo	Evaluar con el ET las condiciones de operación del motor, altura y carga exigida.	250
1006	Alta temperatura de escape por flujo de aire o flujo de refrigerante obstruidos a través del posenfriador	Preventivo	Verifica el buen funcionamiento del intercambiador de calor, si es necesario cambiarlo.	500
1007	Alta temperatura de escape por falla en el suministro de energía al sensor de presión atmosférica	Preventivo	Asegura que el sensor de presión atmosférica a través de su conector tenga el suministro correcto de voltaje 5V (ya que esto puede causar que el ECM	250
1008	Baja presión de aceite motor por bajo nivel de aceite motor	Preventivo	Revisar el nivel de aceite motor y rellenar si es necesario	250
1009	Baja presión de aceite motor por viscosidad incorrecta	Predictivo	Toma una muestra de aceite para verificar que el aceite adicionado fue el correcto y envíalo al laboratorio. Cambiar aceite por el correcto.	250
1010	Baja presión de aceite motor por aceite contaminado	Preventivo	Revisar el nivel de aceite motor, si está por encima de los niveles permitidos es un indicador de contaminación. Toma una muestra de aceite y envíalo al laboratorio para su análisis. Antes de arrancar el motor de nuevo se deberá	250
1011	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por filtro de aceite taponado	Preventivo	Cambiar el filtro de aceite motor	250
1012	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por línea de aceite desconectada o rota	Preventivo	Asegurar o Cambiar línea de aceite de motor	250
1013	Baja presión de aceite motor (Circulación de aceite deficiente) por enfriador de aceite obstruido	Preventivo	Cambiar enfriador de aceite motor por horas de operación	8000
1014	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por director de aceite partido, obstruido y/o instalado incorrectamente	Preventivo	Evaluar estado de línea de potencia afectada y si es necesario cambiarla por agarrotamiento. Cambiar director de aceite implicado.	250
1015	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por screen de succión obstruido	Preventivo	Limpie screen de tubo de succión de aceite de motor ubicado en el carter	1000
1016	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente) por tubo del screen agrietado o partido	Preventivo	Cambie tubo de succión	1000
1017	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente en el motor) por piñones de la bomba de aceite con excesivo desgaste	A condición	Cambiar bomba de aceite motor	
1018	Baja presión de aceite motor (circulación de aceite deficiente en el motor) por válvula reguladora de presión atascada en posición	Preventivo	Evalúe atascamiento, limpie y si es necesario cambie válvula reguladora de presión	1000
1019	Baja presión de aceite motor por excesiva tolerancia en cojinetes de	Predictivo	Tome muestra de aceite motor para evaluar los niveles de desgaste en los	250
1020	Alta temperatura de refrigerante del motor por bajo nivel de refrigerante y/o fugas	Preventivo	Revisar nivel de refrigerante y adicione si es necesario. Verifique que la mezcla de refrigerante y agua sea la correcta. Revise el sistema, verifique	250
1021	Alta temperatura de refrigerante del motor por válvula reguladora de temperatura y/o de alivio de presión con atascamiento	Preventivo	Verifique válvula reguladora de temperatura por atascamiento o mal funcionamiento. Corrija el problema y si es necesario cambíela.	1000
1022	Alta temperatura de refrigerante del motor por solenoide de la bomba hidráulica del ventilador en corto	Preventivo	Cambiar Solenoide	2000
1023	Alta temperatura de refrigerante del motor por impeller de la bomba de refrigerante desgastado y/o erosionado	Preventivo	Verificar impeller y estado interno de la bomba de refrigerante, si es necesario cambíela.	2000
1024	Alta temperatura de refrigerante del motor por sensor de temperatura de refrigerante en corto interno	Preventivo	Cambiar sensor de temperatura de refrigerante	2000
1025	Sobrerrevolución del motor por aire con exceso de combustible (hidrocarburos) en el ambiente	Preventivo	Evaluar niveles de hidrocarburo en el área/ambiente habitual de trabajo.	500
1026	Sobrerrevolución del motor por caída de carga repentina	Preventivo	Retroalimentación a operador del buen funcionamiento del manejo de la carga de la máquina	250
1027	Alta temperatura de suministro de combustible por válvula reguladora de presión de retorno atascada	Preventivo	Evaluación y Cambio de válvula reguladora de retorno	2000
1028	Alta temperatura de suministro de combustible por bajo nivel de combustible	A condición	Verifica que el tanque de combustible se mantenga con combustible suficiente para la operación	
1029	Alta temperatura de suministro de combustible por líneas de combustible de retorno obstruidas	Preventivo	Verifica que las líneas de combustible estén libres de obstrucción, sino lo están realice flushing o cambíelas	500
1030	Alta restricción en filtro de combustible por filtro saturado	Preventivo	Cambiar filtro de combustible	250

