

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN
LA FLOTA DE EQUIPOS DE ORUGA D11N DE LA EMPRESA MINIERA
DRUMMOND LTD**

JOSE ELIAS ARZUAGA CHURIO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2011**

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN
LA FLOTA DE EQUIPOS DE ORUGA D11N DE LA EMPRESA MINIERA
DRUMMOND LTD**

JOSE ELIAS ARZUAGA CHURIO

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

**Director:
John Faber Archila
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2011**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1 DRUMMOND LTD	16
1.1 Mina Pribbenow	16
1.2 Proceso Productivo	17
1.2.1 Exploración y Planeación	17
1.2.2 Perforación y Voladura	18
1.2.3 Carga y Transporte del Material Estéril a los Botaderos	20
1.2.3.1 Pala-Camión	20
1.2.3.2 Apron Feeder – Camión	21
1.2.3.3 Apron Feeder- Conveyor	23
1.2.3.4 Dragalina - Apron Feeder – Camión	23
1.2.4 Carga, Transporte del Carbón y Cargue de Trenes	24
1.2.5 Transporte del Carbón al Puerto y Cargue de los Barcos	26
1.3 Departamento de Mantenimiento de Equipo Movil	27
1.3.1 Flota de Mantenimiento de Camiones	29
1.3.2 Flota de Mantenimiento de Cargadores	29
1.3.3 Flota de Mantenimiento Equipo Liviano y Lubricación	31
1.3.4 Flota de Mantenimiento de Tractores y Excavadoras	31
1.4 Planteamiento del Problema	33
1.5 Objetivos	33
1.5.1 Objetivo General	33
1.5.2 Objetivos Específicos	33
1.6 Justificación del Plan Propuesto	34
2. MARCO TEORICO	36
2.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	36
2.1.1 Historia del RCM	36
2.1.2 Definición de RCM.	39

2.1.3 RCM: Las Siete Preguntas Básicas	40
2.1.3.1 Funciones	41
2.1.3.2 Fallas Funcionales	42
2.1.3.3 Análisis de Modos de Fallas	42
2.1.3.4 Efectos de Fallas	42
2.1.3.5 Consecuencias de las Fallas	43
2.1.3.6 Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivos	43
2.2 Indicadores de Gestion en Mantenimiento Equipo Minero	45
2.2.1Tiempo Promedio entre Paradas (MTBS).	45
2.2.2 Tiempo Promedio para Reparar (MTTR).	47
2.2.3 Disponibilidad (A).	47
3. TRACTORES DE ORUGA CATERPILLAR D11N	48
3.1 Sistema de Tren de Fuerza	51
3.1.1 Motor	53
3.1.1.1 Subsistema de Enfriamiento	53
3.1.1.2 Subsistema de Admisión y Escape	54
3.1.1.3 Subsistema de Lubricación de Aceite de Motor	55
3.1.1.4 Sistema de Inyección de Combustible	56
3.1.2 Convertidor de par	58
3.1.3 Transmisión	59
3.1.4 Mandos Finales y Embragues de Dirección y Frenos	62
3.2 Sistema Hidráulico	64
3.3 Sistema Eléctrico	66
3.4 Chasis, Cabina, Herramientas de Corte y Rodaje	67
4. ANALISIS DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO DE LOS TRACTORES D11N	71
5. PROPUESTA DE LA ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACION DE RCM PARA LA FLOTA DE TRACTORES DE ORUGA D11N.	95
5.1 Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Predictivo	96
5.1.1 Diagnostico Externo	99

5.1.2 Diagnostico Interno	99
5.1.3 Rutina Básica	100
5.2 Mantenimiento en Servicios de Campo	114
5.3 PCR. Reemplazo de Componentes Programados	117
5.4 Rodaje y Herramientas de Corte	119
CONCLUSIONES	121
BIBLIOGRAFIA	122

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica de la Mina Pribbenow	17
Figura 2. Esquema de Proceso Minero de Carbón a Cielo Abierto	18
Figura 3. Área perforación para realizar una voladura	19
Figura 4. Voladura en proceso	19
Figura 5. Método de carga de material estéril Pala-Camión	20
Figura 6. Descarga de Estéril en el Botadero	21
Figura 7. Apron Feeder	21
Figura 8. Método de carga de material estéril Apron Feeder-Camión	22
Figura 9. Método de carga de material estéril Apron Feeder-Banda Transportadora	23
Figura 10. Método de carga de material estéril Dragalina –Apron Feeder- Camión	24
Figura 11. Métodos de carga de Carbón	25
Figura 12. Área de carga de Trenes (Load Out)	26
Figura 13. Tren Drummond	27
Figura 14. Talleres de Mantenimiento Equipo Móvil Drummond Ltd.	28
Figura 15. Organigrama Flota de Equipo Móvil Drummond Ltd.	28
Figura 16. Camión Caterpillar 793D.	29
Figura 17. Cargador Caterpillar 992C	30
Figura 18. Motoniveladora Caterpillar 24H	30
Figura 19. Camión Kodiak de Lubricación	31
Figura 20. Tractor Caterpillar D11R	32
Figura 21. Excavadoras Caterpillar 345C	32
Figura 22. Disponibilidad y Confiabilidad (MTBS) de los tractores D11N de los Botaderos	35
Figura 23. Perspectiva Tradicional de las Fallas de los equipos	36
Figura 24. Cambios en los Puntos de Vista sobre las fallas de los Equipos, Expectativas y Técnicas de Mantenimiento	38

Figura 25. Componentes de un Programa de RCM	40
Figura 26. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM	41
Figura 27. Diagrama de Decisión del Proceso de RCM	44
Figura 28. Benchmark de MTBS para Equipos Mineros	46
Figura 29. Descarga de Material Estéril en el Botadero	48
Figura 30. Descarga de Material Estéril en el Botadero	49
Figura 31. Sistema Tren de Fuerza de Tractores de Oruga	52
Figura 32. Sistema Tren de Fuerza de Tractores de Oruga	53
Figura 33. Subsistema de Enfriamiento en Motores 3508	54
Figura 34. Subsistema de Admisión de Aire y Escape de gases en Motores 3508	55
Figura 35. Subsistema de Admisión de Aire y Escape de gases en Motores 3508	56
Figura 36. Subsistema de Inyección de Combustible en Motores 3508	57
Figura 36. Convertidor de Par	58
Figura 37. Transmisión	59
Figura 38. Funcionamiento de Embrague de Transmisión	60
Figura 39. Funcionamiento de Embragues de Transmisión	61
Figura 40. Subsistema Hidráulico del Tren de Fuerza	61
Figura 41. Partes del Mando Final	63
Figura 42. Partes del Paquete de Dirección y Frenos	63
Figura 43. Partes del Sistema Hidráulico del Ventilador	65
Figura 44. Partes del Sistema Hidráulico de Levante e Inclinación	66
Figura 45. Partes del Sistema Hidráulico de Levante e Inclinación	67
Figura 46. Chasis	68
Figura 47. Partes de la Hoja Topadora y Mesa de Ripper	69
Figura 47. Partes del Rodaje del Tractor D11N	70
Figura 48. Orden de Trabajo en Sistema de Información de Mantenimiento D ltd.	71
Figura 49. Diagrama de Pareto de Fallas en Tractores D11N	74

Figura 50. Diagrama de Pareto de Modos de Falla de Motor	75
Figura 51. Diagrama de Pareto de Modos de Falla en el Sistema Electrico	76
Figura 52. Diagrama de Pareto de Modos de Falla en el Sistema Electrico	77
Figura 53. Diagrama de Pareto de Modos de Falla en el Sistema Hidraulico	78
Figura 54. Diagrama de Espina de Pescado Proceso de PM	97
Figura 55. Diagrama de Flujo Proceso de PM	99
Figura 56. Eventos Descargados del ECM de Motor	101
Figura 57. Tendencia de los elementos de desgaste en el Aceite de Motor	111
Figura 58. Reporte de Analsis de Aceite de Motor Equipo 5261	112
Figura 59. Medicion de MTBS despues de PM	114
Figura 60. Reporte de Falla de Baja Potencia de Motor realizado por Supervisores de campo	115
Figura 61. Reporte de Falla de AltaTemperatura de Motor	116
Figura 62. Reporte de Gestion de Grupo de Servicios de Campo	116
Figura 63. Reporte de Alarmas de temperatura Descargadas del ECM de Motor	117
Figura 64. Medicion de MTBS despues de PCR	117
Figura 65. Fallas mas comunes despues de PCR	118

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tractores de Oruga D11N en la Mina Pribbenow.	49
Tabla 2. Características Técnicas de los Tractores de Oruga D11N	50
Tabla 3. Condiciones Operacionales de los Tractores de Oruga D11N	51
Tabla 4. Velocidades de la Transmisión de los Tractores de Oruga D11N	60
Tabla 5. Reporte de Fallas en el Equipo 5184 en el mes de Enero de 2010	72
Tabla 6. Función, Falla Funcional y Modos de Falla en los Tractores D11N	73
Tabla 7. Estadísticas de Modos de Falla Presentadas en los Tractores D11N	74
Tabla 8. Estadísticas de Modos de Falla de Motor	75
Tabla 9. Estadísticas de Modos de Falla del Sistema Electrico	76
Tabla 10. Estadísticas de Modos de Falla del Aire Acondicionado	77
Tabla 11. Estadísticas de Modos de Falla del Sistema hidraulico	78
Tabla 12. Analisis de Modos de falla de Motor y sus Efectos	79
Tabla 13. Analisis de Modos de falla de Radiador y sus Efectos	80
Tabla 14. Analisis de Modos de falla de Sistema de Frenos Y Direccion y sus Efectos	80
Tabla 15. Analisis de Modos de falla del Sistema Electrico y sus Efectos	81
Tabla 16. Analisis de Modos de falla de la Transmision y sus Efectos	82
Tabla 17. Analisis de Modos de falla del Convertidor, Diferencial y Mandos Finales y sus Efectos	83
Tabla 18. Analisis de Modos de falla del Rodaje y sus Efectos	84
Tabla 19. Analisis de Modos de falla del Sistema Hidraulico y sus Efectos	85
Tabla 20. Analisis de Modos de falla de los cilindros, Hoja Topadors, Herramientas de corte, chasis y sus Efectos	86
Tabla 21. Analisis de Modos de falla del sistema de engrase, Cabina del Operador, Aire acondicionado y FSS y sus Efectos	87
Tabla 22. Metodologia de JCB consultores para el calculo de la criticidad	88
Tabla 23. Calculo de la criticidad de los Modos de Fallas	89

Tabla 24. Evalaucion de Consecuencias y Seleccion de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Motor	90
Tabla 25. Evalaucion de Consecuencias y Seleccion de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Radiador, Sistema Electrico y Transmision	91
Tabla 26. Evalaucion de Consecuencias y Seleccion de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Convertidor, Diferencial, Direccion, Frenos, Mandos Finales y Rodaje	92
Tabla 27. Evalaucion de Consecuencias y Seleccion de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Sistema hidraulico, Cilindros, Hoja Topadora, GET y Chasis	93
Tabla 28. Evalaucion de Consecuencias y Seleccion de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Cabina, Aire Acondicionado y Sistema Supresor de Incendios	94
Tabla 29. Planeacion Estrategica de la Seccion de Mantenimiento tractores	95
Tabla 30. Division Funcional Seccion de Mantenimiento tractores	96
Tabla 31. Tareas de Mantenimiento Preventivo tractor D11N	98
Tabla 32. Lista de Chequeo – Pruebas de Rendimiento Tractor D11N	102
Tabla 33. Lista de Chequeo – Subsistema Motor Tractor D11N	103
Tabla 34. Lista de Chequeo – Subsistema Hidraulico Tractor D11N	104
Tabla 35. Lista de Chequeo – Subsistema Transmision, Convertidor y Mandos Finales D11N	105
Tabla 36. Lista de Chequeo – Rodaje, Chasis y GET D11N	106
Tabla 37. Lista de Chequeo – Subsistema Electrico D11N	107
Tabla 38. Lista de Chequeo – Subsistema Aire Acondicionado D11N	108
Tabla 39. Lista de Chequeo – Subsistema Sistema Supresor de Incendios D11N	109
Tabla 40. Hoja de respuesta de Lista de Chequeo	110
Tabla 41. Niveles de Citicidad para Elementos de desgaste en Tractores D11N	113
Tabla 42. Mediciones de Desgaste de los componentes de Rodaje	119
Tabla 42. Mediciones de Desgaste de los componentes en las hojas topadoras	120

RESUMEN

TITULO:

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN LA FLOTA DE EQUIPOS DE ORUGA D11N DE LA EMPRESA MINIERA DRUMMOND LTD*

AUTOR:

JOSE ELIAS ARZUAGA CHURIO**

PALABRAS CLAVES:

RCM, Mantenimiento, Equipo Minero, Tractor de Oruga, Drummond

DESCRIPCION:

En esta Monografía se desarrolla la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM aplicada al mantenimiento de equipos de oruga, específicamente a la flota de Tractores Caterpillar D11N de la empresa minera Drummond Ltd que presentan baja confiabilidad y disponibilidad, se selecciona el equipo, se define su función primaria y secundaria, se establecen sus parámetros de funcionamiento y las condiciones operacionales, se definen los modos de fallas con sus efectos y consecuencias para definir las tareas de mantenimiento mínimas necesarias para que el equipo cumpla con su función con una buena confiabilidad, se plantea además la estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad para alcanzar los objetivos de disponibilidad en cuatro áreas básicas Mantenimiento Preventivo PM, Servicios de Campo, Cambio de Componentes Programados PCR y en el área de Rodaje. En PM se rediseñan las listas de chequeo según las tareas que resultan del análisis de RCM, en Servicios Campo se establecen rutinas de mantenimiento proactivas, en PCR se estructuran controles de calidad para eliminar las fallas que se presentan después de los cambios de los componentes mayores y en Rodaje se mantiene el programa de mediciones con ultrasonido, a cada área se le definen sus indicadores de tiempo promedio entre paradas MTBS para medir la gestión para controlar cada uno de los procesos. para PM se mide el MTBS después de PM, para PCR se mide el MTBS después de PCR, para servicios de campo se mide el cumplimiento del programa de servicios proactivos de campo como el lavado de radiadores y para rodaje se define como indicador de gestión el MTBS después de trabajos de Rodaje.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Ing. John Faber Archila

SUMMARY

TITLE:

MODEL OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) FOR D11N TRACTOR FLEET OF MINING COMPANY DRUMMOND LTD*

AUTHOR:

JOSE ELIAS ARZUAGA CHURIO**

KEY WORDS:

RCM, Maintenance, Mining Equipment, Tractor Fleet, Drummond

DESCRIPTION:

This Monograph use Reliability Centered Maintenance RCM methodology in mining equipment, specifically on Caterpillar D11N Tractors on mining company Drummond Ltd because these machines had low availability and reliability, the machine was selected, the primary and secondary function, operational and environmental parameters, failure modes, effect of failure modes and consequences of failure modes were define to found the minimal maintenance tasks to guarantee equipment functions dwith high reliability, with these information the maintenance strategy of Reliability Centered Maintenance was structured to reach the target of availability and reliability in four basics maintenance areas in tractor fleet, preventive maintenance PM, field services, program components replacement PCR and undercarriage area. The preventive maintenance PM checklist were redesigned according with Reliability Centered Maintenance RCM analysis, for Field Services were designed proactive maintenance routines, in program components replacement PCR were defined quality controls to eliminate early failures after component replacement and undercarriage maintain continuous measurements of wear with ultrasound, in all areas were defined mid time between stop MTBS like key performance indicators KPIs to measure and control the management of each process, for PM the indicator is MTBS after PM, for PCR the indicator is MTBS after PCR, for Field Service is the performance of all proactive task like wash radiator program to prevent overheating problems and undercarriage indicator is MTBS after undercarriage jobs.

