

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA
EL PARQUE DE CAMIONES ARTICULADOS CAT D250 TRANSPORTADORES
DE EXPLOSIVOS DE LA EMPRESA DRUMMOND LTD**

JESÚS BARRIOS MEZA

NEIDER JOSE DEARMAS PÉREZ



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

2015

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA
EL PARQUE DE CAMIONES ARTICULADOS CAT D250 TRANSPORTADORES
DE EXPLOSIVOS DE LA EMPRESA DRUMMOND LTD**

JESÚS BARRIOS MEZA

NEIDER JOSE DEARMAS PÉREZ

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

Director:

JUAN CARLOS NARANJO GARCÍA

Ingeniero Mecánico

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

2015

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	16
1. GENERALIDADES DE DRUMMOND LTD	17
1.1 PROCESO PRODUCTIVO	18
1.1.1 Exploración y Planeación.....	18
1.1.2 Perforación y Voladura	19
1.1.3 Carga y Transporte del Material Estéril a los Botaderos	19
1.1.4 Carga, Transporte del Carbón y Cargue de Trenes	20
1.1.5 Transporte del Carbón al Puerto y Cargue de los Barcos.....	20
1.2 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....	21
1.3 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO MOVIL.	22
1.3.1 Flota de Mantenimiento de Camiones	22
1.3.2 Flota de Mantenimiento de Cargadores.....	23
1.3.3 Flota de Mantenimiento Equipo Liviano y Lubricación	23
1.3.4 Flota de Mantenimiento de Tractores y Excavadoras	23
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.5 OBJETIVOS.....	25
1.5.1 Objetivo General	25
1.5.2 Objetivos Específicos.....	25
1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	26
2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	28
2.1 DEFINICIÓN DEL RCM	28
2.2 HISTORIA DEL RCM.....	29
2.3 LAS 7 PREGUNTAS BASICAS DEL RCM	33
2.3.1 Funciones	34

2.3.2 Fallas Funcionales	34
2.3.3 Análisis de Modos de Fallas	34
2.3.4 Efectos de Fallas	35
2.3.5 Consecuencias de las Fallas	35
2.3.6 Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivos	36
2.4 INDICADORES DE GESTION EN MANTENIMIENTO DE EQUIPO MINERO	37
2.4.1 Tiempo Promedio entre Paradas (MTBS)	38
2.4.2 Tiempo Promedio para Reparar (MTTR)	39
2.3.3 Disponibilidad (A)	40
3. CAMIONES ARTICULADOS D250	41
3.1 SISTEMA TREN DE POTENCIA	45
3.2 SISTEMA DE FRENOS	54
3.2.1 Sistema de frenado de servicio	55
3.2.2 Sistema de frenado secundario	56
3.2.3 Sistema de freno de estacionamiento	57
3.3 SISTEMA HIDRÁULICO DE DIRECCIÓN Y SUSPENSIÓN.	61
3.3.1 Sistema hidráulico de dirección	61
3.3.2 Sistema hidráulico se suspensión	66
3.3.3 Estructura	73
3.4 SISTEMA ELÉCTRICO	75
3.5 SISTEMA DE MEZCLA Y DESCARGA DE ANFO.	77
3.5.1 Panel De Control EC004	78
3.5.2 Panel De Control De Velocidad	79
3.5.3 Panel De Pantallas (DISPLAYS)	79
3.5.4 Estación De Mando Joystick	79
3.5.5 Estación De Mando Luces de Trabajo (WORK LIGHTS SWITCH. WL SW).	79
3.5.6 Gabinete De Cableado. Este gabinete permite:	80
3.5.7 Barrena De ANFO (ANFO AUGER. AN AUGER)	80
3.5.8 Bomba De Emulsión (EMULSION PUMP. EM PUMP)	80

3.5.9 Barrena Descarga Vertical (VERTICAL DISCHARGE AUGER. VD AUGER)	81
3.5.10 Bomba De Producto MONOFLO (PRODUCT PUMP. PP)	81
3.5.11 Bomba De Agua (WATER PUMP. WTR PUMP)	82
3.5.12 Manguera-Carrete (HOSE-REEL)	82
3.5.13 Estación De Mando Remoto	82
3.5.14 Estación De Mando Parada De Emergencia (EMERGENCY STOP)	83
3.5.15 Luces De Trabajo (WORK LIGHTS. WL)	83
3.5.16 Alimentación.	83
4. ANALISIS DE LOS DATOS DE MANTENIMIENTO DE LOS CAMIONES ARTICULADOS D250	88
5. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA IMPLEMENTACION DEL RCM PARA LA FLOTA CAMIONES ARTICULADOS D250.	103
5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	105
5.2 REEMPLAZO DE COMPONENTES MAYORES	111
5.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO O BASADO EN CONDICION CBM	114
5.4 ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS RM	115
6. CONCLUSIONES	116
BIBLIOGRAFÍA	118

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista aérea de la Mina Pribbenow	17
Figura 2. Esquema del Proceso Minero de Carbón	18
Figura 3. Perforación y voladura	19
Figura 4. Tren Drummond rumbo al puerto.....	21
Figura 5. Organigrama de Drummond.	21
Figura 6. Organigrama Flota de Equipo Móvil Drummond ltd.	22
Figura 7. Camión Caterpillar D250.....	23
Figura 8. Camión Articulado D250 con sistema ANFO.	24
Figura 9. Disponibilidad de la flota D250.	27
Figura 10. Componentes de un Programa de RCM.....	29
Figura 11. Perspectiva Tradicional de las Fallas de los equipos	30
Figura 12. Cambios en los Puntos de Vista sobre las fallas de los Equipos, Expectativas y Técnicas de Mantenimiento	32
Figura 13. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM.....	33
Figura 14. Diagrama de Decisión del Proceso de RCM.....	37
Figura 15. Bencnmark de MTBS para Equipos Mineros	39
Figura 16. Vista general camión D250	41
Figura 17. Sistema tren de potencia.	45
Figura 18. Motor Caterpillar 3306 DITA	47
Figura 19. Bomba de la unidad de transmisión.....	48
Figura 20. Localización de la válvula de alivio de la salida del convertidor del par	49
Figura 21. Válvula de alivio de la salida del convertidor del par.	50
Figura 22, Transmisión planetaria.....	51
Figura 23. Mandos finales.....	53
Figura 24. Esquema de sistema de frenos	54
Figura 25. Ubicación válvula freno de servicio.....	55

Figura 26. Ubicación de los acumuladores de frenos de servicio.	56
Figura 27. Válvulas de freno de parqueo y de freno secundario.....	57
Figura 28. Freno de estacionamiento.	57
Figura 29. Control de freno de parqueo y panel de indicadores	58
Figura 30. Ubicación de la válvula de freno de parqueo	59
Figura 31. Ubicación del acumulador del freno de estacionamiento.....	59
Figura 32. Interruptor de presión para el indicador de baja presión de frenado.....	60
Figura 33. Interruptor de presión para el indicador de luces de freno.....	60
Figura 34. Sistema de dirección primaria (Volante estacionario).....	61
Figura 35. Sistema de dirección primaria (Volante girando)	63
Figura 36. Ubicación de la HMU	64
Figura 37. Unidad de dosificación manual HMU	64
Figura 38, sección de dosificación.....	65
Figura 39. Ubicación de la válvula de control de la dirección.	66
Figura 40. Sistema hidráulico suspensión delantera.....	67
Figura 41. Ubicación de la válvula de cierre.	68
Figura 42. Acumulador.....	69
Figura 43. Ubicación del acumulador.....	70
Figura 44. Cilindro de suspensión.....	70
Figura 45. Geometría de la suspensión delantera.	71
Figura 46. Geometría de la suspensión trasera.....	72
Figura 47. Suspensión trasera desde la vista A.....	73
Figura 48. Marco de la estructura.	74
Figura 49. Diagrama de funcionamiento normal de EPTC II.....	76
Figura 50. Sistema de mezcla y descarga de ANFO.	77
Figura 51. Ubicación de los componentes del sistema Tradestar.....	78
Figura 52. Diagrama de flujo del sistema Tradestar.	84
Figura 53. Diagrama de bloques del sistema TRADESTAR.....	85
Figura 54. Válvulas solenoides.	86
Figura 55. Disponibilidad de la flota D250.	88

Figura 56. Formato1 de inspección de grietas en PCR's112
Figura 57. Formato 2 de inspección de grietas en PCR's113

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Flota de Camiones articulados.....	42
Tabla 2. Características técnicas D250	43
Tabla 3. Condiciones operacionales D250	44
Tabla 4. Embragues ocupados por velocidades	52
Tabla 5. Historial de fallas.....	89
Tabla 6. Definición de funciones	90
Tabla 7. Fallas totales por equipos y por modos de falla	91
Tabla 8. Sistemas con más intervenciones.....	92
Tabla 9. Valores de ponderación para análisis de criticidad.	93
Tabla 10. Calculo de criticidad.	94
Tabla 11. Análisis de modo y efecto de fallas del motor.	95
Tabla 12. Análisis de modo y efecto de fallas 2 del motor.	96
Tabla 13. Análisis de modo y efecto de fallas del sistema de ANFO.	97
Tabla 14. Análisis de modo y efecto de fallas 2 del sistema de ANFO.	98
Tabla 15. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas del sistema motor ..	99
Tabla 16. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas 2 del sistema motor	100
Tabla 17. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas del sistema ANFO.	101
Tabla 18. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas 2 del sistema ANFO.	102
Tabla 19. Planeación estratégica del RCM.....	104
Tabla 20. Rutinas de mantenimiento preventivo.	106
Tabla 21. Check list de rendimiento.....	107
Tabla 22. Check list motor	108
Tabla 23. Check list sistema ANFO	109

Tabla 24. Check list sistema ANFO 2	110
Tabla 25. Promedio de elementos de desgaste.....	114

RESUMEN

TITULO:

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA EL PARQUE DE CAMIONES ARTICULADOS CATERPILLAR D250 TRANSPORTADORES DE EXPLOSIVOS DE LA EMPRESA DRUMMOND LTD*

AUTORES:

JESÚS BARRIOS MEZA, NEIDER JOSÉ DEARMAS PEREZ**

PALABRAS CLAVE:

RCM, Camión articulado, Disponibilidad, Confiabilidad, AMEF.

DESCRIPCION:

En este trabajo de monografía se propone un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM con el fin de mejorar los niveles de disponibilidad y confiabilidad de la flota formada por 14 camiones articulados modelo Caterpillar D250 modificados y dispuestos con un sistema especial de ANFO para el transporte, descarga y suministro de explosivos dentro de los agujeros perforados para el proceso de voladura en la mina Pribenow de la empresa dedicada a la explotación de carbón térmico Drummond Ltd. Para el correcto desarrollo de la estrategia se identifican detalladamente los respectivos parámetros operacionales y condiciones de trabajo de los sistemas y subsistemas que conforman los equipos Caterpillar D250, lo que permite conocer específicamente la funcionalidad de los componentes que conforman los camiones articulados. Así mismo se realiza un análisis de criticidad cuantitativa teniendo en cuenta varios factores como el efecto sobre el servicio que proporciona, el valor técnico-económico, si la falla afecta al equipo en sí, al servicio, al operador y/o a la seguridad en general, la probabilidad de la falla (alta o baja) para lo cual se analiza el historial de fallas, la flexibilidad del equipo en el sistema, la dependencia logística de los repuestos (si están disponibles localmente o en el extranjero), la dependencia de la mano de obra, la facilidad de la reparación (Mantenibilidad). Después se realiza un análisis de modo y efecto de fallas AMEF de los sistemas críticos para seleccionar y proponer las rutinas apropiadas de los programas de mantenimiento.

* Monografía

** Facultad de ingenierías Físico- Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Ing. Juan Carlos Naranjo García.

SUMMARY

TITLE:

MODEL OF RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE RCM FOR CATERPILLAR D250 ARTICULATED TRUCKS FLEET CARRIERS OF EXPLOSIVES OF DRUMMOND LTD COMPANY*

AUTHORS:

JESÚS BARRIOS MEZA, NEIDER JOSÉ PEREZ DEARMAS**

KEY WORDS:

RCM, Articulated truck, Availability, Reliability, FMEA.

SUBJECT:

This monograph work proposes a model of reliability centered maintenance RCM in order to improve levels of availability and reliability of the fleet of 14 articulated trucks Caterpillar D250 model, modified and arranged with a special system to transport ANFO is proposed, for download and supply of explosives into the holes drilled for blasting process in the Pribenow mine of the Drummond Ltd company dedicated to the exploitation of thermal coal. For the correct development of the strategy are identified in detail the respective operating parameters and working conditions systems and subsystems that make equipment Caterpillar D250 model, allowing know specifically the functionality of the components that make articulated trucks. Also quantitative criticality analysis taking into account various factors such as the effect on the service provided, the technical and economic value, if the failure affects the equipment itself, the service, the operator and / or general safety, The probability of failure (high or low) for which it analyzed the failure history, the flexibility of equipment in the system, logistics availability of the parts (if available locally or abroad), the dependence of the work force, easy of repair (Maintainability). After is performed an analysis of failure modes and effects FMEA of the critical systems to select and propose appropriate routine maintenance programs.

*Monograph.

**Faculty of Physics-Mechanicals Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Eng. Juan Carlos Naranjo García.

INTRODUCCION

La empresa multinacional Drummond Ltd. cuenta con un parque de Camiones para transporte y suministro de explosivos, desde el punto donde se realiza la mezcla hasta la descarga en los agujeros perforados en el lugar de la voladura, entonces se hace necesario diseñar y proponer estrategias de mantenimiento que permitan incrementar los valores de confiabilidad tales como los MTBS lo que conllevará a un aumento significativo en los niveles de disponibilidad en los equipos previniendo fallos, reduciendo tiempos improductivos y costos de mantenimiento.

El trabajo que se pretende llevar a cabo es la elaboración de un modelo estratégico y metodológico de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para la flota de camiones articulados para el transporte de mezcla de explosivos CAT D250, que va encaminado a disminuir los tiempos indisponibles de los equipos, de la misma manera establecerá métodos que permitan actuar anticipadamente ante las potenciales fallas que puedan manifestarse lo que permitirá tener maquinas con mayor confiabilidad debido a una mejor utilización de los recursos del área de mantenimiento de la empresa. De la misma manera contar con una flota de camiones con mayor disponibilidad permitirá un mejor desempeño de los equipos cumpliendo sus funciones y evitará demoras nocivas dentro de la etapa de voladura de material estéril, lo cual representa tiempo y dinero para la compañía evidenciado en la prevención de atrasos intrínsecos en las fases siguientes del proceso productivo

Para la realización de la propuesta de RCM se utilizaran herramientas muy útiles como el análisis de modos y efectos de falla AMEF y estudios cualitativos de niveles de criticidad.

1. GENERALIDADES DE DRUMMOND LTD

Drummond Company, Inc. es una empresa de los Estados Unidos dedicada principalmente al negocio de la minería, compra, procesamiento y venta del carbón y sus derivados.

Drummond Ltd. es la sucursal en Colombia de la compañía Drummond Company, Inc., desde mediados de la década de los ochenta se iniciaron los trámites y procedimientos legales para desarrollar un proyecto minero en medio del departamento del Cesar, particularmente en el área comprendida entre los municipios de El Paso, La Jagua de Ibirico y Chiriguaná, zona a la que se le denominó Mina Pribbenow. Drummond Ltd. también opera desde Junio del 2009 la Mina el Descaso localizada a 17 kilómetros al norte de la Mina Pribbenow, los dos proyectos alcanzan a tener reservas de más de 2.250 millones de toneladas de carbón¹

Figura 1. Vista aérea de la Mina Pribbenow



Fuente: <http://earth.google.es>

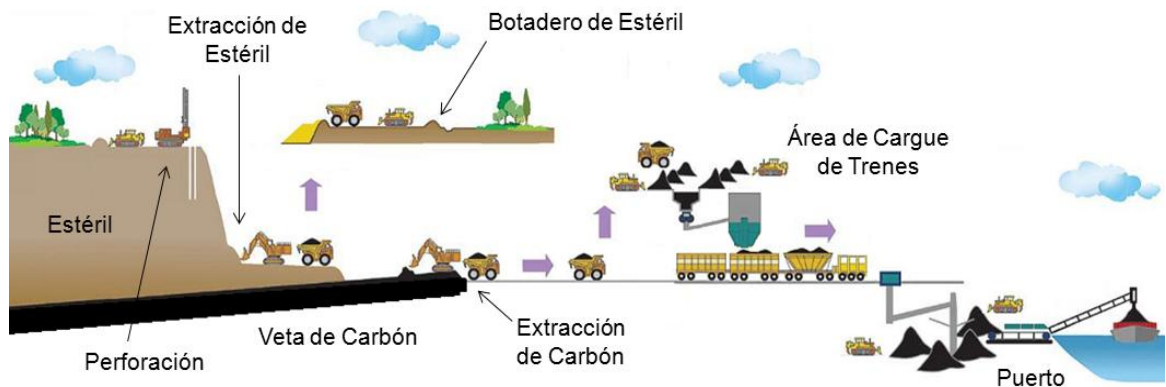
¹ DRUMMOND. Responsabilidad Social Corporativa – 2009, p. 15.

La Mina Pribbenow es una mina de carbón a cielo abierto que se encuentra a 178 kilómetros al sur de Valledupar (Cesar), la primera visita de ingeniería al área se realizó en 1986 y el 1988 Drummond Ltd. firmo el primer contrato para iniciar la exploración con el gobierno Colombiano, la construcción de la Mina inicio en 1994 y los primeros despachos de carbón se realizaron en 1995, el crecimiento de la producción de carbón ha sido excepcional de 1.7 millones de toneladas en 1995 a 22 millones de toneladas en el 2008²

1.1 PROCESO PRODUCTIVO

El complejo minero de Drummond Ltd se compone de cinco procesos descritos a continuación:

Figura 2. Esquema del Proceso Minero de Carbón



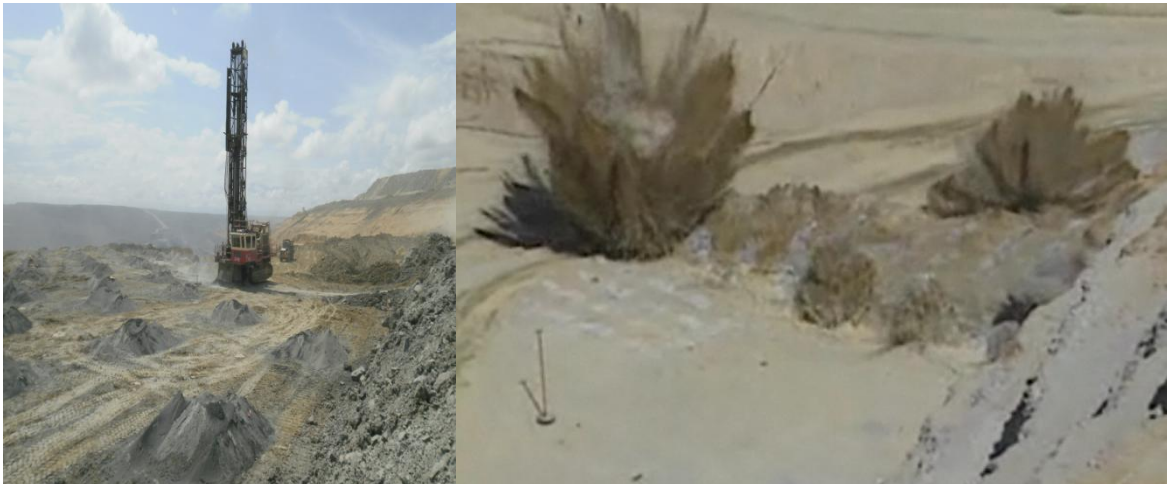
Fuente: <http://www.itmg.co.id>

1.1.1 Exploración y Planeación. En esta etapa se realizan todos los estudios geológicos, geotécnicos y de ingeniería necesaria para determinar la ubicación, inclinación, espesor y calidad de los mantos de carbón, en esta etapa se definen las áreas a intervenir, el frente de explotación, la maquinaria requerida, la zona de ubicación del material estéril y la construcción de las vías.

² Moore, Paul. Mining Magazine, Mina Pribbenow Mine of the month -2008, p. 28.

1.1.2 Perforación y Voladura. La Mina Pribbenow tiene dos tipos de material estéril aluvión (sedimento aluvial) que es un material de arcilla arenoso con bandas de roca de río de una profundidad de 50 metros que no necesita ser volado y la típica roca que se encuentra a una profundidad de más de 50 metros y en las que es necesario realizar voladuras debido a que es un roca muy dura. La roca es taladrada y volada con una mezcla de 50% ANFO (Nitrato de Amonio y Combustible Diesel) y 50 % Emulsión, las voladuras son diseñadas basadas en un factor de pulverización y considerando las características únicas de cada veta, los agujeros perforados son cargados usando una camión articulado de explosivos Caterpillar D250.

Figura 3. Perforación y voladura



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

1.1.3 Carga y Transporte del Material Estéril a los Botaderos. Después de realizar las voladuras la compañía utiliza cuatro métodos para retirar la tierra que está encima del carbón y cargar este material estéril a los botaderos. Todos estos métodos movieron un total de 184 Mbcm (Million Bank Cubic Metre, millones de metros cúbicos de roca antes de ser taladrada y volada).

1.1.4 Carga, Transporte del Carbón y Cargue de Trenes. Al retirar la capa de material estéril que está encima del carbón crudo este se carga a Camiones Caterpillar Modelo 777 o 785 con palas Hidráulicas Komatsu PC1000, DEMAG H285-H185 o con Cargadores de ruedas Caterpillar 992C, la gruesa veta de carbón es volada para realizar la carga a los camiones, el espesor de la veta de carbón es de 8 metros en promedio, los camiones transportan el carbón al Load Out (Área de Carga de los Trenes) que está localizado a 5 kilómetros del centro de la mina, el recorrido promedio de los camiones es de 4.84 km y el tiempo promedio del ciclo es de 40.5 minutos.

El carbón es descargado en el Load Out y Tractores Caterpillar Modelo D10 empujan el carbón hasta los trituradores y alimentadores para mezclar y triturar el carbón que a través de bandas transportadoras es cargado en los vagones de los trenes según los requerimientos de los clientes. El Load Out tiene una capacidad de 6000 toneladas/hora para cargar el tren. El tren consta de tres locomotoras y 120 vagones de 50 toneladas cada uno y se carga en una hora en promedio. En el 2007 se cargaron 3.773 trenes para un total de 22.638.000 toneladas de carbón transportado al puerto.

1.1.5 Transporte del Carbón al Puerto y Cargue de los Barcos. Drummond Ltd es propietario de la línea férrea de la Mina Pribbenow hasta puerto Drummond en Santa Marta que está a 192 Kilómetros de la mina, el viaje del tren cargado de la mina al puerto toma 4.2 horas y el de retorno toma 3.8 horas, el puerto tiene una capacidad de 1 millón de toneladas en el área de almacenamiento, la flota de trenes está compuesta por 36 locomotoras y 1463 modernos vagones de aluminio con acople rotatorio; actualmente se movilizan en promedio 13 trenes diarios.

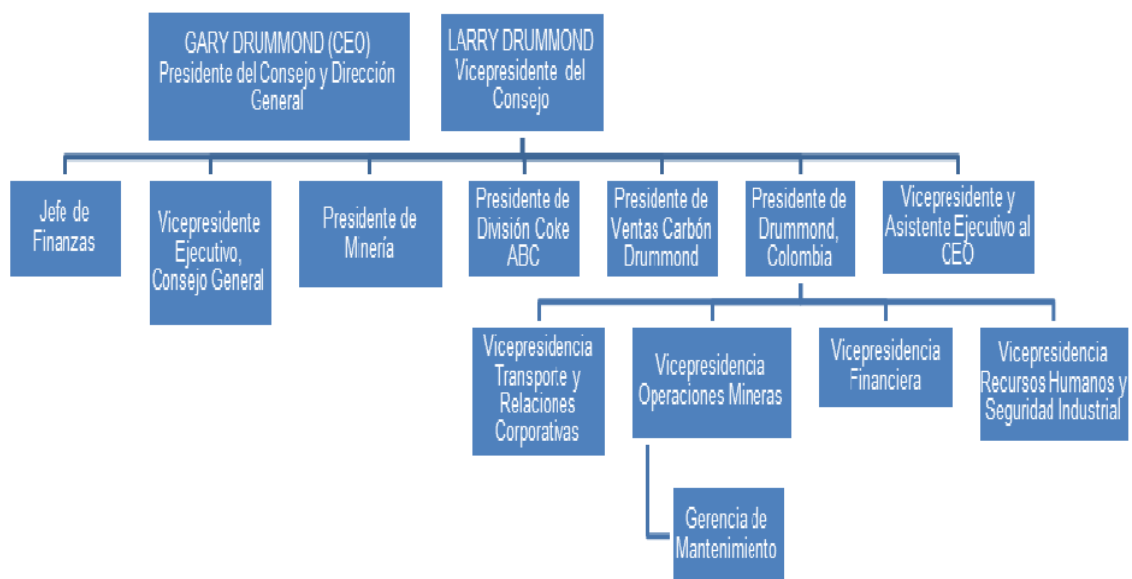
Figura 4. Tren Drummond rumbo al puerto



Fuente: DRUMMOND. Responsabilidad Social Corporativa – 2009

1.2 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

Figura 5. Organigrama de Drummond.

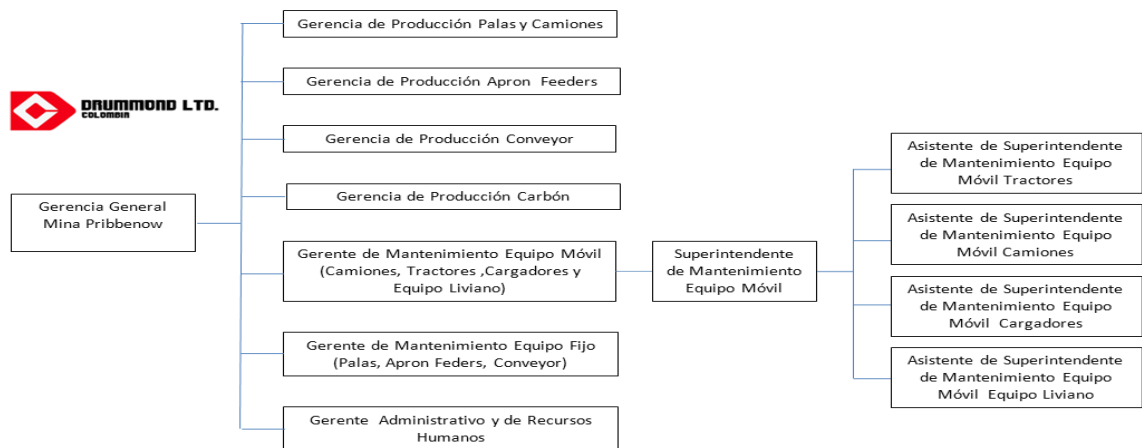


Fuente. Recursos humanos.

1.3 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO MOVIL.

El departamento de mantenimiento equipo móvil de la mina Pribbenow se encarga de mantener una flota de equipos con características similares, se clasifican en la flota de mantenimiento de equipos pesados Camiones, Tractores y Cargadores de los cuales el 95% de los equipos son marca Caterpillar y la flota de mantenimiento de equipo liviano y lubricación. Los talleres de mantenimiento se encuentran ubicados en la misma área dentro de la mina

Figura 6. Organigrama Flota de Equipo Móvil Drummond Ltd.



Fuente: Recursos Humanos Drummond Ltd.

1.3.1 Flota de Mantenimiento de Camiones. La flota de mantenimiento de camiones presta servicio a los camiones de acarreo de material estéril y de carbón modelos 793, 785 y 777 de Caterpillar y Komatsu 830E, Tanqueros modelo 777, Camiones de lubricación modelo 777 y Camabajas para transporte de equipo de oruga modelo 785 y 777, la flota de camiones consta en total con 262 equipos.

1.3.2 Flota de Mantenimiento de Cargadores. La flota de mantenimiento de cargadores es la flota más variada en cuanto a tipos y modelos de equipos, esta flota maneja todos los equipos Caterpillar que ruedan sobre llantas exceptuando camiones, dentro de los tipos de equipos más representativos están los Cargadores Modelo 998, 992, las motoniveladoras 24H, 16 H, camiones articulados modelo D250, los cuales son el objeto de estudio de este trabajo, Tractores de llantas, mini cargadores etc. Esta flota cuenta en total con más de 128 Equipos.

Figura 7. Camión Caterpillar D250



Fuente. Brochure D250.

1.3.3 Flota de Mantenimiento Equipo Liviano y Lubricación. La flota de mantenimiento de equipo liviano y lubricación maneja todas las camionetas y camiones medianos que sirven de soporte para la operación de la mina y también se encarga de realizar todos los servicios de lubricantes a todos los equipos de la mina, en esta flota también se incluyen equipos de soporte como luminarias, compresores y generadores de energía diesel

1.3.4 Flota de Mantenimiento de Tractores y Excavadoras. La flota de mantenimiento tractores y excavadoras maneja 153 equipos entre tractores de oruga de diferente modelos (D11R, D11T, D11N, D10.5, D10R, D9L y D6) y excavadoras (350, 345, 330 y 320).

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Drummond Ltd. es una empresa multinacional dedicada principalmente al negocio de la minería, extracción, procesamiento y venta del carbón térmico.

Dentro del aparato productivo de la empresa, posterior a la fase de exploración y planeación, se encuentra el proceso de perforación y voladura, dentro del cual los agujeros perforados son cargados con una mezcla de ANFO y emulsión por medio de los camiones articulados de explosivos Caterpillar D250.

La función principal de estas máquinas es la de transportar y suministrar la mezcla de explosivos desde el lugar donde se realiza la mezcla hasta el punto donde se va a realizar la voladura del material estéril, dichos equipos son el objeto de estudio de este trabajo.

Figura 8. Camión Articulado D250 con sistema ANFO.



Fuente: Autores

La perforación y voladura de material estéril es una de las primeras fases dentro de todo el proceso lucrativo, por ende demoras o problemas ocasionados en este

periodo, reflejan demoras en el transcurso de las fases siguientes de carga, transporte de carbón hacia los trenes, cargue a trenes, transporte de carbón al puerto y cargue de los barcos.

Actualmente el departamento de mantenimiento enfrenta el problema de baja disponibilidad (A) en estos equipos en ocasiones muy por debajo de los niveles esperados teniendo en cuenta los niveles comparativos benchmarking para este tipo de maquinaria.

Nace entonces la necesidad de realizar un estudio metodológico de mantenimiento centrado en confiabilidad que permita incrementar los valores de confiabilidad como los MTBS lo cual conllevará a un aumento significativo en los niveles de disponibilidad en los equipos previniendo fallos, reduciendo tiempos improductivos y costos de mantenimiento.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General. Realizar un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para el parque de camiones articulados CAT D250 transportadores de explosivos de la empresa Drummond Ltd.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar los sistemas que conforman los equipos D250 especificando sus respectivos parámetros operacionales y condiciones de trabajo.
- Analizar la funcionalidad de los sistemas y subsistemas que conforman los camiones articulados CAT D250.