Fuente: Hoja de análisis de RCM Motoniveladora 24M

Tabla 10. Análisis de los modos de falla del sistema de Motor

Cod. MF II	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	R. Ambien	R. Human	R. Económ	R. Imagen	
1031	Alta temperatura de aire en manifold de admision por restriccion en el sistema de admision de aire	Baja Potencia. El motor se derratea en un 3% por cada grado sobre el punto de disparo (86°C/ 187 °F). El maximo derrateo es del 20%. Codigo de evento activo E539 (2). La maquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	E4	E5	E5	E5	
1032	Alta temperatura de aire en manifold de admision por restriccion en el sistema de escape del motor		NO	E4	E5	E4	E5	
1033	Muestra de aceite contaminada con Silicio por entrada de tierra al motor por sistema de admision y/o fugas en el carter	Elementos de desgaste y/o contaminacion por encima de sus niveles de criticidad causan alerta inicial para prevenir fallas. Planeacion recibe informacion del laboratorio de aceites y toma acciones según elemento(s) afectado(s)	SI	F5	F5	F4	F4	
1034	Muestra de aceite contaminada con Agua por entrada de agua al motor por sistema de admision y/o fugas en el carter		SI	F4	F4	F3	F3	
1035	Muestra de aceite contaminada con Sodio por fugas internas y/o paso de refrigerante al aceite del motor		SI	F4	F4	F3	F3	
1036	Muestra de aceite contaminada con Hierro causada por elementos del motor con excesivo desgaste y/o falla de materiales		SI	F4	F4	F3	F3	
1037	Muestra de aceite contaminada con Hollin causada por sincronizacion incorrecta, problemas de inyeccion y/o restriccion en el filtro de aire		SI	F5	F5	F4	F4	
1038	Muestra de aceite contaminada con Cobre causada por excesivo desgaste, ajustes y/o falla de materiales		SI	F4	F4	F3	F3	
1039	Muestra de aceite contaminada con Plomo causada por casquetes de cigueñal o de biela con excesivo desgaste o falla de material		SI	F1	F4	F2	F3	
1040	Aceite de Motor contaminado con excesivo combustible		Aceite diluido, casquetes pegados y Motor frenado	SI	F1	F4	F2	F3
1041	Aceite Motor contaminado con excesivo refrigerante	Aceite emulsionado, casquetes pegados y Motor frenado	SI	F1	F4	F2	F3	
1042	Refrigerante Motor contaminado con combustible y/o viceversa	Daños en componentes de sistema de refrigeracion y/o sistema de inyeccion	SI	F4	F4	F4	F4	
1043	Refrigerante Motor contaminado con combustible por fuga a traves de sello de camisilla o la camisilla del inyector		SI	F4	F4	F4	F4	
1044	Refrigerante Motor contaminado con aceite por enfriador de aceite motor con fuga interna	Refrigerante contaminado causando daños a componentes del sistema de refrigeracion, tambien puede causar alta temperatura en el motor	SI	F4	F4	F4	F4	
1045	Refrigerante Motor contaminado con aceite por empaquetadura de culata		SI	F4	F4	F4	F4	
1046	Refrigerante Motor contaminado con aceite por culata agrietada		SI	F1	F4	F2	F3	
1047	Refrigerante Motor contaminado con aceite por camisa agrietada		SI	F1	F4	F2	F3	
1048	Refrigerante Motor contaminado con aceite por bloque agrietado		SI	F1	F4	F2	F3	
1049	El Motor gira pero no arranca por tener el ECM con codigos de diagnostico de eventos activos		El Motor Gira pero no arranca. Maquina no se desplaza.	NO	C5	C5	C5	C5
1050	El Motor gira pero no arranca por suministro de corriente deficiente al ECM del Motor			NO	C5	C5	C5	C5
1051	El Motor gira pero no arranca por Bajo nivel de Combustible			NO	C5	C5	C5	C5
1052	El Motor gira pero no arranca por instalacion incorrecta del piñon de referencia de la velocidad y el tiempo	NO		C5	C5	C5	D5	
1053	El Motor gira pero no arranca por solenoide de unidad inyectora no energizado	NO		C5	C5	C5	D5	
1054	Motor gira pero no arranca por piñon de motor de arranque con desgaste excesivo	NO		C5	C5	C4	D5	
1055	El Motor no arranca por bateria aislada y/o descargada	NO		C5	C5	C4	D5	
1056	El Motor no arranca por solenoide de motor de arranque	NO		C5	C5	C5	D5	
1057	El Motor no arranca por bloqueo hidraulico (agua o refrigerante en los cilindros)	El Motor no arranca. Maquina no se desplaza.	NO	F1	F4	F2	F3	
1058	El Motor no arranca por componentes internos partidos o agarrotados.		NO	F1	F4	F2	F3	
1059	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por combustible de baja calidad	El Motor presenta ruido en los cilindros, el operador detiene la maquina para evitar un daño de mayor magnitud.	NO	F4	F5	F5	F5	
1060	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por instalacion incorrecta de conectores a los solenoides de los inyectores		NO	C5	C5	C4	D5	
1061	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por inyector que no recibe señal de alimentacion del solenoide		NO	C5	C5	C4	D5	
1062	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por lubricacion deficiente en compartimentos de valvulas		NO	C5	C5	C4	D5	
1063	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por calibracion incorrecta.		NO	C5	C5	C5	C5	
1064	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por componentes del tren de valvulas partido/desgastado.		NO	C4	C4	C4	C4	
1065	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por buje de biela con excesivo desgaste.		NO	C4	C4	C4	C4	
1066	El Motor presenta excesiva vibracion por damper con tornillos flojos o Damper internamente deteriorado		Motor con excesiva vibracion causando vibracion en la maquina.	NO	C4	C4	C4	C4
1067	El Motor presenta excesiva vibracion por abrazaderas metalicas flojas o bases de motor agrietadas			NO	C4	C4	C4	C4