* Monograph

** Faculty of Mechanical Engineering Physics. Specialization in Maintenance Management.
Director: Eng. John Faber Archila

INTRODUCCION

La empresa Drummond posee una de las flotas de tractores de oruga Caterpillar más grandes del mundo por lo tanto no existen puntos de referencia para desarrollar estrategias de mantenimiento similares por este motivo se hace necesario establecer políticas de mantenimiento propias que permitan lograr los objetivos de confiabilidad y disponibilidad requeridos por el área de producción, una de las metodologías que se busca implementar es la de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) debido a que la disponibilidad y confiabilidad de los tractores es baja comparado con los estándares o benchmark establecidos por Caterpillar para este tipo de maquinaria, se iniciara este proceso piloto con la flota de tractores modelo D11N del área de botaderos y después se ampliara a todos los equipos de la flota, se buscara establecer para estos ocho equipos las funciones requeridas por sus usuarios, las fallas funcionales y los modos de falla asociados a las fallas funcionales utilizando la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos y con el diagrama lógico de decisión definir cuáles son las tareas, frecuencias y recursos de mantenimiento necesarios para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la flota todo esto enmarcado en una estrategia de mantenimiento propia para este tipo de equipo.

1. 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

1.1. MINA PRIBBENOW

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

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

Figura 1. Ubicación Geográfica de la Mina Pribbenow



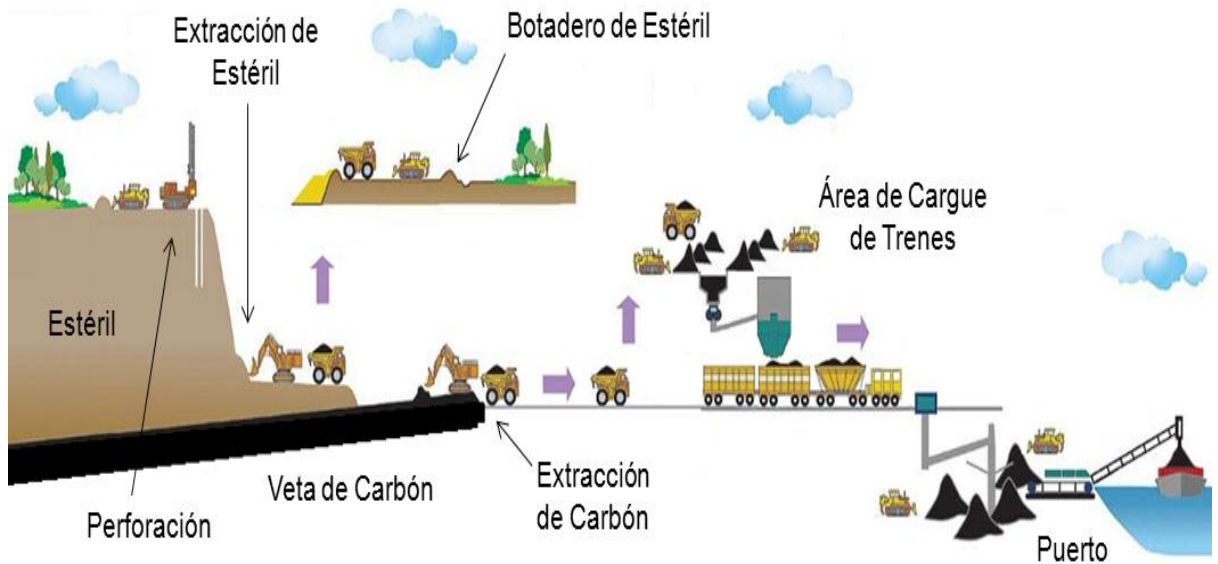
Fuente: <http://earth.google.es>

1.2. PROCESO PRODUCTIVO

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

1.2.1 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.

Figura 2. Esquema de Proceso Minero de Carbón a Cielo Abierto



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

1.2.2 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 una 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 un camión articulado de explosivos Caterpillar D250.

Figura 3. Área perforación para realizar una voladura



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

Figura 4. Voladura en proceso



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

1.2.3 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) en el 2008 los sistemas son:

1.2.3.1 Pala-Camión. Este es el método más tradicional para remover la roca y el aluvión, una pala hidráulica carga los camiones Caterpillar Modelo 793 o Komatsu 830E de 240 toneladas con el Aluvión o la roca y este lo transporta a los botaderos donde descarga el material e inicia el ciclo nuevamente en el 2008 con este sistema se movieron cerca de 68 Mbcm (Million Bank Cubic Metre)

Figura 5. Método de carga de material estéril Pala-Camión



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd

Figura 6. Descarga de Estéril en el Botadero



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

1.2.3.2 Apron Feeder – Camión. Los Apron Feeder (Alimentadores) inicialmente fueron diseñados en conjunto con MMD (Mining Machinery Developments Ltd) para uso en la Mina Pribbenow y fueron construidos en la mina.

Figura 7. Apron Feeder



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

Las operaciones de los Apron Feeder comenzaron en 2003 y a la fecha hay 19 Apron Feeder cargando camiones Caterpillar Modelo 793 o Komatsu 830E, El Apron Feeder es un alimentador, consta de una tolva, un transportador con láminas metálicas con una superficie rugosa y un sistema hidráulico para mover el transportador. La tolva es cargada por Tractores de cadena Caterpillar Modelo D11R que empujan el aluvi3n o la roca desde el 1rea que previamente ha sido volada, los camiones se colocan debajo del Apron Feeder para ser cargados y transportan el material hasta el botadero. En el 2008 con este m3todo se movieron cerca de 56 Mbcm, los Apron Feeder son usados tambi3n en conjunto con la Banda Transportadora (Conveyor)

Figura 8. M3todo de carga de material est3ril Apron Feeder-Cami3n



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

1.2.3.3 Apron Feeder- Conveyor. En la Mina Pribbenow hay dos bandas Transportadoras (Conveyor), un sistema de dos secciones es usado para transportar aluvión, los Tractores D11R empujan el material a los Apron Feeder y estos lo cargan directamente a una banda de 84 pulgadas, el Conveyor trasporta el material directamente hasta el botadero. El segundo sistema transporta roca, los Tractores D11R cargan los Apron Feeder y estos descargan en un triturador de roca MMD serie 1500 que es impulsado con dos motoredutores de 630 KW cada uno, la roca es triturada y colocada en una banda de 72 pulgadas, la roca triturada es transportada hasta el Botadero. El Conveyor de banda de 72 pulgadas tiene 3750 metros de longitud fue instalado en el 2005 y el segundo sistema de banda de 84 pulgadas fue instalado en el 2006 y tiene dos segmentos uno de 2050 metros y el otro de 1925 metros, el recorrido total del material transportado en esta banda es de 2625 metros. Los dos sistemas pueden procesar 20.000 ton/hora Este sistema movió en el 2008 41Mbcm de Estéril

Figura 9. Método de carga de material estéril Apron Feeder-Banda Transportadora



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

1.2.3.4 Dragalina - Apron Feeder – Camión. La Dragalina es una de las maquinas más grandes del mundo, esta fue desarmada en Alabama y traída a

Colombia, desde el año 2000 hasta el 2007 la mina uso la Dragalina Bucyrus (Marion) 8750 de un modo convencional removiendo la capa más baja de la veta de la mina en dos pasos, pero debido a la inestabilidad del área de trabajo de la Dragalina y que su producción fue muy baja se decidió reubicar en la parte superior de la mina para cargar aluvión, la Dragalina opera con el método tradicional al lado del banco de trabajo pero descargando directamente a un Apron Feeder y este carga al mismo tiempo un camión de acarreo que lleva el aluvión a los botaderos. Este método movió en el 2008 19Mbcm, este es uno de los sistemas de más bajos costos de producción.

Figura 10. Método de carga de material estéril Dragalina -Apron Feeder- Camión



Fuente: DRUMMOND. Responsabilidad Social Corporativa – 2009

1.2.4 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.

Figura 11. Métodos de carga de Carbón



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

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.

Figura 12. Área de carga de Trenes (Load Out)



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

1.2.5 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 13. Tren Drummond



Fuente: DRUMMOND. Responsabilidad Social Corporativa – 2009

1.3 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO MOVIL.

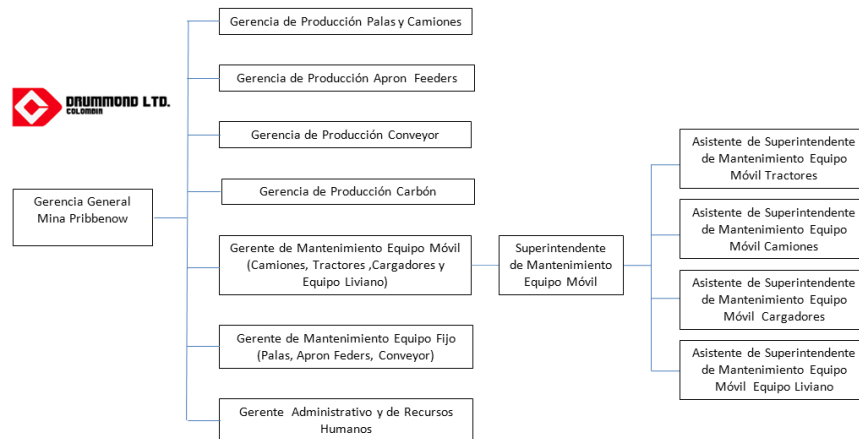
El Departamento de Mantenimiento Equipo Móvil de la Mina Pribbenow se encarga de mantener una flota de equipos con características similares, se clasifican en la flota de mantenimiento de equipos pesados Camiones, Tractores y Cargadores de los cuales el 95% de los equipos son marca Caterpillar y la flota de mantenimiento de Equipo Liviano y Lubricación. Los talleres de mantenimiento se encuentran ubicados en la misma área dentro de la mina

Figura 14. Talleres de Mantenimiento Equipo Móvil Drummond Ltd.



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

Figura 15. 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.

Figura 16. Camión Caterpillar 793D.



Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd.

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, Tractores de llantas minicargadores etc. Esta flota cuenta en total con 128 Equipos.

Figura 17. Cargador Caterpillar 992C



Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd.

Figura 18. Motoniveladora Caterpillar 24H



Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd

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

Figura 19. Camión Kodiak de Lubricación



Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd

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).

Figura 20. Tractor Caterpillar D11R



Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd

Figura 21. Excavadoras Caterpillar 345C



Fuente: Mina Pribbenow Drummond Ltd

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las áreas de trabajo más críticas para la producción donde se utilizan equipos de oruga en la mina Pribbenow son los Botaderos (área de almacenamiento del material estéril) en estas área se utilizan modelos D11Ns esto debido a que son los modelos más antiguos de la mina y la exigencia para estos equipos es menor en estas áreas de trabajo que en otras áreas de la mina, actualmente estos equipos presentan problemas de baja disponibilidad (A) por debajo de 70% y baja confiabilidad (MTBS tiempo promedio entre paradas) por debajo de 25 horas, por lo que se hace necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento basada en la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que permita mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General. Desarrollar la Propuesta de un Modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Flota de Equipos de Oruga D11N de la Empresa Minera Drummond ltd

1.5.2 Objetivos Específicos

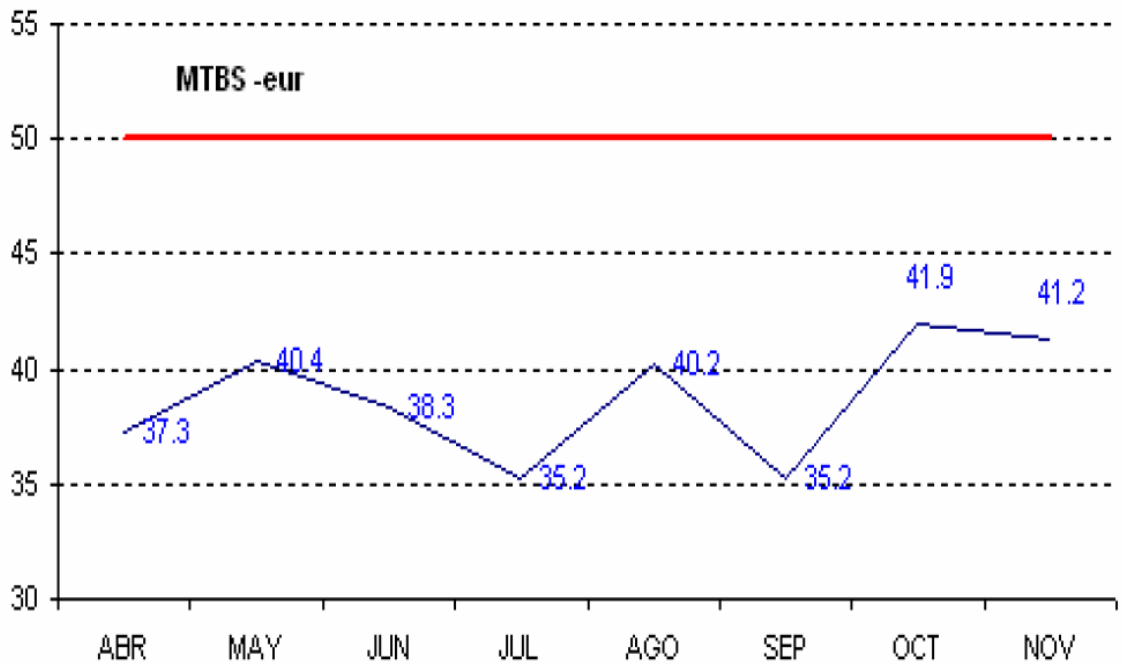
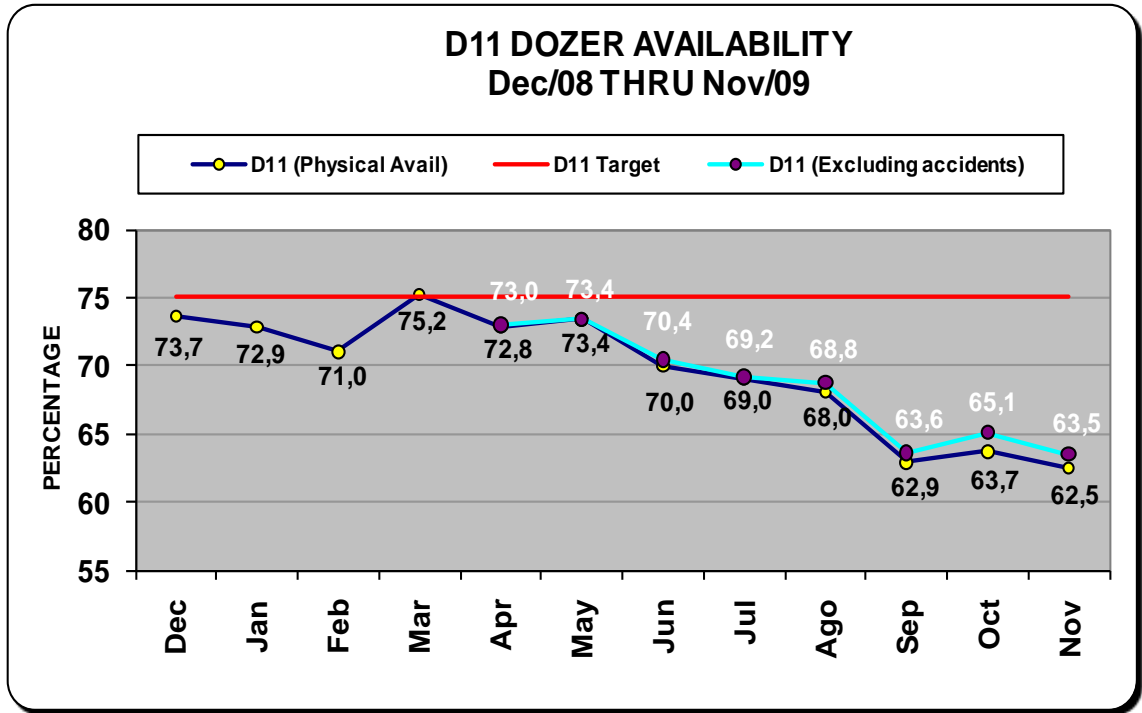
- Definir y seleccionar los sistemas de los equipos, teniendo en cuenta los requerimientos de operación.
- Realizar el Análisis funcional de las fallas, identificando y describiendo las funciones de los sistemas, los requerimientos de operación del sistema y las formas cómo pueden fallar las funciones de los equipos.
- Seleccionar los componentes o ítems críticos y no críticos para el funcionamiento adecuado de los sistemas de los equipos.