- Identificar componentes o elementos críticos y no críticos dentro de los equipos que conforman la flota de camiones que permita priorizar las actividades de mantenimiento.
- Efectuar un análisis de modo y efecto de fallos AMEF teniendo en cuenta datos operacionales de los equipos considerados conociendo el origen de las fallas y como se manifiestan.
- Realizar la propuesta estratégica basada en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para la flota de camiones articulados para el transporte de mezcla de explosivos.

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

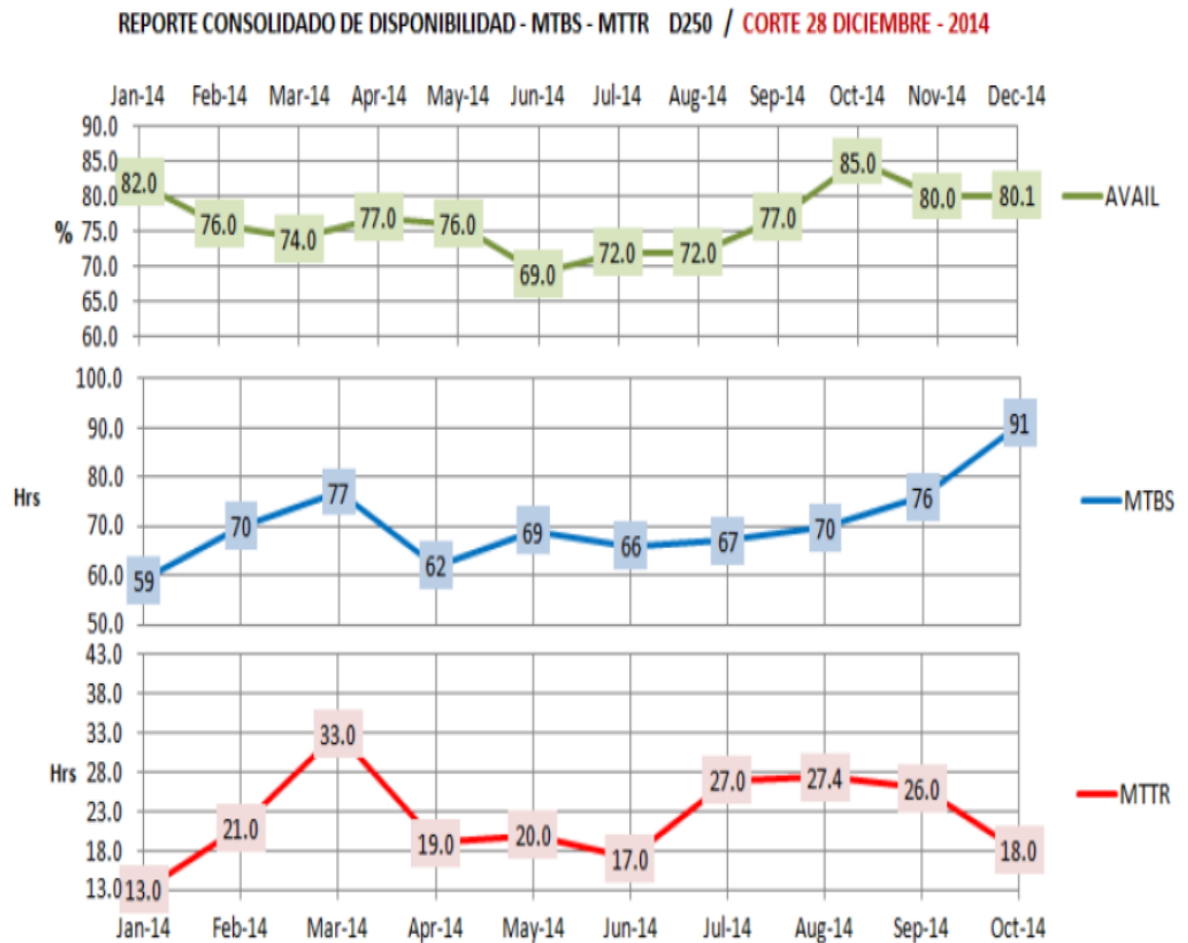
La elaboración de un modelo estratégico y metodológico de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para la flota de camiones articulados para el transporte de mezcla de explosivos CAT D250 va encaminado a disminuir los tiempos indisponibles de los equipos, de la misma manera establecerá métodos que permitan actuar anticipadamente ante las potenciales fallas que puedan manifestarse lo que permitirá tener maquinas con mayor confiabilidad debido a una mejor utilización de los recursos del área de mantenimiento de la empresa.

Del mismo modo tener una flota de camiones con mayor disponibilidad permitirá un mejor desempeño de los equipos cumpliendo sus funciones y evitará demoras nocivas dentro de la etapa de voladura de material estéril, lo cual representa tiempo y dinero para la compañía evidenciado en la prevención de atrasos intrínsecos en las fases siguientes del proceso productivo.

Con la elaboración de una propuesta para el modelo de optimización de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) permitirá al departamento de mantenimiento de la flota de camiones articulados Caterpillar D250 mejorar su

funcionalidad reflejado en un aumento de los niveles de confiabilidad (MTBS) y de la disponibilidad (A) los cuales son bajos.

Figura 9. Disponibilidad de la flota D250.



Fuente. Director del proyecto

2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

2.1 DEFINICIÓN DEL RCM

La Norma SAE JA1011 define el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la siguiente manera:

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional³”

En el Libro de RCM II de John Moubray el autor plantea la siguiente definición:

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual⁴”.

“El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle⁵”

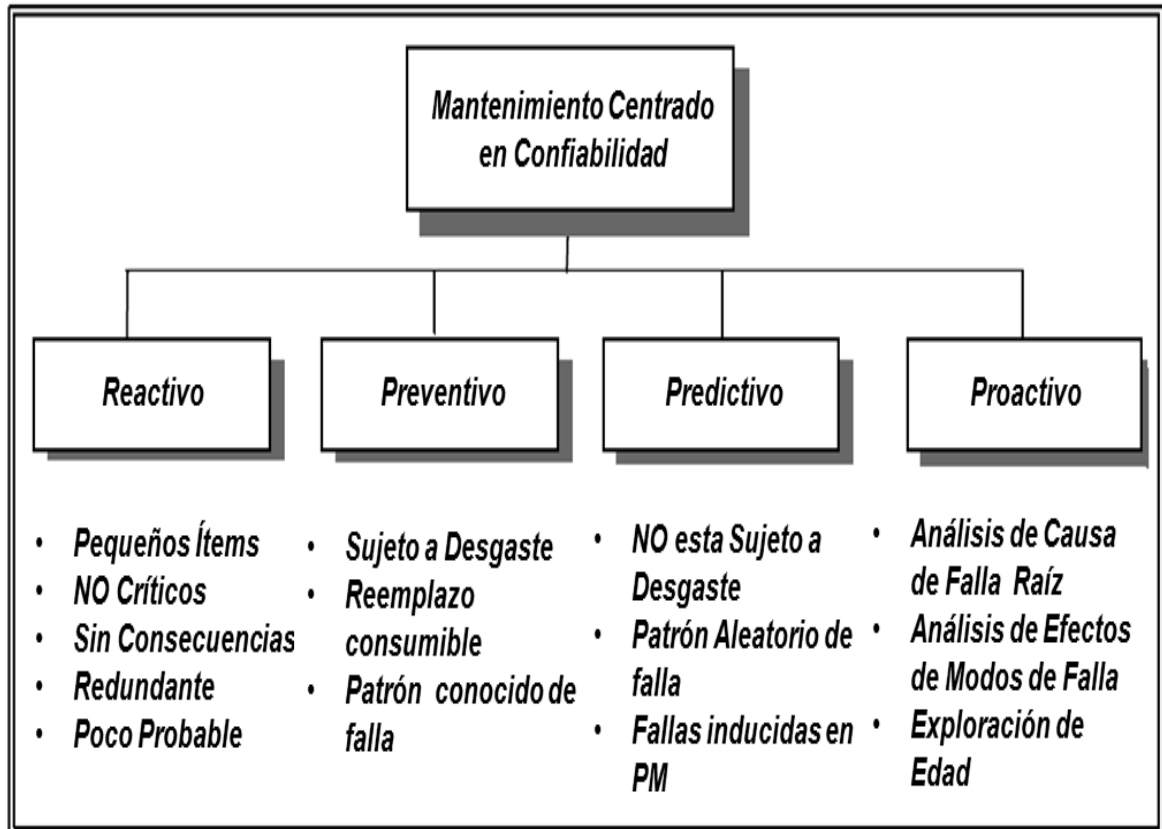
En conclusión el RCM es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Predictivo) necesarias para que los activos cumplan con su función en su contexto operacional

³ SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999

⁴ MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P.7.

⁵ NASA. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. 2000. P. 1-1

Figura 10. Componentes de un Programa de RCM



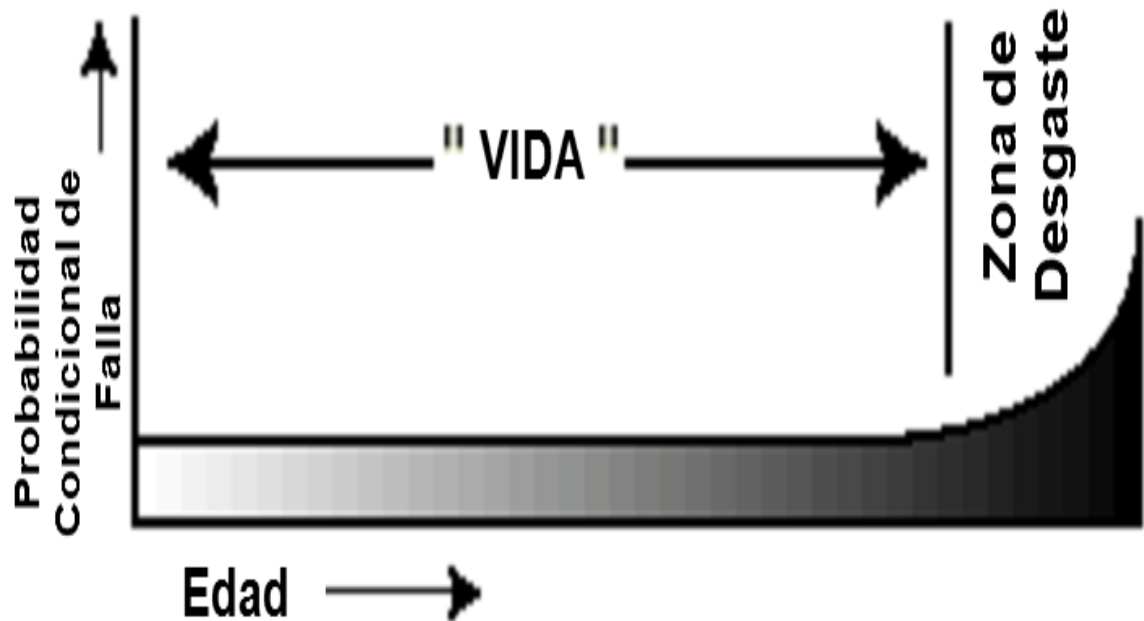
Fuente: NASA Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment.

2.2 HISTORIA DEL RCM.

EL 1974, EL departamento de defensa de los Estados Unidos le asignó a la empresa United Airlines preparar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar programas de mantenimiento para los aviones, este informe fue realizado por F. Stanley Nowlan director de análisis de mantenimiento de United Airlines y Howard F. Heap, gerente de planeación del programa de mantenimiento de United Airlines, el documento fue publicado en

1978 y fue titulado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad⁶ o RCM por sus siglas en inglés Reliability-Centered Maintenance.

Figura 11. Perspectiva Tradicional de las Fallas de los equipos



Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, John Moubray

El RCM se desarrolló debido a que en las teorías de mantenimiento de la época siempre habían relaciones causa efecto entre el mantenimiento programado y la confiabilidad operacional, esta suposición estaba basada en la creencia intuitiva de que las partes mecánicas se desgastaban y que la confiabilidad de cualquier equipo estaba directamente relacionada con la edad operacional⁷ (ver figura) , el único problema que había era determinar la edad límite de las partes para reemplazarlas y asegurar una operación confiable.

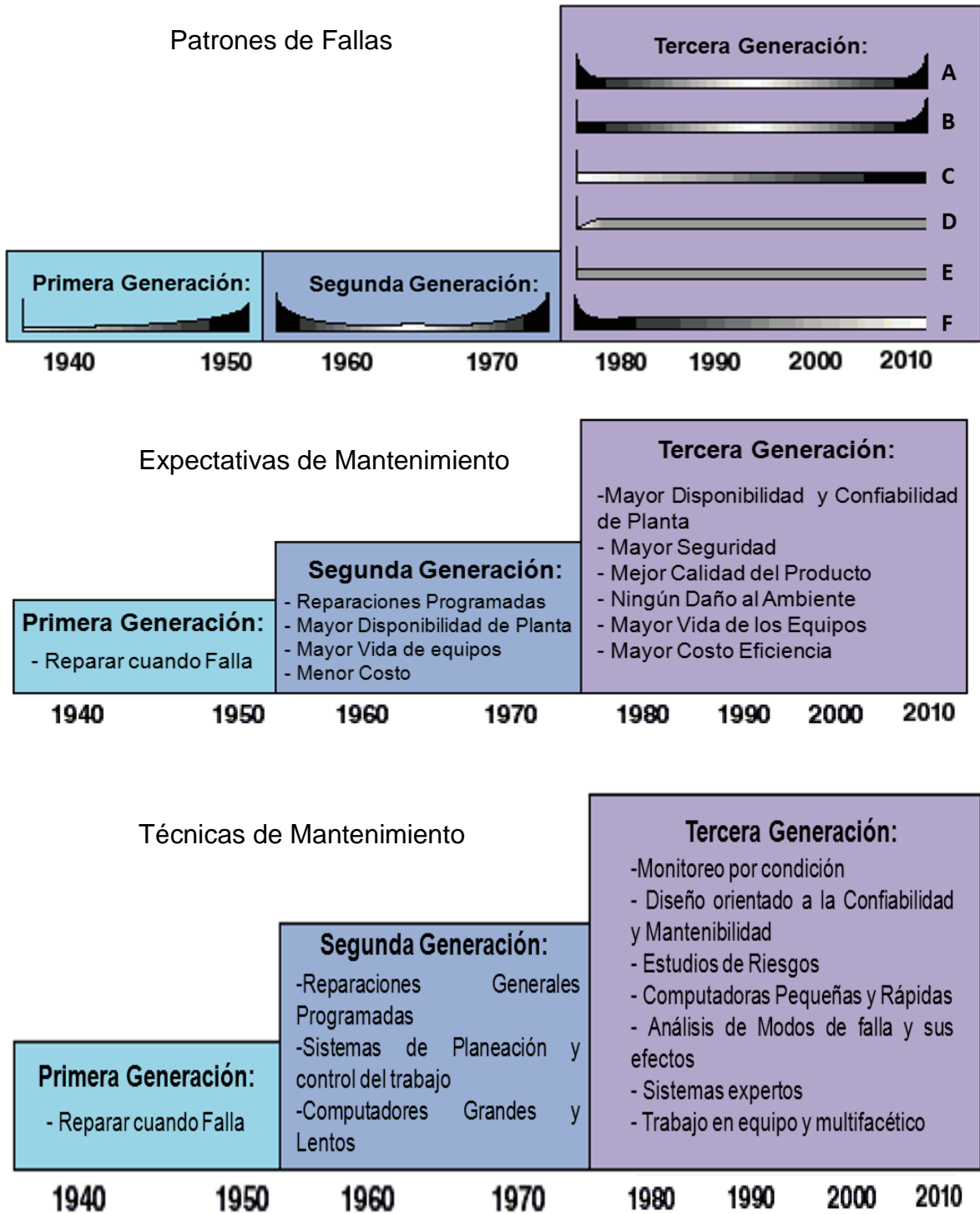
⁶ MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 318.

⁷ NOWLAN. Stanley. HEAP, Howard. Reliability-Centered Maintenance. San Francisco: U.S. Department of Commerce, 1978.P.2.

Las teorías de la primera y segunda generación del mantenimiento utilizaban como modelos los patrones de falla tradicionales como el Patrón A o curva de la Bañera que comienza con una gran incidencia de fallas (mortalidad infantil) seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla y por último una zona de desgaste o el Patrón B (ver figura) que muestra una probabilidad condicional de falla constante o que crece lentamente y que termina también en una zona de desgaste.

Sin embargo a través de los años se descubrió que muchos tipos de fallas no podían ser prevenidas de forma efectiva sin importar cuán intensas fueran las actividades de mantenimiento preventivo que se realizaran debido a que las fallas no seguían los patrones tradicionales A o B, pero gracias a las investigaciones realizadas en la industria de la aviación se logró determinar que habían en realidad seis patrones de falla distintos que afectaban la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos, con estos cambios de paradigmas se inició la tercera generación del mantenimiento en el cual las exigencias y expectativas de mantenimiento son mucho mayores lo que obligó a realizar también cambios radicales en las técnicas y teorías del mantenimiento (ver figura)

Figura 12. Cambios en los Puntos de Vista sobre las fallas de los Equipos, Expectativas y Técnicas de Mantenimiento



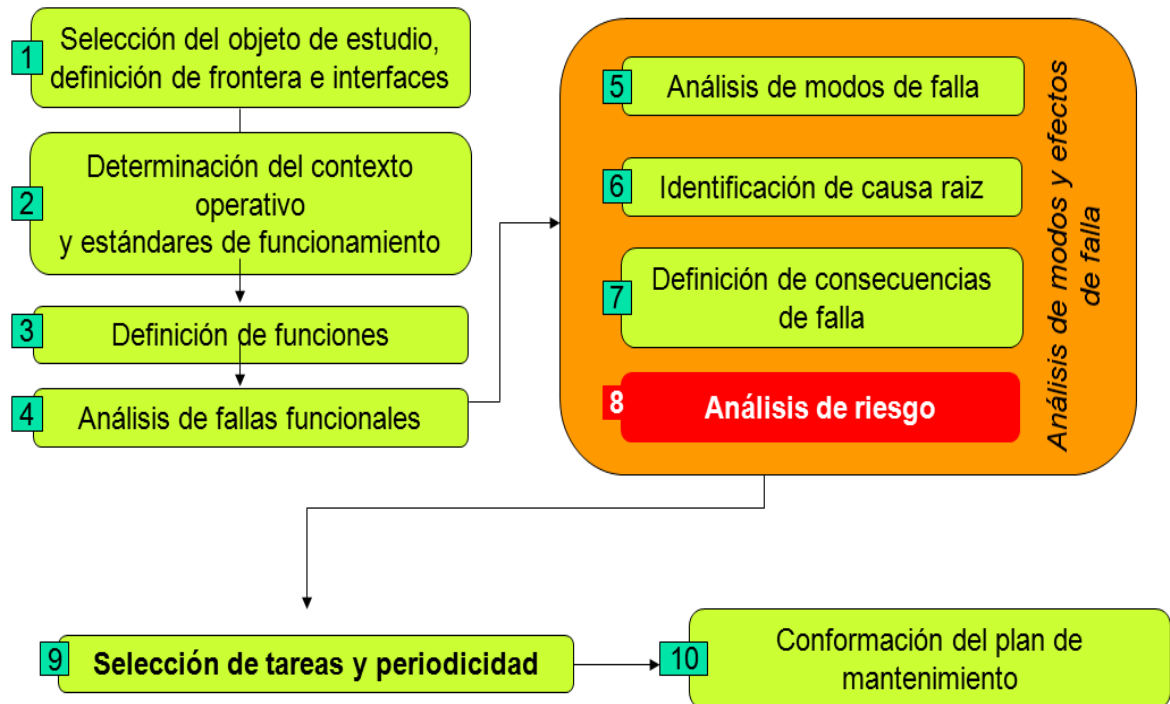
Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, John Moubray

2.3 LAS 7 PREGUNTAS BASICAS DEL RCM

El RCM plantea siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar:

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

Figura 13. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM



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

2.3.1 Funciones. Parámetros de Funcionamiento y Contexto Operacional, el primer paso en el proceso del RCM es definir las funciones básicas de cada activo en su contexto operacional, o sea determinar qué es lo que los usuarios quieren que haga y asegurar que es capaz de realizarlo, las funciones se dividen en dos categorías:

Funciones primarias, estas son la razón de ser del activo o para que se adquirió el activo

Funciones Secundarias, son las funciones adicionales que cumple el activo, estas están relacionadas con confort, seguridad, apariencia, protección, regulaciones ambientales, etc.

2.3.2 Fallas Funcionales. Estas se presentan cuando el activo no cumple una función primaria o secundaria de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable, se responde a la pregunta ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?.

2.3.3 Análisis de Modos de Fallas. Después de identificar las fallas funcionales hay que identificar los hechos que posibles que puedan haber causado cada estado de falla se responde la pregunta ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, dentro de estos modos de fallas se incluyen las causadas por deterioro o desgaste, por errores humanos (operadores y personal de mantenimiento) y por errores de diseño. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado, las cinco causas de la pérdida de la capacidad son, deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos

- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial, esto se presenta cuando hay sobrecarga deliberada sobre el activo de forma constante y sobrecarga no intencional constante o repentina
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

2.3.4 Efectos de Fallas. En este paso se describe que pasa cuando ocurre un modo de falla, un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia de falla, el efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? Mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué Importancia Tiene?, al describir un efecto de falla de hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla
- La forma en que la falla supone una amenaza para la seguridad o en ambiente
- La forma en que afecta producción o la operación
- Los daños físicos causados por la falla
- Que debe hacerse para reparar la falla.

2.3.5 Consecuencias de las Fallas. En este paso se responde a la pregunta ¿En qué sentido es importante cada falla? para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuáles no debido a las consecuencias de las fallas, se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente, las consecuencias se dividen en cuatro grupos, las consecuencias por fallas ocultas, consecuencias ambientales y para la seguridad, consecuencias operacionales y No operacionales.

2.3.6 Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivos. En este paso se da respuesta a las preguntas ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir esta falla? y ¿Qué sucede si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva apropiada?, el objetivo de este punto que acciones pueden tomarse para manejar las fallas, las acciones pueden dividirse en dos categorías: Tareas proactivas y Acciones a falta de. Las tareas proactivas se llevan a cabo antes de que ocurra una falla, con el objetivo que el componente llegue a un estado de falla y abarcan las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo pero cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva es necesario realizar “acciones a falta de” que incluyen procedimientos de búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura. La factibilidad técnica de una tarea de mantenimiento se define como: “Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al usuario del activo⁸”

Al conocer los modos y efectos de las fallas y sus consecuencias, podemos determinar si la falla es merecedora de prevención, esfuerzos para predecirla, algún tipo de intervención periódica para evitarla, rediseño para eliminarla, o simplemente ninguna acción. Para realizar este proceso se debe seguir el árbol lógico de decisiones del RCM y de esta forma encontrar cuáles son las tareas adecuadas y el programa de mantenimiento a realizar a los activos físicos

⁸ MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 132.

condiciones de operación cambian con el tiempo de trabajo, generalmente estas condiciones de operación se vuelven más severas a medida que la mina crece y se hace más profunda, por lo tanto es el usuario final el que tiene una enorme capacidad de influenciar en el desempeño de los equipos mineros, para cuantificar el desempeño de los equipos se deben tener criterios de medición claramente establecidos debido a que sin estos parámetros de medición la gerencia de mantenimiento se basaría en la intuición, las mediciones que se deben hacer en el mantenimiento de equipo minero son, Tiempo Promedio entre Paradas (Mean Time Between Shutdowns MTBS), Tiempo Promedio para Reparar (Mean Time To Repair MTTR) y Disponibilidad (Availability A), sin el manejo adecuado de estos indicadores no se pueden mejorar los procesos de mantenimiento

“No se puede administrar lo que no se puede controlar, No se puede controlar lo que no se puede medir, No se puede medir sin un objetivo y sin un objetivo No se puede mejorar⁹”

2.4.1Tiempo Promedio entre Paradas (MTBS). Es el más importante parámetro de medición de la gerencia de mantenimiento de equipo minero, es la frecuencia promedio de eventos de paradas de los equipos expresadas en horas, se obtiene dividiendo el total de horas operadas sobre el número de paradas. Las más exitosas operaciones que administran y mantienen equipos mineros tienen largos periodos de operación ininterrumpida o MTBS altos, el MTBS es una medida que combina los efectos de la confiabilidad inherente de la máquina y la efectividad de la gerencia de mantenimiento, la fórmula del MTBS es la siguiente:

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

⁹ CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc, 2005. P.3.

Las horas operadas se toman del horómetro de la máquina y el número de paradas de se obtienen de la historia en las ordenes de trabajo, el punto de referencia o Benchmark de MTBS para equipos mineros varía según el modelo de la máquina, para camiones de acarreo Caterpillar 793 el MTBS es de 80 horas¹⁰, en la tabla siguiente se encuentran listadas las características de la organizaciones de mantenimiento según los resultados del MTBS y el MTBS según los modelos de equipos mineros más comunes:

Figura 15. Benchmark de MTBS para Equipos Mineros

MTBS	Características de la Organización de Mantenimiento
50 a 60 horas	Excelente, Alto % de paradas programadas: la Gerencia de Mantenimiento es altamente proactiva
40 a 50 horas	Aceptable, la mayor parte del tiempo en paradas programadas: se debe mejorar la Gerencia Mto
30 a 40 horas	Marginal, la mitad del tiempo en paradas programadas: La Gerencia Mto no funciona completamente
20 a 30 horas	Marginal, < 40% del tiempo en paradas programadas: La Gerencia Mto hace el esfuerzo mínimo
<20 horas	Pobre, solo los PMs son programados: La Gerencia Mto es totalmente reactiva

Fuente: CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Equipment

2.4.2 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 los factores que contribuyen a la duración de la parada de una máquina, el MTTR es un indicador que cuantifica el tiempo de las reparación, que tan rápidas o lentas son las reparaciones en la parada de un equipo. El MTTR combina los efectos de la mantenibilidad inherente de la máquina y la eficiencia de la organización de mantenimiento, se calcula de la siguiente forma:

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

¹⁰ CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc, 2005. P.11.

El Benchmark de MTTR para equipos mineros varia también según los tipos y modelos de máquinas, para camiones de acarreo Caterpillar 793 es de 3 a 6 horas¹¹.

2.3.3 Disponibilidad (A). Es la relación entre el MTBS (frecuencia promedio de paradas) y la suma del MTBS y MTTR (Duración Promedio de paradas) y se expresa en porcentaje, se calcula con la siguiente formula

$$A \% = \frac{MTBS}{MTBS + MTTR} \times 100$$

El Benchmark de la disponibilidad para equipos mineros varia también según los tipos y modelos de máquinas, para camiones de acarreo Caterpillar 793 debe ser de 88%¹².

¹¹ CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Mining Equipment. Prioria: Caterpillar Inc, 2005. P.15.

¹²ibid.

3. CAMIONES ARTICULADOS D250

Los camiones articulados Caterpillar D250 están dispuestos en las minas de la empresa Drummond Ltd. para transportar y suministrar la mezcla de explosivos desde el lugar donde se realiza la mezcla hasta el punto donde se va a realizar la voladura del material estéril.

Figura 16. Vista general camión D250



Fuente. D250 series specalog Caterpillar.

La perforación y voladura de material estéril es una de las primeras fases dentro de todo el proceso de extracción del carbón mineral, dentro de la cual, los agujeros perforados son cargados con una mezcla de ANFO y emulsión con la ayuda de los camiones y su sistema especial de descarga.

La flota de camiones Caterpillar D250 de la empresa Drummond Ltd. Está conformada por 14 equipos descritos a continuación

Tabla 1. Flota de Camiones articulados.

CAMIONES D250			
ID ACTIVO	MODELO	ÁREA	
1	MO2408	D250	Voladura
2	MO2409	D250	Voladura
3	MO2410	D250	Voladura
4	MO2423	D250	Voladura
5	MO2424	D250	Voladura
6	MO2427	D250	Voladura
7	MO2428	D250	Voladura
8	MO2429	D250	Voladura
9	MO2435	D250	Voladura
10	MO2482	D250	Voladura
11	MO2483	D250	Voladura
12	MO2484	D250	Voladura
13	MO2485	D250	Voladura
14	MO2486	D250	Voladura

Fuente. Autores.

Los principales sistemas que conforman los camiones articulados son:

- Sistema de tren de potencia.
- Sistema de frenos.
- Sistema hidráulico de dirección y suspensión.
- Sistema eléctrico.
- Sistema de mezcla y descarga de ANFO Tradestar.

Es de resaltar que adicionalmente, los camiones han sido modificados en sus sistemas a como vienen originalmente de fábrica, puesto que cuentan con un sistema de descarga Tradestar, instalado especialmente y que se encarga del barrido de la mezcla explosiva dentro de los agujeros perforados para esta labor.