Fuente: Hoja de análisis de RCM Motoniveladora 24M

Tabla 11. Selección de las tareas de Mantenimiento y la frecuencia

Cod. MF II	Modo de Falla	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)
1031	Alta temperatura de aire en manifold de admision por restriccion en el sistema de admision de aire	Preventivo	Chequee por alguna restriccion en el manifold de admision	1000
1032	Alta temperatura de aire en manifold de admision por restriccion en el sistema de escape del motor	Preventivo	Chequee por alguna restriccion en el multiple de escape	2000
1033	Muestra de aceite contaminada con Silicio por entrada de tierra al motor por sistema de admision y/o fugas en el carter	Predictivo	Corregir fuga en sistema de admision de aire, tomar muestra de aceite y cambiar aceite	500
1034	Muestra de aceite contaminada con Agua por entrada de agua al motor por sistema de admision y/o fugas en el carter	Predictivo	Corregir fuga en sistema de admision de aire, tomar muestra de aceite y cambiar aceite	500
1035	Muestra de aceite contaminada con Sodio por fugas internas y/o paso de refrigerante al aceite del motor	Predictivo	Evaluar paso de refrigerante al aceite de motor, tomar muestra y cambiar aceite	250
1036	Muestra de aceite contaminada con Hierro causada por elementos del motor con excesivo desgaste y/o falla de materiales	Predictivo	Cortar filtro, evaluar magnitud de particulas, revisar causa de desgaste en componentes con Hierro en el motor, tomar muestra y cambiar aceite	250
1037	Muestra de aceite contaminada con Hollin causada por sincronizacion incorrecta, problemas de inyeccion y/o restriccion en el filtro de aire	Predictivo	Corregir sincronizacion, realizar test de inyectoros, revisar fugas en admision, tomar muestra de aceite y cambiar filtro	250
1038	Muestra de aceite contaminada con Cobre causada por excesivo desgaste, ajustes y/o falla de materiales	Predictivo	Cortar filtro, evaluar magnitud de particulas, revisar causa de desgaste en componentes con Cobre en el motor, tomar muestra y cambiar aceite	250
1039	Muestra de aceite contaminada con Plomo causada por casquetes de cigueñal o de biela con excesivo desgaste o falla de material	Predictivo	Cortar filtro y evaluar por presencia de particulas magneticas. Remueva carter y evalúe estado de casquetes. Cambie Casquetes si es necesario, cambie aceite y filtro motor. Tomar muestra de aceite motor dentro de las primeras 50	250
1040	Acetate de Motor contaminado con excesivo combustible	Predictivo	Tomar muestra de aceite y evaluacion por contaminacion con combustible.	250
1041	Acetate Motor contaminado con excesivo refrigerante	Predictivo	Tomar muestra de aceite y evaluacion por contaminacion con refrigerante	250
1042	Refrigerante Mtor contaminado con combustible y/o viceversa	Predictivo	Tomar muestra de refrigerante y evaluar por contaminacion	250
1043	Refrigerante Mtor contaminado con combustible por fuga a traves de sello de camisilla o la camisilla del inyector	Predictivo	Realizar test por fuga de combustible a traves de sellos de camisillas de inyectoros y cambiar los implicados. Cambiar refrigerante si esta muy	2000
1044	Refrigerante Mtor contaminado con aceite por enfriador de aceite motor con fuga interna	Predictivo	Cambiar enfriador de aceite motor por horas de trabajo y cambiar refrigerante	8000
1045	Refrigerante Mtor contaminado con aceite por empaquetadura de culata	A condición	Evaluar proyeccion de camisa, cambiar empaquetadura y ferrules de agua	
1046	Refrigerante Mtor contaminado con aceite por culata agrietada	A condición	Realizar prueba de estanqueidad en culata y cambiarla si esta agrietada	
1047	Refrigerante Mtor contaminado con aceite por camisa agrietada	A condición	Evaluar camisa humeda con grietas y cambiar	
1048	Refrigerante Mtor contaminado con aceite por bloque agrietado	A condición	Evaluar bloque con grietas y si es necesario cambiarlo	
1049	El Motor gira pero no arranca por tener el ECM con codigos de diagnostico de eventos activos	Preventivo	Evaluar con E.T codigos de falla activos, verificarlos y borrarlos	250
1050	El Motor gira pero no arranca por suministro de corriente deficiente al ECM del Motor	Preventivo	Verificar que el ECM este energizado o tenga suministro de corriente	250
1051	El Motor gira pero no arranca por Bajo nivel de Combustible	A condición	Verificar nivel de combustible y adicionar si es necesario	
1052	El Motor gira pero no arranca por instalacion incorrecta del piñon de referencia de la velocidad y el tiempo	Preventivo	Verificar instalacion correcta del piñon de referencia de velocidad y tiempo	2000
1053	El Motor gira pero no arranca por solenoide de unidad inyectora no energizado	Preventivo	Evaluar suministro de corriente a solenoide de unidad inyectora	500
1054	Motor gira pero no arranca por piñon de motor de arranque con desgaste excesivo	Preventivo	Revisar estado de piñon de motor de arranque, si es necesario cambiarlo	1000
1055	El Motor no arranca por bateria aislada y/o descargada	Preventivo	Revisar estado de baterias, postes y cables de conexi3n	250
1056	El Motor no arranca por solenoide de motor de arranque	Preventivo	Evaluar suministro de corriente a solenoide de motor de arranque	250
1057	El Motor no arranca por bloqueo hidraulico (agua o refriegrante en los cilindros)	A condición	Evaluar presencia de agua o refriegrante en los cilindros del motor, verifique oxidacion en los mecanismos superiores	
1058	El Motor no arranca por componentes internos partidos o agarrotados.	Preventivo	Evalúe filtro de aceite motor y verifique por limalla metalica	250
1059	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por combustible de baja calidad	Preventivo	Asegure que la calidad del combustible sea la recomendada por el fabricante	1000
1060	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por instalacion incorrecta de conectores a los solenoides de los inyectoros	Preventivo	Revisar instalacion correcta de conectores a los solenoides de los inyectoros	500
1061	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por inyector que no recibe señal de alimentacion del solenoide	Preventivo	Revisar que todos los inyectoros esten recibiendo señal de alimentacion del solenoide	500
1062	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por lubricacion deficiente en compartimientos de valvulas	Preventivo	Revisar lubricacion adecuada en compartimientos y/o mecanismos de valvulas	1000
1063	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por calibracion incorrecta.	Preventivo	Verificar correcta calibracion del motor	2000
1064	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por componentes del tren de valvulas partido/desgastado.	Preventivo	Revisar estado de tren de valvulas, mecanismos y ejes. Cambiar si alguno se encuentra con desgaste excesivo o partido	2000
1065	El Motor presenta ruido en uno o varios cilindros por buje de biela con excesivo desgaste.	Preventivo	Evaluar juego excesivo en buje de biela	250
1066	El Motor presenta excesiva vibracion por damper con tornillos flojos o Damper internamente deteriorado	Preventivo	Evaluar tornillos flojos y apretar . Si el problema es el Damper, cambiarlo.	500
1067	El Motor presenta excesiva vibracion por abrazaderas metalicas flojas o bases de motor agrietadas	Preventivo	Evaluar abrazaderas flojas y apretar . Si el problema es la base, cambiarla.	250