- Recolectar y analizar datos de diseño, operacionales y de confiabilidad de los equipos que permitan realizar el Análisis de los Modos de fallo y sus efectos utilizando la técnica de FMEA (Análisis de los Modos, los Efectos, las Criticidades de las Fallas).
- Realizar la Selección de las tareas de mantenimiento utilizando la técnica de Diagrama Lógico de Decisiones de RCM y realizar las listas de chequeo de mantenimiento preventivo con los intervalos de mantenimiento adecuados.
- Desarrollar la propuesta de la estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad RCM para la flota de tractores de oruga D11N.

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

El departamento de mantenimiento de tractores es el encargado de garantizar la funcionalidad de los equipos de oruga sin embargo los modelos específicos que trabajan en los botaderos D11N, la confiabilidad (MTBS <50 horas) y disponibilidad (A<70%) son muy bajas, ver figura 22, esto debido a que se está realizando el mantenimiento de forma reactiva, es decir al equipo solo se le trabaja cuando este falla y el mantenimiento preventivo que se está realizando es de muy baja calidad y no garantiza la funcionalidad de los equipos, todo esto basándonos en un falso paradigma en que el cliente exige que su equipo se le entregue lo más rápido posible sin importar como se encuentre. Por estas razones es necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento basada en la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que permita garantizar equipos más confiables optimizando los recursos del grupo de mantenimiento.

Figura 22. Disponibilidad y Confiabilidad (MTBS) de los tractores D11N de los Botaderos



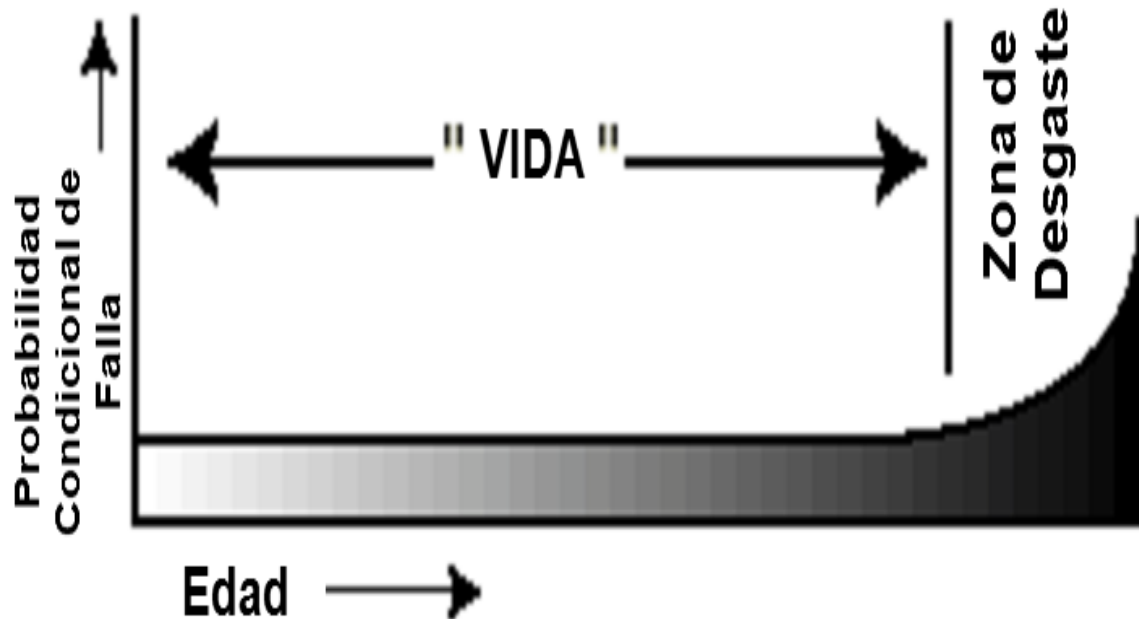
Fuente: Planeación Drummond Ltd

2. MARCO TEORICO

2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

2.1.1 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 Confiabilidad³ o RCM por sus siglas en inglés Reliability-Centered Maintenance.

Figura 23. Perspectiva Tradicional de las Fallas de los equipos



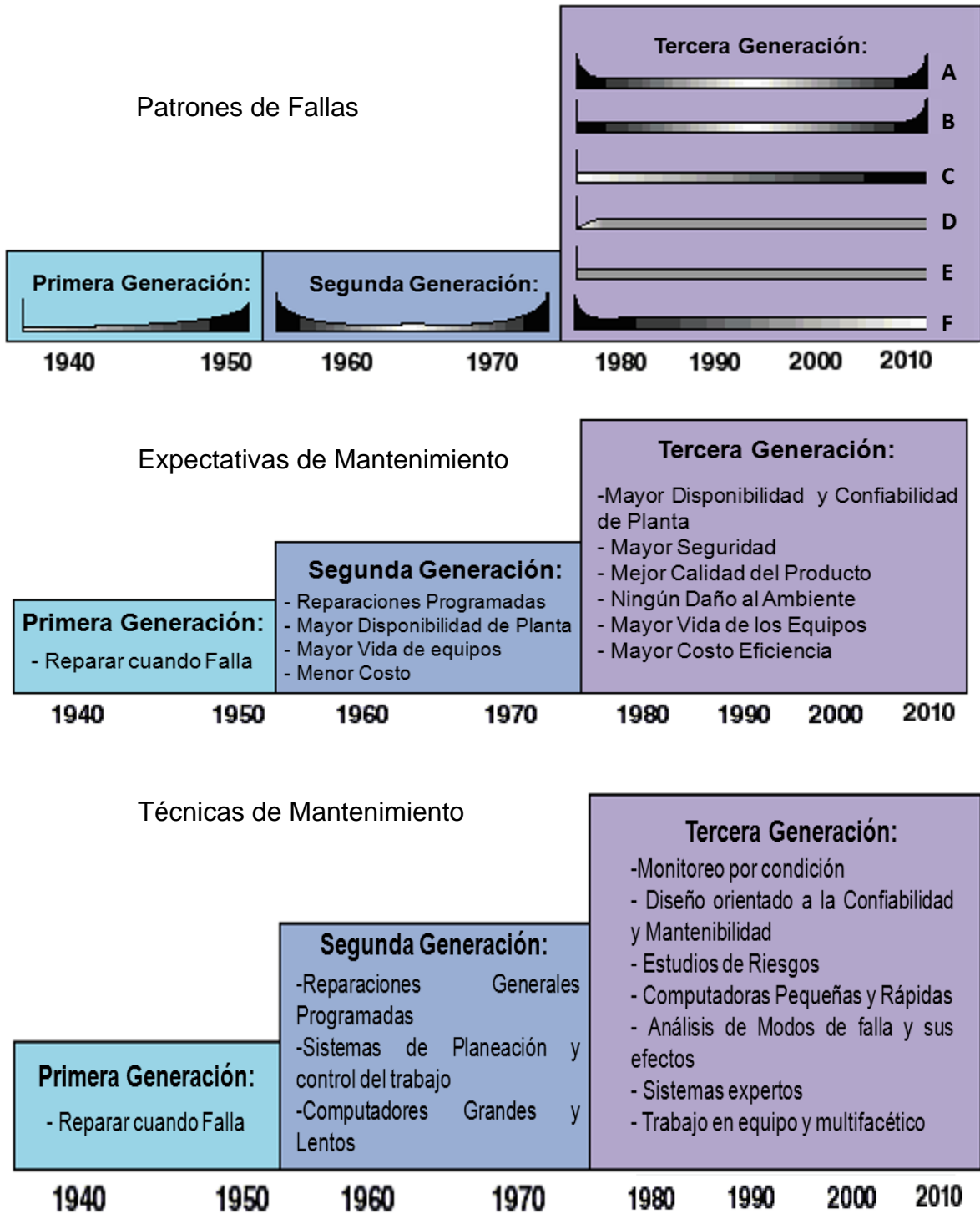
Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

³ MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 318.

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 operacional⁴ (ver figura) , el único problema que había era determinar la edad límite de las partes para reemplazarlas y asegurar una operación confiable, 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 ultimo 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 obligo a realizar también cambios radicales en las técnicas y teorías del mantenimiento (ver figura)

⁴ NOWLAN. STANLEY. HEAP.HOWARD. Reliability-Centered Maintenance. San Francisco: U.S. Department of Commerce, 1978.P.2.

Figura 24. Cambios en los Puntos de Vista sobre las fallas de los Equipos, Expectativas y Técnicas de Mantenimiento



Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

2.1.2 Definición de 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 operacional⁵”

En el Libro de RCM II de Jhon 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 actual⁶”.

“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 óptima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle⁷”

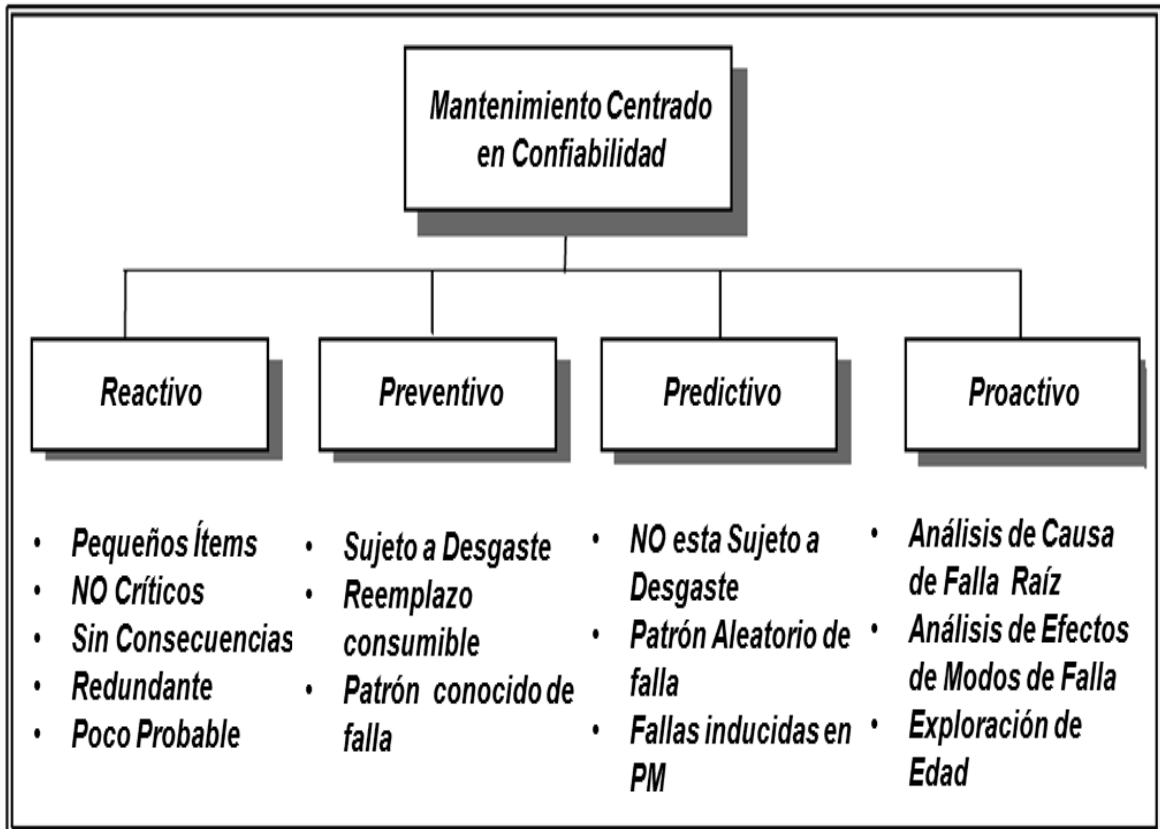
En conclusión el RCM es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Predictivo) necesarias para que los activos cumplan con su función en su contexto operacional

⁵ SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999

⁶ MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 7.