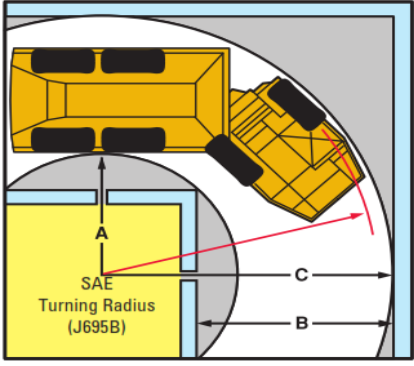
Las características técnicas y las condiciones de operación del equipo están descritas y resumidas en las tablas siguientes:

Tabla 2. Características técnicas D250

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
CAMIÓN ARTICULADO D250	Motor		
	Fabricante	Caterpillar	
	Modelo	3306 DITA	
	Potencia Neta	270 hp	201 kw
	Cilindraje	638 cu in	10.5 L
	Admision de Aire	Turbocargado	
	Infomacion Operacional		
	Carga Útil Nominal	22.7 tonnes	
	Capacidad Tanque de Combustible	95 gal	360 L
	Capacidad Tanque de Hidraulico	53 gal	200 L
	Transmision		
	Tipo	Autoshift	
	Numero de Cambios hacia Adelante	5	
	Numero de Cambios hacia Atrás	2	
	Velocidad Maxima Hacia Adelante	31.6 mph	50.85 km/h
	Velocidad Maxima Hacia Atrás	11.49 mph	18.49 km/h
	Llantas		
	Numero de Llantas	6	
		Base Ancha- Baja Presión	
	Tamaño	23.5R25	
	Numero de Pernos por Llanta	12	
	Sistema Hidraulico-Direccion		
	Articulacion de la Maquina	45° (Izquierda y Derecha)	
	Capacidad de Flujo de la Bomba	32 gal/min	120 L/min
	Capacidades Volumetricas		
	Sistema de refrigeracion	63 L	17 gal
	Cárter del Motor	25.7 L	7 gal
	Transmision	60 L	16 gal
	Ejes Frontal, Central y Trasero c/u	31 L	8 gal
	Dimensiones		
Longitud	32 ft 10 in	9997 mm	
Ancho	9 ft 5in	2880 mm	
Altura hasta la cabina	11 ft	3348 mm	
Distancia del suelo al chasis	1 ft 8 in	511 mm	

Fuente. Autores

Tabla 3. Condiciones operacionales D250

CONDICIONES OPERACIONALES						
Motor						
Valoraciones a 2200 rpm			Condiciones Estandar 25° C/ 99 kPa			
Potencia Bruta			213 kw		285 Hp	
Potencia Neta			201 kw		270 Hp	
Transmision						
Velocidades Maximas de Viaje (Cargado)						
			Km/h	MPH		
Avance	1		6.22	3.87		
	2		10.71	6.65		
	3		17.69	10.99		
	4		30.78	19.13		
	5		50.85	31.60		
Reversa	1		6.5	4.04		
	2		18.49	11.49		
Pesos de Funcionamiento						
	Vacío		Carga Nominal		Full Carga	
	Kg	Lb	Kg	Lb	Kg	Lb
Eje Frontal	12000	26460	1284	2831	13284	29291
Eje Central	4930	10871	10568	23302	15498	34173
Eje Trasero	4630	10297	10828	23876	15498	34173
Total	21560	47628	22680	50009	44280	97637
CIRCULO DE GIRO						
	Dimensiones de Giro		m	ft in		
	A	3.76	12'4"			
	B	4.78	15'8"			
	C	7.44	24'5"			
	Radio SAE J695B FEB84	7.07	24'5"			

Fuente. Autores

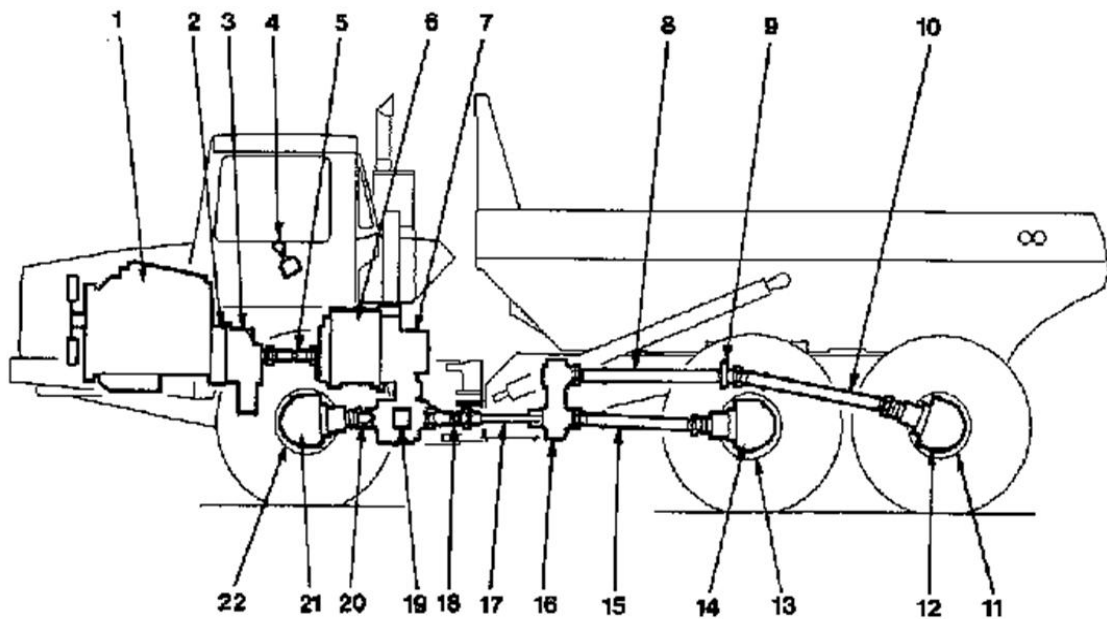
3.1 SISTEMA TREN DE POTENCIA

El arreglo de transmisión de potencia 6x6 estándar que representa tracción en las 6 ruedas del camión, consiste básicamente en que el primer eje transmite potencia a la unidad de transferencia, la cual impulsa los diferenciales de los ejes a través de los ejes de transmisión dispuestos.

La unidad de transferencia tiene una relación 1: 1 y un engranaje loco se utiliza para dar mismo sentido de rotación de los dos ejes de salida. Los diferenciales de los ejes impulsan las ruedas montadas en los mandos finales.

Se muestran a continuación los subsistemas y elementos que conforman todo el sistema de transmisión de potencia de los camiones articulados, la cual empieza en el motor y termina por la impulsión final en las 6 ruedas montadas en los mandos finales.

Figura 17. Sistema tren de potencia.

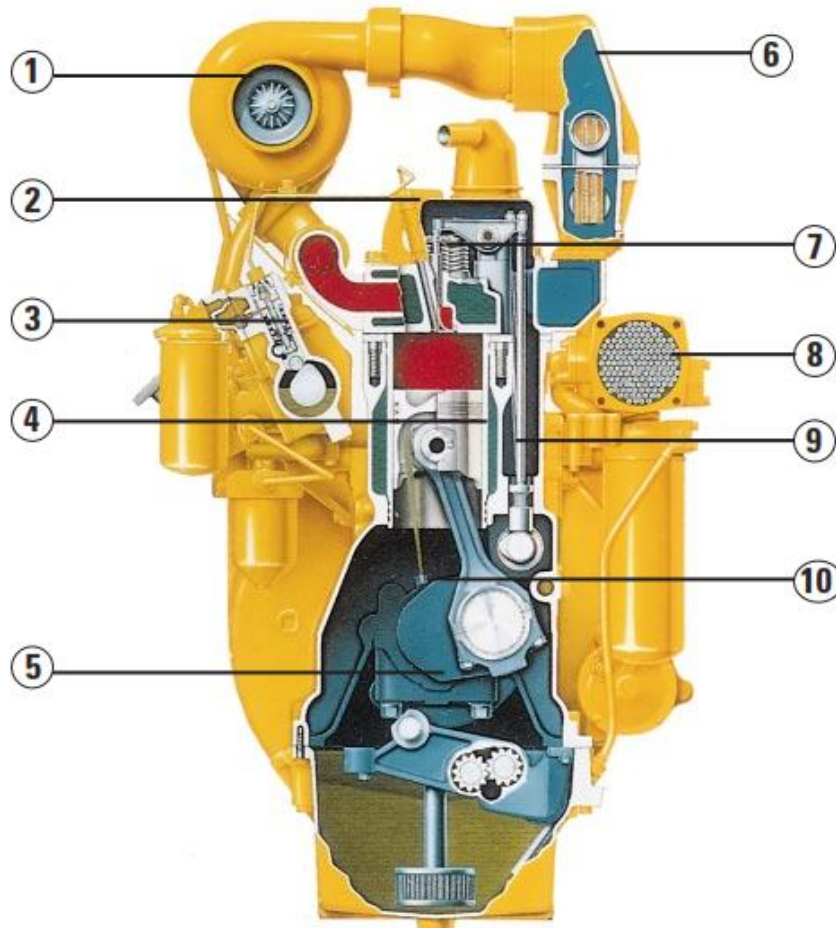


Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

- (1) Motor.
- (2) Retardador hidráulico (Opcional).
- (3) Convertidor del par.
- (4) Controles de transmisión.
- (5) Eje de unidad de transmisión.
- (6) Transmisión planetaria.
- (7) Unidad de transferencia de salida.
- (8) Unidad de transferencia al eje de transmisión del rodamiento central.
- (9) Rodamiento central.
- (10) eje de transmisión del eje trasero.
- (11) Mandos finales del eje trasero.
- (12) Diferencial del eje trasero.
- (13) Mandos finales del eje central.
- (14) Diferencial del eje central.
- (15) Eje de transmisión de eje central.
- (16) Unidad de transferencia para tracción en las 6 ruedas.
- (17) Eje de transmisión a través del enganche.
- (18) Eje de transmisión del centro.
- (19) Diferencial inter eje.
- (20) Eje de transmisión delantero.
- (21) Diferencial del eje delantero.
- (22) Mandos finales delanteros.

En cuanto al sistema motriz del camión, todo el sistema de transmisión de potencia está impulsado por un motor diésel de cuatro tiempos Caterpillar 3306 DITA, de seis cilindros en línea dispuesto con turbo cargador y sistema aftercooled.

Figura 18. Motor Caterpillar 3306 DITA

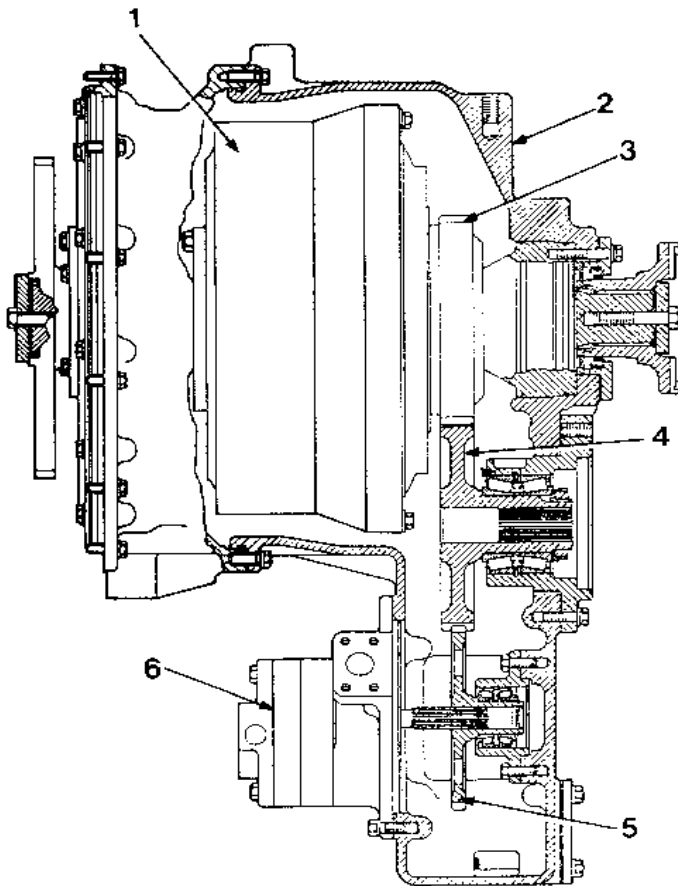


Fuente. D250 series specalog Caterpillar.

- (1) Turbocompresor.
- (2) Conjuntos de boquillas.
- (3) Sistema de inyección de combustible CAT.
- (4) Pistones de aleación de aluminio.
- (5) cigüeñal forjado.
- (6) Aftercooler.
- (7) Válvulas (admisión, escape).
- (8) Enfriador de aceite.
- (9) cilindros.
- (10) chorros de enfriamiento.

La bomba de aceite de la unidad de transmisión es una bomba de doble sección. Una sección se utiliza para barrer el casco del convertidor de par y el otro se utiliza para cargar el sistema hidráulico de transmisión.

Figura 19. Bomba de la unidad de transmisión



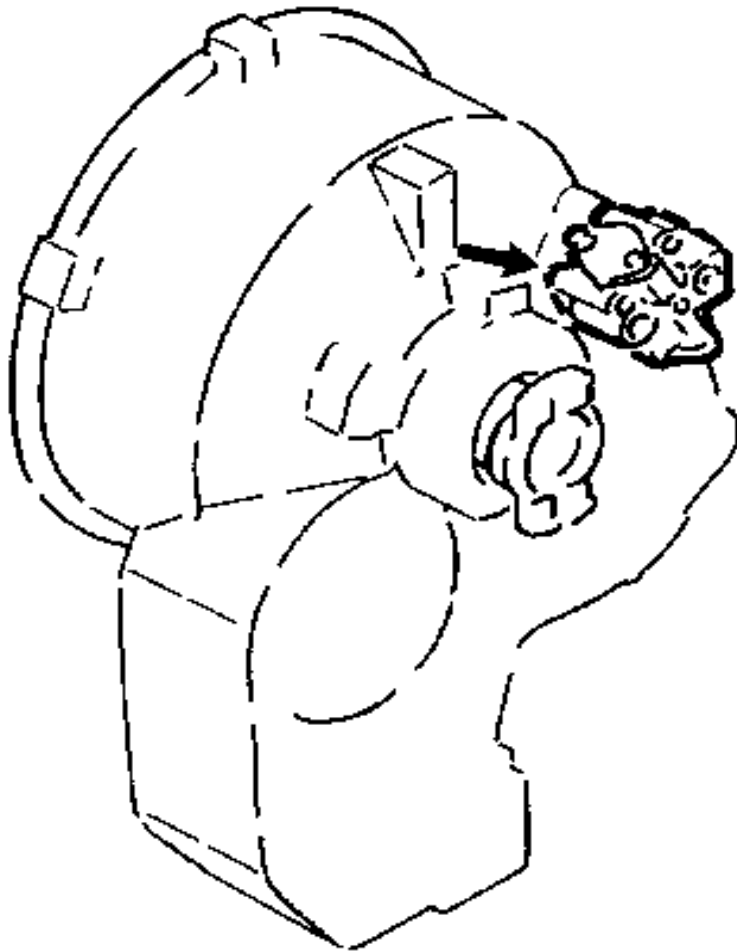
Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

- (1) Convertidor del par.
- (2) Casco.
- (3) Engranaje Impulsor.
- (4) Engranaje.
- (5) Engranaje.
- (6) Bomba de aceite.

La bomba se monta en el casco del convertidor de par. Engranaje impulsor gira con el impulsor del convertidor de par y transmite potencia al eje de la bomba a través de engranajes (4) y (5).

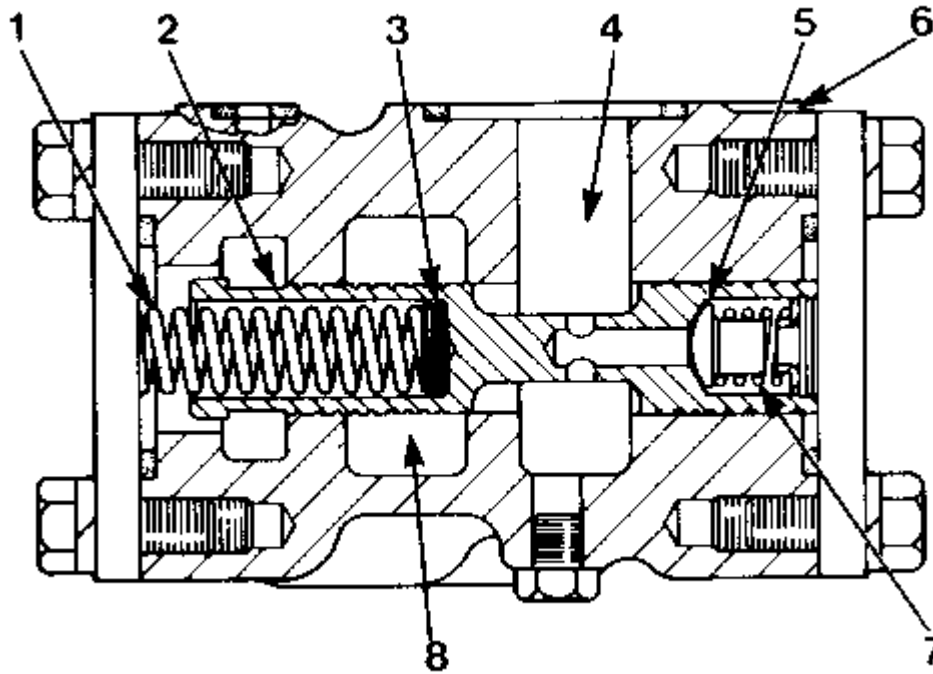
La válvula de alivio de salida del convertidor de par se encuentra en la parte posterior del convertidor de par en todos los modelos. La válvula de alivio de salida controla la presión máxima del aceite dentro del convertidor de par.

Figura 20. Localización de la válvula de alivio de la salida del convertidor del par



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

Figura 21. Válvula de alivio de la salida del convertidor del par.



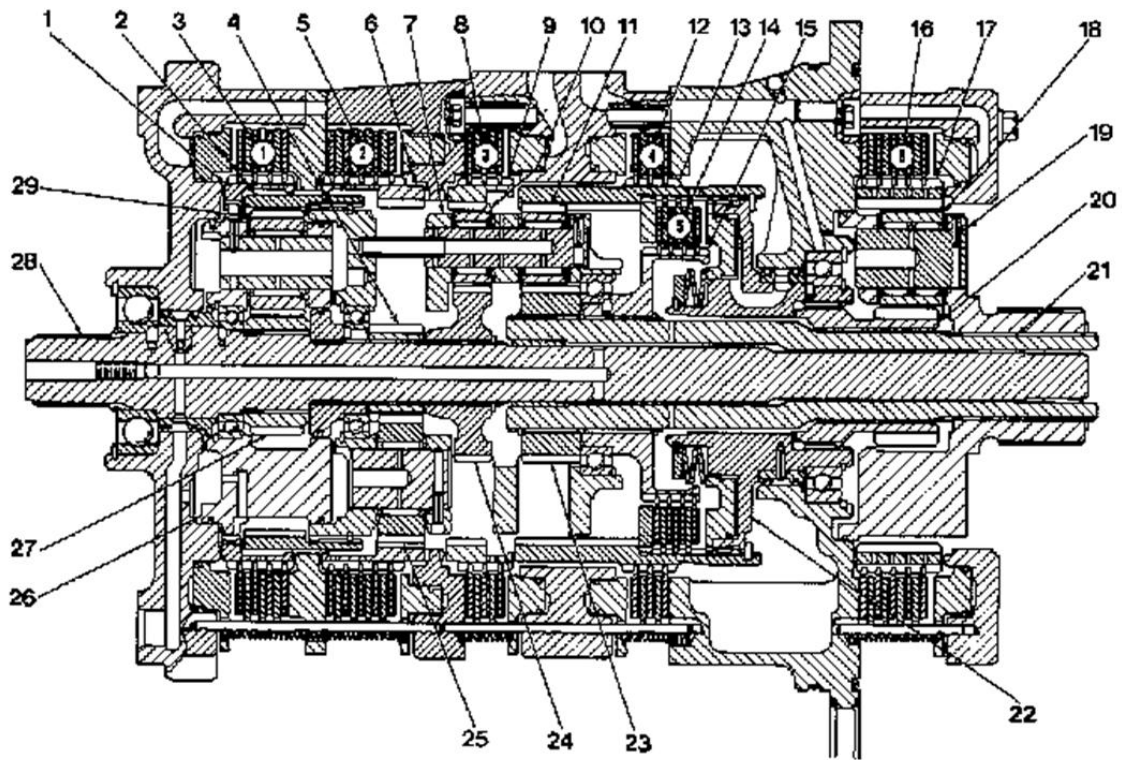
Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

- (1) Resorte.
- (2) Spool.
- (3) Cuña.
- (4) Cavity.
- (5) Válvula de asiento.
- (6) Cuerpo de la válvula..
- (7) Resorte.
- (8) Cavity.

La transmisión de potencia planetaria completa contiene seis embragues hidráulicamente activados que proporcionan cinco velocidades hacia adelante y dos atrás.

La potencia desde el convertidor de par se transmite al eje de entrada (28) por un eje de accionamiento y configuración yoke.

Figura 22, Transmisión planetaria.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| (1) Corona de embrague N° 1. | (2) Engranaje de acoplamiento. |
| (3) Embrague No.1. | (4) Engranaje solar No. 2. |
| (5) Embrague No. 2. | (6) Corona de embrague N° 2. |
| (7) Carrier N° 2, 3 y 4. | (8) Embrague No. 3. |
| (9) Corona de embrague N° 3. | (10) Engranaje planetario N° 3. |
| (11) Engranaje planetario N° 4. | (12) embrague No. 4. |
| (13) Corona de embrague N° 4. | (14) embrague No. 5. |
| (15) Cubo giratorio. | (16) Embrague No. 6. |

- (17) Corona de embrague N° 6.
- (19) Carrier N° 6.
- (21) Eje de salida.
- (23) Engranaje solar N° 4.
- (25) Engranaje planetario N° 2.
- (27) Engranaje solar N° 1.
- (29) Engranajes planetarios N ° 1.
- (18) Engranaje planetario N° 6.
- (20) Engranaje solar No. 6.
- (22) Conjunto del carcasa.
- (24) Engranaje solar N° 3.
- (26) Carrier N ° 1.
- (28) Eje de entrada.

Embragues No.1, No.2 y No.3 son embragues direccionales. Embrague No.1 es el embrague de dirección reversa. Embragues No.2 y No.3 son embragues direccionales de marcha hacia delante. Embragues No.4, No.5 y No.6 son embragues de velocidad.

Tabla 4. Embragues ocupados por velocidades

Speed	Clutches Engaged
First	3 and 6
Second	2 and 5
Third	3 and 5
Fourth	2 and 4
Fifth	3 and 4
Neutral	4 only
First Reverse	1 and 6
Second Reverse	1 and 5

Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

Los Mandos finales están montados con un diseño planetario para disminuir cargas de torque en otros componentes de la transmisión.

Figura 23. Mandos finales



Fuente. D250 series specalog Caterpillar.

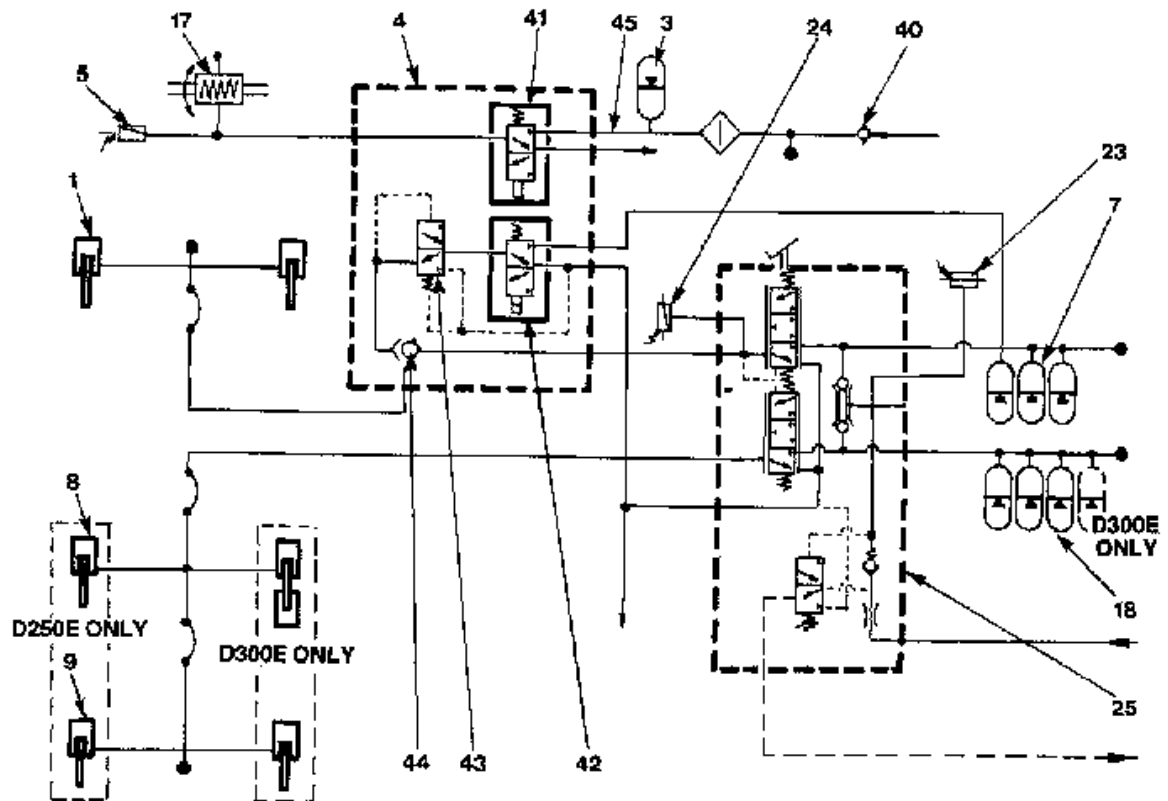
El diferencial entre ejes multi- placa en el camión articulado modelo D250E divide el torque entre los diferenciales de los ejes delantero y trasero para una mejor tracción, cuando sea necesario en malas condiciones. En condiciones normales, el diferencial entre ejes divide torque 40% al eje delantero y 60% a los ejes traseros. Cuando se activa el sistema de bloqueo, los tres ejes de bloqueo al unísono. Además, un sistema de bloqueo del diferencial transversal del eje ofrece 100% de bloqueo a la línea de accionamiento- los tres ejes y las seis ruedas - para un máximo rendimiento en condiciones adversas.

3.2 SISTEMA DE FRENOS

La máquina tiene un sistema de frenado hidráulico que activa los grupos de frenos de tipo disco. Los acumuladores se utilizan como fuente de energía almacenada.

El circuito de freno tractor está separado del circuito de freno de remolque y tiene unidades de doble pinza en cada rueda.

Figura 24. Esquema de sistema de frenos



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

1. Pinzas del freno del eje delantero.
3. Acumulador del freno de estacionamiento.
4. Válvula del freno de estacionamiento.
5. Interruptor de presión para Indicador del freno de parqueo.
7. Los acumuladores del freno del tractor.
8. Pinzas del freno del eje central.
9. Pinzas del freno del eje trasero.
17. Freno de estacionamiento.

18. Acumuladores del freno del remolque. 23. Interruptor de presión para el indicador de presión de freno baja. 24. Interruptor de presión para luces de Stop. 25. Válvula del freno de servicio. 40. Válvula cheque. 41. Solenoide del freno de estacionamiento. 42. Solenoide del freno secundario. 43. Válvula reductora de presión. 44. Válvula de traslado (de resolución). 45. Línea de suministro del freno de estacionamiento.

3.2.1 Sistema de frenado de servicio. Los principales componentes del sistema de frenado de servicio son (ver figura del esquema del circuito de frenos);

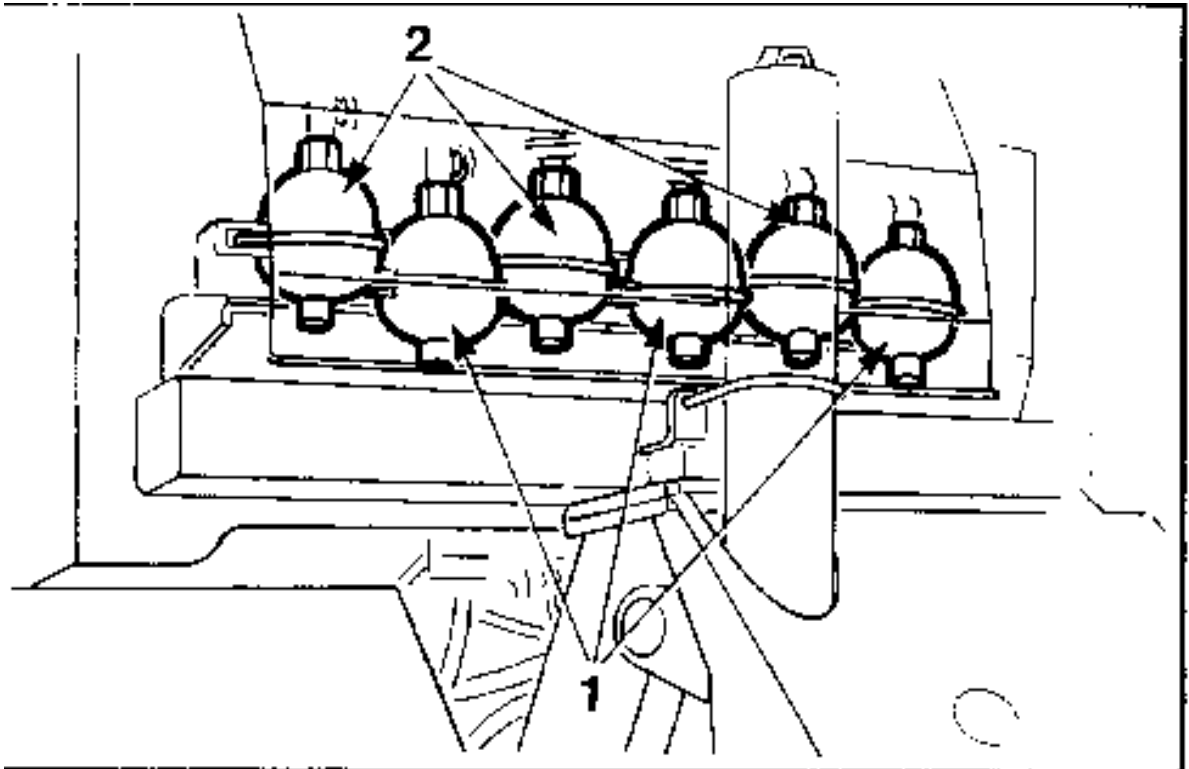
- * Válvula de freno de servicio (25)
- * Acumuladores (7)
- * Grupos de freno (1), (8) y (9)

Figura 25. Ubicación válvula freno de servicio



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

Figura 26. Ubicación de los acumuladores de frenos de servicio.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

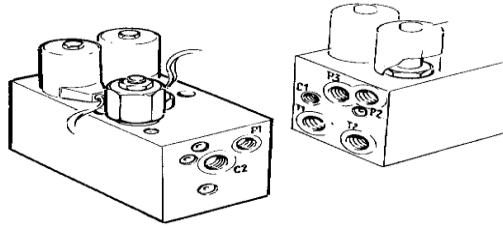
1. Acumuladores del circuito del freno del tractor.
2. Acumuladores del circuito de frenos del remolque.

3.2.2 Sistema de frenado secundario. Activa los frenos del tractor cuando se aplica el freno de mano y la palanca de cambio de velocidades de la máquina está en cualquier posición que no sea neutral.