Fuente: Hoja de análisis de RCM Motoniveladora 24M

Tabla 12. Análisis de los modos de falla del sistema de Motor

Cod. MF II	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	R. Ambien	R. Human	R. Económ	R. Imagen
1354	Alta temperatura de refrigerante del motor por radiador con aletas partidas, golpeadas y/o obstruidas	El derrateo es 25% por cada grado sobre el nivel de disparo (111°C / 232 °F). El maximo derrateo es el 100%. codigo de evento activo E361 (2).La maquina disminuye su capacidad de empuje.	NO	D4	D4	D4	D3
1355	Alta temperatura de refrigerante del motor por radiador con bloqueo interno.		NO	D4	D4	D3	D3
1356	Alta temperatura de refrigerante del motor por radiador con fugas		NO	D4	D4	D3	D3
1357	Alta temperatura de refrigerante por fuga externa por modulo golpeado		NO	D4	D4	D4	D3
1359	Ventilador no gira / Ventilador gira con baja velocidad por atascamiento o fuga interna de válvula de prioridad	Aparece alarma de alta temperatura y en el indicador de temperatura en el tablero, el operador para el equipo	NO	C5	C5	C4	C5
1360	Baja presión de aceite por Bomba de fan con desgaste interno		SI	C5	C5	C3	C4
1361	Baja presión del sistema por Tanque Hidraulico sin aceite por fuga		NO	D5	D5	D4	D5
1362	Baja presión del sistema por fractura del eje de la bomba		SI	C5	C5	C3	C5
1363	Ventilador gira con alta velocidad por solenoide de velocidad del fan con corto circuito o abierto		NO	C5	C5	C4	C5
1364	Baja presión del sistema por mala calibración del solenoide de velocidad del fan		NO	C5	C5	C4	C5
1365	Ventilador no gira / Ventilador gira con baja velocidad por desgaste interno en válvula resolver		NO	C5	C5	C4	C5
1366	Ventilador no gira / Ventilador gira con baja velocidad por Motor Hidráulico del ventilador con desgaste interno		NO	C5	C5	C3	C5
1367	Desacoplamiento del ventilador Fractura en tonillos de sujeción por Instalación incorrecta		SI	C5	C5	C3	C5
1368	Ventilador gira con alta velocidad por solenoide de velocidad del fan con corto circuito o abierto		Aparece alarma de alta temperatura de aceite hidráulico y en el indicador de temperatura en el tablero, el operador para el equipo	NO	C5	C5	C4
1369	Fuga hidráulica por bomba del fan por mala instalación.	El operador observa la fuga en la inspección preoperacional y para el equipo. El equipo se queda sin aceite de hidráulico y no se mueven los implementos.	NO	C5	C5	C4	C5
1370	Fuga Hidraulica por Tubos que transportan aceite Hidráulico por roce - instalación incorrecta	El operador observa la fuga en la inspección preoperacional y para el equipo. El equipo se queda sin aceite de hidráulico y no se mueven los implementos.	NO	C5	C5	C4	C5
1401	Pto no funciona por arnés abierto o en corto, aislamiento en bocina o en sw itch	El equipo sigue operativo, el tecnico reporta la falla y se corrige en el proximo PM	NO	E5	E5	E5	E5
1402	Pto con funcionamiento intermitente por falso contacto en arnés		NO	E5	E5	E5	E5
1403	Motor no gira por problema electrico de baterias descargadas	el motor no enciende, el equipo se deja down n por parte del operador	NO	E5	E5	D5	E5
1404	Alternador no regula voltaje de la bateria	El equipo no enciende	NO	E5	E5	E4	E5
1405	Bajo voltaje de las baterias por mala carga del alternador		NO	D5	D5	D5	D5
1406	Arnés y/o solenoide de inyector en mal estado o en corto		NO	E5	E5	E5	E5
1407	Sensor de Presion de salida del Turbocargador no sensa / Arnes del Sensor abierto o en corto	Presion de refuerzo por debajo de 23 psi con motor calado/baja potencia	NO	D5	D5	D5	D5
1408	Sensor de Presion Atmosferica no sensa/ Arnes del Sensor abierto o en corto		NO	D5	D5	D5	D5
1409	Sensor de Velocidad y tiempo no sensa / Arnes del Sensor Abierto o en Corto		NO	C5	C5	C5	C5
1410	Arnes de Motor Abierto o en Corto		NO	E5	E5	E4	E5
1411	Motor no gira por problema electrico de baterias descargadas	Equipo dow n/motor sin movimiento	NO	E5	E5	E5	E5
1412	Motor no gira por problema Electrico motor de Arranque Abierto en Corto		NO	D5	D5	D4	D5
1413	Motor no gira por problema Electrico Arnes de Motor Abierto o en Corto		NO	C5	C5	C4	C5
1414	Motor no gira por problema Electrico Arnes de Circuito de Arranque Abierto o en Corto		NO	D5	D5	D4	D5
1415	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Electricos Configuracion erronea del ECM		NO	D5	D5	D5	D5
1416	Alta Temperatura de Motor / Transmision / Hidraulico por Problemas Electricos Arnes de Sensor Abierto o en Corto - Instalacion		Alarma de temperatura de refrigerante	NO	D5	D5	D4
1417	Arnes de Luces Abierto o en Corto / Sw itch se aísla	perdida de visibilidad	NO	E5	E5	E5	E5
1418	No encienden las Luces por corto en fusiblera	Luces apagadas/operador sin visibilidad	NO	E5	E5	E5	E5
1419	Alarma de Retroceso no Funciona Arnes de Alarma Abierto o en Corto/ sw itch se aísla	Alarma de retroceso no suena/	NO	D5	D5	D5	D5
1420	Luces de Tablero - Alarmas No funcionan /Corto en el tablero Arnes de Tablero Abierto o en Corto	Se apagan las luces/alarmas no suenan/operador sin visibilidad	NO	D5	D5	D5	D5
1421	Alarma de 5 voltios Arnes de Motor Abierto o en Corto - Instalacion Incorrecta	Equipo dow n/motor sin movimiento	NO		NA		
1422	Problema de articulación de la maquina por Arnes de articulacion Abierto o en Corto - Instalacion Incorrecta	Articulación intermitente o no articula/equipo dow n	NO	C5	C5	C5	C5
1423	Plumillas limpia vidrios no Funcionan Arnes de Motores limpiavidrios Abierto o en Corto / Daño en Motores / Daño en Sw itch	Plumillas limpia vidrios no se mueven/poca visibilidad por lluvia	NO	E5	E5	E5	E5

Fuente: Hoja de análisis de RCM Motoniveladora 24M

Tabla 13. Selección de las tareas de Mantenimiento y la frecuencia

Cod. MF II	Modo de Falla	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)
1354	Alta temperatura de refrigerante del motor por radiador con aletas partidas, golpeadas y/o obstruidas	Preventivo	Revisar estado de las aletas y enderezarlas si es posible. Lave el radiador para remover obstrucción.	250
1355	Alta temperatura de refrigerante del motor por radiador con bloqueo interno.	Preventivo	Realizar flushing y si la contaminación es muy alta , cambielo.	250
1356	Alta temperatura de refrigerante del motor por radiador con fugas	Preventivo	Cambiar radiador	250
1357	Alta temperatura de refrigerante por fuga externa por modulo golpeado	Preventivo	Inspeccionar radiador por fugas de refrigerante	250
1359	Ventilador no gira / Ventilador gira con baja velocidad por atascamiento o fuga interna de válvula de prioridad	Preventivo	Medir RPM máximas y mínimas del ventilador y calibrar de ser necesario.	1000
1360	Baja presión de aceite por Bomba de fan con desgaste interno	Preventivo	Tomar de Muestra de Aceite Hidráulico para Analisis en laboratorio de Partículas de Cobre y Hierro.	500
1361	Baja presión del sistema por Tanque Hidraulico sin aceite por fuga	A Condicion	Inspeccionar Visualmente fugas por el Tanque y líneas de Hidráulico	250
1362	Baja presión del sistema por fractura del eje de la bomba	Preventivo	Cambio de Bomba de Implementos por horas de trabajo	8000
1363	Ventilador gira con alta velocidad por solenoide de velocidad del fan con corto circuito o abierto	Preventivo	Medir RPM máximas y mínimas del ventilador y calibrar de ser necesario.	1000
1364	Baja presión del sistema por mala calibración del solenoide de velocidad del fan	Preventivo	Medir RPM máximas y mínimas del ventilador y calibrar de ser necesario.	1000
1365	Ventilador no gira / Ventilador gira con baja velocidad por desgaste interno en válvula resolver	Preventivo	Medir RPM máximas y mínimas del ventilador y calibrar de ser necesario.	1000
1366	Ventilador no gira / Ventilador gira con baja velocidad por Motor Hidráulico del ventilador con desgaste interno	Preventivo	Cambio de Bomba de Implementos por horas de trabajo	8000
1367	Desacoplamiento del ventilador Fractura en tonillos de sujeción por Instalación incorrecta	Preventivo	Tomar de Muestra de Aceite Hidráulico para Analisis en laboratorio de Partículas de Cobre y Hierro.	500
1368	Ventilador gira con alta velocidad por solenoide de velocidad del fan con corto circuito o abierto	Preventivo	Medir RPM máximas y mínimas del ventilador y calibrar de ser necesario.	1000
1369	Fuga hidráulica por bomba del fan por mala instalación.	Preventivo	Inspeccionar Visualmente fugas por el sello de instalación de la bomba del fan	250
1370	Fuga Hidraulica por Tubos que transportan aceite Hidráulico por roce - instalación incorrecta	Preventivo	Inspeccionar Visualmente fugas por el Tanque y líneas de Hidráulico	250
1401	Pito no funciona por arnés abierto o en corto, aislamiento en bocina o en switch	Preventivo	Verificar funcionamiento del pito	250
1402	Pito con funcionamiento intermitente por falso contacto en arnés	Preventivo	Verificar funcionamiento del pito	250
1403	Motor no gira por problema electrico de baterias descargadas	Preventivo	Verificar carga de la batería	250
1404	Alternador no regula voltaje de la batería	Preventivo	Verificar voltaje del alternador	250
1405	Bajo voltaje de las baterias por mala carga del alternador	Preventivo	Verificar carga de la batería	250
1406	Arnés y/o solenoide de inyector en mal estado o en corto	Preventivo	Inspeccionar estado del arnés y del solenoide del inyector	1000
1407	Sensor de Presion de salida del Turbocargador no sensa / Arnes del Sensor abierto o en corto	Preventivo	Inspeccionar estado y funcionamiento del arnés del sensor	1000
1408	Sensor de Presion Atmosferica no sensa/ Arnes del Sensor abierto o en corto	Preventivo	Inspeccionar estado y funcionamiento del arnés del sensor	1000
1409	Sensor de Velocidad y tiempo no sensa / Arnes del Sensor Abierto o en Corto	Preventivo	Inspeccionar estado y funcionamiento del arnés del sensor	1000
1410	Arnes de Motor Abierto o en Corto	Preventivo	Inspeccionar estado y funcionamiento del arnés de motor	1000
1411	Motor no gira por problema electrico de baterias descargadas	Preventivo	Verificar carga de la batería	250
1412	Motor no gira por problema Electrico motor de Arranque Abierto en Corto	Preventivo	Medir consumo de corriente	500
1413	Motor no gira por problema Electrico Arnes de Motor Abierto o en Corto	Preventivo	Descargar información de ecm de motor/verificar funcionamiento de arnés	250
1414	Motor no gira por problema Electrico Arnes de Circuito de Arranque Abierto o en Corto	Preventivo	Descargar información de ecm de motor/verificar funcionamiento de arnés	250
1415	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Electricos Configuracion erronea del ECM	Preventivo	Descargar información de ecm de motor/verificar funcionamiento de arnés	250
1416	Alta Temperatura de Motor / Transmision / Hidraulico por Problemas Electricos Arnes de Sensor Abierto o en Corto - Instalacion	Preventivo	Descargar información de ecm de motor/verificar funcionamiento de arnés	250
1417	Arnes de Luces Abierto o en Corto / Switch se aísla	Preventivo	Verificar estado y funcionamiento de arnés y contacto de switch	500
1418	No encienden las luces por corto en fusiblera	Preventivo	Verificar funcionamiento de fusiblera y	500
1419	Alarma de Retroceso no Funciona Arnes de Alarma Abierto o en Corto/ switch se aísla	Preventivo	Verificar funcionamiento de alarma de retroceso	250
1420	Luces de Tablero - Alarmas No funcionan /Corto en el tablero Arnes de Tablero Abierto o en Corto	Preventivo	Verificar alarmas y luces del tablero	250