⁷ NASA. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. 2000. P. 1-1

Figura 25. Componentes de un Programa de RCM

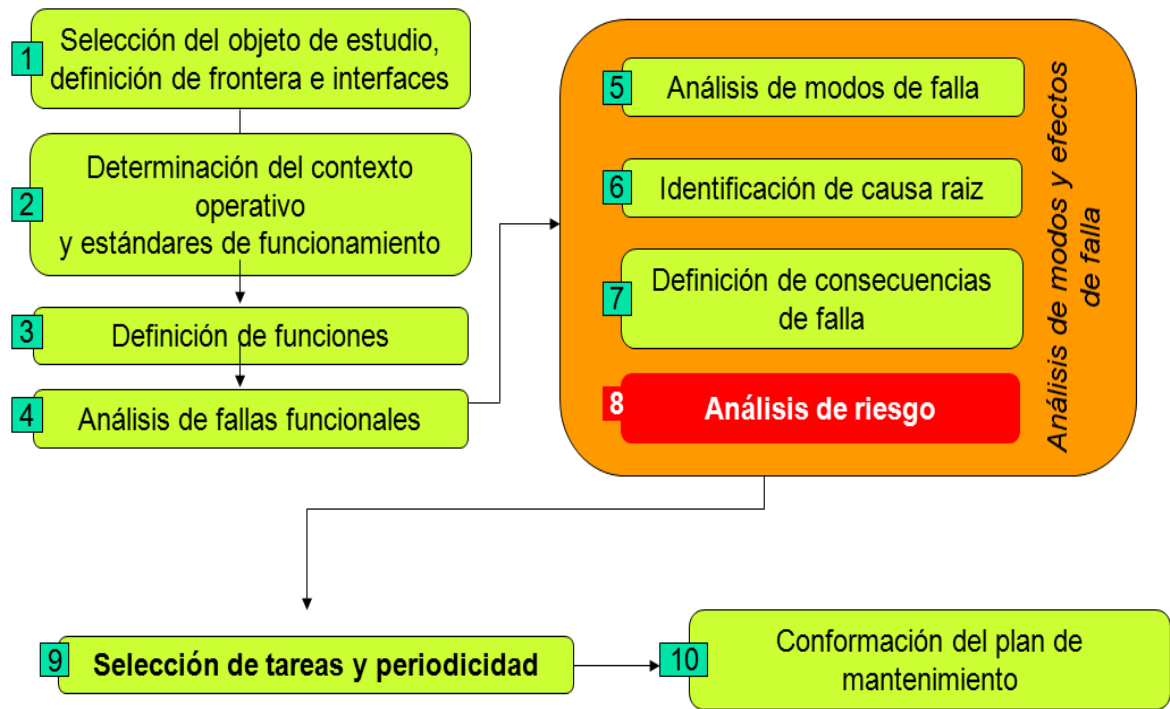


Fuente: NASA Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment.

2.1.3 RCM: Las Siete Preguntas Básicas. 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 26. Diagrama de Flujo del Proceso de RCM



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

2.1.3.1 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.

2.1.3.2 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?.

2.1.3.3 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.

2.1.3.4 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.

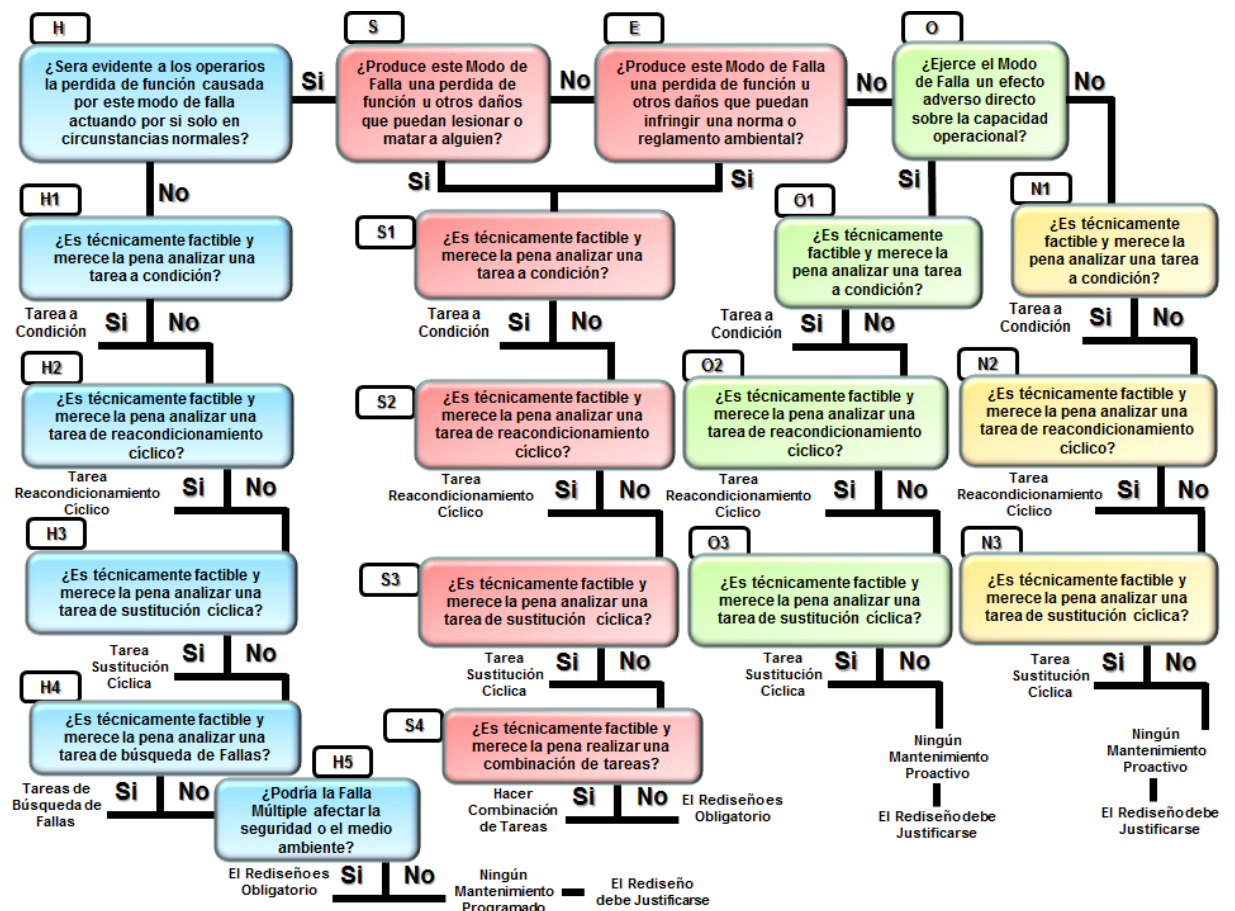
2.1.3.5 Consecuencias de las Fallas. En este paso se responde a la pregunta ¿En qué sentido es importante cada falla? para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuáles no debido a las consecuencias de las fallas, se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, 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.

2.1.3.6 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”

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

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

Figura 27. Diagrama de Decisión del Proceso de RCM



Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

2.2 INDICADORES DE GESTION EN MANTENIMIENTO EQUIPO MINERO

El desempeño último de cualquier equipo minero depende de tres factores críticos, el diseño del producto, la aplicación donde es usado y el mantenimiento que recibe durante toda su vida de servicio. El mantenimiento es el factor que ofrece a la gerencia de mantenimiento la mejor oportunidad para influir y controlar el desempeño de los equipos debido a que los fabricantes cuando diseñan un equipo lo hacen para unas particulares condiciones de operación y hacen unas recomendaciones genéricas de la tareas de mantenimiento a realizar además la aplicación de los equipos es muy variable incluso en una misma mina las 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 (Availavility 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”

2.2.1 Tiempo 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

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

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:

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

Las horas operadas se toman del horómetro de la máquina y el número de paradas se obtienen de la historia en los 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 las organizaciones de mantenimiento según los resultados del MTBS y el MTBS según los modelos de equipos mineros más comunes:

Figura 28. 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

MODELO DE EQUIPO	MTBS
D10 / D11	55 a 75 horas
992 / 994	55 a 75 horas
16 M G	95 a 105 horas
24 M G	55 a 75 horas
5000 HEX	55 a 75 horas

Fuente: CATERPILLAR, Performance Metrics for Mobile Equipment

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

2.2.2 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 reparaciones, 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:

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

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

2.2.3 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 fórmula

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

El Benchmark de la disponibilidad para equipos mineros varía 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. TRACTORES DE ORUGA CATERPILLAR D11N

El Tractor D11N es uno de los tractores más grandes fabricados por Caterpillar es usado principalmente de la industria minera y se diseñó inicialmente para empujar grandes cargas y romper la roca con el desgarrador (ripper), la capacidad de la hoja topadora es de 34 metros cúbicos, el D11 pesa 92.7 toneladas¹³. En la mina Pribbenow hay 8 tractores D11N, estos son usados en los botaderos de estéril donde los camiones de acarreo de 240 toneladas descargan el material y el tractor lo empuja y lo esparce dándole forma al botadero el tractor es capaz de mover entre 1150 y 1250 toneladas de material estéril por hora.

Las características técnicas y las condiciones operacionales de los tractores D11N se listan a continuación en las tablas 2 y 3

Figura 29. Descarga de Material Estéril en el Botadero



Fuente: Mina Pribbenow, Drummond Ltd.

¹³ CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor Service Training. Prioria: Caterpillar Inc, 1986. P.5.

Tabla 1. Tractores de Oruga D11N en la Mina Pribbenow.

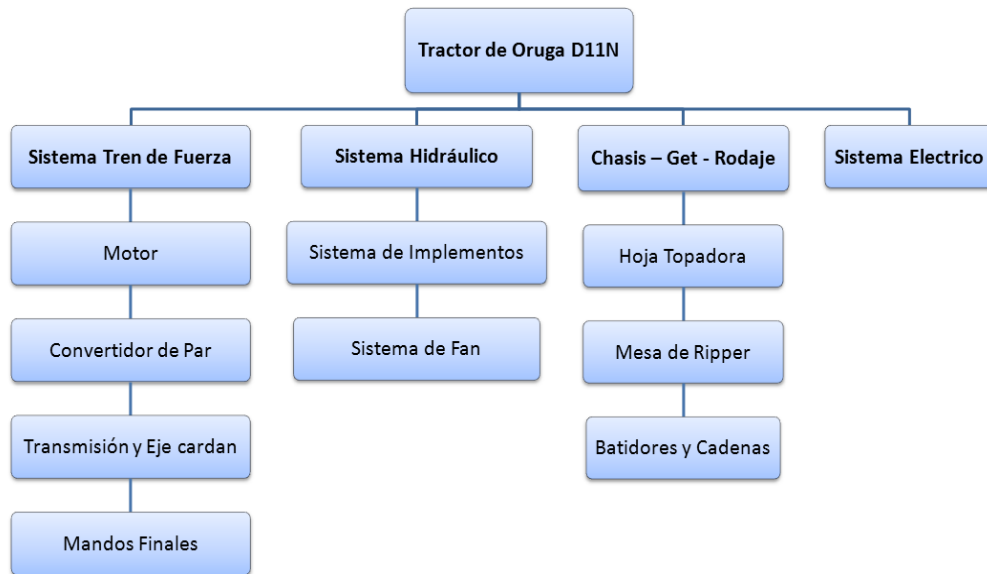
D11N TRACTORS							
ASSET	MOD	SERIAL	ENGINE			RECVD	ASS
5184	D11N	74Z00935	3508	7YG	ELCT	Dec-00	DUMP
5186	D11N	4HK00383	3508	7YG	ELCT	Apr-01	DUMP
5187	D11N	4HK00366	3508	7YG	ELCT	Apr-01	DUMP
5188	D11N	4HK00515	3508	7YG	ELCT	Apr-01	DUMP
5192	D11N	4HK00597	3508	7YG	ELCT	May-02	DUMP
5215	D11N	74Z00939	3508	7YG	ELCT	Aug-00	DUMP
5216	D11N	74Z00940	3508	7YG	ELCT	Aug-99	DUMP
5220	D11N	4HK00364	3508	7YG	ELCT	Aug-95	DUMP

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Los sistemas principales de los tractores son:

- Sistema de Tren de Fuerza
- Sistema Hidráulico
- Chasis y Herramientas de Corte
- Sistema Eléctrico

Figura 30. Descarga de Material Estéril en el Botadero



Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor Service Training

Tabla 2. Características Técnicas de los Tractores de Oruga D11N

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO		
TRACTOR DE ORUGA CATERPILLAR D11N	Motor		
	Fabricante	Caterpillar	
	Modelo	3508	
	Potencia Neta	770 hp	574.2 kw
	Cilindraje	2105.3 cu in	34.5 L
	Admision de Aire	Turbocargado	
	Informacion Operacional		
	Peso Operacional	211304.3 lb	95846 kg
	Capacidad Tanque de Combustible	393.6 gal	1490 L
	Capacidad Tanque de Hidraulico	44.6 gal	169 L
	Transmision		
	Tipo	powershift	
	Numero de Cambios hacia Adelante	3	
	Numero de Cambios hacia Atrás	3	
	Velocidad Maxima Hacia Adelante	7.2 mph	11.6 km/h
	Velocidad Maxima Hacia Atrás	8.8 mph	14.1 km/h
	Rodaje		
	Presion sobre el Suelo	21.6 psi	149 kPa
	Area de Contacto con el Suelo	9796 in ²	6.3 m ²
	Tamaño de la Zapata Estandar	28 in	710 mm
	Numero de Rodillos por cada lado	8	
	Sistema Hidraulico		
	Presion de la Valvula de Alivio	3300 psi	22752.7 kPa
	Capacidad de Flujo de la Bomba	161.1 gal/min	610 L/min
	Hoja Topadora Estandar		
	Ancho	18.4 ft in	5600 mm
	Altura	90.9 in	2310 mm
	Capacidad	33.5 yd ³	25.6 m ³
	Profundidad de Corte	30.5 in	774 mm
	Dimensiones del Equipo		
	Longitud sin Hoja Topadora	20.2 ft in	6160 mm
Longitud con Hoja Topadora	27.5 ft in	8390 mm	
Ancho	12.4 ft in	3780 mm	
Altura hasta la cabina	15 ft in	4560 mm	
Longitud de la cadena sobre el suelo	14.6 ft in	4440 mm	
Distancia del suelo al chasis	2 ft in	623 mm	

Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor Service Training

Tabla 3. Condiciones Operacionales de los Tractores de Oruga D11N

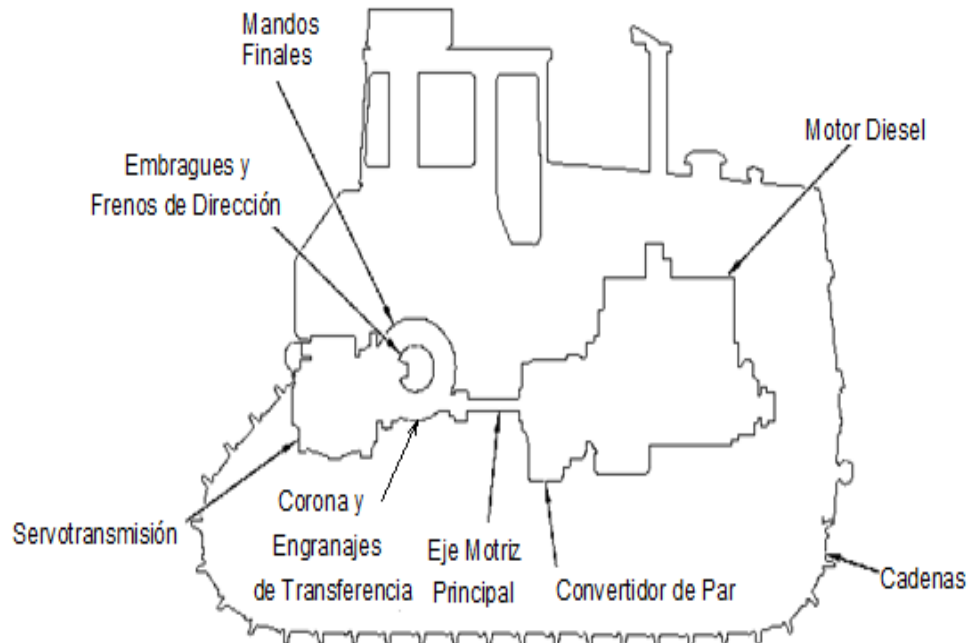
ELEMENTO DE ESTUDIO	CONDICIONES OPERACIONALES		
TRACTOR DE ORUGA CATERPILLAR D11N	Motor		
	RPM en baja	650 ± 10	
	RPM en alta	1980 ± 60	
	Presión de refuerzo motor calado.	24 ± 5 psi	
	RPM motor calado	1534 ± 65	
	Dirección y Frenos		
	Prueba de frenos. Libere el freno de parqueo, aplique a fondo el pedal de freno, coloque las transmisión en 2F, acelere el motor a 1000 rpm.	La máquina no se mueve	
	Condiciones de Operacion: Palancas de Mando y Pedal de Freno sin Movimiento		
	Clutch de dirección izquierdo (H)	336 ± 25 psi	
	Clutch de dirección derecho (K)	336 ± 25 psi	
	Freno izquierdo (J)	336 ± 20 psi	
	Freno derecho (L)	336 ± 20 psi	
	Condiciones de Operacion: Planca Derecha hacia Atras e Izquierda sin Movimiento		
	Clutch de dirección izquierdo (H)	336 ± 25 psi	
	Clutch de dirección derecho (K)	10 psi máx	
	Freno izquierdo (J)	336 ± 20 psi	
	Freno derecho (L)	50 psi máx	
	Condiciones de Operacion: Palanca Izquierda hacia Atrás y Derecha sin Movimiento		
	Clutch de dirección izquierdo (H)	10 psi máx	
	Clutch de dirección derecho (K)	336 ± 25 psi	
	Freno izquierdo (J)	50 psi máx	
	Freno derecho (L)	336 ± 20 psi	
	RADIADOR		
	Prueba flujo aire a través del radiador: Todos los puntos = 250 ó mayor m/min		
	TRANSMISION Y CONVERTIDOR		
	P1, embr. velocidad (psi) (Altas rpm y marcha hacia delante)	370 ± 15	
	P2, embr. dirección (psi) (Altas rpm y marcha hacia delante)	55 ± 5 por debajo de P1	
	Presión salida convertidor (Convertidor calado en tercera) (psi)	78 ± 5	
	SISTEMA HIDRAULICO		
	Presión de alivio del circuito de inclinación (psi)	3400 + 75 - 0	
	Presión de alivio del circuito de levante (psi)	3300 ± 50	
	Presión de alivio del circuito de ripper (psi)	3300 ± 50	
Presión bomba del ventilador en alta RPM (psi)	1275 ± 50		

Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor Testing and Adjusting

3.1 Sistema de Tren de Fuerza. La potencia del motor diesel va a través de los siguientes componentes: el convertidor de par, el eje motriz principal, la transmisión, la corona y los engranajes de transferencia, los embragues y frenos de dirección, los mandos finales y las cadenas. El motor diesel envía potencia desde el volante al convertidor de par. El convertidor de par envía la potencia al eje motriz principal a través de un sistema de engranajes planetarios y de un

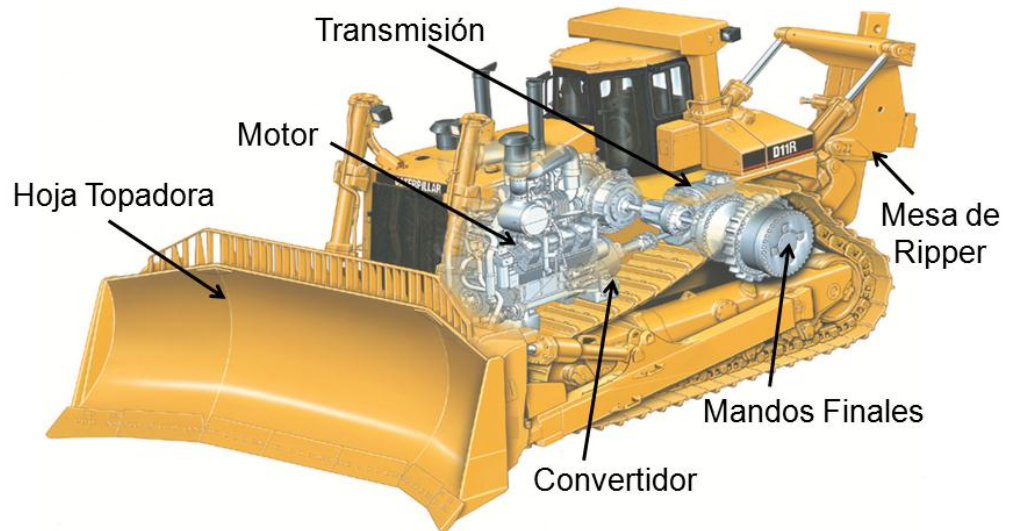
convertidor de par. La potencia a través del eje motriz principal va a la transmisión. La transmisión tiene tres velocidades de Avance y Retroceso. El operador controla manualmente la velocidad y el sentido de marcha de la transmisión. Cuando se mueve la palanca de Control a una posición de velocidad y de sentido de marcha, se envía potencia desde la transmisión a la corona y los engranajes de transferencia. La corona y los engranajes de transferencia hacen girar dos semiejes interiores que envían la potencia a los embragues y frenos de dirección. Los embragues de dirección se usan para dirigir el tractor. Los frenos detienen el tractor y dan ayuda a los embragues de dirección. La potencia a través de los embragues y frenos de dirección se usa para hacer girar los dos semiejes exteriores que hacen girar los mandos finales. Los mandos finales dan una reducción doble por medio del uso de engranajes planetarios. Los mandos finales envían la potencia a las cadenas que mueven la máquina.

Figura 31. Sistema Tren de Fuerza de Tractores de Oruga



Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

Figura 32. Sistema Tren de Fuerza de Tractores de Oruga



Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

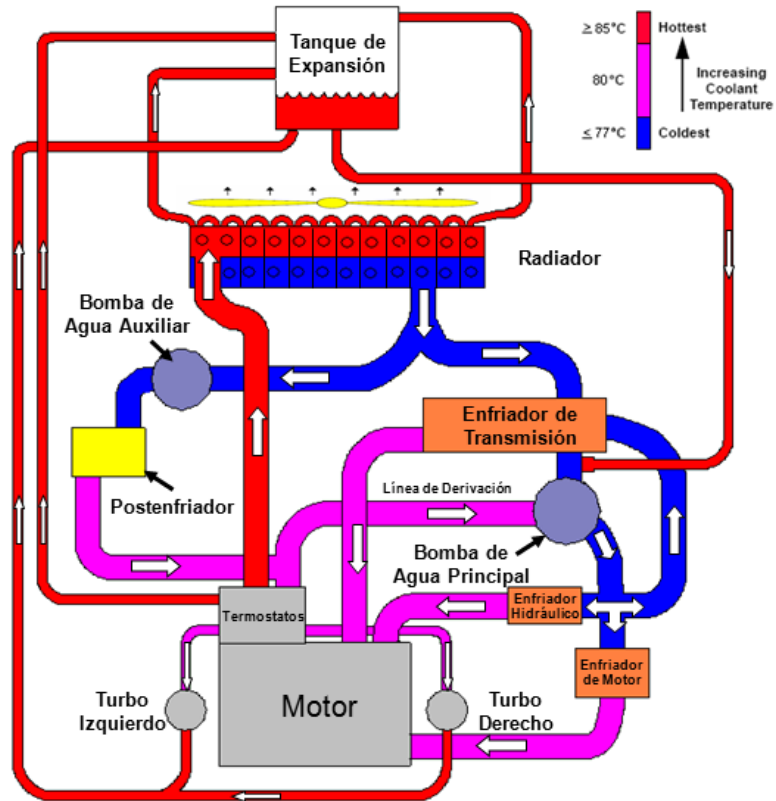
Las partes que conforman el sistema del tren de fuerza son el motor y radiador, convertidor, transmisión, mandos finales

3.1.1 Motor. El motor diesel envía potencia desde el volante al convertidor, el motor tiene una capacidad de 770 hp es de serie 3508 V8, el motor tiene cuatro subsistemas, subsistema de enfriamiento, lubricación, admisión y escape, de inyección de combustible:

3.1.1.1 Subsistema de Enfriamiento. Durante la operación todos los motores de combustión interna generan calor, la temperatura de la cámara de combustión en los motores Caterpillar pueden alcanzar los 1927°C, sin embargo, solo el 33% de esta energía pasa a través del cigüeñal en caballos de fuerza, el 30% sale por los gases de escape, el 7% va directamente a la atmósfera en forma de calor y el 30% restante sale a través del sistema de enfriamiento. La función del subsistema de enfriamiento es remover el calor del motor para mantenerlo en la temperatura

correcta de operación menor o igual a 85 grados centígrados, esta función es vital para la operación de los motores de combustión interna.

Figura 33. Subsistema de Enfriamiento en Motores 3508

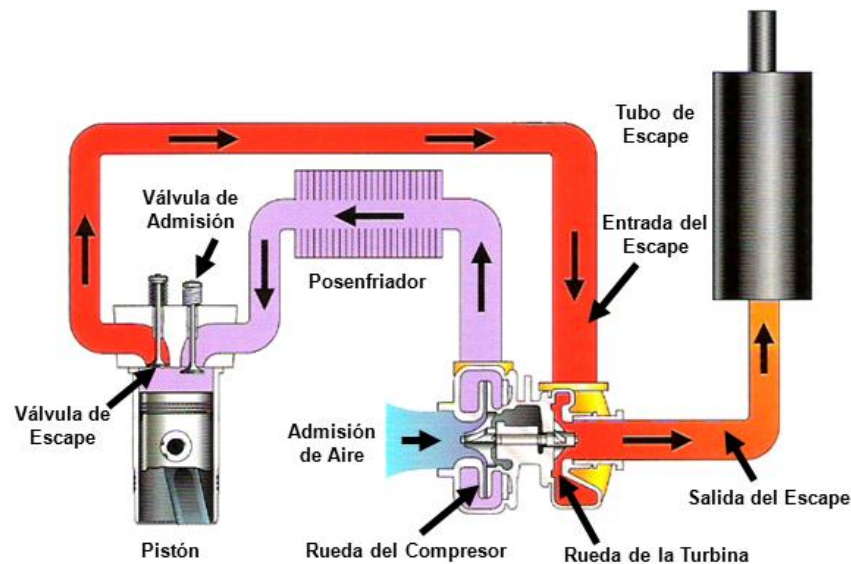


Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.1.1.2 Subsistema de Admisión y Escape. Los componentes del sistema de admisión y de escape controlan la calidad y la cantidad de aire que está disponible para la combustión. Hay turbocompresores y múltiples de escape separados en cada lado del motor. Un posenfriador común se encuentra entre las culatas en el centro del motor. El múltiple de admisión es una serie de codos que conectan la cámara del posenfriador a las lumbreras de admisión (conductos) de las culatas. Hay un árbol de levas en cada lado del bloque. Los dos árboles de levas controlan el movimiento de los componentes del sistema de válvulas. Los gases de escape

pasan a la entrada del escape Rueda de la turbina. Los gases impulsan los alabes de la rueda de la turbina. La rueda de la turbina y la rueda del compresor giran a velocidades de hasta 90.000 rpm. El aire limpio de los filtros de aire pasa a la admisión de aire al girar la rueda del compresor. La acción de las hojas de la rueda del compresor comprime el aire de admisión y lo hace pasar a través del posenfriador para enfriar el aire que entra a la cámara de combustión. Esta compresión proporciona más potencia al motor porque permite mayor entrada de aire y el motor consume el combustible con mayor eficiencia.

Figura 34. Subsistema de Admisión de Aire y Escape de gases en Motores 3508

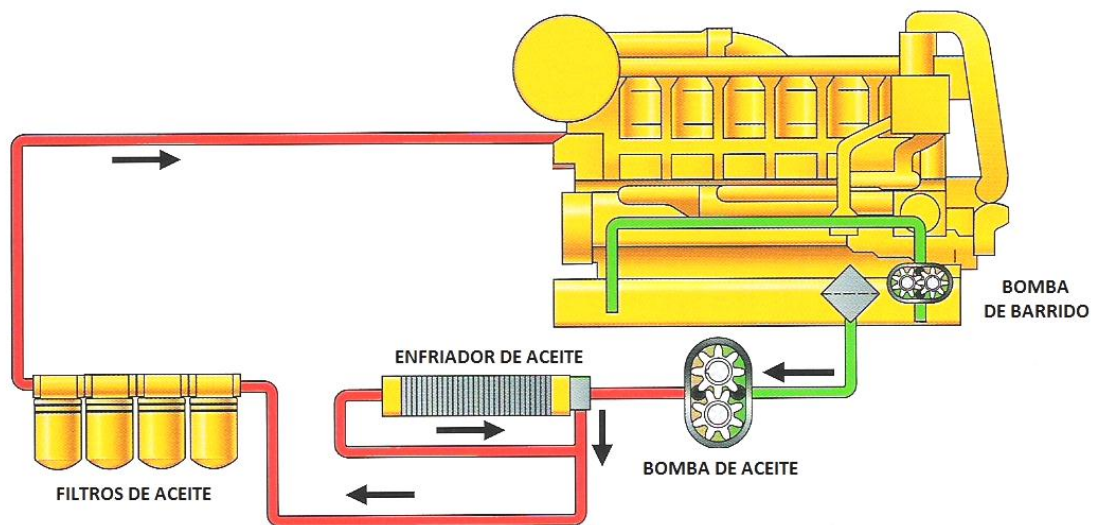


Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.1.1.3 Subsistema de Lubricación de Aceite de Motor. Se encarga de suministrar aceite para lubricar todas las partes del motor, este subsistema utiliza una bomba de aceite con tres engranajes. Los engranajes de la bomba son impulsados por el tren de engranajes delantero. La bomba de aceite del motor extrae el aceite del colector de aceite del motor a través de la campana de succión y el codo. La campana de succión tiene una rejilla para poder limpiar el aceite. La válvula de alivio está en la bomba de aceite del motor. La válvula de alivio controla

la presión del aceite desde la bomba de aceite del motor. La bomba de aceite del motor empuja el aceite a través del enfriador de aceite del motor y a través de los filtros del aceite al conducto de aceite principal y al conducto de aceite del árbol de levas en el bloque de motor.