Los principales componentes utilizados en el sistema de frenos secundario son (ver figura del esquema del circuito de frenos):

- * Válvula de freno de mano (4)
- * Acumuladores (7)
- * Grupo de frenos (1)

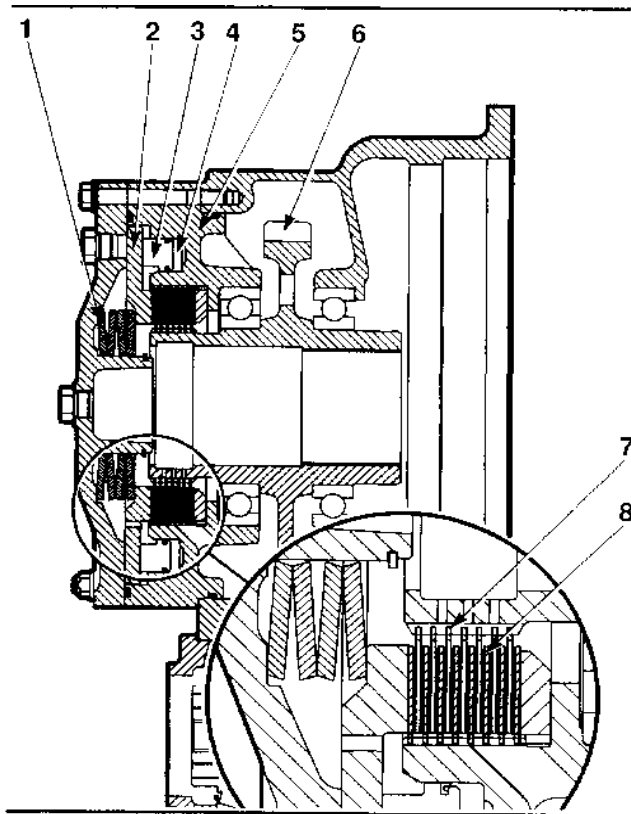
Figura 27. Válvulas de freno de parqueo y de freno secundario.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

3.2.3 Sistema de freno de estacionamiento. El freno de estacionamiento es un resorte enganchado, presión hidráulica en libertad, unidad de tipo disco montado en la unidad de transferencia de salida de la transmisión que recibe su suministro de aceite desde el sistema de transmisión.

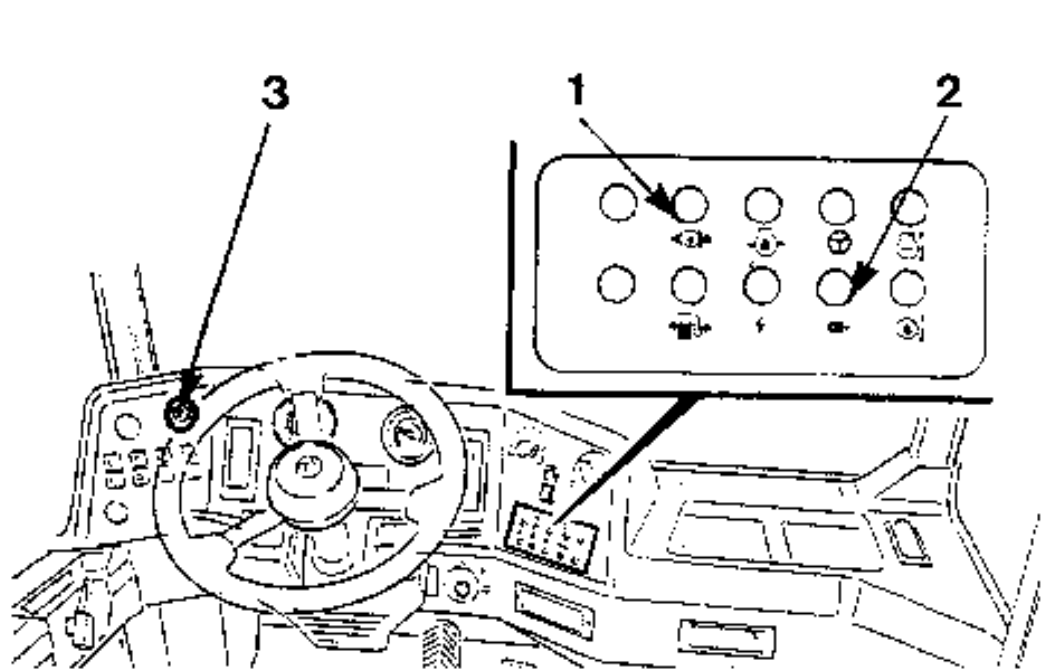
Figura 28. Freno de estacionamiento.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

1. resortes. 2. Plato de presión
3. Pistones 4. Cavidades
5. Carcaza. 6. Piñón
7. Discos. 8. Discos

Figura 29. Control de freno de parqueo y panel de indicadores



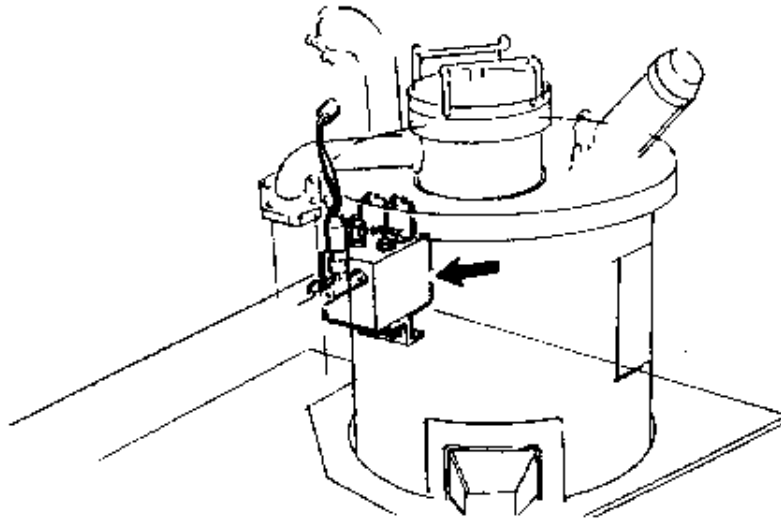
Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

1. Indicador de baja presión de frenado.
2. El freno de estacionamiento dedica indicador.
3. Control de freno de estacionamiento.

Los principales componentes del sistema de freno de estacionamiento son (ver figura del esquema del circuito de frenos):

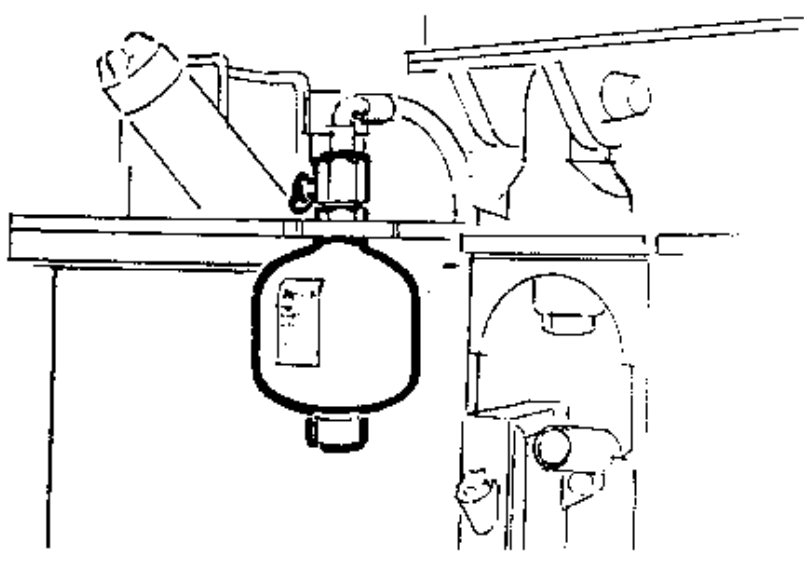
- * Válvula de freno de parqueo (4)
- * Acumulador (3)

Figura 30. Ubicación de la válvula de freno de parqueo



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

Figura 31. Ubicación del acumulador del freno de estacionamiento.

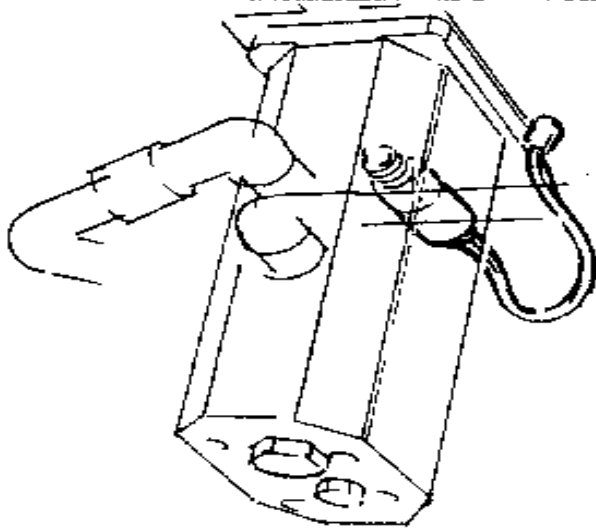


Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

Cuando el sistema esté completamente cargado, el aceite a 17500kPa (2540psi) está presente en las líneas entre la válvula del freno de servicio y los acumuladores. Acumuladores (7) son para los frenos del tractor y acumuladores

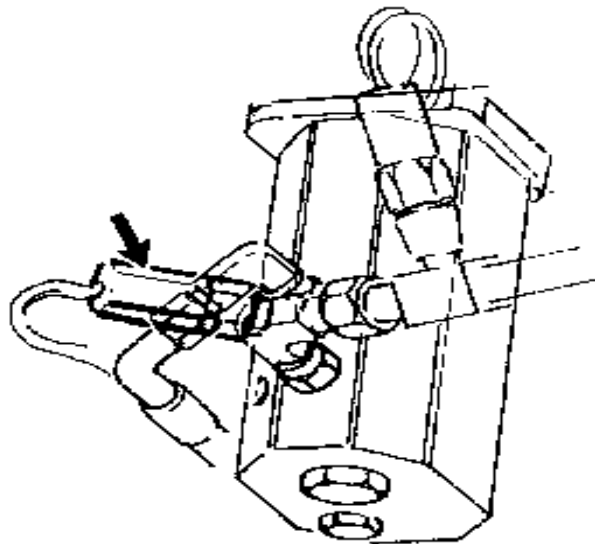
(18) son para los frenos del remolque (ver figura del esquema del circuito de frenos).

Figura 32. Interruptor de presión para el indicador de baja presión de frenado.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

Figura 33. Interruptor de presión para el indicador de luces de freno.

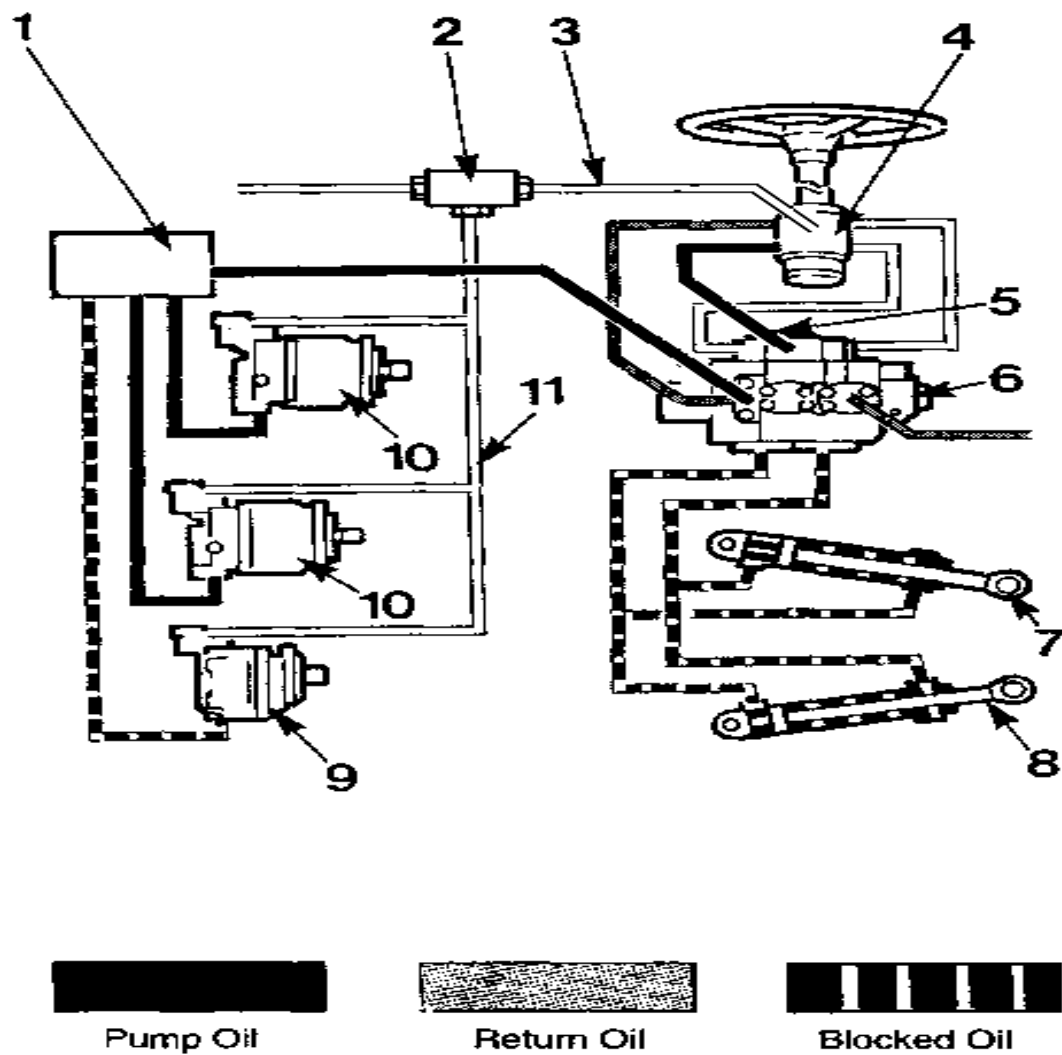


Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

3.3 SISTEMA HIDRÁULICO DE DIRECCIÓN Y SUSPENSIÓN.

3.3.1 Sistema hidráulico de dirección. Es el sistema encargado de mover y dar dirección a las llantas del tren delantero del tractor. Las figuras a continuación muestran el sistema hidráulico de la dirección del camión tanto en las condiciones cuando el volante de la dirección está quieto y cuando el volante se encuentra girando.

Figura 34. Sistema de dirección primaria (Volante estacionario)



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

1. Válvula de Dirección Suplementario 2. Válvula de traslado (resolutor) 3. Línea de detección de carga del Sistema de dirección 4. Unidad de dosificación manual (Hand Metering Unit HMU) 5. Línea de suministro de la unidad de dosificación manual (HMU) 6. Válvula de control de dirección. 7. Cilindro de dirección derecho 8. Cilindro de dirección izquierdo 9. Bomba de dirección Suplementaria 10. Bomba primaria. 11. línea de detección de carga de las bombas hidráulicas.

Los principales componentes del sistema de dirección primaria son:

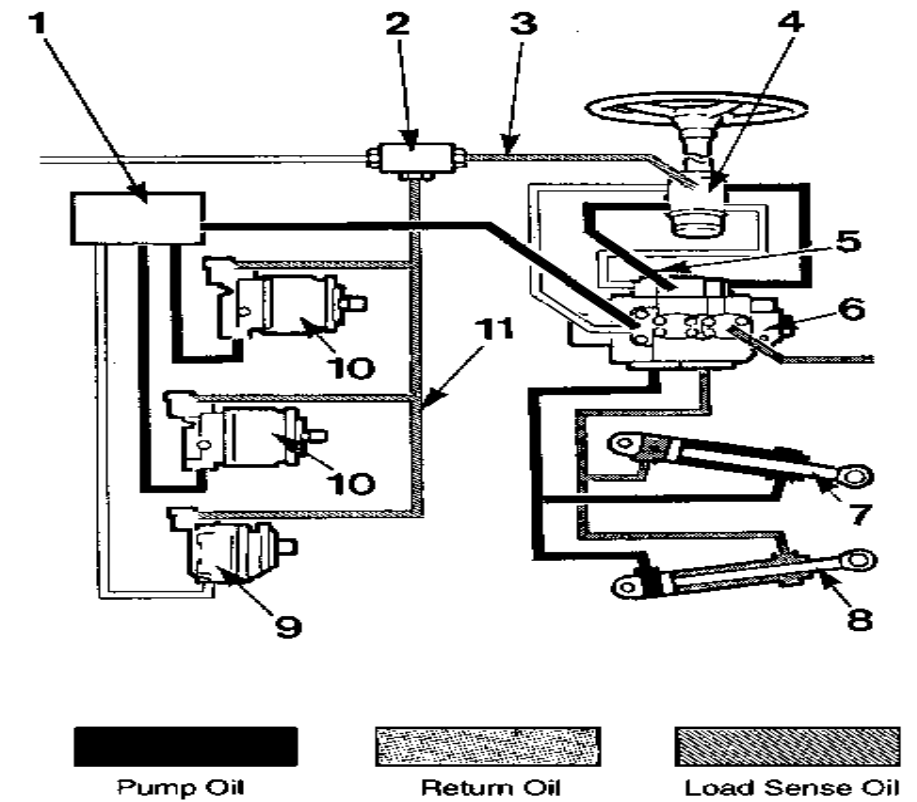
- * Bombas hidráulicas (9) y (10)
- * Unidad de dosificación manual (HMU) (4)
- * Válvula de control de dirección (6)
- * Cilindros de dirección (7) y (8)
- * Válvula de Dirección Suplementaria (1)

El aceite para el sistema de dirección se suministra por medio de las bombas primarias (10). La salida de ambas bombas fluye a través de la válvula de dirección suplementario (1) a la válvula de control de dirección (6). Parte de este aceite se dirige desde la válvula de control de la dirección a la HMU válvula de dosificación manual HMU (4) a través de la línea (5).

Cuando el volante es estacionario, el flujo de aceite se bloquea en la válvula de control de dirección. El flujo también se bloquea en la HMU, a excepción de una pequeña cantidad que se permite a sangrar a través de un restrictor al tanque hidráulico. El flujo a través del restrictor asegura que siempre haya un flujo de aceite a temperatura de operación disponible en la HMU para proporcionar una respuesta correcta cuando se acciona la dirección.

El sistema de dirección primaria cuando se encuentra el volante en giro se puede observar en la siguiente figura:

Figura 35. Sistema de dirección primaria (Volante girando)



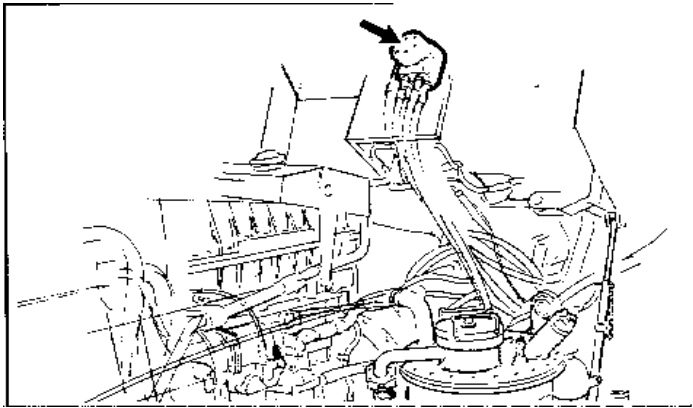
Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

1. Válvula de Dirección Suplementario
2. Válvula de traslado (resolutor)
3. Línea de detección de carga del Sistema de dirección
4. Unidad de dosificación manual (Hand Metering Unit HMU)
5. Línea de suministro de la unidad de dosificación manual (HMU)
6. Válvula de control de dirección.
7. Cilindro de dirección derecho
8. Cilindro de dirección izquierdo
9. Bomba de dirección Suplementaria
10. Bomba primaria.
11. línea de detección de carga de las bombas hidráulicas.

El aceite se suministra a la HMU (4) desde la válvula de control de dirección (6) a través de la línea (5). Cuando el volante está siendo girado, la HMU actúa como una válvula de control y la bomba que dirige el aceite piloto para operar la válvula de control de dirección (6).

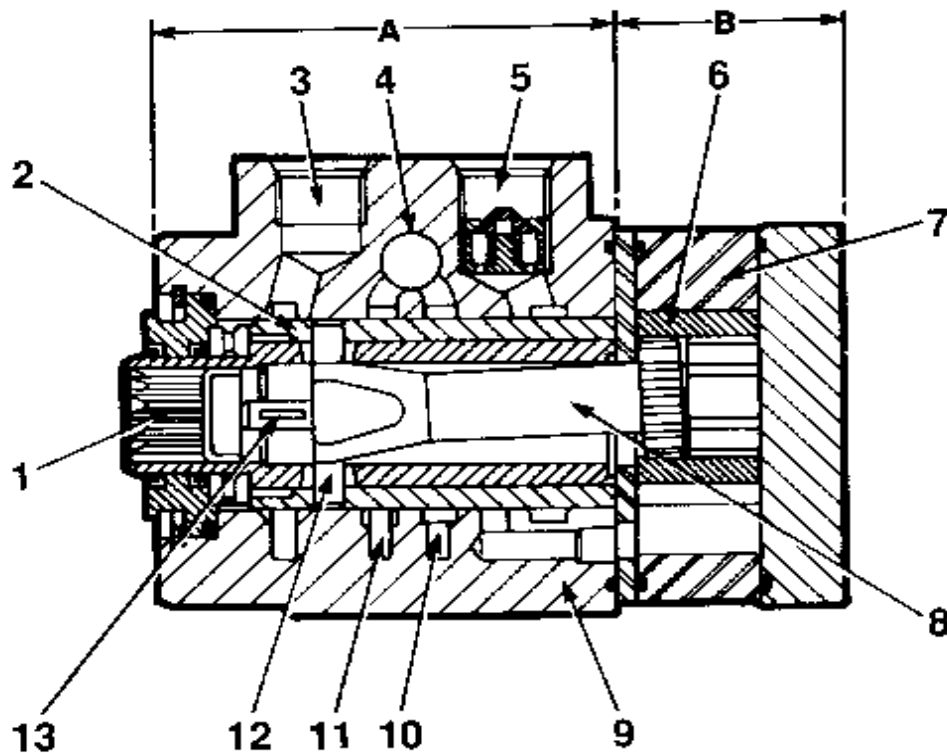
La unidad de dosificación manual HMU se encuentra ubicada en la base de la columna de la dirección, y se puede observar en la siguiente figura:

Figura 36. Ubicación de la HMU



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

Figura 37. Unidad de dosificación manual HMU



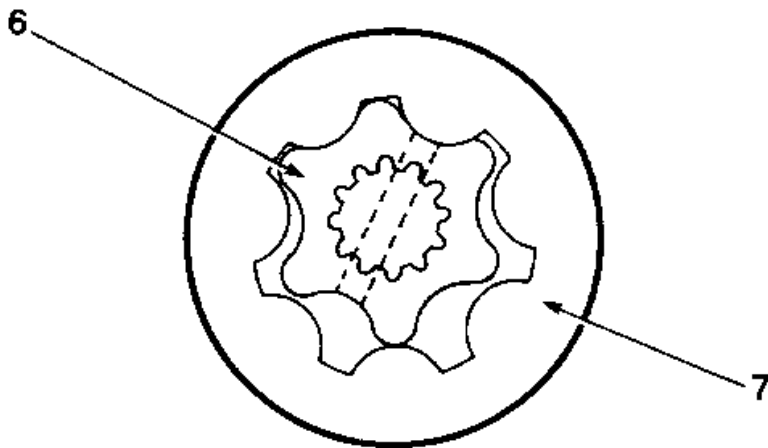
Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

1. Spool o carrete. 2. Manguito. 3. Salida a Tanque. 4. Puerto de línea de detección de carga. 5. Entrada de aceite de la bomba. 6. Rotor. 7. Anillo del rotor. 8. Eje de transmisión. 9. Carcaza. 10. Puerto de giro derecha. 11. Puerto de giro izquierda. 12. Pin de accionamiento. 13. Resortes centrados.

La sección de control (A) consta de un carrete (1), el manguito (2) y la carcasa (9). El manguito está conectado al spool o carrete por el pin de accionamiento (12), que se instala a través de una ranura en el carrete y un agujero en el manguito. Los resortes centrados (13) se instalan a través tanto del spool como del manguito.

Sección de dosificación (B) se compone de anillo de rotor (7) y el rotor (6). El carrete está conectado al rotor por el eje de transmisión (8), que tiene una ranura acoplada con el pin de accionamiento (12) y está enchavetado a la sección de dosificación del rotor.

Figura 38, sección de dosificación.



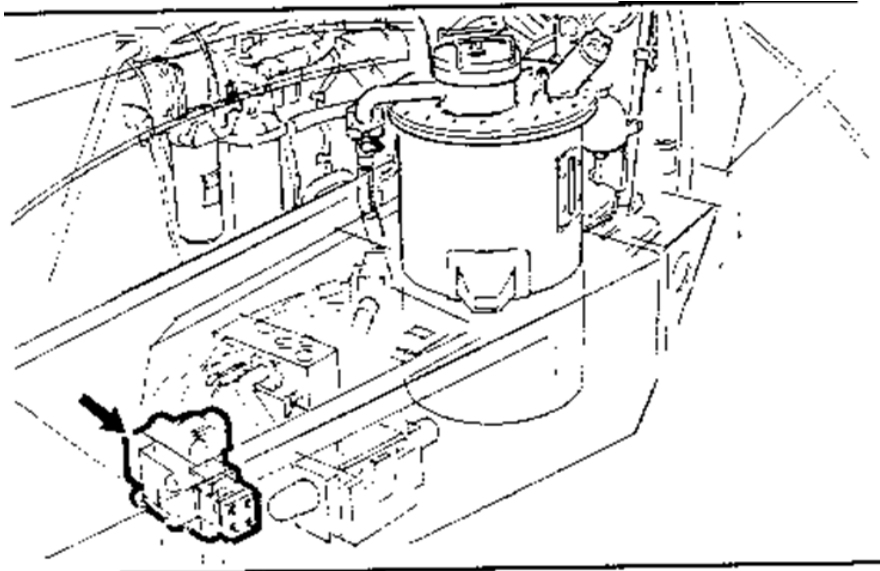
Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

(6) Rotor

(7) Anillo del rotor.

La ubicación de la válvula de control de dirección, la cual hace parte de los componentes importantes del sistema de dirección del camión se puede observar en la siguiente figura:

Figura 39. Ubicación de la válvula de control de la dirección.

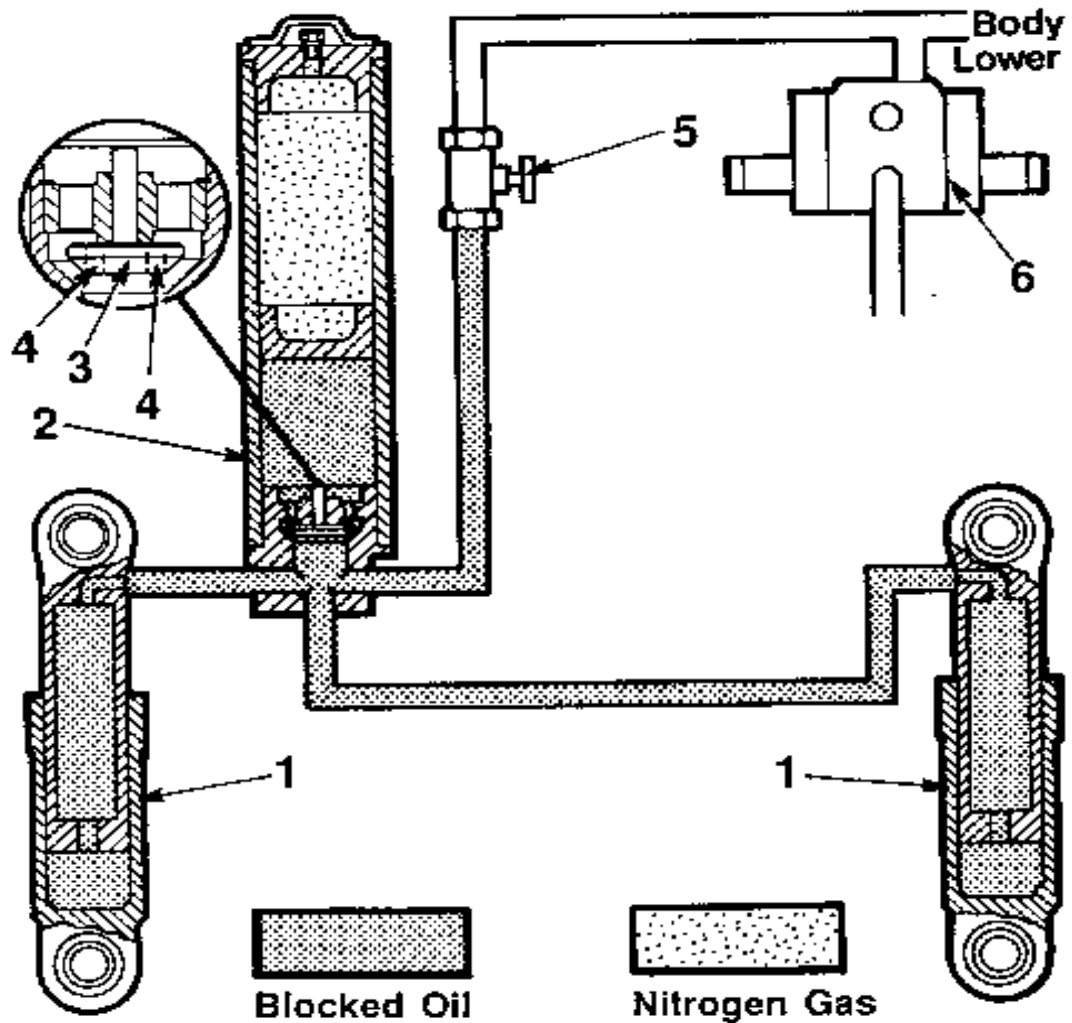


Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar

3.3.2 Sistema hidráulico de suspensión. La suspensión delantera de tres puntos oscila $\pm 6^\circ$ para que el desplazamiento de la máquina sea más suave, lo que permite al operador desplazarse a mayor velocidad en terrenos irregulares. Amortigua las cargas de impacto sobre las estructuras y los componentes con un bastidor en A oscilante con un tirante lateral para controlar el movimiento hacia los lados del eje. Los cilindros con perforación de gran tamaño y de baja presión están especialmente diseñados para aplicaciones exigentes y para ofrecer una amortiguación uniforme.

La suspensión delantera de tres puntos de eje oscilante ofrece una calidad de desplazamiento incomparable. También protege el camión contra las condiciones adversas del camino, amortiguando las cargas de impacto que podrían afectar al bastidor.