Fuente: Hoja de análisis de RCM Motoniveladora 24M

9. PLANEACION ESTRATEGICA CON ENFASIS EN MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

A continuación se hace una descripción de los que hemos considerado los cuatro procesos mas importantes para tener en cuenta en la propuesta de planeación estratégica para la flota de Motoniveladoras 24M en la empresa Drummond Ltd.

9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM)

Comúnmente se denomina PM (abreviatura en ingles) al Mantenimiento Preventivo realizado a cada maquina en un ciclo de 250 horas, tiempo en el cual el fabricante CATERPILLAR estipulo para que sus maquinas deban realizar los respectivos cambios de aceite y filtros mas importantes.

Los PM's de la Motoniveladora 24M están divididos en 4 tipos: 250, 500, 1000 y 2000 hrs, donde cada tipo varia por actividades programadas y tiempo de vida útil de aceites y filtros.

En un ciclo de 2,000 hrs, las lista de actividades para un PM de 250 hrs se repite 4 veces, los PM's son denominados A-C-E-G. Para el caso de las actividades en un PM de 500 hrs se repite 2 veces: B-F, y finalmente los PM's de 1,000 y 2,000 hrs respectivamente solo se realizan 1 sola vez cada uno de ellos en el ciclo inicialmente mencionado.

A continuación se elaboro un cuadro resumen, el cual muestra el ciclo de cambio de aceites, filtros y respiraderos.

Tabla 14. Intervalos de Actividades de Mantenimiento Preventivo

ACTIVIDADES DE REEMPLAZO EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	TIPOS DE PM / INTERVALO EN HORAS							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Aceite Motor	C, m	C, m	C, m	C, m	C, m	C, m	C, m	C, m
Aceite Convertidor y Transmision	n, m	n	n, m	C	n, m	n	n, m	C
Aceite Diferencial	n	n, m	n	C, n, m	n	n, m	n	C, n, m
Aceite de las 4 Ruedas	n, m	C	n, m	C	n, m	C	n, m	C
Aceite de Mandos Finales (Tamdén)	n	n, m	n	n, m	n	C, n, m	n	n, m
Aceite sistema hidraulico	n	n, m	n	n, m	n	n, m	n	C, n, m
Aceite Motores Giro de la cuchilla	C	m	C	m	C	m	C	m
Filtro aceite motor	C	C	C	C	C	C	C	C
Filtro primario de combustible-Separador de agua		C		C		C		C
Filtro secundario de combustible	C	C	C	C	C	C	C	C
Filtro de aire primario	C	C	C	C	C	C	C	C
Filtro de aire secundario	C	C	C	C	C	C	C	C
Filtro de reposicion del A/A de cabina	C	C	C	C	C	C	C	C
Filtro de recirculacion del A/A de cabina	C	C	C	C	C	C	C	C
Filtro de aceite de drenaje de carcasa		C		C		C		C
Filtro piloto del sistema hidraulico		C		C		C		C
Filtro de retorno del tanque hidraulico		C		C		C		C
Filtro de aceite convertidor/transmision		C		C		C		C
Filtro hidraulico traba del diferencial		C		C		C		C
Respiradero tanque hidraulico								C
Valvula de venteo-tanque de combustible								C
Respiraderos de ambos tamden					C			
Respiradero del alternador		C		C		C		C

Convenciones: C: Cambio, n: revision de niveles, m: toma de muestra.

Analizando los items de mantenimiento de los checklist que maneja actualmente la empresa nos dimos cuenta que hay muchas falencias en cuanto a las tareas de mantenimiento y en cuanto a los tiempos de realización de dichos items ya que están organizados por sistemas y cada técnico se dedica a realizar las actividades de ese sistema sin importar la condición de encendido, apagado y movimiento del equipo, entre otros, lo cual implica pérdida de tiempo por parte de otro técnico que necesita el equipo en una u otra condición. Por esta razón se diseñaron tareas de chequeo basadas en el análisis RCM y se propone un check list organizado por fases en donde cada técnico tiene una tarea en particular pero todas en una sola

condición o estado del equipo, para así, aminorar los tiempos de mantenimiento y agilizar el análisis y llenado de todas y cada una de las pautas.