Figura 35. Subsistema de Admisión de Aire y Escape de gases en Motores 3508

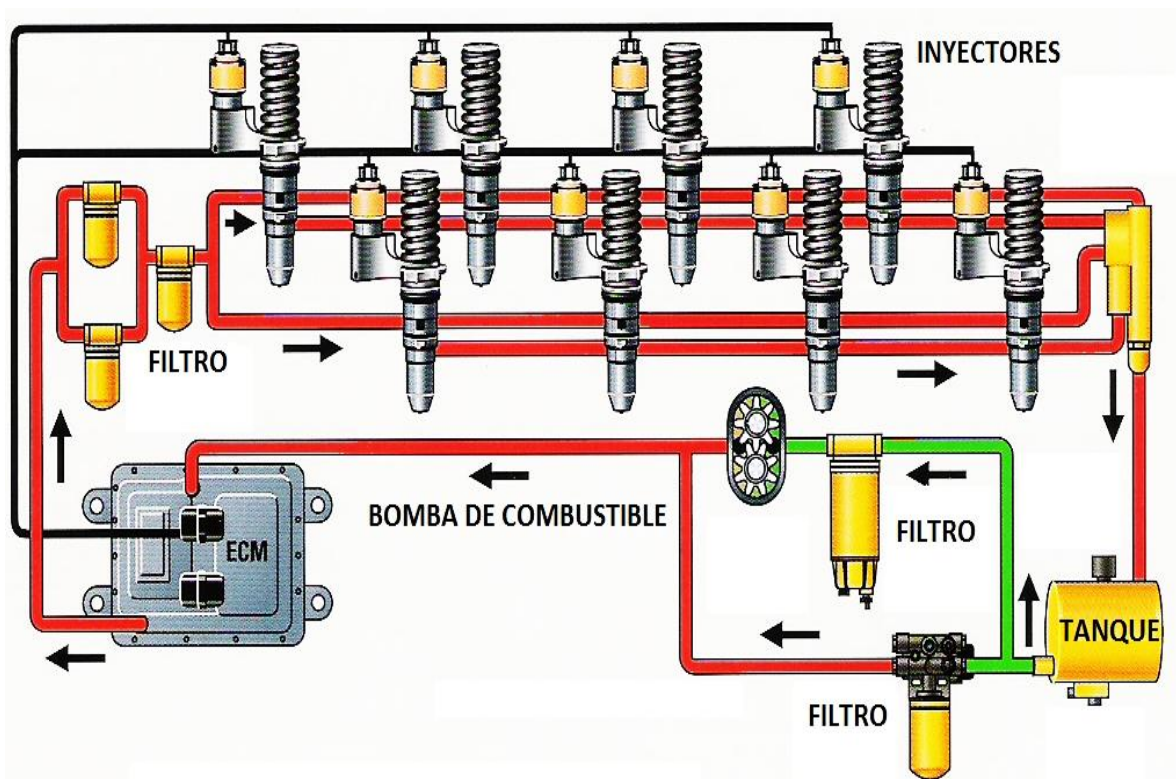


Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.1.1.4 Sistema de Inyección de Combustible. Los componentes del sistema de inyección suministran el combustible adecuado para que se realice el proceso de combustión y se genere el movimiento del motor, Cuando la carrera del émbolo está en la parte superior, el combustible fluye a través de los conductos de combustible de baja presión en la caja. El combustible fluye entonces al conducto central en el émbolo y a la cámara de bombeo debajo del émbolo. Cuando la carrera del émbolo esté en la parte inferior, el combustible fluye a través de los conductos de combustible de alta presión. El combustible fluye a través de la válvula de cartucho abierta y en los conductos de combustible de baja presión. Cuando la válvula de cartucho está cerrada o activada, se bloquea el flujo de

combustible a través de la válvula de cartucho. Esta obstrucción causa una subida en la presión de combustible y empieza la inyección. La inyección continúa hasta que la válvula de cartucho sea desactivada o abierta. Se permite que el combustible fluya a través de la válvula de cartucho. Esto causa una caída en la presión y la detención de la inyección. El émbolo continúa forzando combustible a través de la válvula abierta de cartucho hasta que la carrera del émbolo alcance la parte inferior. El resorte del inyector de combustible hace que el émbolo retorne a la posición de arranque y el ciclo se repite. El inicio de la inyección de combustible se determina cuando la válvula de cartucho es abierta o cerrada por el módulo de control electrónico (ECM). El módulo de control electrónico (ECM) determina la cantidad de combustible que se inyecta cuando la válvula de cartucho está abierta o cerrada.

Figura 36. Subsistema de Inyección de Combustible en Motores 3508



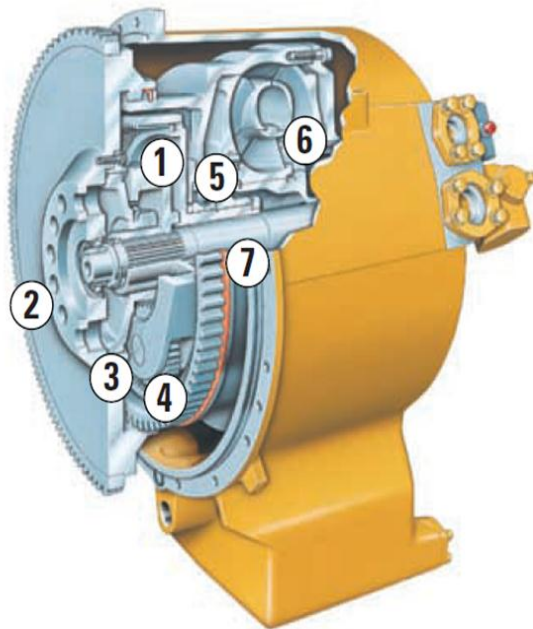
Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.1.2 Convertidor de par. El Convertidor de par conecta el motor a la transmisión planetaria. Esta conexión es una conexión hidráulica y una conexión mecánica. La conexión hidráulica es a través de un convertidor de par. La conexión mecánica es a través de un juego de engranaje planetario.

El convertidor de par usa aceite de la bomba de carga para multiplicar el par que llega a la transmisión. Cuando la máquina funciona contra una carga baja, la multiplicación de par es baja. Cuando la máquina funciona contra una carga alta, la multiplicación de par es más alta. Un par más alto se puede enviar entonces a la transmisión durante condiciones de carga alta. El juego de engranaje planetario multiplica también el par del motor. El juego de engranaje aumenta la ventaja mecánica a través de las ruedas dentadas. Esta multiplicación de par proporciona también un aumento a medida que la carga en la máquina aumenta. En condiciones en que no hay carga, el convertidor de par o el juego de engranaje planetario no puede multiplicar el par del motor.

Figura 36. Convertidor de Par

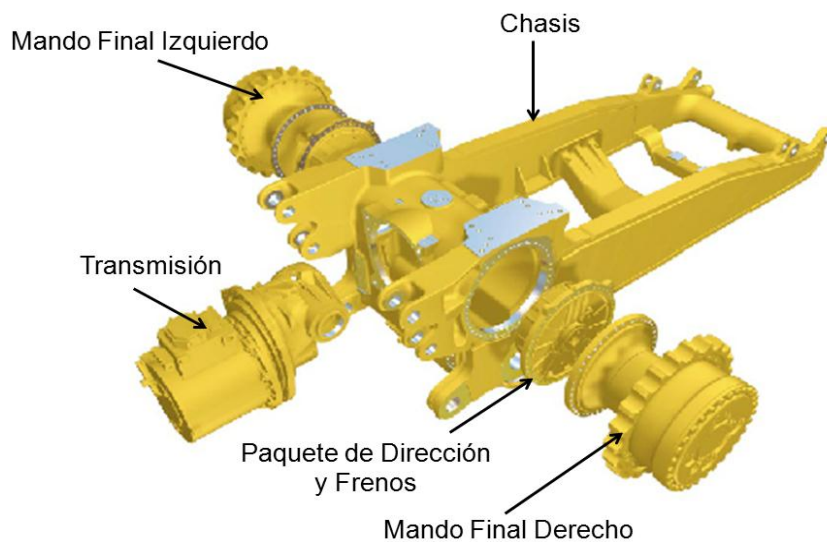
1. Corona
2. Volante
3. Engranaje Solar
4. Engranaje Planetario
5. Turbina
6. Rodete
7. Eje de Salida



Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.1.3 Transmisión. La transmisión tiene cinco embragues activados hidráulicamente, los embragues dan tres velocidades de AVANCE y los embragues dan también tres velocidades de RETROCESO. El control selecciona la velocidad y el sentido de marcha. Los cinco embragues de la transmisión son de tipo de disco, los embragues están en cajas separadas, cada embrague tiene discos y placas. Los dientes interiores de los discos se conectan con los dientes exteriores de la corona. Las muescas en el diámetro exterior de las placas se conectan con pasadores que hay en la caja del embrague. Los pasadores evitan que las placas giren. Los resortes están entre la caja del embrague y el pistón. Los resortes mantienen desconectados los embragues. Los embragues se conectan cuando se envía aceite a la zona detrás del pistón. Cuando la presión del aceite en el área entre el pistón y la caja aumenta, el pistón se mueve a la izquierda. El pistón se mueve contra la fuerza del resorte. El pistón empuja junto los discos y las placas. El embrague está ahora conectado. Los discos evitan la rotación de la corona cuando se desconecta el embrague, la presión en el área detrás del pistón disminuye y la fuerza del resorte mueve el pistón a la derecha. Se separan ahora los discos y las placas. El embrague no está conectado. Se deben conectar un embrague de velocidad y un embrague de sentido de marcha para enviar potencia a través de la transmisión. La tabla muestra los embragues que se conectan para cada velocidad.

Figura 37. Transmisión



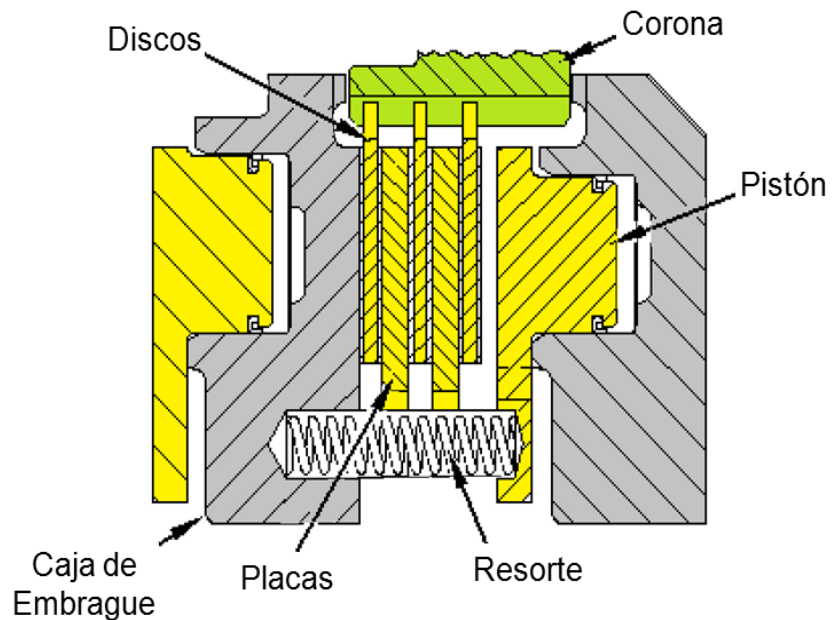
Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

Tabla 4. Velocidades de la Transmisión de los Tractores de Oruga D11N

Velocidad de la transmisión	Embragues conectados
Primera de AVANCE	2 y 5
Segunda de AVANCE	2 y 4
Tercera de AVANCE	2 y 3
NEUTRAL	3
Primera de RETROCESO	1 y 5
Segunda de RETROCESO	1 y 4
Tercera de RETROCESO	1 y 3

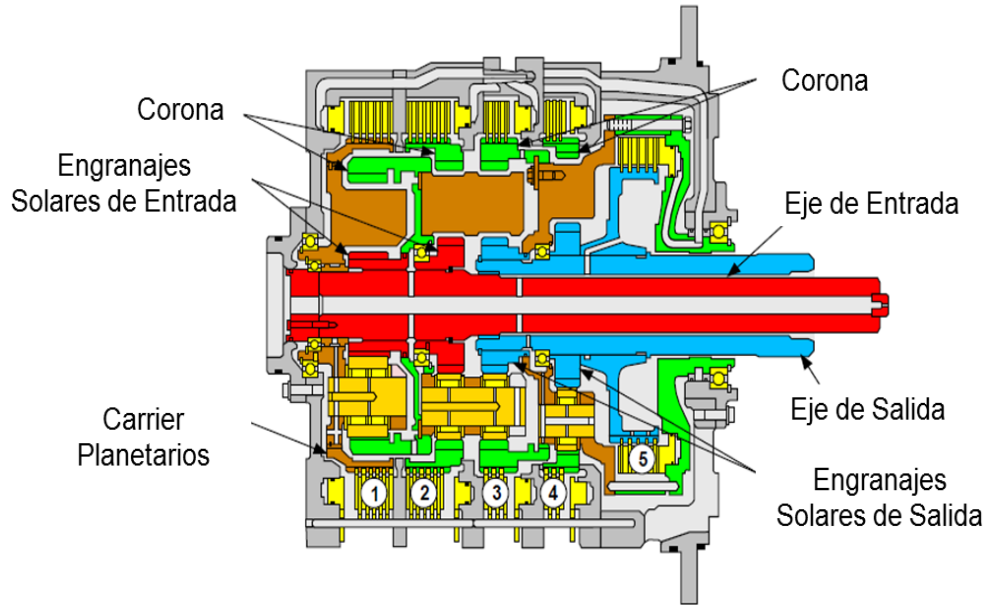
Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