Figura 40. Sistema hidráulico suspensión delantera



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1. Cilindros de suspensión. | 2. Acumulador. |
| 3. Válvula de retención. | 4. limitadores. |
| 5. Válvula de cierre. | 6. Válvula de control de levante. |

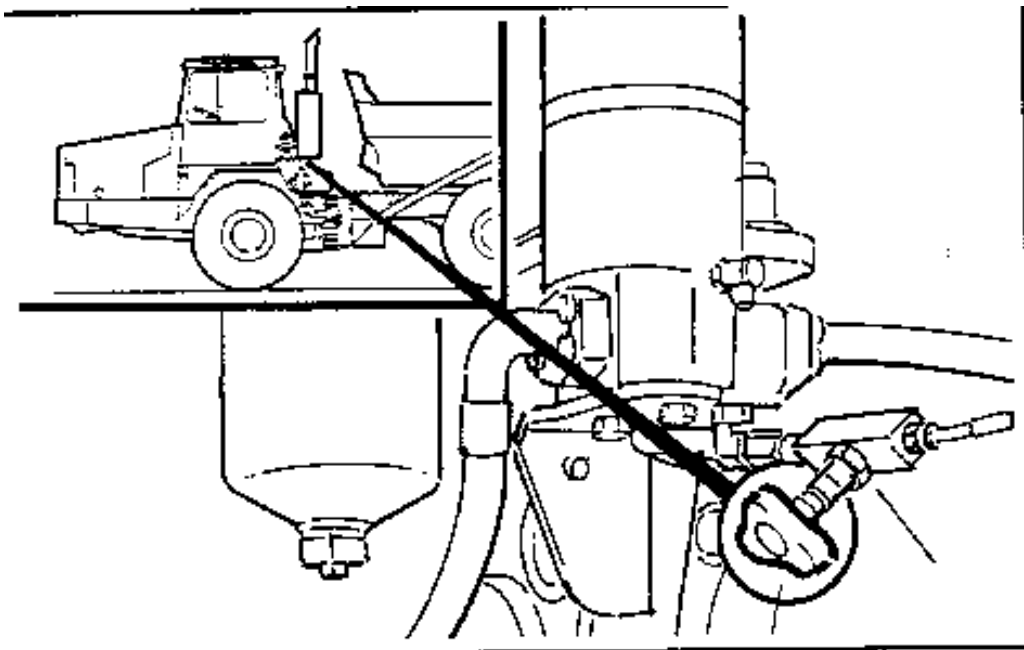
Los principales componentes del sistema de suspensión delantera son:

- * Válvulas de desconexión (5)
- * Acumulador (2)
- * Cilindros de suspensión (1)

Durante el funcionamiento normal la válvula de cierre (5) está cerrada por lo que el acumulador (2), cilindros (1) y líneas de conexión forman un sistema hidráulico cerrado.

La válvula de cierre (5) está conectada al sistema hidráulico principal y se utiliza en conjunción con la válvula de control de elevación (6) y el aceite de las bombas hidráulicas primarias, a través de la válvula de dirección suplementario para bajar, subir o ajustar la altura de la suspensión.

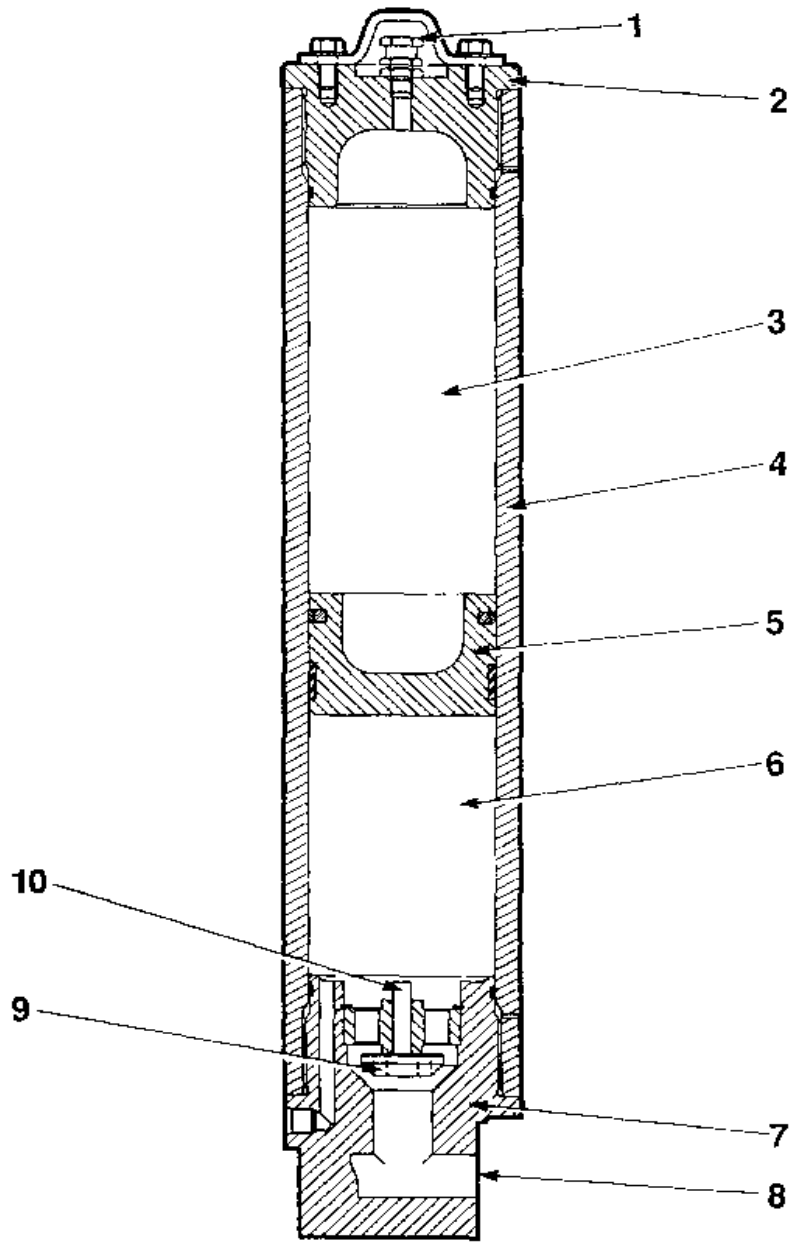
Figura 41. Ubicación de la válvula de cierre.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

El acumulador hidráulico se describe en la siguiente figura:

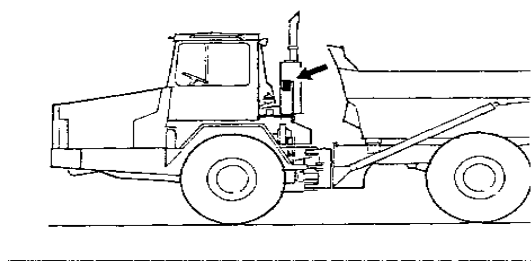
Figura 42. Acumulador.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

1. Válvula de carga de Nitrógeno
2. Tapa final
3. Cámara de Nitrógeno.
4. Tubo del cilindro
5. Pistón.
6. Cámara de aceite.
7. Tapa final
8. Puerto de entrada.
9. limitadores
10. Válvula cheque.

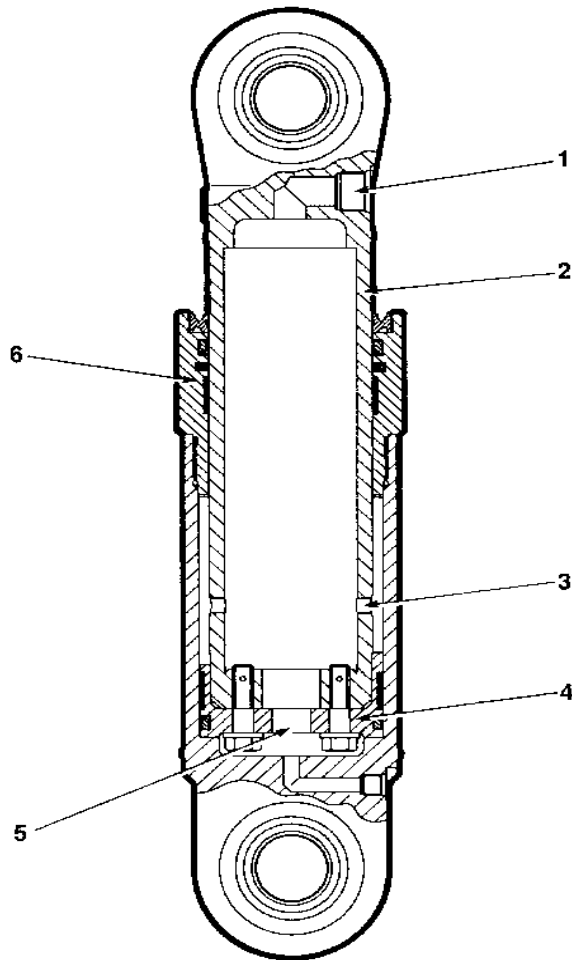
Figura 43. Ubicación del acumulador.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

El cilindro de la suspensión se muestra a continuación en la siguiente figura:

Figura 44. Cilindro de suspensión.

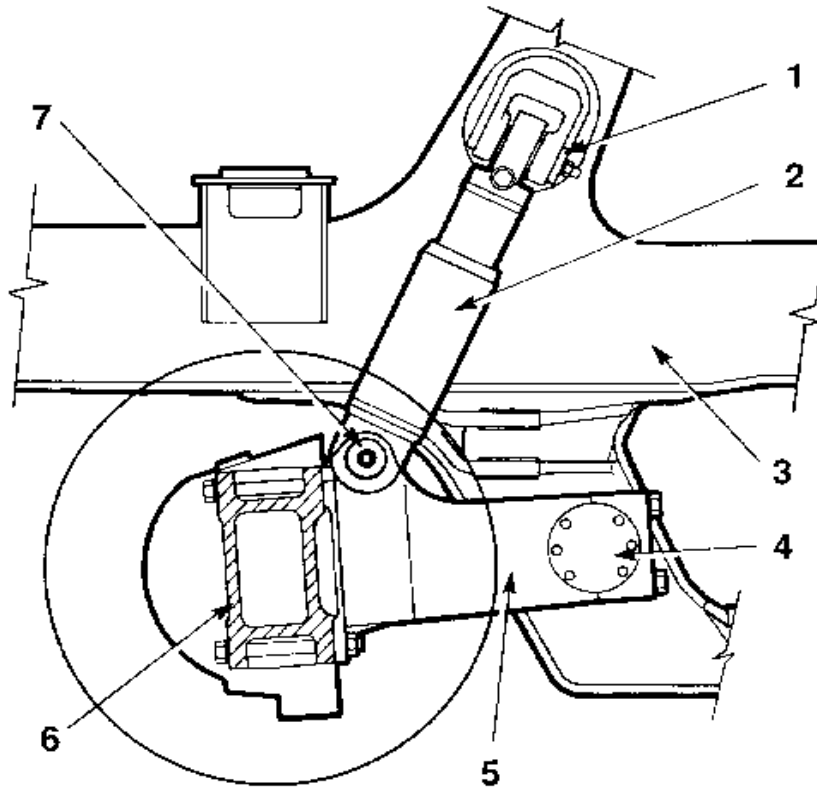


Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| 1. Puerto (Conectado al Acumulador). | 2. Vástago del embolo. |
| 3. Huecos. | 4. Pistón. |
| 5. Hueco. | 6. Tapa final. |

Los camiones articulados D250 tienen sistema de suspensión delantera con aceite y nitrógeno.

Figura 45. Geometría de la suspensión delantera.



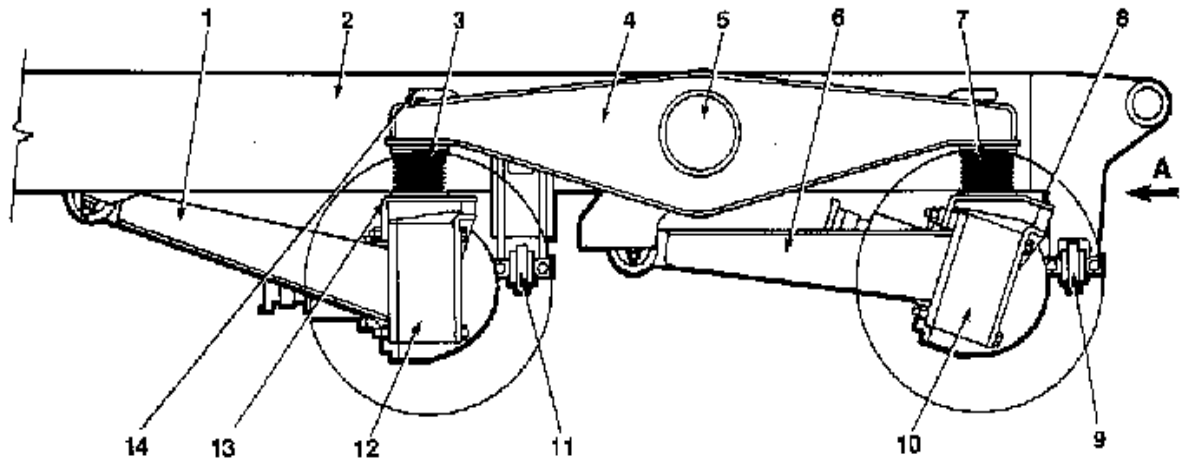
Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

- | | | |
|------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Pasador pivote superior del cilindro. | 2. Cilindro de suspensión. | 3. Bastidor o marco delantero. |
| 4. Pivote del brazo de la suspensión. | 5. Brazo de la suspensión. | 6. Eje frontal. |
| 7. Pasador pivote inferior del cilindro. | | |

Los principales componentes mecánicos del sistema son los brazos de suspensión (5), cilindros de suspensión (2) y el eje delantero (6).

La suspensión trasera dispone de una geometría de viga oscilante con montajes de suspensión trasera diseñados por Caterpillar de larga duración que ofrece una amortiguación fiable y estable para proporcionar una apropiada retención de carga.

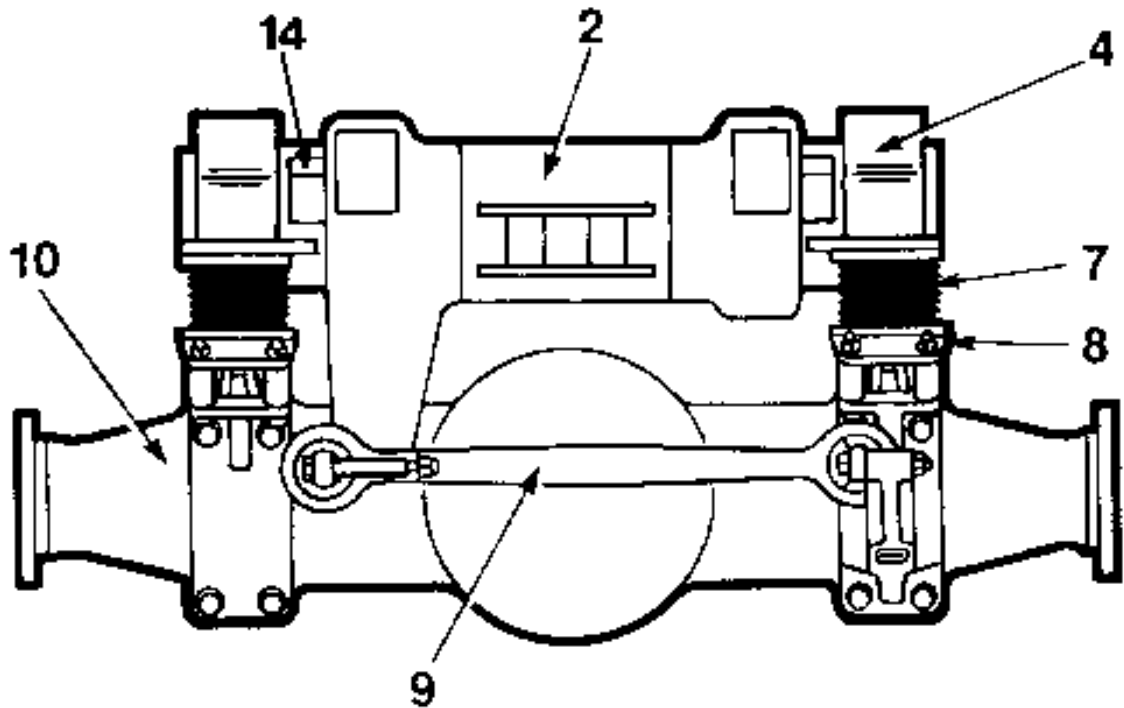
Figura 46. Geometría de la suspensión trasera.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

1. Marco A del eje central. 2. Marco trasero. 3. Amortiguador de caucho. 4. Viga ecualizadora. 5. Soporte de la viga ecualizadora. 6. Marco A del eje trasero. 7. Amortiguador de caucho. 8. Placa soporte del eje trasero. 9. Barra estabilizadora del eje trasero. 10. Eje trasero. 11. Barra estabilizadora del eje central. 12. Eje central. 13. Placa soporte del eje central. 14. Tope.

Figura 47. Suspensión trasera desde la vista A.



Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

2. Marco trasero.

7. Amortiguador de caucho.

9. Barra estabilizadora del eje trasero.

14. Tope.

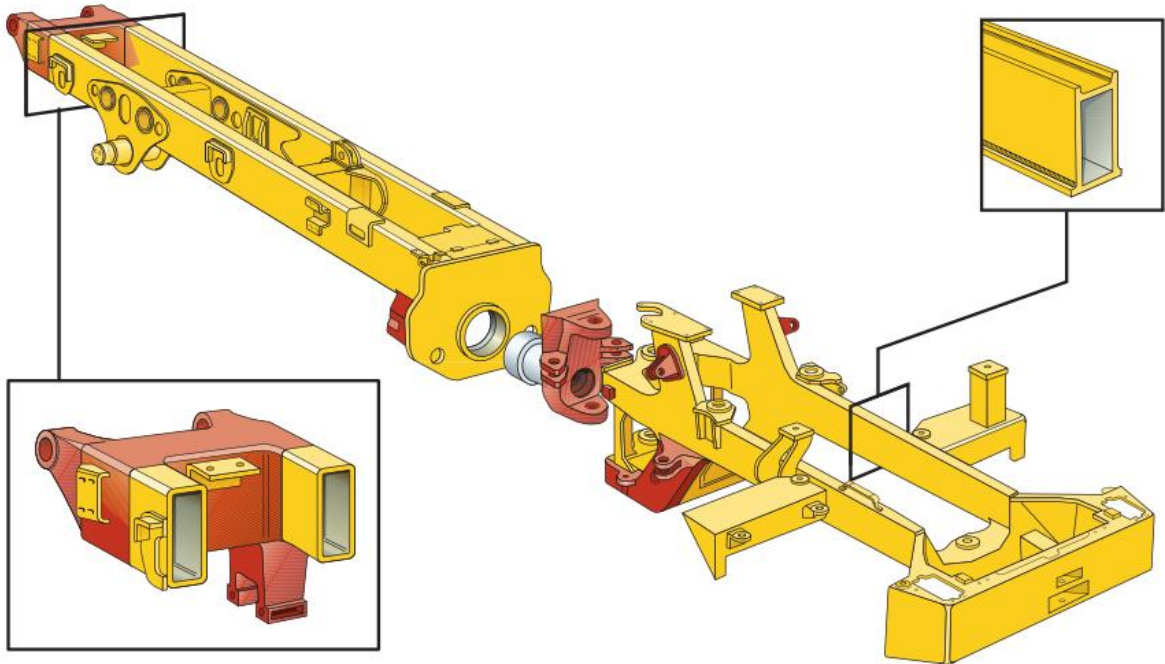
4. Viga ecualizadora.

8. Placa soporte del eje trasero.

10. Eje trasero.

3.3.3 Estructura. El diseño del bastidor delantero consta de una sección en caja grande y vigas de bastidor anchas y reforzadas para soportar las cargas de torsión. El diseño de bastidor divergente reduce el esfuerzo en el área del enganche y optimiza la geometría de la suspensión. El diseño del bastidor utiliza al máximo la soldadura por robot, lo que aumenta la durabilidad.

Figura 48. Marco de la estructura.



Fuente. D250 series specalog Caterpillar.

La construcción de doble perfil rectangular en el bastidor trasero reduce al mínimo la concentración de esfuerzos, proporciona bajo peso y larga vida útil. Bastidor delantero internamente enriestrado, sección rectangular fuerte y profunda construida con paragolpes integrado.

El enganche articulado permite la articulación de la dirección del camión mientras que la oscilación asegura el contacto de todas las ruedas con el suelo en terrenos escarpados. La construcción de dos piezas del enganche cuenta con una cabeza duradera de acero fundido, empernada a un tubo de acero forjado de alta resistencia.

3.4 SISTEMA ELÉCTRICO.

El sistema eléctrico del camión articulado es el encargado de suministrar y proveer de energía y potencia eléctrica a todo el equipo en general para su correcto funcionamiento. Dentro de las funciones básicas del sistema eléctrico se encuentra la de suministrar la energía necesaria y suficiente para el correcto arranque de los diversos sistemas para lo cual es su función almacenar energía en las baterías y con ella provocar el movimiento en los motores de arranque. Del mismo modo provee la intercomunicación de los diversos sistemas, como el sistema de tren de potencia, el sistema de frenos, el sistema hidráulico y el sistema Tradestar de descarga y mezcla de ANFO con los sistemas de control electrónico por medio de:

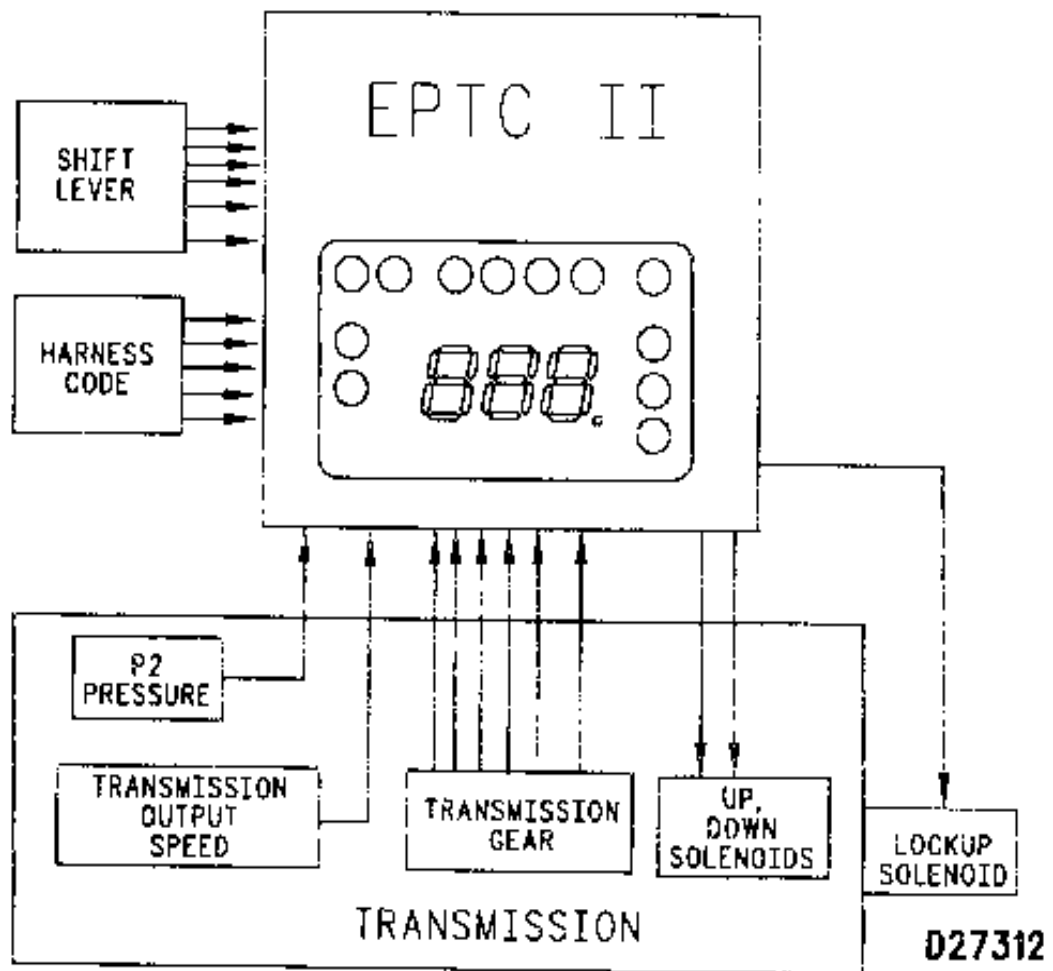
- Sensores
- Actuadores.
- Switches.
- Interruptores.
- Cables y arneses

Uno de estos sistemas de control electrónico más relevantes dentro de todo el equipo, es el control de transmisión programable electrónico, por sus siglas en inglés más común y técnicamente llamado EPTC II (Electronic Programmable Transmission Control) para camiones articulados Caterpillar D250.

El sistema EPTC II controla electrónicamente el cambio de las transmisiones. EPTC II monitorea continuamente las variables y condiciones relacionadas de la máquina. EPTC II compara la información de la memoria interna a la información de la máquina que se recibe. Cuando las condiciones son correctas, EPTC II activa el solenoide hacia arriba o hacia abajo para cambiar la transmisión.

En la figura a continuación se muestra un diagrama de funcionamiento en condiciones normales para el sistema EPTC II:

Figura 49. Diagrama de funcionamiento normal de EPTC II.

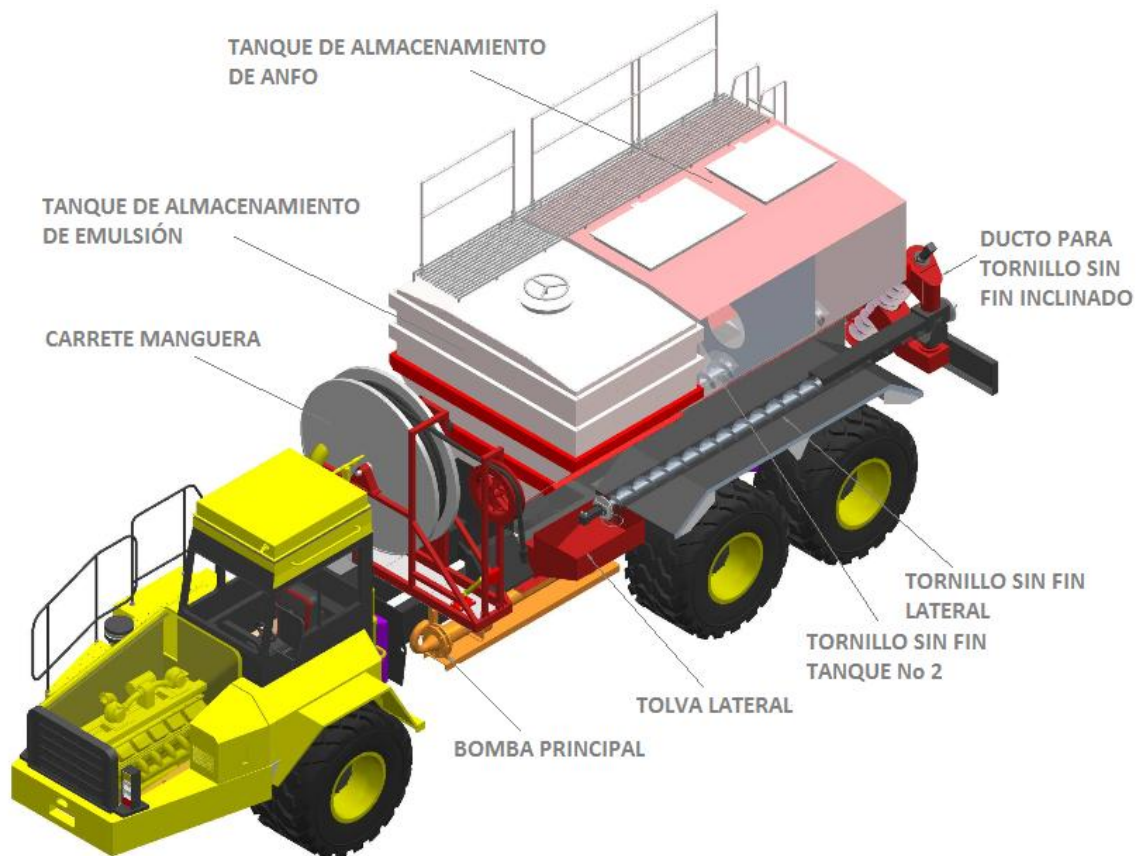


Fuente. System operation D250 articulated trucks Caterpillar.

3.5 SISTEMA DE MEZCLA Y DESCARGA DE ANFO.

Es el sistema encargado de alojar, transportar, mezclar y descargar los explosivos en los orificios perforados en el lugar donde se lleva a cabo la voladura de la capa del material estéril en la mina.

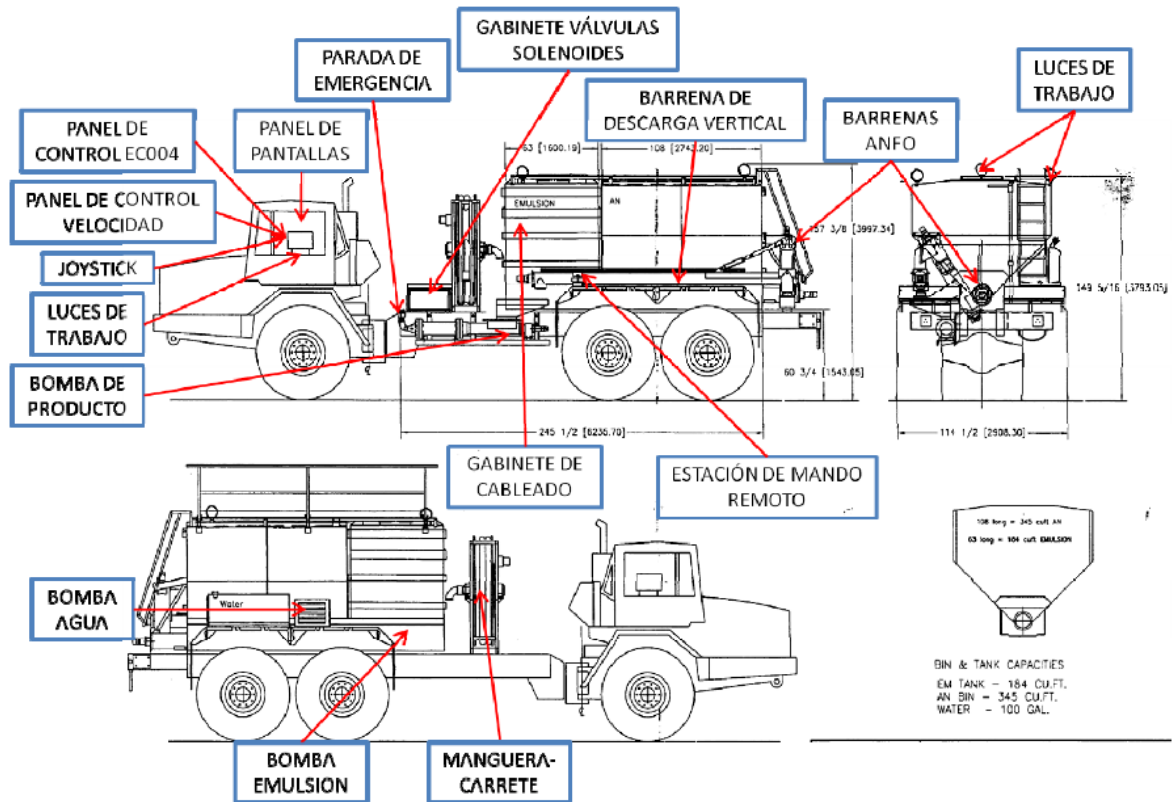
Figura 50. Sistema de mezcla y descarga de ANFO.



Fuente. Manual de funcionalidad del sistema.