Tabla 15. Propuesta de lista de Chequeo Mantenimiento Preventivo 24M








 MASTER DE PM'S MOTONIVELADORAS 24M 					
TECNICOS POR COLORES:		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2		
PARA REALIZAR MIENTRAS ESTÉ ABIERTO EL MASTER PRINCIPAL					
FASE 1 - MOTONIVELADORA EN EL AREA DE LAVADERO					
#	Actividades	Responsable	Asistencia	PM	
1	REALIZAR ENTREVISTA CON EL OPERADOR DE LA MOTONIVELADORA.	TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
2	VERIFICAR EL ESTADO DE LAS LLANTAS.	TÉCNICO 2	N/A	X, B, D, F, H	
3	VERIFICAR EL ESTADO DE ESPEJOS RETROVISORES Y BARANDAS	 TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
4	REGISTRE LAS CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS EN LOS GASES DEL ESCAPE: HUMO EXCESIVO, AZUL, NEGRO, BLANCO, ETC.	TÉCNICO 2	N/A	X, B, D, F, H	
5	VERIFICAR QUE EL AIRE ACONDICIONADO ENFRÍE CORRECTAMENTE. GIRAR LA PERILLA DEL TERMOSTATO	 TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
6	REVISAR EL SELECTOR DE VELOCIDADES DEL SOPLADOR. DEBEN SERVIR TODAS LAS VELOCIDADES DEL SELECTOR.	 TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
7	PERCIBA SI EL SOPLADOR ESTÁ GENERANDO RUIDO EXCESIVO QUE INDIQUE DAÑO SI ES ASI SOLICITE REPARACION	 TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
8	VERIFICAR LA CORRECTA OPERACION DEL CINTURÓN DE SEGURIDAD INCLUYENTO DAÑOS Y DESGASTE.	TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
9	VERIFICAR LA OPERACIÓN DE INDICADORES (FUNCIONAMIENTO DE LOS TALCOS Y LUZ INTERIOR), LA LUZ DE LA CABINA.	 TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
10	VERIFICAR EL ESTADO DE PLUMILLAS, OPERACIÓN DE LIMPIA PARABRISAS Y NIVEL DE AGUA PARA LIMPIAR EL PANORÁMICO	TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
11	VERIFICAR EL ESTADO DE LA SILLA. PRUEBE TODOS LOS MOVIMIENTOS Y CONFORT. VERIFIQUE EL AJUSTE DE LOS TORNILLOS DE LA BASE	TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H	
12	VERIFICAR OPERACIÓN DEL FRENO DE PARQUEO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	X, B, D, F, H	
13	Coloque la máquina en una pendiente de un 20 por ciento. Conecte el control del freno de estacionamiento. Suelte el control del freno de servicio. Las ruedas no deben girar. Si las ruedas giran, aplique el control del freno de servicio				
14	VERIFICAR OPERACIÓN DEL FRENO DE SERVICIO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	X, B, D, F, H	
	Arranque el motor. Levante la hoja ligeramente. Conecte el freno de servicio. Coloque la transmisión en la posición TERCERA MARCHA EN AVANCE. Aumente la velocidad del motor a 1.800 rpm durante 15 segundos. La máquina no se debe mover				
15	VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CEBADO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE. VERIFIQUE QUE LA PRESION AUMENTA	TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	B, D, F, H	

Tabla 16. Propuesta de lista de Chequeo Mantenimiento Preventivo 24M



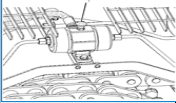
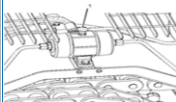


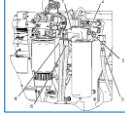
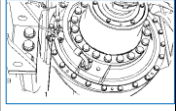

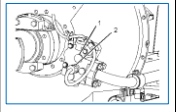


 MASTER DE PM'S MOTONIVELADORAS 24M 					
TECNICOS POR COLORES:		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2		
PARA REALIZAR MIENTRAS ESTÉ ABIERTO EL MASTER PRINCIPAL					
FASE 1 - MOTONIVELADORA EN EL AREA DE LAVADERO					
#	Actividades	Imagen	Responsable	Asistencia	PM
16	VERIFICAR QUE LA PRESIÓN DE ACTUACIÓN DE FRENOS EN EL SLACK ADJUSTER DEL TAMDEN DERECHO APLICANDO EL PEDAL DE FRENO SEA DE 150 kPa (22 lb/pulg2) MENOS Q EL FRENO DE SERVICIO LH		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	B, D, F, H
17	VERIFICAR QUE LA PRESIÓN DE ACTUACIÓN DE FRENOS EN EL SLACK ADJUSTER DEL TAMDEN IZQUIERDO APLICANDO EL PEDAL DE FRENO SEA DE... (675 ± 51 lb/pulg2).		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	B, D, F, H
18	VERIFICAR QUE LA PRESIÓN CUT-IN SEA DE 1400+/- 35 psi		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	B, D, F, H
19	VERIFICAR QUE LA PRESIÓN CUT-OUT SEA DE 2300+/- 35 psi		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	B, D, F, H
20	PRESION DE COMBUSTIBLE ALTA EN VACIO 60 - 65 psi		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	H
21	PRESION LOCK UP DEL CONVERTIDOR 254+/-10 psi		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	H
22	VERIFICAR QUE LA PRESION ENTRADA AL CONVERTIDOR SEA 138+/- 8 psi 60+/-5 psi		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	H
23	VERIFICAR QUE LA PRESION SALIDA AL CONVERTIDOR 60+/-5 psi		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	H
24	PRESIÓN DE LA BOMBA DE CARGA XMNS EN ALTAS 320+/- 5		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	H
25	PRESIÓN DE LA BOMBA DE CARGA DE XMNS EN BAJAS 280+/- 5		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	H
26	REGISTRAR INFORMACION DE BACKLOG, ACTIVIDADES ADICIONALES, ETC. EN LOS FORMATOS RESPECTIVOS 2		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	X, B, D, F, H