Figura 38. Funcionamiento de Embrague de Transmisión



Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

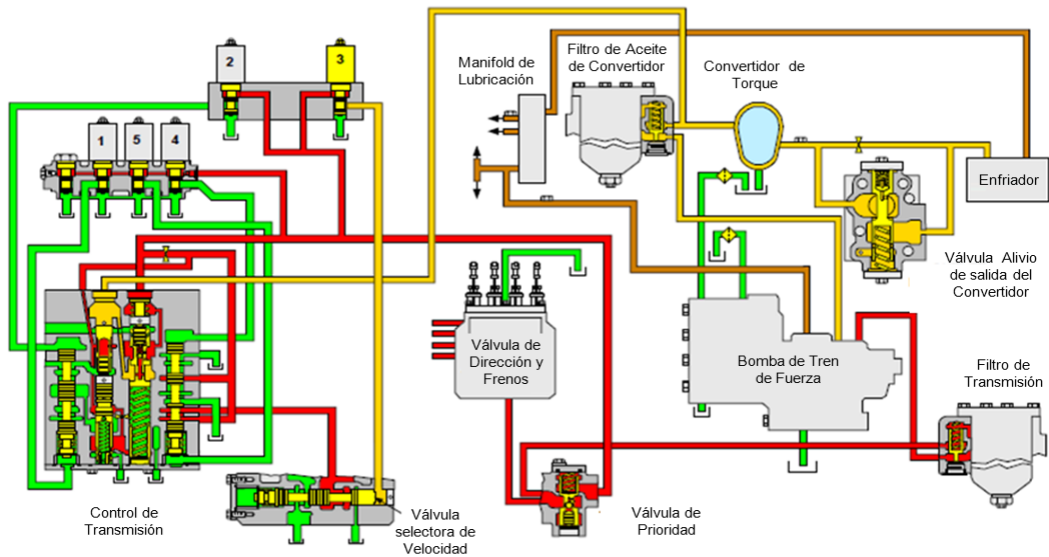
Figura 39. Funcionamiento de Embragues de Transmisión



Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

El subsistema Hidráulico del tren de fuerza se encarga de suministrar el aceite a presión a todos los componentes para su correcto funcionamiento

Figura 40. Subsistema Hidráulico del Tren de Fuerza

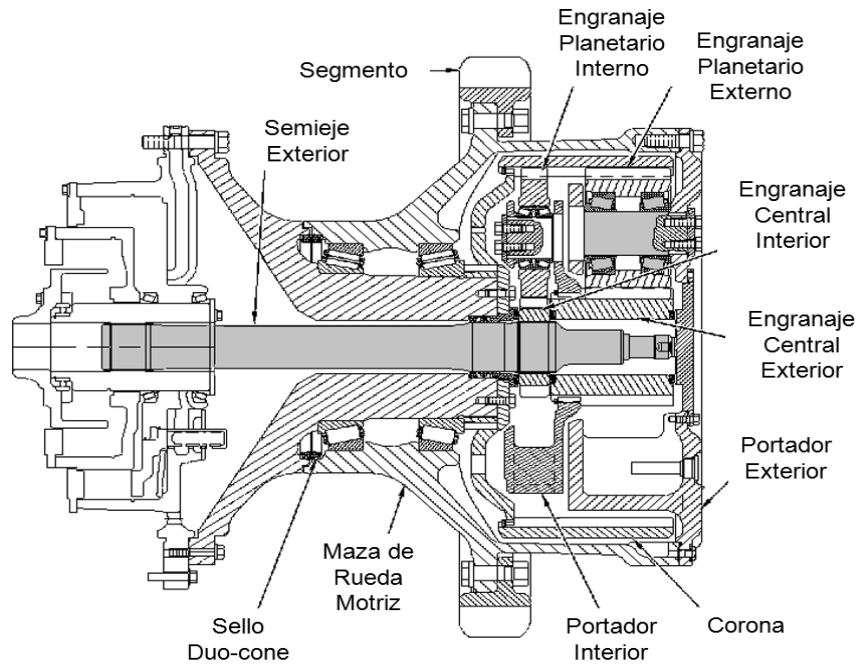


Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.1.4 Mandos Finales y Embragues de Dirección y Frenos. Los mandos finales reciben potencia de los embragues de dirección y la potencia final se envía a las cadenas. Los mandos finales dan una reducción doble por medio del uso de engranajes planetarios. El semieje exterior envía la potencia desde los embragues de dirección al mando final. El engranaje central interior está sujetos por estrías al semieje exterior. La rotación del semieje y el engranaje central interior causa que los engranajes planetarios internos giren. La corona es un componente estacionario. A medida que los engranajes planetarios giran, los engranajes se mueven alrededor del interior de la corona. El movimiento de los engranajes planetarios alrededor de la corona causa que el portador interior gire. El portador interior está conectado al engranaje central exterior por medio de estrías. La rotación del portador interior y el engranaje central exterior causa que los engranajes planetarios externos giren. Los engranajes planetarios externos se mueven alrededor del interior de la corona. Este movimiento causa que el portador exterior y la maza de la rueda motriz giren. Esto envía potencia a los segmentos de la rueda motriz y a la cadena. Los mandos finales tienen un suministro de aceite separado. Todos los componentes obtienen aceite lubricante a medida que los engranajes se mueven y el aceite se lanza dentro de los mandos finales. Esto se llama lubricación por salpicado.

Los embragues y frenos de dirección son módulos que transfieren potencia desde la corona a los mandos finales. Están compuestos por un sistema de embragues con un funcionamiento similar a los embragues de la transmisión

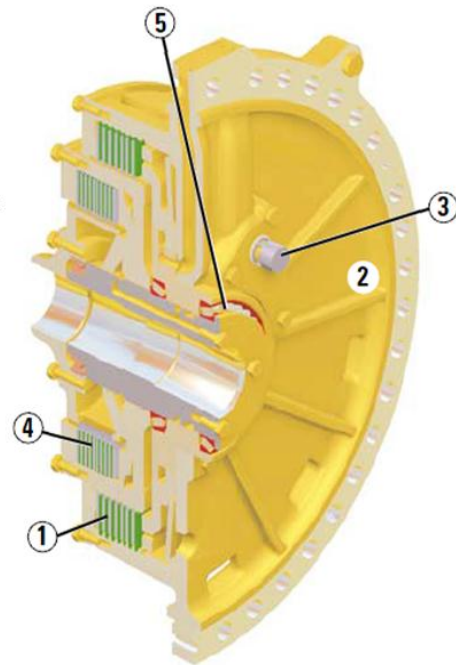
Figura 41. Partes del Mando Final



Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

Figura 42. Partes del Paquete de Dirección y Frenos

1. Discos y Platos
2. Carcaza de Frenos
3. Válvula de Enfriamiento de Aceite
4. Discos de Embrague
5. Rodamiento de Bolas

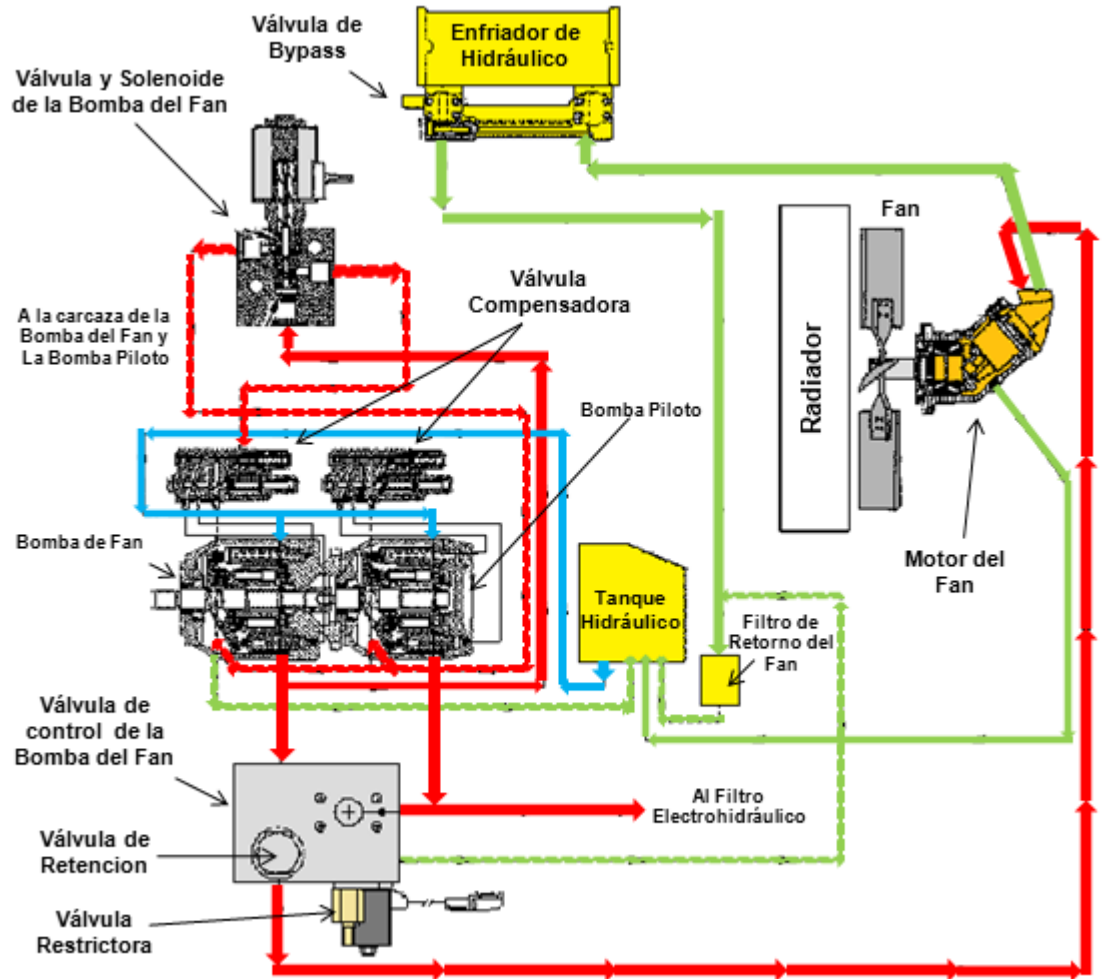


Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.2 Sistema Hidráulico. El sistema hidráulico de los tractores está compuesto por el subsistema hidráulico del ventilador y el subsistema de los implementos.

El subsistema del ventilador de control de demanda ajusta la velocidad del ventilador para que iguale la demanda del sistema de enfriamiento del motor. El ventilador opera a una velocidad más lenta en un día frío. En ambientes de operación que no requieren capacidad máxima de enfriamiento hay más potencia del motor disponible para el trabajo. El módulo de control del motor (ECM) controla el sistema del ventilador de control de demanda. El sensor de temperatura del refrigerante del motor envía información al módulo de control del motor. El ECM controla la velocidad del ventilador alterando la corriente que va a la válvula de solenoide. Para Reducir la velocidad del ventilador el ECM aumenta la corriente que va a la válvula de solenoide. Este incremento de corriente mueve la válvula de disco alejándola del asiento. El incremento de corriente aumenta el flujo de aceite a través del orificio. El incremento de flujo a través del orificio disminuye la presión de señal en el conducto. La presión de señal más baja causa que la bomba disminuya el flujo. Debido a esto, disminuye la velocidad del motor del ventilador. Para aumentar la velocidad del ventilador El ECM disminuye la corriente a la válvula de solenoide la corriente disminuida mueve la válvula de disco hacia el asiento. La corriente más baja disminuye el flujo de aceite a través del orificio. El flujo más bajo a través del orificio aumenta la presión de señal en el conducto La presión de señal más alta causa que la bomba aumente el flujo, debido a esto, aumenta la velocidad del motor del ventilador.

Figura 43. Partes del Sistema Hidráulico del Ventilador

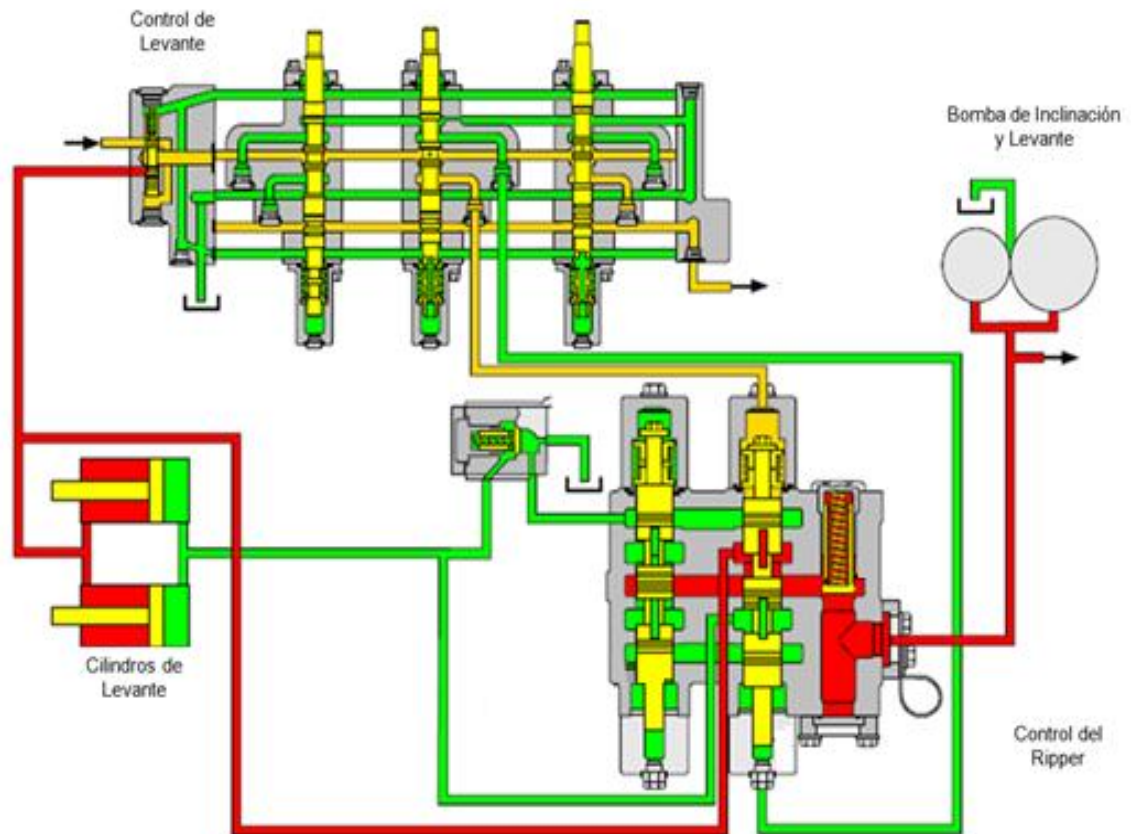


Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

El subsistema hidráulico del implemento controla la operación de la hoja topadora y el desgarrador. El sistema hidráulico es un sistema de centro cerrado con bombas hidráulicas de caudal fijo. Esto permite que haya mínima presión en el sistema cuando no están activadas las válvulas de control del implemento. Una bomba de engranajes de caudal fijo proporciona el flujo para la operación de la hoja topadora y el desgarrador. La bomba tiene una sección grande y una pequeña. El aceite de la sección pequeña de la bomba fluye al circuito de inclinación en la válvula de control de la hoja topadora. El flujo de aceite de la

sección grande de la bomba está disponible para los circuitos de levantamiento de la hoja topadora y del desgarrador