La figura anterior es una vista isométrica del camión articulado Caterpillar D250 equipado con el sistema Tradestar de descarga de explosivos, cuya función es la de realizar la mezcla de ANFO mas emulsión y proporcionarla en los agujeros previamente perforados, el cual es instalado modificando las características originales de fábrica del camión en su parte trasera.

Figura 51. Ubicación de los componentes del sistema Tradestar.



Fuente. Manual de funcionalidad del sistema.

3.5.1 Panel De Control EC004. Es el componente principal del sistema. Permite al operador realizar las funciones:

- Apagar/Encender el sistema
- Seleccionar el modo de mezcla A (barrena) o P (bomba)
- Ingresar la cantidad de producto a ser entregado en cada perforación
- Visualizar el estado del sistema, cifras de tasa, velocidad, totalizadores, cifras de calibración, mensajes.
- Ajustar calibración de sensores: peso de producto/rpm. (Sólo para visualizar, no controlar).
- Ajustar parámetros de configuración interna (Retrasos de alarmas)

3.5.2 Panel De Control De Velocidad. En este panel se ajusta la mezcla de explosivo. Permite al operador realizar las siguientes funciones:

- Ajustar mediante potenciómetros, la mezcla de explosivo (porcentaje de cada ingrediente) al ajustar la velocidad de los mismos
- Seleccionar mediante switches ingredientes, mezclas, o sistemas de propulsión (barrena o bomba)
- Realizar recorrido de limpieza de la barrena de descarga.

3.5.3 Panel De Pantallas (DISPLAYS). En este panel se encuentran DISPLAY para medición y alarmas de la bomba de producto. Estos DISPLAYS realizan las siguientes funciones:

- Visualizar presión y temperatura de la bomba de producto
- Indicar alarmas de acuerdo a la configuración de parámetros de umbrales (Setpoint)
- Generar alarmas al panel de control EC004

3.5.4 Estación De Mando Joystick. Este panel permite al operador realizar las siguientes funciones:

- Controlar movimiento brazo de la Barrena de Descarga
- Seleccionar si los movimientos se realizan en el brazo de la Barrena o en el conjunto manguera-carrete
- Abrir o cerrar válvula mariposa de emulsión

3.5.5 Estación De Mando Luces de Trabajo (WORK LIGHTS SWITCH. WL SW).

Permite al operador apagar o encender las luces de trabajo

3.5.6 Gabinete De Cableado. Este gabinete permite:

- Organizar cableado entre módulos en cabina, y elementos de control (válvulas, sensores, estaciones de mando)
- Conexión segura y protegida del ambiente
- Contener fuente, breakers, relevos de potencia, relevos de control

3.5.7 Barrena De ANFO (ANFO AUGER. AN AUGER). La Barrena de ANFO está compuesta por dos barrenas que están conectadas en serie hidráulicamente. La primera de éstas, extrae el ANFO de su compartimento, la segunda lo sube diagonalmente para caída por gravedad hacia la barrena de descarga. Tiene conectado un sensor inductivo que permite al Panel EC004 determinar las RPM de la barrena. Con la lectura de este sensor y la cifra de calibración el Panel EC004, calcula la tasa de flujo y la cantidad de ANFO desplazado. La velocidad de estas barrenas es controlada por la válvula solenoide de ANFO. Esta válvula proporcional, varía el flujo de aceite hidráulico de acuerdo a la señal de voltaje que envía su respectivo potenciómetro desde el panel de control de velocidad.

3.5.8 Bomba De Emulsión (EMULSION PUMP. EM PUMP). Esta bomba hidráulica, succiona Emulsión de su compartimento y lo transporta por manguera hasta la barrena de descarga. Tiene conectado un sensor inductivo que permite al Panel EC004 determinar las RPM de la bomba. Con la lectura de este sensor y la cifra de calibración el Panel EC004, calcula la tasa de flujo y la cantidad de Emulsión desplazada. La velocidad de esta bomba es controlada por la válvula solenoide de Emulsión. Esta válvula proporcional, varía el flujo de aceite hidráulico de acuerdo a la señal de voltaje que envía su respectivo potenciómetro desde el panel de control de velocidad.

3.5.9 Barrena Descarga Vertical (VERTICAL DISCHARGE AUGER. VD AUGER). La Barrena Descarga Vertical está contenida dentro del brazo movable. En esta barrena se mezclan los dos ingredientes: ANFO+Emulsion y permite la descarga de la mezcla explosiva a la perforación en campo, o al compartimento embudo de la Bomba Producto. No tiene sensor asociado. La velocidad de esta barrena es controlada por la válvula solenoide barrena de descarga. Esta válvula proporcional, varía el flujo de aceite hidráulico de acuerdo a la señal de voltaje que envía su respectivo potenciómetro desde el panel de control de velocidad.

El brazo se puede mover en dos ejes. Para esto existen dos válvulas solenoides ON/OFF bidireccionales. Una para el movimiento arriba-abajo, la otra para el movimiento adentro-afuera. Estas válvulas son controladas desde la estación de mando joystick.

3.5.10 Bomba De Producto MONOFLO (PRODUCT PUMP. PP). Esta bomba hidráulica succiona producto (ANFO, emulsión, agua) del compartimento embudo, para ser expulsado por el conjunto manguera-carrete. Tiene conectado un sensor inductivo que permite al panel EC004 determinar las RPM de la bomba. Con la lectura de este sensor y la cifra de calibración el Panel EC004, calcula la tasa de flujo y la cantidad de producto desplazado. La velocidad de esta bomba controlada por la válvula solenoide de producto.

Esta válvula proporcional, varía el flujo de aceite hidráulico de acuerdo a la señal de voltaje que envía su respectivo potenciómetro desde el panel de control de velocidad.

Además en el ducto de conexión hacia el conjunto manguera-carrete, están instalados un transmisor de presión y uno de temperatura. La señal 4-20mA de

estos sensores es leída por los display en el panel de pantallas, para ser visualizada por el operador.

3.5.11 Bomba De Agua (WATER PUMP. WTR PUMP). Esta bomba hidráulica impulsa agua del tanque, hasta el compartimento embudo de la Bomba de Producto. No tiene sensor asociado. La velocidad de esta bomba es controlada por la válvula solenoide de Agua. Esta válvula proporcional, varía el flujo de aceite hidráulico de acuerdo a la señal de voltaje que envía su respectivo potenciómetro desde el Panel de Control de Velocidad. El flujo de agua varía la presión a la salida de la bomba de producto. A mayor flujo de agua, menor presión. A menor flujo de agua, mayor presión.

3.5.12 Manguera-Carrete (HOSE-REEL). La manguera conduce el producto hasta el fondo de la perforación en campo. El carrete permite enrollar y desenrollar la manguera. El conjunto manguera-carrete se inclina para ubicar la manguera justo encima de la perforación. Esto se logra mediante dos válvulas solenoides ON/OFF bidireccionales. Una para el movimiento adentro-afuera del carrete, la otra para el movimiento adentro-afuera de la manguera. Estas válvulas son controladas desde la estación de mando JOYSTICK.

3.5.13 Estación De Mando Remoto. Estación de mando remoto ubicado en el brazo de la barrena de descarga. Permite realizar funciones de arranque, parada y reinicio de la producción de mezcla de explosivo. Cuenta con tres pulsadores: START, STOP, RESET; en paralelo eléctricamente a sus respectivos pulsadores en el panel de control EC004.

3.5.14 Estación De Mando Parada De Emergencia (EMERGENCY STOP).

Botón pulsador de parada de emergencia. Ubicado cerca del Gabinete de Válvulas Solenoides. Permite apagar todo el sistema y detener la producción instantáneamente. Para esto abre la señal del interruptor de llave que energiza el relevo de potencia principal (24V) ubicado en el Gabinete de Cableado.

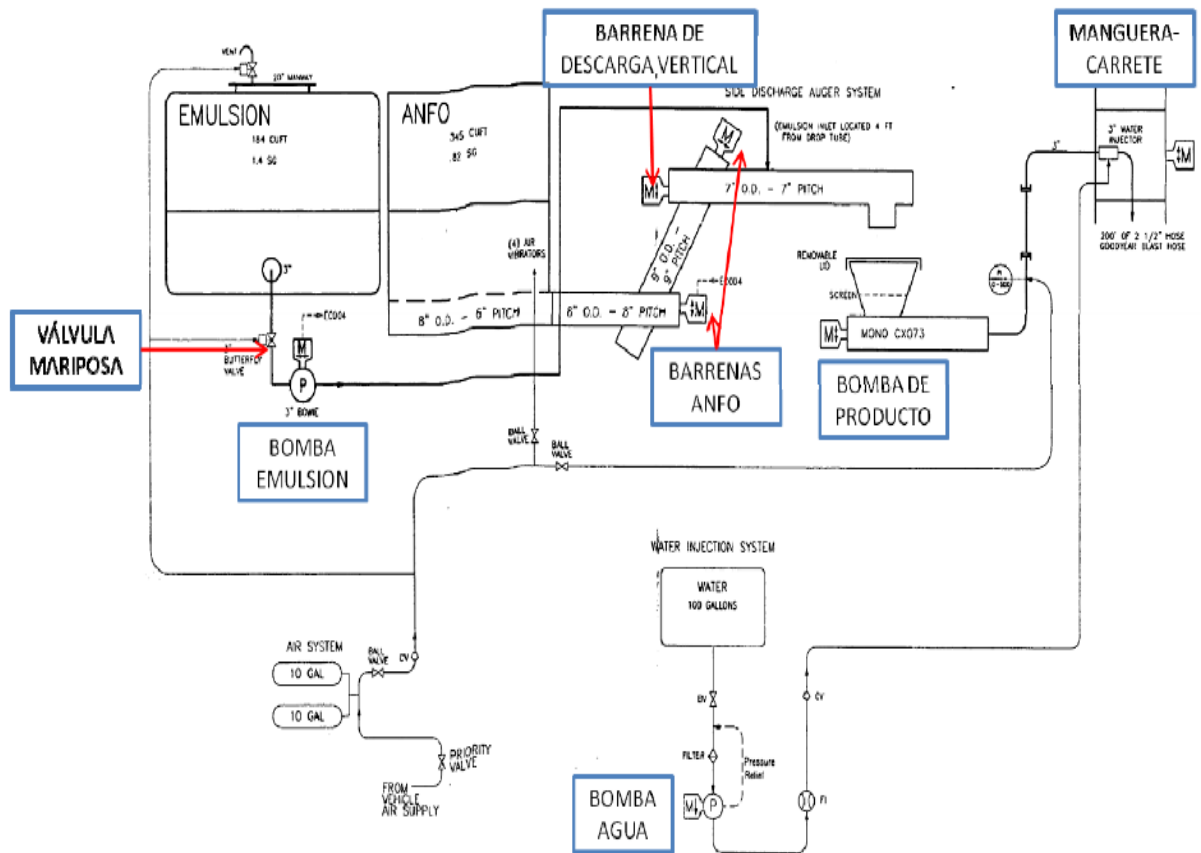
3.5.15 Luces De Trabajo (WORK LIGHTS. WL).

Lámparas ubicadas en la estructura del camión y los compartimentos. Son controladas por el operador mediante el switch de luces trabajo. Este switch energiza un relé de potencia (24V) ubicado en el Gabinete de Cableado. La alimentación de las Luces de Trabajo es independiente del sistema de control.

3.5.16 Alimentación.

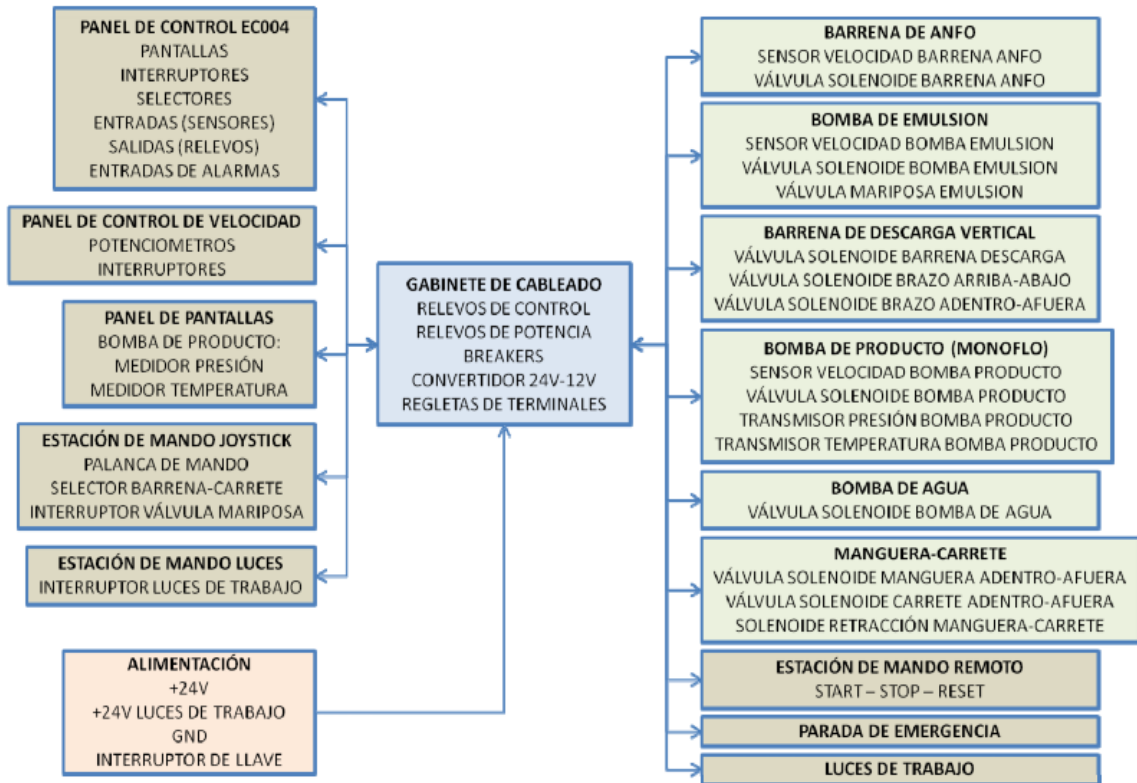
La alimentación se toma desde el motor de arranque. Se emplean 2 líneas de 24 Voltios protegidas por breaker. Una línea de 24V es para el sistema de control TRADESTAR y la otra para las luces de trabajo. Además se utiliza una línea que está conectado a la posición "ACC" del interruptor de llave para energizar el relé de potencia principal (24V) ubicado en el gabinete principal. Por supuesto, se toma una línea de tierra para el Sistema TRADESTAR. Las luces de trabajo, cada lámpara toma tierra de chasis.

Figura 52. Diagrama de flujo del sistema Tradestar.



Fuente. Manual de funcionalidad del sistema.

Figura 53. Diagrama de bloques del sistema TRADESTAR.



Fuente. Manual de funcionalidad del sistema.

El Sistema TRADESTAR cuenta en total con nueve (9) válvulas solenoides bidireccionales para control hidráulico del sistema de mezcla de explosivo. Hay dos tipos de válvulas solenoides en el sistema: cinco (5) proporcionales y cuatro (4) ON/OFF. Las válvulas solenoides proporcionales son las encargadas de controlar la velocidad de los motores hidráulicos de las barrenas y bombas de cada ingrediente. Por otro lado, las válvulas solenoides ON/OFF son las encargadas de activar los sistemas de movimiento del brazo (BOOM) y el conjunto manguera-carrete.

Figura 54. Válvulas solenoides.



Fuente. Manual de funcionalidad del sistema.

Las válvulas solenoides proporcionales son:

1. Barrena ANFO. ANFO AUGER (AN)
2. Bomba EMULSION. EMULSION PUMP (EM)
3. Barrena de Descarga Vertical. VERTICAL DISCHARGE AUGER (VD)
4. Bomba de Producto. PRODUCT PUMP (PP)
5. Bomba de Agua. WATER PUMP (WTR)

Las válvulas solenoides de tipo ON/OFF son:

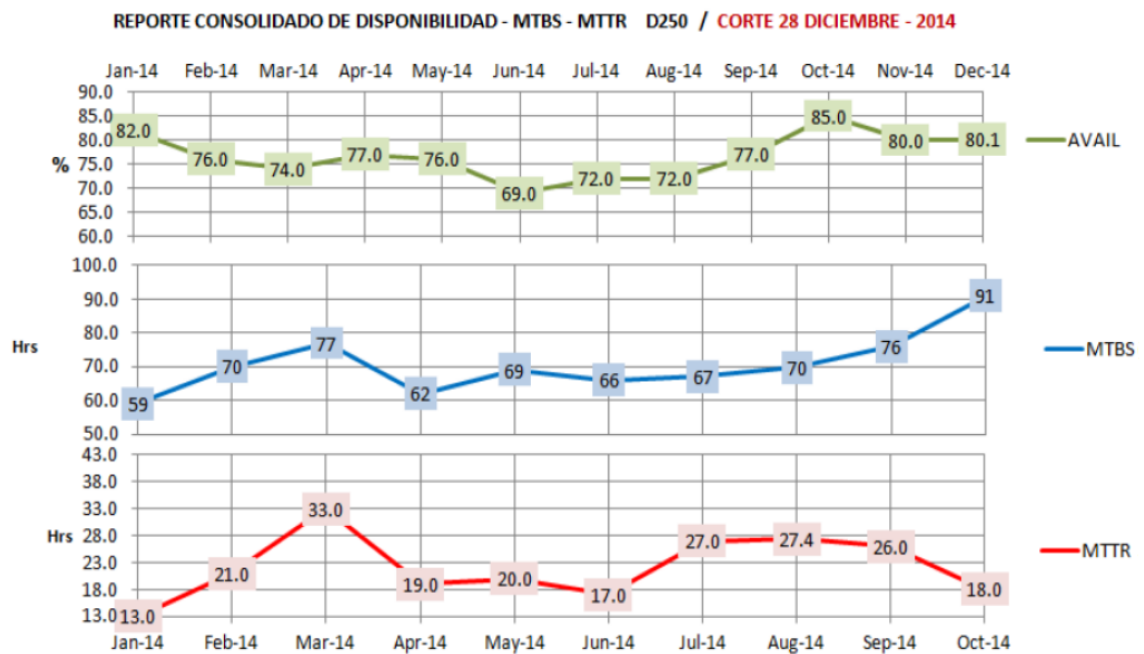
1. Barrena Arriba-Abajo. AUGER UP-DOWN
2. Barrena Adentro-Afuera. AUGER IN-OUT
3. Manguera Adentro-Afuera. HOSE IN-OUT
4. Carrete Adentro-Afuera. REEL IN-OUT

4. ANALISIS DE LOS DATOS DE MANTENIMIENTO DE LOS CAMIONES ARTICULADOS D250

En este capítulo se lleva a cabo un análisis cuantitativo de la información de los historiales de fallas, se analizan y establecen cuales son los sistemas a los cuales se debe dirigir los esfuerzos debido a que son los más recurrentes en los llamados de mantenimiento, lo cual se realiza examinando minuciosamente el historial de fallas, detallando el número total y los tipos de Intervenciones sobre los diferentes sistemas que componen los camiones D250.

Primeramente, es importante mirar el estado actual de los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de la flota de camiones, el cual no se lleva a cabo ni es objeto de análisis ni estudios hace mucho tiempo, y se realizó con la ayuda del historial de fallas durante el periodo de tiempo determinado.

Figura 55. Disponibilidad de la flota D250.



Fuente. Director del proyecto

El historial de fallas se muestra a continuación en la siguiente tabla, en donde quedan registrados datos concernientes a las intervenciones realizadas, tales como tipo de intervención, si es programada o no es programada, PM mantenimiento preventivo o CM mantenimiento correctivo, también tiempos down de los equipos con las intervenciones y descripción de las tareas.

Tabla 5. Historial de fallas

Asset ID	Model	Index Name	Subindex	Code	Shop	SMU Reading	Date Down	Date Up	Machine	Work C	Task	Task Description
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC	41494	01/07/2014	01/08/2014 9:30:00PM	23	35534	1	ub . patio de cables
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC	41494				35534	2	Cambio de atornador del motor jhon dire
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC	41494				35534	3	Cambio de baterías por descargadas
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41512	01/19/2014	01/20/2014 11:00:00PM	40	36791	1	UB: Taller pit 3
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41512				36791	2	PM(C)
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41512				36791	4	Revisar modulo dice tronica, alarmas varias.
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41512				36791	7	PM C- A/C
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41514	01/20/2014	01/21/2014 3:20:00AM	19,33	37698	1	UB : Taller
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41514				37698	2	Presenta alarma de alta temperatura de refrigerante
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41514				37698	3	Cambio de crucetas de direccion
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41514				37698	4	Cambio Orbitrol de Dirección
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41512				36791	3	Re ubicar espejos retrovisores, bases dobladas./ Tanque de com
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41512				36791	5	No tiene tonillo ni arandela de ajuste del pin cilindro lh direccion
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41512				36791	6	Guaya para abrir capo en mal estado, cambiar.
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41541	01/30/2014	01/30/2014 1:00:00PM	8	39469	1	UB : Taller pit 3
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41541				39469	2	Presenta sin fin de redireccion del cable con problema.
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41541				39469	3	Fabricacion y instalacion de Tapizado puerta de cabina.
M02408	D250	E	ELE	B	LOADER SHP	41556				82701	3	fuga hdca por manguera de señal de frenos para v/v shuttle
M02408	D250	E	ELE	B	LOADER SHP	41556	03/07/2014	03/31/2014 9:00:00PM	594,5	82701	1	UB: LOADERS SHOP
M02408	D250	E	ELE	B	LOADER SHP	41556				82701	4	PM D
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	1	UB: Loader Shop.
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	2	PM (D)
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	6	Fabricar tapizado del piso de cabina+Marco ventana lh doblado+A
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	7	Fuga aceite por tubo que sale del screen del TK h/co del Tambor.
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	9	Fuga por tubo del caliper frontal rh.
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	10	Cambiar linea del orbitrol a v/vula c/trol de dirección por present
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	12	A/C mantenimiento
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	11	Talco de indicador MPH/RPM en mal estado+Falta polo a tierra de
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	5	Fuga por v/vula compensadora de b/ba dirección y freno+Fuga pc
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	3	motor de arranque en corto
M02408	D250	E	ELE	1	LOADER PM	41553				87309	8	Fuga en area del relacionador aire/fuel y solenoide apagado+pre
M02408	D250	E	ELE	B	LOADER SHP	41556				82701	5	se remueve linea p\ n 1003835 de combustible del puesto 5 del e
M02408	D250	E	ELE	B	LOADER SHP	41556				82701	2	Colocar tuercas de bronce a sin fin del enrollacable. DMC envio
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC		04/06/2014	9:20:00AM		50371	1	UB: Patio de Tubo
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC					50371	2	Problema de freno problema con el swithc de retardador en mal
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41609	04/21/2014	04/22/2014 4:20:00AM	19,33	52059	1	UB: T. PIT 3
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41609				52059	2	PM (D)
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41609				52059	3	Cambio de Cardan central
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41609				52059	4	Mounting del radiador en mal estado cambiar
M02408	D250	E	ELE	NPM	DESC SHOP3					52059	#	1 Backlog Aspas del ventilador en mal estado Cambiar.
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC		05/04/2014	05/04/2014 4:45:00PM	3	54510	1	UB: Taller Pit 3
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC					54510	2	Fuga Hydca por Valvula compesadora de la bomba principal se re:
M02408	D250	E	ELE	URG	LOADER SHP					22028	1	SUPERIOR.
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41688	05/21/2014	05/21/2014 7:40:00AM	0,67	57128	1	UB: Taller Pit 3
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41688				57128	2	Problema con el motor auxiliar enroll cable
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41734	06/03/2014	06/03/2014 9:15:00PM	10,47	59004	1	Ubic: Taller pit 3
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41734				59004	2	Piñon / Sin fin bloqueados, no desplaza. reparar.
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41763	06/13/2014	06/14/2014 1:00:00PM	29	60160	1	UB: Taller pit 3
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41763				60160	2	PM(F)
M02408	D250	E	ELE	NPM	DESC SHOP3					60160	#	1 Backlog Mouting del tanque de combustible parte frontal en mal
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41763				60160	6	PM(F)- A/C
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41763				60160	3	Corregir fuga fuga hidraulica por manguera de valvula del tanque
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41763				60160	5	Cambiar vidrio de la puerta demasiado rayado + franja de polariz
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41763				60160	4	Fuga hidraulica por manguera del tambor enrolla cables.
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41788	06/20/2014	06/20/2014 11:30:00AM	8,5	61201	1	UB: Pala 38.
M02408	D250	E	ELE	B	DESC SHOP3	41788				61201	2	Evaluar fuga de refrigerante. se cambia gaske del enfriador d eac
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC	41790	06/20/2014	06/21/2014 4:00:00AM	8,5	61320	1	UB: Taller pit 3
M02408	D250	E	ELE	B	FIELD DESC	41790				61320	2	Evaluar alta temperatura de refegerante. Retardador aplicado

Fuente. Sistema de información de la empresa.

Para el análisis es importante definir la función principal y la función secundaria del equipo, así como los modos de falla de primer nivel con sus respectivos códigos, que en general conllevan a las fallas funcionales. Estos códigos se establecen con la ayuda de una guía que proporciona el fabricante Caterpillar.

Tabla 6. Definición de funciones

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Descripción Falla Funcional	Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I
1	Transportar y suministrar la mezcla de explosivos (ANFO +Emulsión+Agua) dentro de los agujeros perforados, en las proporciones y velocidades requeridas por el operador.	11	No puede transportar ni suministrar la mezcla de explosivos (ANFO +Emulsión+Agua) dentro de los agujeros perforados, en las proporciones y velocidades requeridas por el operador.	1000	Falla en el Motor
				1353	Falla en el Radiador
				1400	Falla en el Sistema Eléctrico
				3030	Falla en la Transmisión
				3101	Falla en el Convertidor de Torque
				3258	Falla en el Diferencial (Bevel Gear)
				4051	Falla en Mando Final
				4200	Falla en Llantas
				4250	Falla en el Sistema de Frenos
				4300	Falla en el Sistema de Dirección
				5050	Falla en el Sistema Hidráulico
				5100	Falla en Cilindros / Hidráulica Cylinders
				7050	Falla en el Chasis, Estructura / Frame
				7200	Falla en la Suspensión
				7500	PM - Mantenimiento Preventivo
7600	PCR - Reemplazo de componentes Programados				
9700	Falla en la Operación				
9870	Falla en Sistema ANFO				
2	Proveer las condiciones confortables para manejar el equipo si riesgos a la salud del operador	21	La cabina no provee confort ni seguridad al operador	7300	Falla en Cabina del Operador
				7320	Falla en Aire Acondicionado
				7401	Falla en el Sistema Supresor de Incendio / FSS

Fuente. Hoja de trabajo RCM.

En el historial se puede observar todas las tareas e intervenciones para el equipo con identificación MO2408 durante el periodo de tiempo de enero a junio del año 2014. Para un total de 45 intervenciones a los diferentes sistemas de este equipo en particular, del mismo modo se estudiaron las tareas de mantenimiento realizadas para los 14 camiones que conforman la flota y los resultados se ven en la siguiente tabla:

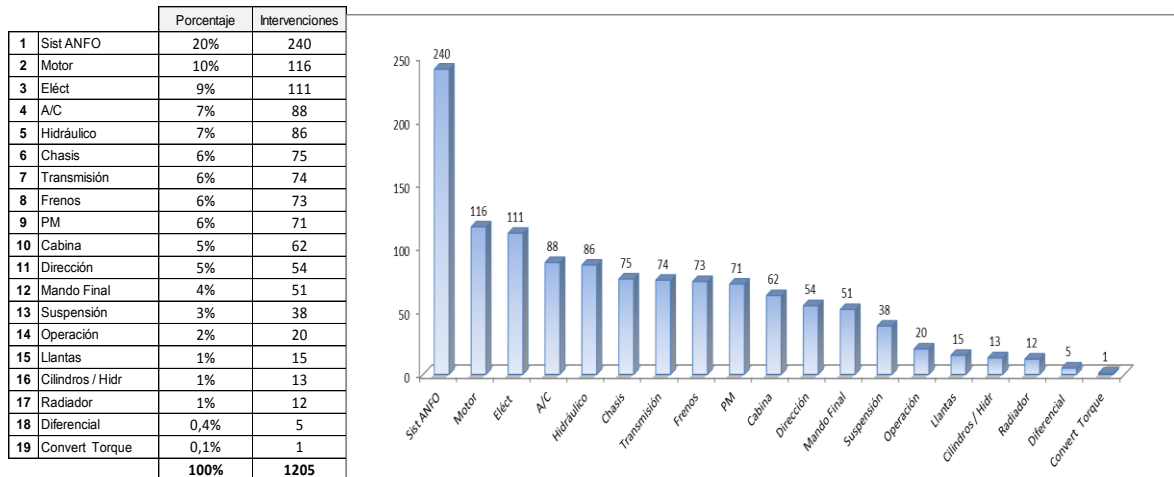
Tabla 7. Fallas totales por equipos y por modos de falla

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	ID EQUIPO														
		MO2408	MO2409	MO2410	MO2423	MO2424	MO2427	MO2428	MO2429	MO2435	MO2482	MO2483	MO2484	MO2485	MO2486	
1000	Falla en el Motor	3	4	7	6	12	5	12	8		10	6	17	16	10	116
1353	Falla en el Radiador	2		1		1	3	1	1		2				1	12
1400	Falla en el Sistema Eléctrico	3	12	1	9	6	15	9	6	2	2	12	6	10	18	111
3030	Falla en la Transmisión	1	20		8	3	9	3	1		10	4	5	5	5	74
3101	Falla en el Convertidor de Torque								1							1
3258	Falla en el Diferencial (Bevel Gear)		2								1		1	1		5
4051	Falla en Mando Final		7		10	5	1	4	3	6	3	3	1	1	7	51
4200	Falla en Llantas				2	1			3		2	1	3	2	1	15
4250	Falla en el Sistema de Frenos	3	4	3	11	5	5	7	3	3	5	8	3	5	8	73
4300	Falla en el Sistema de Dirección	4	9	2	3	7	2	7	1		1	3	2	10	3	54
5050	Falla en el Sistema Hidráulico	9	11	2	11	8	6	5	2		2	6	8	12	4	86
5100	Falla en Cilindros / Hidráulica Cylinders	1	1			4		2				1		1	3	13
7050	Falla en el Chasis, Estructura / Frame	8	10	1	6	8	5	5	1	1	1	7	9	7	6	75
7200	Falla en la Suspensión		1			8	1	5	7		1	5		4	6	38
7500	PM - Mantenimiento Preventivo	4	7	4	7	7	5	4	5	2	1	7	5	6	7	71
7600	PCR - Reemplazo de componentes Prog															0
9700	Falla en la Operación	1				1	5	4	2			1		6		20
9870	Falla en Sistema ANFO		13		35	28	27	28	18			29	33	17	12	240
7300	Falla en Cabina del Operador	3	8	1	5	5	4	6	4		3	7	7	6	3	62
7320	Falla en Aire Acondicionado	3	8	3	8	15	5	5	4	2	4	5	17	5	4	88
7401	Falla en el Sistema Supresor de Incendio															0
		45	117	25	121	124	98	107	70	16	48	105	117	114	98	1205

Fuente. Hoja de trabajo RCM.