Tabla 17. Propuesta de lista de Chequeo Mantenimiento Preventivo 24M

 MASTER DE PM'S MOTONIVELADORAS 24M 					
TECNICOS POR COLORES:		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2		
PARA REALIZAR MIENTRAS ESTÉ ABIERTO EL MASTER PRINCIPAL					
FASE 1 - MOTONIVELADORA EN EL AREA DE LAVADERO					
#	Actividades		Responsable	Asistencia	PM
28	TOMAR MUESTRA DE ACEITE DE TRANSMISION, REVISAR NIVEL DEL COMPONENTE.		TÉCNICO 2	N/A	B, D, F, H
29	TOMAR MUESTRA DE ACEITE HIDRÁULICO, REVISAR NIVEL Y EL COLOR DEL ACEITE.		TÉCNICO 2	N/A	B, D, F, H
30	VERIFICAR FUNCIONAMIENTO LUCES FRONTALES DE: TRABAJO (ALTA/BAJA), DIRECCIONALES, FRENO, LUZ DE ESCALERA, LUZ DE COMPARTIMIENTO DEL MOTOR, EXPLORADORAS Y EL PITO.		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	X, B, D, F, H
31	VERIFICAR OPERACIÓN DE ALARMA DE RETROCESO Y LUCES DE CUCHILLA.		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	X, B, D, F, H
32	VERIFICAR JUEGO DE LA ROTULAS DE LOS CILINDROS, BARRAS DE DIRECCIÓN,		TÉCNICO 2	TÉCNICO 1	X, B, D, F, H
33	DESCONECTAR EL SISTEMA SUPRESOR DE INCENDIO. DESENROSCAR CAPSULA DE ACTIVACIÓN DEL SSI.		TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H
FASE 3 - MOTOR APAGADO (ENERGIZADO)					
34	REVISAR TAPONES Y TOMAR MUESTRA DE ACEITE RUEDAS DELANTERAS.		TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H
35	REPORTAR LAS PARTÍCULAS ENCONTRADAS EN LOS TAPONES MAGNÉTICOS DE LAS RUEDAS DELANTERAS. TOMAR FOTO DE SER NECESARIO. REPORTAR SITUACION SEGÚN INSTRUCCIONES DE MANEJO DE TAPONES MAGNETICOS		TÉCNICO 1	N/A	X, B, D, F, H
36	CAMBIAR ACEITE RUEDAS DELANTERAS.		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	B, D, F, H
37	TOMAR MUESTRA DE DIFERENCIAL		TÉCNICO 1	N/A	B, D, F, H
38	REVISAR NIVELES Y DIFERENCIAL, SI EL COMPARTIMIENTO ESTA SOBREPASADO O FALTA. INDIQUE PARA HACER SEGUIMIENTO.		TÉCNICO 1	N/A	B, D, F, H
39	REVISAR ALINEAMIENTO DE LA VARILLA DEL NIVEL DEL TANQUE DE GRASA .		TÉCNICO 1	N/A	B, D, F, H
40	VERIFIQUE EL NIVEL DEL TANQUE DE GRASA Y COMPLETE EL NIVEL. SI ESTÁ LLENO, REVISE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	X, B, D, F
41	LIMPIAR RESPIRADERO DEL TANQUE DE GRASA		TÉCNICO 1	N/A	B, D, F
42	APLICAR PROTOCOLO DE ETIQUETA Y CANDADO		TÉCNICO 1 TÉCNICO 2	N/A	X, B, D, F, H
43	REGISTRAR INFORMACION DE BACKLOG, ACTIVIDADES ADICIONALES, ETC. EN LOS FORMATOS RESPECTIVOS		TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	X, B, D, F, H

9.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (CBM)

El Mantenimiento Predictivo o CBM (Condition Based Monitoring) en la flota actualmente está determinado exclusivamente por la toma de muestras de aceite de los diferentes compartimientos cada 250 hrs. Estas muestras son enviadas al laboratorio de aceites en el municipio de Soledad-Atlántico, donde son analizadas y evaluadas por personal calificado, quienes finalmente envían los resultados vía e-mail al personal de planeación. Esta operación puede durar 48 horas para muestras de trabajo normal y 24 horas para muestras con un rotulo especial de alta prioridad.

9.3 PROGRAMA DE CAMBIO DE COMPONENTES MAYORES (PCR)

Programa comúnmente conocido con sus siglas en ingles, PCR (Program of Component Rebuild). La finalidad de este programa es “re-potenciar” la maquina, termino que se utiliza para identificar una maquina que va a ser mejorada a través de cambio de componentes críticos o componentes mayores que ya han cumplido su vida útil. Adicionalmente durante esta intervención, se realiza cambio de partes o reparación de estas por presencia de grietas o deformaciones.

Debido al gran impacto que causa este tipo de intervenciones en la disponibilidad de la maquina, ya que estos trabajos involucra gran cantidad de horas Down (no operativas); se hace necesario una gran coordinación de solicitud de recursos y disponibilidad de inventario para lograr en el menor tiempo las reparaciones programadas.

9.4 ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS (RM)

Este tipo de actividad esta relacionado con la administración de las partes necesarias para que un PM pueda ser cubierto sin ningún tipo de inconvenientes, adicional mes a mes se relaciona los posibles componentes mayores a cambiar para la realización de los PCR's.

Esta actividad tiene varios actores que intervienen en el proceso, tales como Almacén, Control de Inventarios y Planeación Taller.

9.5 PROPUESTAS PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

La planeación en el Departamento de mantenimiento de equipo móvil de la empresa Drummond Ltd. está centrada en la Disponibilidad de los equipos, sin embargo para lograr que la disponibilidad de la flota de Motoniveladoras 24M pueda alcanzar su objetivo trazado (85%) y a la vez permanecer con estos altos estándares a través del tiempo, es totalmente necesaria la implementación de la metodología de mantenimiento centrada en confiabilidad, la cual no solo causara un impacto positivo en la confiabilidad de la maquina sino también lograra que la disponibilidad se mantenga estable con respecto al objetivo trazado.

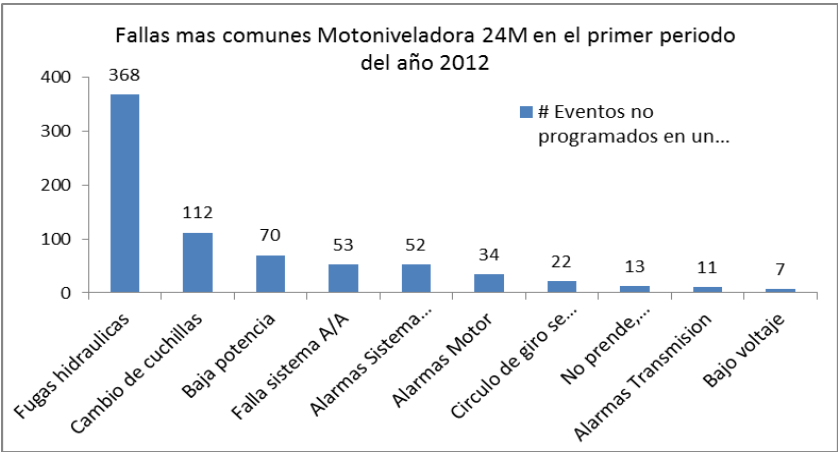
La estrategia clave para un buen funcionamiento de la metodología es la creación de un equipo de trabajo comprometido con el correcto desarrollo de los programas y responsables de los indicadores de rendimiento de la flota.

Para lograr esta propuesta se hizo uso de las recomendaciones contempladas en los “Best Practices” (mejores prácticas) en planeación estratégica publicadas por la gran experiencia y trayectoria que tiene la gran empresa fabricante de equipos mineros CATERPILLAR.