Teniendo como resultado los sistemas con mayor número de intervenciones: el sistema de almacenamiento y descarga de ANFO Tradestar con un total de 240 que corresponde al 20% del total de intervenciones de mantenimiento, en segundo el Motor con 116 intervenciones para un 10% y en tercer lugar las intervenciones al sistema eléctrico 111 en total para un 9%. Entre estos tres sistemas redondeando las cifras se tiene aproximadamente un 40% del total de las intervenciones de mantenimiento registradas en el historial, por ende las labores de gerenciamiento encaminadas hacia corregir problemas en estos sistemas traerá un aumento sustancial de la confiabilidad y disponibilidad de la flota.

Tabla 8. Sistemas con más intervenciones



Fuente. Autores.

Teniendo los sistemas con mayor número de intervenciones de mantenimiento se procede a realizar cálculos cuantitativos de criticidad, para identificar plenamente los sistemas críticos a los cuales vamos a dirigir sólidamente los esfuerzos teniendo en cuenta una ponderación de varios factores como:

- ✓ Efecto sobre el servicio que proporciona.
- ✓ Valor técnico-económico.
- ✓ Si la falla afecta al equipo en sí, al servicio, al operador y/o a la seguridad en general
- ✓ Probabilidad de la falla, alta o baja, para lo cual se tiene la ayuda del análisis anterior del historial de fallas.
- ✓ Flexibilidad del equipo en el sistema.
- ✓ Dependencia logística de los repuestos, si están disponibles localmente o en el extranjero.
- ✓ Dependencia de la mano de obra.
- ✓ Facilidad de la reparación (Mantenibilidad).

Tabla 9. Valores de ponderación para análisis de criticidad.

ÍTEM	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACION	OBSERVACIONES
1	Efecto sobre el Servicio que proporciona:			
	Para		4	
	Reduce		2	
	No para		0	
2	Valor Técnico - Económico:			
	Considerar el costo de Adquisición, Operación y Mantenimiento.	Alto	3	Más de US 20000
		Medio	2	
Bajo		1	Menos de US 1000	
3	La falla Afecta:			
	a. Al Equipo en si	Si	1	Deteriora otros componentes?
		No	0	
	b. Al Servicio	Si	1	Origina problemas a otros equipos?
		No	0	
	c. Al operador:	Riesgo	1	Posibilidad de accidente del operador?
		Sin Riesgo	0	
d. A la seguridad en grl.	Si	1	Posibilidad de accidente a otras personas ù otros equipos cercanos.	
	No	0		
4	Probabilidad de Falla (Confiabilidad)			
	Alta		2	Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le necesite?
	baja		0	
5	Flexibilidad del Equipo en el Sistema:			
	Unico		2	No existe otro igual o similar
	By pass		1	El sistema puede seguir funcionando.
	Stand by		0	Existe otro igual o similar no instalado
6	Dependencia Logística:			
	Extranjero		2	Repuestos se tienen que importar
	Loc./Ext.		1	Algunos repuestos se compran localmente.
	Local		0	Repuestos se consiguen localmente.
7	Dependencia de la Mano de Obra:			
	Terceros		2	El Mantenimiento requiere contratar a terceros.
	Propia		0	El Mantenimiento se realiza con personal propio.
8	Facilidad de Reparación (Mantenibilidad):			
	Baja		1	Mantenimiento difícil.
	Alta		0	Mantenimiento fácil.
ESCALA DE REFERENCIA			Asignar los valores de la ponderación calificando al equipo por su incidencia sobre cada variable. Este paso requiere un buen conocimiento del equipo, su sistema, su operación, su valor y los daños que podría ocasionar una falla.	
A	CRITICA	16 a 20		
B	IMPORTANTE	11 a 15		
C	REGULAR	06 a 10		
D	OPCIONAL	00 a 05	Obtener el valor ponderado para cada equipo y agruparlas clasificándolas de acuerdo a la escala de referencia y buscando una distribución con sesgo izquierdo, como se muestra en la figura, a fin de acercarnos al costo mínimo de la actividad de mantenimiento	

Fuente. JCB Consultores.

Teniendo en cuenta los valores ponderables de la tabla anterior, se procede a armar la tabla de cálculo de criticidad analizando cada uno de los sistemas y dándole valores para cada uno de los conceptos y variables que se describen en esta herramienta de análisis.

Tabla 10. Calculo de criticidad.

	COD	MODO DE FALLA	PONDERACIÓN											REFERENCIA	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8		TOTAL
1	1000	Motor	4	3	1	1	1	0	2	2	1	1	1	17	CRÍTICO
2	1353	Radiador	4	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	9	REGULAR
3	1400	Sistema Eléctrico	4	2	1	1	1	0	2	2	1	0	0	14	IMPORTANTE
4	3030	Transmisión	4	3	1	1	0	0	1	2	0	0	0	12	IMPORTANTE
5	3101	Convertidor de Torque	4	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	9	REGULAR
6	3258	Diferencial	4	2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	10	REGULAR
7	4051	Mandos Finales	4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	8	REGULAR
8	4200	Llantas	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5	OPCIONAL
9	4250	Frenos	4	2	1	1	0	0	1	2	0	0	0	11	IMPORTANTE
10	4300	Sistema de Dirección	4	2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	10	REGULAR
11	5050	Falla en el Sistema Hidráulico	4	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0	12	IMPORTANTE
12	5100	Hidráulica Cylinders	4	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	9	REGULAR
13	7050	Chasis, Estructura / Frame	2	2	1	0	0	0	2	1	0	0	0	8	REGULAR
14	7200	Suspensión	4	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8	REGULAR
15	7500	PM	4	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	9	REGULAR
17	9870	Sistema ANFO	4	3	1	1	1	1	2	2	1	1	1	18	CRÍTICO
18	7300	Falla en Cabina del Operador	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	6	REGULAR
19	7320	Aire Acondicionado	4	2	1	1	1	0	2	1	0	0	0	12	IMPORTANTE

Fuente. Autores.

El resultado del análisis cuantitativo de criticidad basado en los factores ponderables de los sistemas e hincado fuertemente en el historial de fallas y brinda los resultados que se plasman en la anterior tabla, donde resultan dos sistemas que confirmando con la gráfica de número de intervenciones, son críticos y que también son los que más número de intervenciones tienen cuando se analizó el historial de fallas, los cuales son el sistema de almacenamiento y descarga de ANFO Tradestar con la mayor ponderación total de criticidad igual a 18 y el sistema Motor, con la segunda mayor ponderación igual a 17.

Se puede asegurar con toda confianza que estos dos sistemas son los que deben ser el objeto primordial de los análisis de modo y efectos de falla AMEF dentro del estudio metodológico del RCM, estudio que se observa en las siguientes tablas de análisis.

Tabla 11. Análisis de modo y efecto de fallas del motor.

Cod. Func.	Cod. FF	Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod. MF II	Modos de Falla de NIVEL II	Efectos
1	11	1000	Falla en el Motor	1001	Tubos de Escape obstruidos	Alarma por alta temperatura en el motor. El operario para inmediatamente el equipo para evitar daños mayores.
				1002	Enfriador de Aceite de Motor Obstruido	
				1003	Vapor en el sistema de enfriamiento por que el motor esta sobrecalentado	
				1004	Aire en el sistema de enfriamiento por un incorrecto procedimiento de llenado.	
				1005	Baja velocidad del Ventilador, causado por baja presión o problemas en el sistema hidráulico del ventilador	
				1006	Compresión al radiador.	
				1007	Posenfriador obstruido / Roto	
				1008	Termostatos pegados cerrados o abiertos	
				1009	El Impeler de la Bomba de Agua no gira	
				1010	Fugas Externas de Refrigerante	
				1011	Filtros de Aire obstruidos	
				1012	Radiador Obstruido Internamente	
				1013	Radiador Obstruido Externamente	
				1014	Fuga Externa de Refrigerante por Turbocargadores- Instalacion incorrecta	
				1015	Fuga Externa de Refrigerante Por testigo de Bomba de Agua por desgaste interno - Instalacion incorrecta	
				1016	Fuga Externa de Refrigerante por Enfriador de Motor - Instalacion incorrecta	
				1017	Fuga Externa de Refrigerante por Caja de Termostatos - Instalacion incorrecta	
				1018	Fuga Externa de Refrigerante por Tubos y Mangueras de Refrigerante- Instalacion incorrecta	
				1019	Radiador Obstruido Externamente por suciedad	
				1020	Radiador Obstruido Internamente por contamiacion	
				1021	Fuga por Mangueras de Refrigerante por Tubos de Refrigerante por roce - instalacion incorrecta	
				1022	Fuga por Mangueras de Refrigerante por lineas de refrigerante por roce - instalacion incorrecta	
				1023	Fuga de Refrigerante por Modulo por golpe	
				1024	Fuga de Refrigerante por sello de Modulo - Instalacion Incorrecta	
				1025	Tanque de Combustible sucio	Baja potencia en el motor por velocidad de calado por debajo de 2098 rpm, el camion articulado no puede transportar la carga de explosivos y el operario para el equipo.
				1026	Falla Mecanica en Inyector/Resorte Partido	
				1027	Filtros de Combustible Obstruido	
				1028	Preclaners Obstruidos	
				1029	Baja Presion de Combustible / Aire en el combustible	
				1030	Fuga de Gases de Escape / Fuga de Admision	
				1031	Filtros de Aire Obstruidos	
				1032	Turbocargador con desgaste / fallado	
				1033	Desgaste en Anillos y Camisas	
1034	Falla en Lobulo de Arbol de levas					
1035	Calibracion Erronea de Valvulas					
1036	Valvula de Admision / Escape partida					
1037	Fuga de Combustible por lineas de combustible por roce - instalacion incorrecta					
1038	Fuga de Combustible por Tubos de combustible por roce - instalacion incorrecta					
1039	Fuga de Combustible por testigo de Bomba de Transferencia por desgaste interno					

Fuente. Hoja de análisis RCM.

Tabla 12. Análisis de modo y efecto de fallas 2 del motor.

1	11	1000	Falla en el Motor	1040	Baja Viscosidad del aceite por alta temperatura	Alarma por baja presión de Aceite del motor. El operario para el camion inmediatamente para evitar daños severos.
				1041	Obstruccion Interna en conductos de lubricacion	
				1042	Desgaste en los cojinetes del cigüeñal o del arbol de levas	
				1043	Desgaste Interno en la Bomba de Aceite	
				1044	Dilucion de Combustible en el Aceite de Motor	
				1045	Degradacion del Aceite por altas horas	
				1046	Bajo Nivel de Aceite de Motor por fuga o por consumo	
				1047	Baja Presion de Aceite de Motor por Filtros de Aceite Obstruidos	
				1048	Contaminacion del Aceite de Motor con Combustible / Inyectores, Culata o Bomba de transferencia con fuga	
				1049	Fuga Aceite de Motor por Tubos de Aceite de Motor- Instalacion incorrecta	
				1050	Fuga Aceite de Motor por Enfriador de Motor - Instalacion incorrecta	
				1051	Fuga Aceite de Motor por Drive de Bombas / Alternador - Instalacion incorrecta	
				1052	Fuga Aceite de Motor por Tapones de drenaje- Instalacion incorrecta	
				1053	Fuga Aceite de Motor por sellos del carter - Instalacion incorrecta	
				1054	Fuga Aceite de Motor por sellos de Distribucion Frontal/ Trasera - Instalacion incorrecta	
				1055	Fuga Aceite de Motor por Sello Frontal del Cigüeñal/Piñones Locos - Instalacion incorrecta	
				1056	Fuga de Aceite de Motor por rotura del carter por golpe (Accidente)	El Motor no funciona adecuadamente o no gira.
				1057	Contaminacion del Aceite de Motor con refrigerante / Enfriador de Aceite Roto	
				1058	Fuga Aceite de Motor por Filtros de Aceite de Motor - Instalacion incorrecta	
				1059	Problemas Mecanicos Bloqueo Hidraulico con Refrigerante o Combustible	
				1060	Problemas Mecanicos Cigüeñal pegado por falta de lubricacion	
				1061	Problemas Mecanicos Cigüeñal pegado por falta de lubricacion	
				1062	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Baja Presion de Combustible / Aire en el combustible	
				1063	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Falla en Inyector /Solenoides del Inyector/ Arnes del Inyector	
				1064	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Tanque de Combustible sucio	
				1065	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Bajo Nivel de Combustible	
				1066	Ruido en el Motor / Falla Intena de algun elemento de sujecion o engranaje	Ruido anormal proveniente del exhosrto del camion
				1067	Fuga de Gases de Escape por Codos de Turbocargadores por instalacion incorrecta	
				1068	Fuga de Gases de Escape por Exhosto Suelto por Instalacion incorrecta o roto por desgaste	
				1069	Fuga de Gases de Escape por Manifold de escape por instalacion incorrecta	

Fuente. Hoja de análisis RCM.

Tabla 13. Análisis de modo y efecto de fallas del sistema de ANFO.

Cod. Func.	Cod. FF	Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod. MF II	Modos de Falla de NIVEL II	Efectos
1	11	9870	Falla en sistema ANFO	9871	Sin fin de extraccion de ANFO atascado por rodamientos agarrotados	El sistema de barrena de ANFO AN AUGER hidraulico en serie no decarga ANFO correctamente en la barrena de descarga vertical.
				9872	Sin fin de extraccion de ANFO atascado por fricción con el tubo	
				9873	Fuga de aceite en motor hidraulico de barrena de extraccion de ANFO	
				9874	Fuga en mangueras hidraulicas de motor de barrena de extracción ANFO	
				9875	Mangueras del motor de la barrena de extraccion de ANFO rotas	
				9876	Mangueras del motor de la barrena de extraccion de ANFO sueltas	
				9877	Desgaste en el tornillo sin fin de extraccion ANFO	
				9878	Desgaste en las paredes del tubo del sin fin de extraccion ANFO	
				9879	Sin fin diagonal atascado por rodamientos agarrotados	
				9880	Sin fin de diagonal atascado por fricción con el tubo	
				9881	Fuga de aceite en motor hidraulico de barrena diagonal	
				9882	Fuga en mangueras hidraulicas de motor de barrena diagonal	
				9883	Mangueras del motor de la barrena diagonal rotas	
				9884	Mangueras del motor de la barrena diagonal sueltas	
				9885	Desgaste en el tornillo sin fin diagonal	
				9886	Desgaste en las paredes del tubo del sin fin diagonal	
				9887	Fuga de aceite en motor hidraulico de la bomba de emulsión	El flujo de emulsión es ineficiente o inexistente desde el compartimento hacia la barrena de descarga vertical VD AUGER.
				9888	Fuga en mangueras hidraulicas de la bomba de emulsión	
				9889	Mangueras la bomba de emulsion rotas	
				9890	Manguerasde la bomba de emulsión sueltas	
				9891	Fuga por manguera de emulsión	
9892	Bomba de emulsion dañada					
9893	Daño en el tanque de Emulsión					
9894	Sin fin VD AUGER atascado por rodamientos agarrotados	La Barrena de descarga vertical VD AUGER del sistema no funciona adecuadamente o presenta anomalías en su funcionamiento de descarga de mezcla ANFO + Emulsión.				
9895	Sin fin VD AUGER atascado por fricción con el tubo					
9896	Fuga de aceite en motor hidraulico del VD AUGER					
9897	Fuga en mangueras hidraulicas de motor del VD AUGER					
9898	Mangueras del sistema hidraulico VD AUGER rotas					
9899	Magueras del sistema hidraulico sueltas					
9900	Desgaste en el tornillo sin fin					
9901	Desgaste en las paredes del tubo del sin fin					

Fuente. Hoja de análisis RCM.

Tabla 14. Análisis de modo y efecto de fallas 2 del sistema de ANFO.

1	11	9870	Falla en sistema ANFO	9902	Fuga de aceite en motor hidraulico de la bomba MONOFLOW	Anomalias en el flujo de producto ANFO + Emulsion +Agua hacia el conjunto Manguera- Carrete
				9903	Fuga en mangueras hidraulicas de la bomba MONOFLOW	
				9904	Mangueras de la bomba MONOFLOW rotas	
				9905	Manguerasde la bomba de MONOFLOW sueltas	
				9906	Fuga por manguera del producto hacia el carrete	
				9907	Bomba MONOFLOW de producto dañada	
				9908	Compartimento embudo dañado	
				9909	Fuga de aceite en motor hidraulico de la bomba de Agua	
				9910	Fuga en mangueras hidraulicas de la bomba de Agua	
				9911	Mangueras de la bomba de Agua rotas	
				9912	Manguerasde la bomba de Agua sueltas	
				9913	Fuga por manguera Agua hacia el compartimento embudo	
				9914	Bomba de Agua dañada	
				9915	Daño en el tanque de Agua	Imposibilidad de ubicar la manguera justo encima de la perforacion para descarga.
				9916	La manguera no sale ni entra	
				9917	El carrete no sale ni entra	Alta temperatura en el sistema hidraulico del sistema de ANFO y el operador para el equipo
				9918	Bajo Nivel de Aceite Tanque Hidraulico	
				9919	Sobre Nivel de Aceite Tanque Hidraulico	
				9920	Valvula de Alivio calibrada a presion muy baja o alta	
				9921	Restriccion en el sistema hidraulico	
				9922	Aceite Degradado	
				9923	Enfriador de aceite obstruido	
				9924	Valvula de bypas nofunciona correctamente	
				9925	Baja Presion de Bomba/Motor por desgaste inteno	
				9926	Ventilador no gira o con baja velocidad	

Fuente. Hoja de análisis RCM.

Tabla 15. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas del sistema motor

Cod. MF II	Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)	HORAS HOMBRE
	H	S	E	O							
1001	S	N	N	S	S			A Condicion	Presurizar el Sistema de Refriegrante / Revisar el Consumo de Refrigerante	250	1
1002	S	N	N	S	S			A Condicion	Presurizar el Sistema de Refriegrante / Revisar el Consumo de Refrigerante	250	1
1003	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante	250	0,5
1004	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar sistema de enfriamiento	250	0,5
1005	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir la Presion de la Bomba del Fan/ Toma de Muestra de Aceite Hidraulico (Analisis de Particulas en el Aceite Hidraulico)	250	0,5
1006	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante	250	0,5
1007	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuacion de Refrigerante en el Aceite)	250	0,2
1008	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante	250	0,5
1009	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante	250	0,5
1010	S	N	N	S	S			A Condicion	Presurizar el Sistema de Refriegrante / Revisar el Consumo de Refrigerante	250	1
1011	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Aire	125	0,5
1012	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante	250	0,25
1013	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Lavar el Radiador - A las 250 se Realiza Prueba de Fujo	80/250	0,5
1014	S	N	S		S			A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente los Turbo cargadores por fugas	250	0,5
1015	S	N	S		S			A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Testigo de Bomba de Agua por fugas	2000	0,5
1016	S	N	S		S			A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Enfriador	250	0,5
1017	S	N	S		S			A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente la caja de termostatos	250	0,5
1018	S	N	S		S			A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,5
1019	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Lavar el Radiador - A las 250 se Realiza Prueba de Fujo / Descargar Infromacion del VIDS-Preventor	250	0,5
1020	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar infoamcion del VIDS-Preventor	80/250	0,5
1021	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2
1022	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2
1023	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2
1024	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2
1025	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Combustible y Limpieza de Filtro Primario	250	0,5
1026	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Analisis de Particulas de Hollin)	250	0,2
1027	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Combustible y Limpieza de Filtro Primario	250	0,5
1028	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Remover y Limpiar los Precleaners	2000	1
1029	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir la presion de Combustible / Revisar Testigo de Bomba de Transferencia	2000	0,25
1030	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Analisis de Particulas de Hollin)	250	0,2
1031	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Aire	125	0,5
1032	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir la Presion de Refuerzo - Tomar Muestra de Aceite de Motor (Analisis de Particulas de Cobre)	250	0,25
1033	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Analisis de Particulas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0,2
1034	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro)	250	0,2
1035	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Calibrar valvulas de admision, de escape e Inyectores	250/2000/5000	24
1036	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Calibrar valvulas de admision, de escape e Inyectores	250/2000/5000	24
1037	S	S						A Condicion	Inspeccionar Visualmente de las Mangueras de Combustible por Enrrutamiento y roces	250	0,5
1038	S	S						A Condicion	Inspeccionar Visualmente de los Tubos de Combustible por Enrrutamiento y roces	250	0,5
1039	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir la presion de Combustible / Revisar Testigo de Bomba de Transferencia	2000	1

Fuente. Hoja de decisiones RCM

Tabla 16. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas 2 del sistema motor

1040	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante	250	0,5
1041	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0,2
1042	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0,2
1043	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0,2
1044	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Combustible en el Aceite)	250	0,2
1045	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar el Aceite de Motor	250	1
1046	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	1
1047	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Aceite e Inspeccionar los Filtros en búsqueda de partículas	250	0,5
1048	N			S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Combustible en el Aceite)	250	0,2
1049	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0,5
1050	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0,5
1051	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0,5
1052	S	N	S		S			A Condicion	Verificar el torque de los tapones de drenaje al instalarlos	250	0,5
1053	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0,5
1054	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0,5
1055	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0,5
1056	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0,5
1057	N			S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Refrigerante en el Aceite)	250	0,2
1058	S	N	S		S			A Condicion	Verificar el torque y la alineación de los Stud de los filtros de aceite y el torque del filtro al instalarlo	250	0,5
1059	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Refrigerante en el Aceite)	250	0,2
1060	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0,2
1061	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Motor por horas de Trabajo	12000	400
1062	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Medir la presión de Combustible / Revisar Testigo de Bomba de Transferencia	2000	1
1063	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0,2
1064	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Combustible y Limpieza de Filtro Primario	250	0,5
1065	S	N	N	S	N	N	N	Ninguno	Ningun Mantenimiento		
1066	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0,2
1067	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente por fuga de Gases de Escape / Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0,5
1068	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente por fuga de Gases de Escape / Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0,5
1069	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente por fuga de Gases de Escape / Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0,5

Fuente. Hoja de decisiones RCM

Tabla 17. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas del sistema ANFO.

Cod. MF II	Evaluación de Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)	HORAS HOMBRE
	H	S	E	O							
9871	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar rodamientos del Sin fin de extraccion de ANFO	500	1	
9872	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar interferencias del Sin fin de extraccion de ANFO	500	1	
9873	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Sellos del Motor Hidraulico de la Barrena de extraccion de ANFO	250	0,5	
9874	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la Barrena de extraccion de ANFO	250	0,5	
9875	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la Barrena de extraccion de ANFO	250	0,5	
9876	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la Barrena de extraccion de ANFO	250	0,5	
9877	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar espesor de la helice del Sin fin de extraccion de ANFO	500	1	
9878	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar espesor del tubo del Sin fin de extraccion de ANFO	500	1	
9879	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar rodamientos del Sin fin diagonal	500	1	
9880	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar interferencias del Sin fin diagonal	500	1	
9881	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Sellos Motor Hidraulico de la Barrena diagonal	250	0,5	
9882	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la Barrena diagonal	250	0,5	
9883	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la Barrena diagonal	250	0,5	
9884	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la Barrena diagonal	250	0,5	
9885	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar espesor de la helice del Sin fin diagonal	500	1	
9886	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar espesor del tubo del Sin fin diagonal	500	1	
9887	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Sellos Motor Hidraulico de la bomba de emulsion	250	0,5	
9888	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba de emulsion	250	0,5	
9889	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba de emulsion	250	0,5	
9890	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba de emulsion	250	0,5	
9891	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Manguera de emulsion	250	0,5	
9892	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo Cambio de Bomba de emulsion por horas	8000	48	
9893	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Tanque de emulsion	250	0,5	
9894	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar rodamientos del Sin fin del VD AUGER	500	1	
9895	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar interferencias del Sin fin del VD AUGER	500	1	
9896	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Sellos Motor Hidraulico del VD AUGER	250	0,5	
9897	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas del VD AUGER	250	0,5	
9898	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas del Barrena de VD AUGER	250	0,5	
9899	S	N	S		S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas del VD AUGER	250	0,5	
9900	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar espesor de la helice del Sin fin del VD AUGER	500	1	
9901	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar espesor del tubo del Sin fin del VD AUGER	500	1	

Fuente. Hoja de decisiones RCM

Tabla 18. Evaluación de consecuencias y decisión de tareas 2 del sistema ANFO.

9902	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Sellos Motor Hidraulico de la bomba MONOFLOW	250	0,5
9903	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba MONOFLOW	250	0,5
9904	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba MONOFLOW	250	0,5
9905	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba MONOFLOW	250	0,5
9906	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Manguera de Producto	250	0,5
9907	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Bomba MONOFLOW por horas	10000	50
9908	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente compartimento embudo	250	0,5
9909	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Sellos Motor Hidraulico de la bomba de Agua	250	0,5
9910	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba de Agua	250	0,5
9911	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba de Agua	250	0,5
9912	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Mangueras Hidraulicas de la bomba de Agua	250	0,5
9913	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente Manguera de Agua hacia el compartimento embudo	250	0,5
9914	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Bomba de Agua por horas	12000	45
9915	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente compartimento embudo	250	0,5
9916	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar sistema de Enrollado de la manguera de descarga	500	1
9917	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar sistema Adentro/Afuera del carrete	500	1
9918	S	N	N	S	S			A Condicion	Inepccionar el nivel de aceite hidraulico	250	0,1
9919	S	N	N	S	S			A Condicion	Inepccionar el nivel de aceite hidraulico	250	0,1
9920	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion/ Inspeccionar y Lubricar Varillaje	250	1
9921	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar, Cortar e inspeccionar filtros de Aceite Hidraulico	500	1
9922	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar Aceite Hidraulico del sistema	2000	1
9923	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar, Cortar e inspeccionar filtros de Aceite Hidraulico	1000	1
9924	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar valvula de By Pass	12000	6
9925	N				S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Analisis de Particulas de Cobre e Hierro)	500	0,2
9926	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Bomba de fan y verificar funcionamiento de solenoide del fan	250	1

Fuente. Hoja de decisiones RCM

5. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA IMPLEMENTACION DEL RCM PARA LA FLOTA CAMIONES ARTICULADOS D250.

Para la planeación estratégica de la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM se ha definido y marcado 4 pilares fundamentales para llevar a cabo la posterior ejecución del producto de este trabajo que ha de llevar a procedimientos más costo-efectivos de la labor de mantenimiento en cuanto a reducción de tiempos-costos se refiere, y rutinas de mantenimiento mucho más eficaces y eficientes para lograr mayores niveles de confiabilidad de los equipos.

Es necesario en el plan estratégico definir y delegar funciones entre los líderes de la flota, planeadores y supervisores para que asuman sus roles, para que se comprometan y asuman responsabilidades dentro de la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad. Para ellos se trazan objetivos específicos discriminados para cada área, como manera de reajustar los frentes de trabajo con compromisos fijados de metas por cumplir en cuanto a niveles de indicadores como MTBS y MTTR, de la misma forma se enmarca la misión y la visión de todo este enfoque analítico y practico.

Los cuatro pilares antes mencionados de la planeación estratégica son:

- Programa de mantenimiento preventivo PM
- Programa de reemplazo de componentes mayores PCR.
- Programa de mantenimiento predictivo o basado en condición CBM.
- Programa de administración de recursos RM.

El resumen de la propuesta de la planeación estratégica del RCM se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 19. Planeación estratégica del RCM

PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DEL RCM PARA LA FLOTA DE CAMIONES D250				
MISIÓN	Garantizar el correcto desarrollo y planeación de las labores de mantenimiento para mantener altos los niveles de Disponibilidad y Confiabilidad			
VISIÓN	Tener los niveles de confiabilidad por encima de los estándares que avale una Disponibilidad por encima del 85 %			
PROGRAMAS PRINCIPALES				
	Programa de Cambio de Componentes Mayores PCR	Programa de Mantenimiento Preventivo PM	Programa de Mantenimiento Basado en Condición CBM	Programa de Administración de Recursos RM
OBJETIVO GENERAL	Establecer tiempo de vida útil de componentes mayores para evitar fallas por desgaste por tiempo de operación.	Prevenir fallas anticipadamente con rutinas basadas en Tiempo.	Detectar fallas potenciales e intervenir antes de que ocurra la falla.	Disponer de los recursos necesarios para la ejecución de las labores de los programas PCR, PM y CBM.
DESCRIPCIÓN	Frecuencia de reemplazo teniendo en cuenta condiciones operacionales, desgaste y vida útil del componente mayor	Periodos de tiempo fijos para cambio de componentes.	Monitoreo constante de la condición o variable de interés para poder anticipar la falla	Gestión de Inventario según programas de labores, adquisición y envío a reparación de componentes según ordenes de trabajo.
	Mantener niveles de inventarios acorde a las proyecciones de PCR y de componentes menores asociados.	Mejorar los procesos de PM identificando debilidades y disminuyendo tiempos improductivos de reparación y niveles de Mantenibilidad.	Análisis de Aceite. Toma de muestras y formatos personalizados con estadísticas de niveles críticos para la salud, el medio ambiente y partículas de desgaste para elementos críticos de los sistemas.	Cuantificar consumo de partes, compras de costo directo, reparación y estadísticas de consumo para elaborar presupuesto y tomar decisiones.
	Organizar una planeación anual de trabajo de PCR's estableciendo recursos, contrataciones y mano de obra.	Plan de mejora continua de las labores de PM basados en el estudio RCM (Fallas repetitivas, condiciones operacionales y vida útil)	Termografía. Uso de cámaras infrarrojas para detectar el comportamiento de los puntos calientes en el Motor y en el sistema de ANFO.	Generar informes y reportes gráficos del consumo y diferentes movimientos de los componentes para facilitar la acción de toma de decisiones inmediatas.
KPI's	Confiabilidad por PCR's (MTBSpcr), Mantenibilidad por PCR's (MTTRpcr)	Confiabilidad por PM's (MTBSpm), Mantenibilidad por PM's (MTTRpm)	MTBS, MTTR por servicios de mtto predictivo en campo.	Backlogs ejecutados, Consumo de recursos, Indisponibilidad por demoras por falta de recursos.
RESPONSABLE GESTIÓN	Programador-Planeador de PCR's	Programador-Planeador de PM's	Analista de Flota	Administrador de Materiales.
RESPONSABLE EJECUCIÓN	Personal de Taller de reparaciones Mayores y Supervisor	Personal de Taller y Supervisor	Personal de Campo	Analista de Componentes y Backlogs.

Fuente. Planeación estratégica RCM.

5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para los procedimientos del programa de mantenimiento preventivo PM, es necesario contextualizar los periodos de tiempo establecidos por el fabricante en los cuales la empresa enmarca sus procedimientos de mantenimientos de este tipo PM.