Antes de realizar la propuesta de mejora de procesos, se realizó una investigación de las fallas más comunes de la máquina, esta información fue tomada de la base de datos del programa de mantenimiento de la empresa (People Soft de Oracle) y el lapso de tiempo que se estudió fue de Enero a Junio de 2012.

El resultado mostró la forma genérica como el programa muestra el histórico de las fallas, sin ningún tipo de detalle de causa raíz; además se pudo observar que no hay una diferencia clara entre causa y efecto de las fallas a la hora de ingresar la información al sistema.

Figura 39. Fallas más comunes de las Motoniveladoras 24M



Fuente: Planeación DRUMMOND LTD.

A continuación se muestra la propuesta (estrategias) vista desde los cuatro procesos administrativos considerados para llevar a cabo una buena planeación centrada en confiabilidad:

Tabla 18. Planeación Estratégica con Énfasis en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

PLANEACION ESTRATEGICA CON ENFASIS EN MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD					
FLOTA: MOTONIVELADORAS 24M					
MISION: Garantizar el correcto desempeño de una Motoniveladora en todos los trabajos a los cuales esta maquina es exigida y por la cual fue diseñada.					
VISION: Confiabilidad por encima de los estandares, mantenibilidad en limites de tiempo competitivos y disponibilidad por encima del 85% presupuestado.					
PROCESOS FUNDAMENTALES	Mantenimiento Preventivo (PM)	Mantenimiento Predictivo (CBM)	Programa de Cambio de Componentes Mayores (PCR's)	Administración de recursos (RM)	
OBJETIVO GENERAL	Prevenir fallas prematuras	Detectar fallas antes de que ocurra la falla	Estandarizar la vida útil de los Componentes mayores para evitar fallas por desgaste	Garantizar la disponibilidad de partes y componentes necesarios para una ejecución oportuna de los PM's y trabajos de PCR's	
CARACTERISTICAS PRINCIPALES	Frecuencia de cambio fijo de componentes.	Monitoreo Permanente de la variable preestablecida para detectar una falla antes de que esta ocurra	Frecuencia de cambio variable de componentes, dependerá de las condiciones de operación, niveles de desgaste y vida útil del componente.	* Administración de Inventarios según programación de actividades. * Gestión permanente de adquisición de partes y envío de Componentes a reparar según Órdenes de Trabajo pendientes.	
ESTRATEGIAS	Mejoramiento continuo de las rutinas básicas de un PM's según Análisis RCM , condiciones de operación, fallas repetitivas y vida útil de los componentes.	Análisis de aceite: Creación de tablas personalizadas, haciendo uso de las estadísticas, mostrando los niveles de criticidad en cuanto a Salud, Contaminación y Elementos de desgaste para los Componentes mas críticos de la maquina.	Diseñar un plan de trabajo anual de Cambio de Componentes Mayores programado, incluyendo solicitud de recursos, mano de obra y contrataciones.	Establecer un programa de administración maestro que tenga la finalidad de identificar consumo de partes, compras de costo directo, reparación de componentes y a su vez pueda generar informes o estadísticas de consumo para toma de decisiones o elaboración de presupuestos.	
	Identificar las causas de demoras en el proceso de PM para reducir los tiempos de reparación y lograr mejorar la Indisponibilidad de la maquina por Mantenimiento Preventivo.	Termografía Infrarroja: Aplicación de esta herramienta para identificar puntos calientes en el motor Acert y con esto lograr evitar una falla catastrófica.	Mantener en inventario según la proyección de cambio los Componentes menores y partes necesarias para un programa de PCR's.	Desarrollar una aplicación al programa que se utiliza actualmente en mantenimiento, el cual es el people soft de Oracle, donde pueda generar informes de consumo de partes, movimiento de componentes y finalmente generar reportes gráficos que puedan ayudarnos a tomar decisiones inmediatas.	
		Monitoreo en Línea: Implementación de un software capaz de leer toda la información en línea almacenada en los módulos electrónicos de la maquina e interpretarlos según una parametrización personalizada de los elementos que requieran monitoreo. Análisis RCM			
RESPONSABLES	GESTION	Planeador y programador PM's	Analista de flota	Planeador y programador PCR's	Administrador de materiales
	EJECUCION	Supervisor y personal tecnico de taller	Personal tecnico de campo	Supervisor y personal de taller de reparaciones mayores	Analista de partes, Componentes y Backlogs.
INDICADORES	MTBSpm, MTTRpm (Indisponibilidad) , Service Accuracy.	MTBS, MTTR, % Cumplimiento Servicios de Campo. , Indisponibilidad por fallas en Campo	MTBSpcr, MTTRpcr, Indisponibilidad por PCR	Backlogs generados vs ejecutados, consumo de partes y componentes. Indisponibilidad por falta de recursos.	

CONCLUSIONES

El mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM se convierte en una metodología esencial e indispensable en el campo operacional y funcional de la motoniveladora 24M para evaluar, diagnosticar y mantener la máquina en las mejores condiciones y de esta manera alcanzar con la meta propuesta de mantener la disponibilidad por encima de un 85%, garantizando un mejor funcionamiento del equipo con menor tiempo de reparaciones.

El establecer e identificar las fallas funcionales y los modos de falla que causan los eventos y el analizar los efectos que estos causan y que repercuten en un mal funcionamiento de la maquina, nos permite obtener una idea clara y precisa sobre la causa de la falla y su criticidad en el proceso de funcionamiento y operación de las motoniveladoras 24M para que al final definamos la tarea de mantenimiento a realizar y eliminar así las causas de dichas fallas

Los indicadores de gestión que tuvimos en cuenta en el proceso de rcm nos permiten medir de manera efectiva la calidad de los trabajos, además de tener un control que nos ayude en la definición de la planeación y la consecución de los trabajos a realizar.

Los periodos de tiempo descritos en el plan de mantenimiento hacen que se tenga una mejor coordinación entre las actividades de mantenimiento y las de producción, eliminando tiempos muertos y agilizando los procesos de mantenimiento, garantizando así, mayor confiabilidad y disponibilidad de los equipos

BIBLIOGRAFIA

ARIZA RINCON, Albert Jair. Aplicación de RCM a la flota de Taladros de voladura en la empresa Carbones Colombianos del Cerrejón S.A. UIS, Monografía de grado, 2008.

ARZUAGA CHURIO, José Elías. Modelo de RCM en la flota de tractores de oruga D11N de la empresa minera Drummond Ltd. UIS, Monografía de grado, 2011.

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Grupo de Investigación, UIS, 2011

CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc. 2005. 60p.

LEVITT, Joel. The Handbook of Maintenance Management. New York, Industrial Press Inc, 1997.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México, Alfaomega, 2009.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004.

MOUBRAY, Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997.

ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2010

PEREZ, Carlos Mario, Trabajo de traducción y adaptación del libro de Jhon Mubray. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Soporte y Cia Ltda [www. Soporteycia.com.co](http://www.Soporteycia.com.co)

PEREZ, Carlos Mario, Trabajo de traducción y adaptación del libro de Jhon Mubray. El Camino hacia el RCM

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