Caterpillar indica que el mantenimiento preventivo de estas máquinas debe realizarse cada 250 horas de operación de manera obligatoria, que es el tiempo en el cual se le realiza el cambio de aceite del motor y componentes recambio importantes del sistema, entonces es ahí donde se pretende aprovechar para atacar los flancos más sensibles, recurrentes y críticos vistos en el análisis de modo y efecto de fallo AMEF, lo que traerá inminentemente consigo una reducción de la indisponibilidad, aumento significativo de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Los mantenimientos se realizan en rutinas cada 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 y 2000 horas de operación, son denominados A, B. C. D. E. F. G y H respectivamente.

Realizando los cálculos, los camiones articulados operan alrededor de 16 horas diarias, es decir que cumpliendo con los PM obligatorios de 250 horas, deben ser llevados al taller para practicar las tareas de mantenimiento preventivo cada 16 días. A continuación se muestra las rutinas de mantenimiento preventivo y sus respectivos periodos de aplicación

Tabla 20. Rutinas de mantenimiento preventivo.


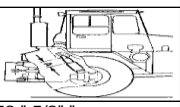
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PM	FRECUENCIA DE RUTINAS							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Aceite Hidraulico del Sistema ANFO	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>c,n</i>
Aceite del Motor	<i>c-m</i>	<i>c-m</i>	<i>c-m</i>	<i>c-m</i>	<i>c-m</i>	<i>c-m</i>	<i>c-m</i>	<i>c-m</i>
Mandos Finales	<i>n-t</i>	<i>n-t-m</i>	<i>n-t</i>	<i>n-t-m-c</i>	<i>n-t</i>	<i>n-t-m</i>	<i>n-t</i>	<i>n-t-m-c</i>
Aceite del Diferencial	<i>n</i>	<i>n-m</i>	<i>n</i>	<i>n-m-c</i>	<i>n</i>	<i>n-m</i>	<i>n</i>	<i>n-m-c</i>
Aceite del Torque-converter y transmisión	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>c-m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>c-m</i>
Aceite Bastidores	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>
Filtro de combustible	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>
Filtro de aceite Tanque hidraulico ANFO	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>
Filtro de aceite Motor	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>
Filtro de aceite convertidor y transmisión	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>
Filtro de aire 1rio	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>
Filtro de aire 2rio		<i>f</i>		<i>f</i>		<i>f</i>		<i>f</i>
Filtro hidraulico diferencial		<i>f</i>		<i>f</i>		<i>f</i>		<i>f</i>
Respiradero tanque hidraulico								<i>c</i>
Valvula de venteo tanque de combustible								<i>c</i>
Screen Fondo de la Transmisión								<i>c</i>
Screen Fondo del Torque Converter								<i>c</i>
Screen Bomba Transmisión								<i>c</i>

Cambiar	<i>c</i>
Tomar Muestra	<i>m</i>
Revisar Nivel	<i>n</i>
Revisar Tapón	<i>t</i>
Revisar/Cambiar Filtro	<i>f</i>

Fuente. Hoja de trabajo RCM.






Para las rutinas de mantenimiento preventivo se propone realizar las actividades plasmadas en los formatos de check-list a continuación, teniendo en cuenta los modos de falla más habituales y la practicidad para ser correctamente diligenciados, puesto que revisando los procedimientos, se encontraron varios modelos que de cierta forma dificultan la estandarización y que también, en ocasiones, le resultan complejos a los técnicos de mantenimiento para llenar. Para ello se plantea utilizar los siguientes formatos didácticos y estandarizados mostrados de aquí en adelante.

Tabla 21. Check list de rendimiento

		LISTA DE CHEQUEO PARA PM CAMION ARTICULADO D250E			
PRUEBAS DE RENDIMIENTO					
TECNICO		EQUIPO No		PM TIPO	
FECHA		HOROMETRO			
MM / DD / AA					
REALIZAR LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES					
Realizar en todos los PM		Especifica	Encontrada	Ajustado	
MOTOR	1	RPM en baja	800 ± 10		
	2	RPM en alta	2550 ± 60		
	3	Presion de refuerzo motor calado (A RPM máxima de carga)	19 ± 3		
	4	RPM motor calado	2098		
	5	Contra presión al carter (psi)	-		
SUSPENSION Y CAB	1	Longitud de la suspension Frontal "A". 	220-225 mm		
	2	Test Torque de los Tornillos de Cabina. 7X-0358 " 5/8" "	200+- 30 Lb-ft		
	3	Test Torque de los Tornillos de Cabina. 1D-4639 " 1" "	780 +- 10 Lb-ft		
Realizar en los PM D Y H					
DIRECCION CONVERTIDOR	6	Presión alivio sistema dirección	3190 psi		
	7	Presion del sistema de direccion	3190 psi		
	8	Válvula control de freno	1520 a 1670 psi		
	9	Presión salida TC a velocidad de calado	42 ± 2		
	10	Presión entrada TC	135 ± 12		
Realizar en los PM C Y G					
SISTEMA HIDRAULICO	11	Presion piloto sistema de implemento, Instale manómetros de 0 a 500 psi, Encienda el Motor a bajas Rpm, el manómetro debe mostrar moviendo cada Implemento	-		
		CILINDROS HIDRAULICOS	-		
	12	Las pruebas a continuación se deben efectuar con el motor en altas RPM y el aceite hidráulico a temperatura de operación (a 65°C). Los cilindros deben efectuar el recorrido completamente	-		
	13	Cilindros de levante subiendo.	-		
	14	Cilindros de levante bajando.	-		
	15	Cilindros de inclinacion cargando .	-		
16	Cilindros de inclinacion descargando	-			
Realizar en los PM B, D, F, Y H					
SISTEMA DE FRENOS	17	Presion de freno de servicio aplicado (Medida en la valvula) FRONTAL Y TRASERO	1520 a 1670 psi		
	18	Presion de Nitrogeno (Acumulador)	1230		
	19	Mida la presión de Carga de Acumulador de FRENO Cut Out Anote lectura:	2465 a 2610 psi		
	20	Mida la presión de Carga de Acumulador de FRENO Cut in (CUT - OUT) -) Anote lectura:	2175 a 2320 psi		
	21	Mida la presion de alivio			
	22	Verificar que la Presion de FRENO que llegue a Cero despues que desactive el Pedal (Remanente)	0		
	23	Presión Freno de Servicio aplicado (Medido en la salida de los ajustadores o en los respiraderos de los paquetes de frenos)	1520 a 1670 psi		
	24	Prender motor, Colocar palanca selectora de cambios en un cambio hacia delante y/o hacia atrás sin acelerar el motor, Aplique el freno de parqueo. La palanca de cambios debe regresarse por si misma a Neutral (La transmisión debe neutralizarse)	La XMNS debe neutralizarse		
25	Colocar palanca selectora de cambios en neutral, encender el motor, un cambio hacia delante y/o hacia atrás, Aplique el freno de parqueo. Debe activarse la luz y la alarma sonora. Además, la palanca de cambios debe regresarse por si misma a neutral	Debe activarse la luz y la alarma sonora. Además, la palanca de cambios debe regresarse por si misma a neutral			
26	Motor prendido, Freno parqueo aplicado, Transmisión en 2ª hacia delante. No debe moverse la máquina al acelerar el motor	NO debe moverse la maquina al acelerar el motor			
Comentarios					




























Fuente. Planeación estratégica RCM

Tabla 22. Check list motor

 LISTA DE CHEQUEO PARA PM ARTICULADO D250E		
SISTEMA MOTOR		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS	FOTOS
ANTES DE APAGAR EL MOTOR		
1	Tome muestra de aceite de motor P/N: SOS 2002A. Tomar lectura del horometro	
2	Inspeccione motor por fugas de aceite. Registre y repare si es necesario. Revise ruidos extraños en el motor	
3	Revise el sistema de enfriamiento, mangueras, radiador, conexiones, verifique que la bomba de agua no presente fuga, ruido o vibración. Presurizar el sistema de enfriamiento v/v de expansión (v/v alivio) de 10 a 12 psi.	
4	Revise fugas de gases de Escape. Inspeccione el turbo por ruidos, fugas o grietas	
5	Revise fan drive por vibración y/o oscilación	
DESPUÉS DE APAGAR EL MOTOR		
6	Cambiar aceite 15W40 del motor. Verificar estado tapa de llenado	
7	Cambie los filtros de aceite del motor (P/N:1R-0739). Corte e inspeccione los filtros de aceite. Use la herramienta para detectar particulas metálicas (tool room)	
8	Cambie el filtro de combustible (P/N:1R-0750)	
9	Cambie filtro de aire primario (P/N: 6I-0273). Escriba le fecha en el filtro.	
10	Cambie filtro de aire secundario (P/N: 6I-0274)	
11	Cambie el filtro separador de agua (P/N:133-5673).Limpie el respiradero de motor y cambie el seal de la tapa de ser necesario	
12	Revise el nivel de refrigerante, agregue si es necesario. Usar refrigerante SCA	
13	Inspeccionar líneas de combustible del motor. Si encuentra alguna línea deteriorada, fugas o mal enrutada y sin sus abrazaderas, reemplácelas. Revise fitting de toma de presión y tome muestra de combustible	
14	Inspeccione todos los componentes en el sistema de escape (turbo, estructuras, abrazaderas y guardas)	
15	Inspeccione todos los elementos del sistema de admisión de aire (turbo, líneas, conexiones, múltiples, etc.). Asegúrese que las abrazaderas del turbo y motor estén apretados y en buenas condiciones.	
16	Revise el estado de los tornillos y guardas, base del radiador, babero y aspas del ventilador. Soporte del conjunto del radiador y enfriadores hidráulicos.	
17	Revise soportes del motor por grietas, desgaste, daños.	
18	Inspeccionar correas del alternador, ventilador y tensor por ruidos. Verifique medida de tensión	
19	Remueva y limpie la malla del filtro primario de combustible. Limpie la malla de llenado del tanque de combustible, limpie sedimento del tanque	
20	Revise v/v de venteo (v/v alivio) del sistema de combustible, cambie de ser necesario	
SOLO EN PM A		
21	Cambiar todas las correas del Fan del motor P/N: 6N-3843 (programa cambio cada 2000 hrs)	

Fuente. Planeación estratégica RCM

Tabla 23. Check list sistema ANFO

		LISTA DE CHEQUEO DE PM PARA SISTEMA EXPLOSIVOS CAMIONES D250		
NUMERAL	SISTEMA	CONDICIÓN A VERIFICAR	REFERENCIAS	P/S - P/N
100	TOLVA			
110	LATERALES TOLVA			
111	Costado izquierdo	Grietas, fuga de emulsión, suco.		
112	Costado derecho	Grietas, fuga de emulsión, suco.		
113	Frente	Grietas, fuga de emulsión, suco.		
114	Pared trasera	Grietas, fuga de emulsión, suco.		
115	Base de la tolva (tornillo-resorte)	Grietas, faltante tornillos y/o resorte		
116	Escaleras	Rota, doblada, falta peldaños.		
117	Vidradores vibrator air vs-320 part no. VI007	Faltan, fojos.		
120	PARTE SUPERIOR			
121	Barandas	Grietas, faltantes.		
122	Superficies antideslizante	Falta.		
123	Compuertas llenado	Dobladas, faltan		
124	Cable seguridad	Roto, falta.		
130	PARTE INFERIOR			
131	Guardabarros	Flojos, faltan, no apropiados (no deben ser de secciones de bandas)		
132	Plataformas	Grietas, faltan, rejilla antideslizante.		
133	Escaleras	Grietas, faltan, dobladas.		
200	ANFO			
210	AUGER HORIZONTAL			
211	Motor hidráulico part no. M0261E	Fuga por acople mangueras; fuga por retendor eje, soportes fojos.		
212	Acople (ESTE NO LLEVA ACOPLA, SINO QUE ES DIRECTO EN EL SIN FIN POR MEDIO DE UNA CUÑA),	Deformado.		
213	Mangueras hidráulicas	Rotas, con fuga; soportes de mangueras fojos o faltantes.		
214	Condición del tornillo	Fuga por retendor; rodamientos en mal estado		
215	Tapa inspección	Rota, falta tapa, falta sello tapa, fuga.		
220	AUGER VERTICAL			
221	Motor hidráulico part no. M0259	Fuga por acople mangueras; fuga por retendor eje, soportes fojos.		
222	Acople (ESTE NO LLEVA ACOPLA, SINO QUE ES DIRECTO EN EL SIN FIN POR MEDIO DE UNA CUÑA)	Deformado.		
223	Mangueras	Rotas, con fuga; soportes de mangueras fojos o faltantes.		
224	Condición del tornillo	Desgastado		
225	Tapa inspección	Rota, no tiene, falta sello, fuga.		
230	BOOM			
231	87654321 MOTOR HCOP/S 60230	Fuga por acople mangueras; fuga por retendor eje, soportes fojos.		
232	Acople	Deformado.		
233	Mangueras	Rotas, con fuga; soportes de mangueras fojos o faltantes.		
234	Condición del tornillo	Desgastado		
235	Tapa inspección	Rota, no tiene, falta sello, fuga.		
236	Cilindro inclinación p/s 60196	Fuga, doblado		
237	Reductor de giro	Fuga por retenedores.		
238	Cadena P/S 45328	Floja, seca, rota.		
239	Motor hidráulico de giro PART NO CY005	Fuga por acople mangueras; fuga por retendor eje, soportes fojos.		
240	Botonera de control boom	Floja, rota, no es la standard		
300	EMULSION			
310	SISTEMA DE BOMBEO			
311	Bomba de emulsión (Bowie) p/s 60203.	Fuga, foja		
312	Motor hidráulico bomba bowie p/s 60235.	Fuga por acople mangueras; fuga por retendor eje, soportes fojos.		
	hub cupling p/s 60192, 60190. spider p/s 60194, manguera salida bomba p/s 66664			

Fuente. Planeación estratégica RCM

Tabla 24. Check list sistema ANFO 2

320	SISTEMA TRANSFERENCIA			
321	Manguera 3 pulgadas P/S 55822 (200FT)	Fuga, rota.		
322	Soportes	Faltan, flojos.		
400	SISTEMA CARRETE			
410	TOLVIN			
411	Cuerpo	Roto, deformado, fuga		
412	Tapa	Falta, deformada		
420	BOMBA MONOFLOW P/S 60216			
421	Condición del tornillo. Manguera de salida MONOFLOW 20 FT p/s 66665	Desgastado		
422		Rota, no tiene, falta sello, fuga.		
423	Motor hidráulico P/S 60204	Fuga por acople mangueras; fuga por retenedor eje, soportes flojos.		
424	Manómetro p/s 60211 de 0-400 psi	No funciona, roto		
425	Sensor de presión p/s 60236	Fuga, flojo, harness mal enrutado.		
430	CARRETE			
431	Motor hidráulico p/s 60220	Fuga por acople mangueras; fuga por retenedor eje, soportes flojos.		
432	Cadena p/s 60231 master 60232, piñon motor hco 60161,	Floja, seca, rota.		
433	cyl. Inclinacion 60196	Rotas, con fuga, soportes de mangueras rotos, cuerp o golpeado.		
434	Estructura . chumaceras p/s 60163,			
440	SISTEMA AGUA			
441	Tanque p/s YX032017	Fuga, grieta, soportes flojos.		
442	Bomba de agua p/s 60212	Fuga retenedor eje.		
443	Motor hidráulico p/s 60213, hub coup 60191,-----, spider p/s 60202	Fuga por acople mangueras; fuga por retenedor eje, soportes flojos.		
444	Mangueras	Rotas, con fuga; soportes de mangueras flojos o faltantes.		
500	ENFRIADOR HIDRÁULICO			
510	RADIADOR P/S 60151 y el TREAD P/S 23610			
511	Paneles	Suco, fuga, doblados.		
512	Soportes	Rotos, flojos		
520	MOTOR HIDRÁULICO ENFRIADOR			
521	Motor hidráulico (VIENE CON EL RADIADOR)	Fuga por acople mangueras; fuga por retenedor eje, soportes flojos.		
522	Mangueras del motor hidráulico	Rotas, con fuga; soportes de mangueras flojos o faltantes.		
530	VENTILADOR TREAD			
531	Ventilador 24V Part no. Napa DEL30100350 o el DEL 73R8584	Roto.		
532	Guardas del ventilador	Falta, flojo.		
540	MANGUERAS QUE LLEGAN AL SERPENTIN			
541	Manguera alta presión	Rotas, con fuga; soportes de mangueras flojos o faltantes.		
542	Manguera baja presión	Rotas, con fuga; soportes de mangueras flojos o faltantes.		
600	SISTEMA HIDRÁULICO GENERAL			
610	Paquetes de válvulas P/S 60157			
611	Cuerpos individuales	Fuga		
612	Caja y tapa PART NO. TAPA YX020028	Rota, falta.		
613	Tablillas de identificación	Falta		
614	Palanca	Rota, falta		
615	Manómetro	No funciona, roto		
620	Mangueras perimetrales			
621	Mangueras en el lado izquierdo	Rotas, con fuga; soportes de mangueras flojos o faltantes.		
622	Mangueras en el lado lado derecho	Rotas, con fuga; soportes de mangueras flojos o faltantes.		
623	Mangueras en el área de la articulación	Rotas, con fuga; soportes de mangueras flojos o faltantes.		
700	SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO			
710	CAJA ELÉCTRICA			
711	Estructura	Falta, floja, golpeada, sin sellos		
712	Cables en mal estado	Malos empalmes, antenas.		
720	LUCES			
721	Lámpara del tolvin	Rota, no prende, sucia		
722	Lámpara del boom	Rota, no prende, sucia		
723	Direccionales y stop	Rota, no prende, sucia		
730	CABLEADO			
731	Harness (x2) que comunican cabina con tolva	Roto, mal enrutado.		
740	CAJA DE CONTROL TRAESTAR			
741	Estructura	Rota, floja		
742	Display	Funcionan todos los leds.		
800	SISTEMA MEZCLA MECÁNICO			
810	ESTRUCTURA			
811	Caratula con nombres	Falta, dañada.		
820	VÁLVULA DE MEZCLA TREAD			
821	Válvula de mezcla TREAD PART NO. 100C646	Falta, fuga.		
822	Palanca TREAD PART NO. HYV-20KVHB	Falta, rota, sin penilla		
823	Mangueras	Rotas, con fuga; soportes de mangueras		

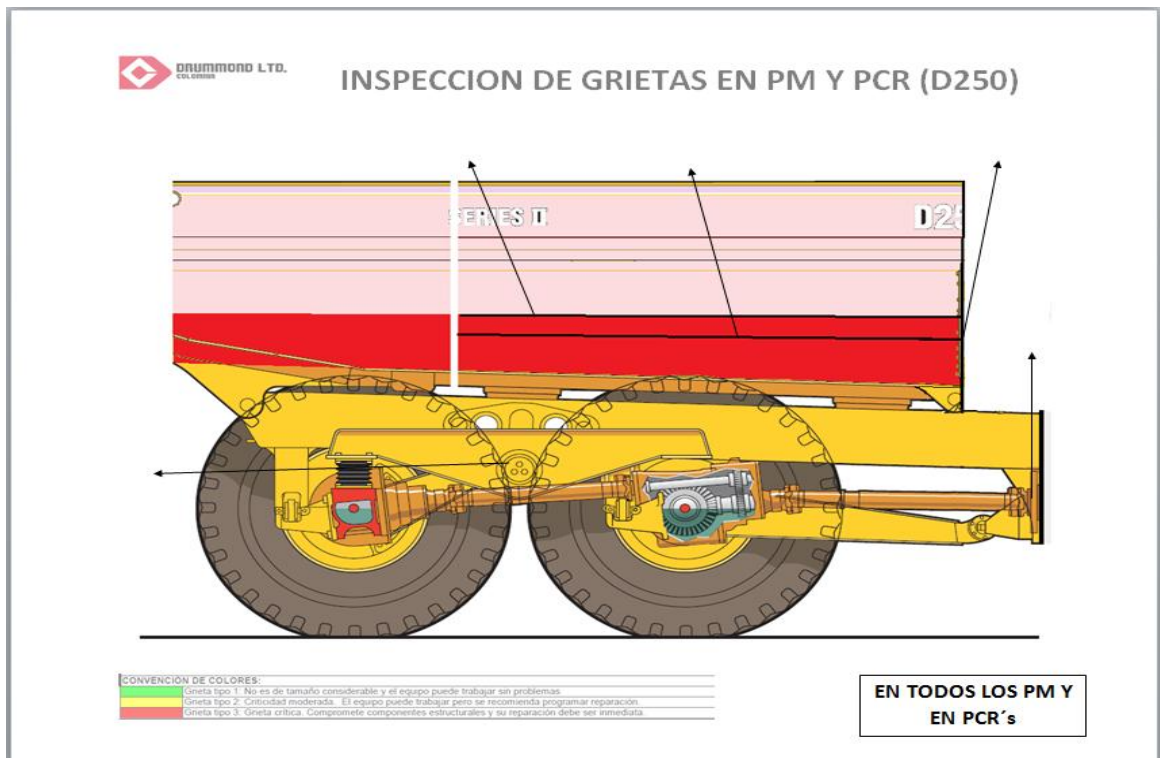
Fuente. Planeación estratégica RCM

5.2 REEMPLAZO DE COMPONENTES MAYORES

Dentro del programa de reemplazo de componentes mayores se encuentran las actividades que representan tiempos totales Down de la maquina considerablemente altos, por lo que la clave de hacer los procedimientos más efectivos está en el aprovechamiento del tiempo que el equipo está en el taller, tratando de llevar al mínimo las perdidas representadas en tiempos de retrasos logísticos por falta de las herramientas y/o componentes necesarios, lo que representa tener la coordinación apropiada entre las solicitudes de recursos y la disponibilidad de estos.

Dentro de este tipo de procedimientos se encuentran diligencias de reemplazo de componentes de otros sistemas, como es el caso del cambio de los mandos finales cada 14000 horas de operación y el cambio del convertidor del par, cuyas rutinas demoran alrededor de 80 y 60 horas respectivamente, siendo entonces otro factor clave, y como aspecto adicional, el aprovechamiento del tiempo para realizar tareas simultáneas mientras el equipo está Down, debido al largo tiempo que ello representa, se propone realizar paralelamente rutinas de inspección de grietas y codificarlas según rango de colores como se muestra a continuación. Las cuales cuentan con su frecuencia establecida pero se puede aprovechar el tiempo improductivo del camión mientras está quieto para realizarlas.

Figura 56. Formato1 de inspección de grietas en PCR's



Fuente. Planeación estratégica RCM

Figura 57. Formato 2 de inspección de grietas en PCR's

DRUMMOND LTD.
COLOMBIA

INSPECCION DE GRIETAS EN PM Y PCR (D250)



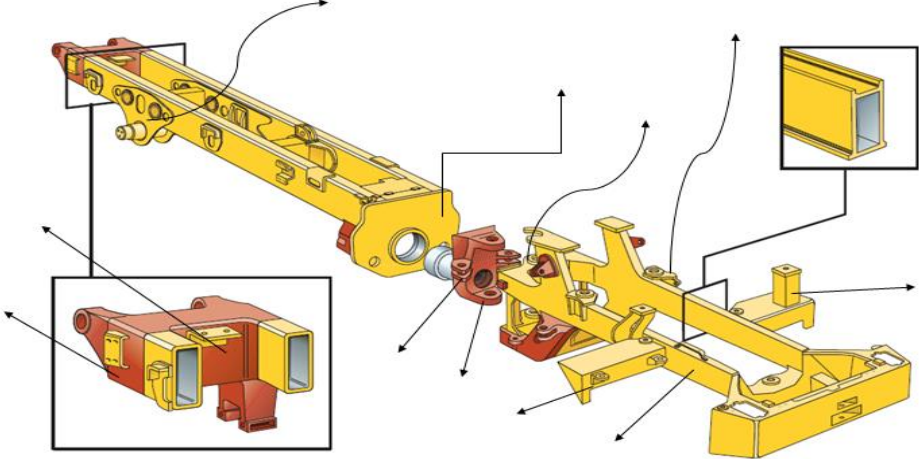
CONVENCIÓN DE COLORES:

- Grieta tipo 1: No es de tamaño considerable y el equipo puede trabajar sin problemas
- Grieta tipo 2: Criticidad moderada. El equipo puede trabajar pero se recomienda programar reparación.
- Grieta tipo 3: Grieta crítica. Compromete componentes estructurales y su reparación debe ser inmediata

EN TODOS LOS PM Y PCR's

DRUMMOND LTD.
COLOMBIA

INSPECCION DE GRIETAS EN PM Y PCR (D250)



CONVENCIÓN DE COLORES:

- Grieta tipo 1: No es de tamaño considerable y el equipo puede trabajar sin problemas
- Grieta tipo 2: Criticidad moderada. El equipo puede trabajar pero se recomienda programar reparación.
- Grieta tipo 3: Grieta crítica. Compromete componentes estructurales y su reparación debe ser inmediata

CADA 2000 HORAS y EN PCR's

Fuente. Planeación estratégica RCM

5.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO O BASADO EN CONDICION CBM

De acuerdo al análisis y tomo de decisiones de la hoja de trabajo RCM mostrada en el capítulo anterior, el mantenimiento predictivo se enfoca hacia la toma de muestras de aceites en los diferentes componentes del equipo, especialmente en el sistema del Motor. Las labores se realizan en periodos de tiempo tipo A de 250 horas, las muestras son enviadas a análisis a los laboratorios especializados que se encuentran por fuera de la mina Pribenow y sus resultados son regresados al personal de planeación quienes son los encargados de tomar las decisiones pertinentes dependiendo los niveles de los elementos de desgaste, niveles de elementos contaminantes como el Silicio o el Agua, la viscosidad y la salud del aceite.

Tabla 25. Promedio de elementos de desgaste.

Promedios general de desgaste D250									
Modelo : D250 E									
Componente: Motor					Componente: Diferencial delantero				
	Cu	Fe	Cr	Pb	Al	Si	Mo	Na	
Normal	8	22	1	2	2	5	1	2	
Reportable	37	37	1	3	3	8	14	5	
Anormal	139	46	1	3	4	9	20	3	
Critico									
Componente: Servotransmisión					Componente: Diferencial Central				
	Cu	Fe	Cr	Pb	Al	Si	Mo	Na	
Normal	33	9	0	2	1	3	0	3	
Reportable	153	23	1	3	2	6	0	0	
Anormal	319	70	1	2	2	6	0	0	
Critico									
Componente: Sistema hidraulico					Componente: Diferencial Trasero				
	Cu	Fe	Cr	Pb	Al	Si	Mo	Na	
Normal	3	6	0	1	1	5	0	1	
Reportable	19	15	1	3	3	12	0	0	
Anormal									
Critico									

Fuente. Planeación de mantenimiento.

5.4 ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS RM

La función principal por la que debe velar la administración de recursos en pro de la metodología RCM es la de disponer, siempre que se necesite, de los recursos necesarios para la ejecución de las labores de los programas PCR, PM y CBM, para lo cual se plantea realizar una gestión de Inventarios según los programas de rutinas, adquisición y del envío a reparación de componentes según las ordenes de trabajo.

Es importante para lograr lo mejores resultados y para tener un control apropiado de los recursos, cuantificar los consumos de partes, así mismo, de las compras de costo directo, de las reparaciones, poseer estadísticas de consumo de componentes- recursos, para elaborar presupuesto y de esta manera tomar siempre las decisiones más convenientes dentro del marco del trabajo de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM que se propone en este trabajo.

Se propone la mejora de la gestión y administración de recursos, a tal punto que esta debe ser capaz a generar informes y reportes gráficos del consumo y diferentes movimientos de los componentes involucrados en el RCM para facilitar la acción de toma de decisiones inmediatas con base en indicadores de gestión tales como Backlogs ejecutados, Consumo de recursos e Indisponibilidad por demoras por falta de recursos, labor de los administradores de materiales quienes se plantea deben ser los responsables al nivel de gestión; Mientras que la responsabilidad a nivel de ejecución será del analista de componentes y Backlogs.

Con la implementación de este trabajo, basados en los cuatro pilares fundamentales expuestos, la flota de camiones articulados D250 se encaminará a alcanzar los niveles deseados de confiabilidad que conlleven a la mejora significativa de la disponibilidad hasta alcanzar y superar la meta propuesta del 85%, objetivo trazado por el departamento de mantenimiento.

6. CONCLUSIONES

- Identificar detalladamente los respectivos parámetros operacionales y condiciones de trabajo de los sistemas y subsistemas que conforman los equipos Caterpillar D250 permite conocer específicamente la funcionalidad de los componentes que conforman los camiones articulados, proporcionando bases sólidas necesarias para la realización del AMEF y del RCM en general.
- El análisis de modos y efecto de fallo AMEF representa una gran ayuda dentro de la hoja de análisis de RCM puesto que permite delimitar la función principal y secundaria del equipo como tal, así como las fallas funcionales, sus modos de primer y segundo nivel, sus efectos y sus consecuencias de falla, para poder conocer plenamente la forma en como ocurren y como se manifiestan las anomalías dentro del funcionamiento de los equipos de la flota de camiones articulados D250, lo que permite la toma de las decisiones más apropiadas en cuanto a la selección de tareas, intervalos y recursos de mantenimiento.
- El análisis cuantitativo de criticidad, con base en factores ponderables tales como las consecuencias y las frecuencias de las fallas, analizadas en el historial de fallas, constituye una herramienta importante ya que arroja como resultado que el sistema motor y el sistema de descarga de ANFO, son los ítems con mayor número de intervenciones de mantenimiento y de la misma manera son los sistemas con mayor ponderación total en el número de criticidad, lo que brinda la oportunidad de concentrar la mayor parte de los esfuerzos de este estudio hacia la intervención, principalmente, de estos dos sistemas.

- La estrategia metodológica de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM se convierte en una gran ayuda para el departamento encargado del mantenimiento de la flota de camiones articulados D250, en la medida en que propone atacar los problemas de mantenimiento más críticos desde cuatro frentes de trabajo, incluyendo, de forma categórica, responsabilidades de cumplimiento de indicadores específicos en cuanto a gestión y a ejecución de los programas y rutinas de mantenimiento, tanto para líderes, supervisores y trabajadores de cada uno de los programas de los frentes de mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, reemplazo de componentes mayores y de administración de recursos.

BIBLIOGRAFÍA

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

DRUMMOND, Responsabilidad Social Corporativa. La Loma 2009. 50p.

LEVITT, Joel. Basics of Fleet Maintenance. USA.Reliabilityweb.com.2010. 243p.

MOORE, Paul. Mining Magazine, Mina Pribbenow Mine of the month .2008
30p.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales o de servicios. Medellín: AMG. 2005.

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

MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p.

NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. 1-50p

NOWLAN. Stanley. Reliability-Centered Maintenance. San Francisco: U.S. Department of Commerce. 1978.2-30p

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

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