Figura 44. Partes del Sistema Hidráulico de Levante e Inclinación

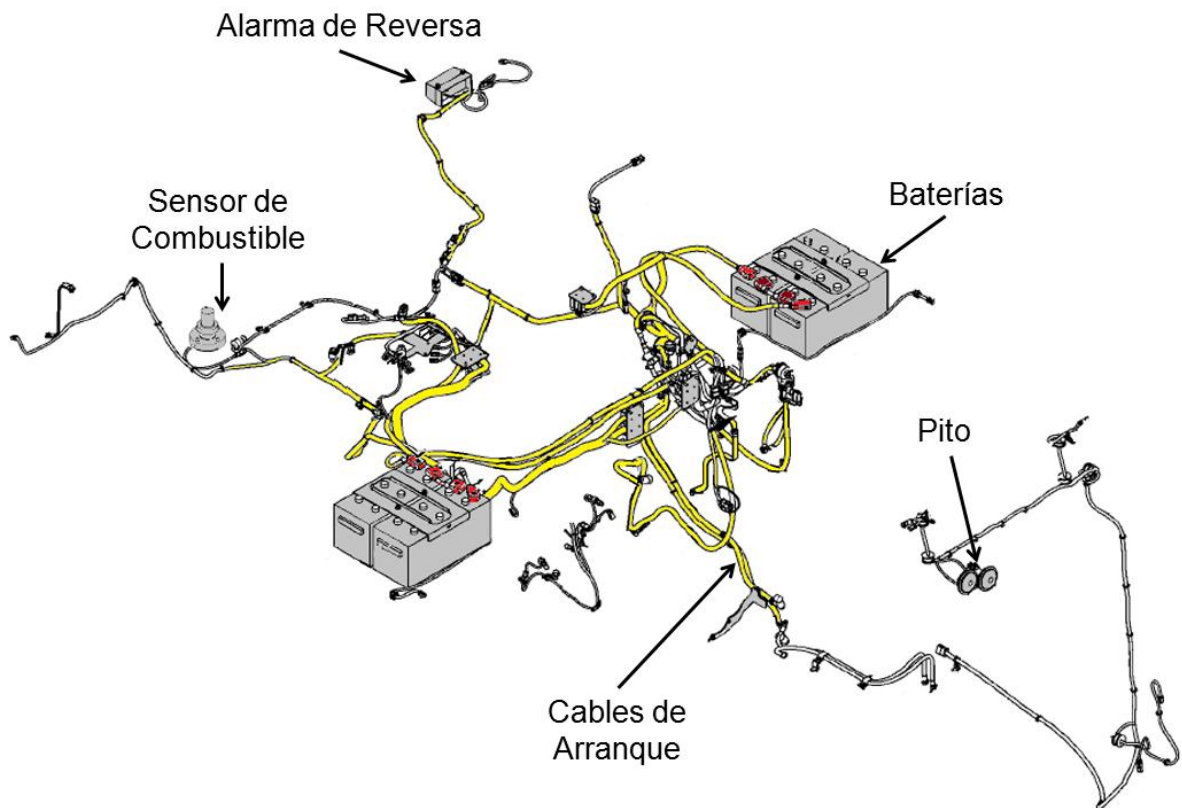


Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.3 Sistema Eléctrico. El sistema eléctrico se encarga de suministrar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del equipo, las funciones básicas del sistema eléctrico son suministrar la energía para el arranque del equipo desde las baterías hasta los motores de arranque, almacenar energía desde el alternador hasta las baterías y además comunicar los módulos de control electrónico (ECM) con los sensores y actuadores del sistema del tren de fuerza, el sistema hidráulico, los componentes principales son:

- ECM de Motor, Hidráulico y Transmisión
- VIDS (Vital Information Display System)
- Sensores y Switches
- Solenoides
- Cables y Arnesees
- Baterías
- Motores de arranque

Figura 45. Partes del Sistema Hidráulico de Levante e Inclinación

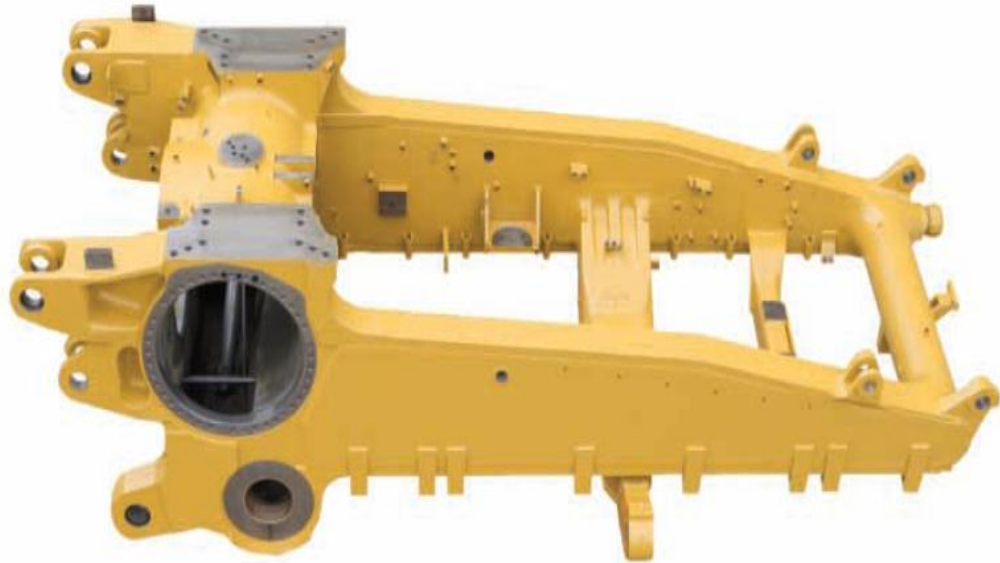


Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

3.4 Chasis, Cabina, Herramientas de Corte y Rodaje. El chasis es la estructura sobre la cual están montados todos los componentes del tractor, la cabina es

donde el operador controla todas las funciones y parámetros de operación de la máquina, la cabina brinda al operador confort y seguridad.

Figura 46. Chasis

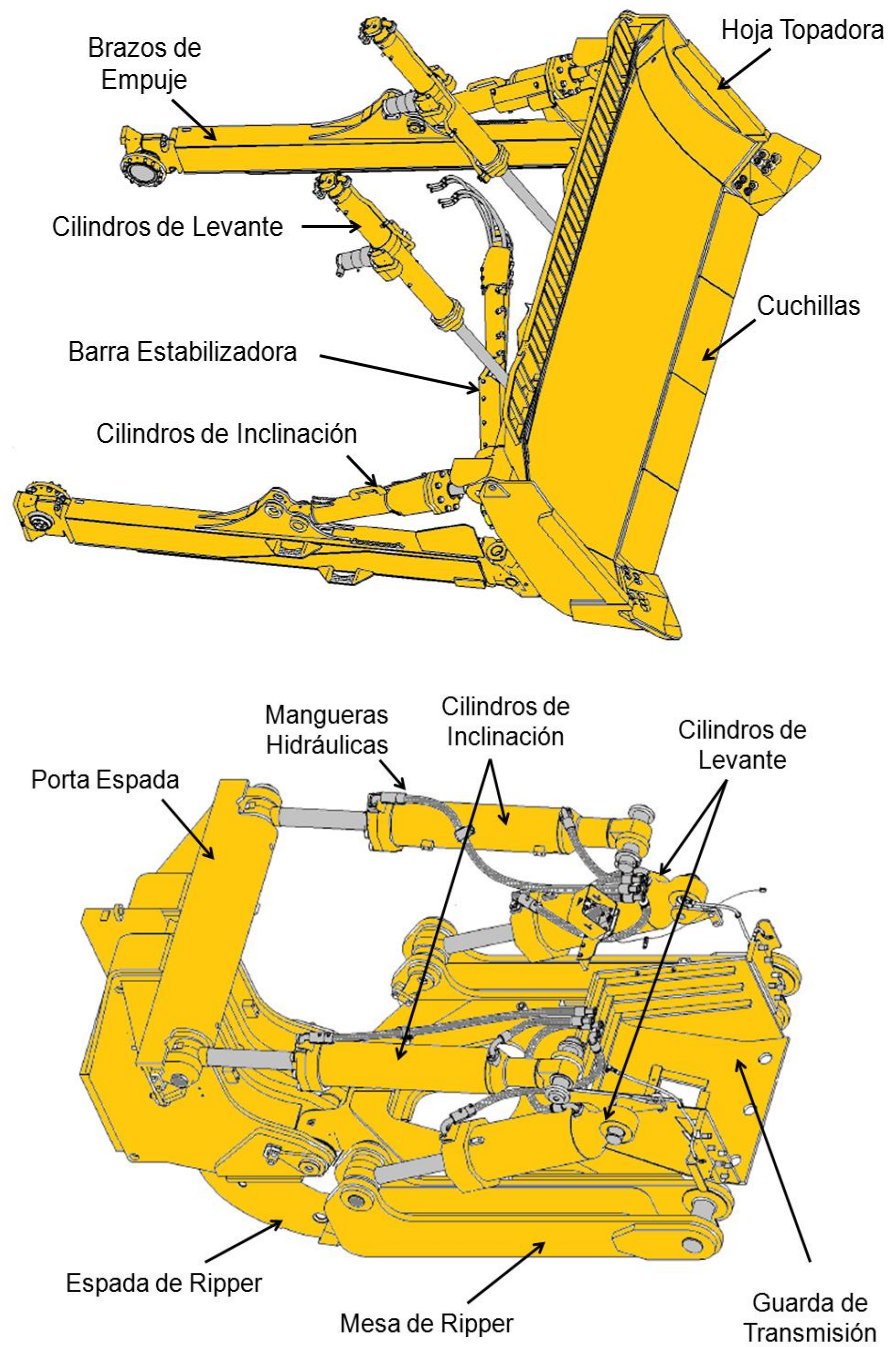


Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

Las herramientas de corte son las que realizan las labores de movimiento de tierra, la hoja topadora almacena y empuja el material, la capacidad de la hoja topadora es de 34 metros cúbicos de roca, la capacidad de carga varía según la velocidad de la máquina, a menor velocidad mayor carga en la hoja topadora, la capacidad puede variar de 50 a 150 toneladas. Las partes que conforman el grupo de la hoja topadora son: hoja topadora, los brazos de empuje, los cilindros de inclinación, los cilindros de levante y la Barra estabilizadora

La espada de ripper se utiliza para desgarrar el suelo y el subsuelo con una fuerza de penetración de hasta 32 toneladas, las partes que conforman el grupo del ripper son, la mesa del ripper, el porta espada, los cilindros de inclinación y levante del ripper

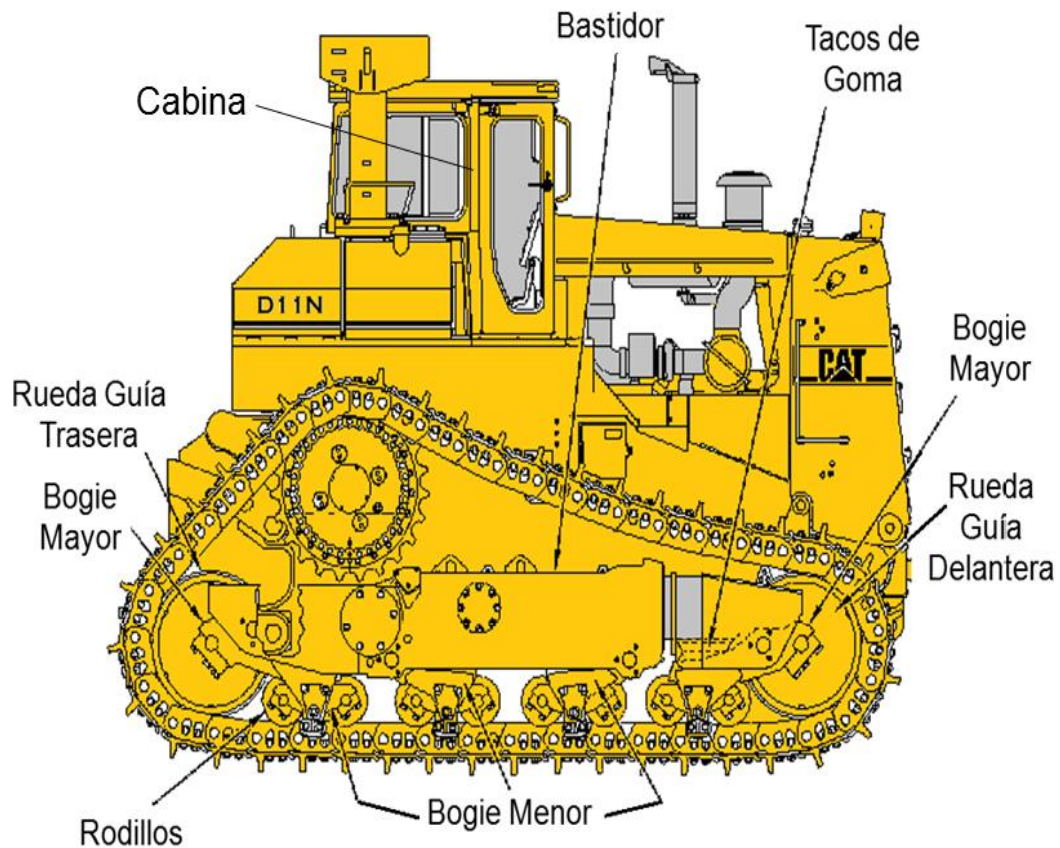
Figura 47. Partes de la Hoja Topadora y Mesa de Ripper



Fuente: CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

El rodaje es el que permite el movimiento de la máquina y genera la fuerza de empuje que mueve la roca en la hoja topadora, los mandos finales transfieren el movimiento giratorio a las cadenas que permiten el desplazamiento de la máquina, las cadenas se desplazan sobre las rueda guías y rodillos que están montados en los bastidores, los bastidores se encargan también de suministrar la amortiguación a la maquina

Figura 47. Partes del Rodaje del Tractor D11N



Fuente: CATERIPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation

4. ANALISIS DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO DE LOS TRACTORES D11N

El Sistema de Información utilizado en mantenimiento en la Mina Pribbenow es el People soft de Oracle, en este software se documentan todas las labores que se realizan de mantenimiento, la información que se registra en el software es la identificación del equipo, el tipo de orden de trabajo, el lugar donde se realizó la reparación, el horómetro del equipo, la fecha de entrada y fecha de salida del equipo, el tiempo total del equipo en mantenimiento, el numero de la orden de trabajo, la descripción de la falla y el código del subsistema que presento la falla, de este software se puede extraer toda la información acerca de las labores de mantenimiento que se realizan en cada uno de los equipos.

Figura 48. Orden de Trabajo en Sistema de Información de Mantenimiento DltD.

The screenshot displays the Oracle PeopleSoft Work Order system interface. The browser window title is "Work Order - Microsoft Internet Explorer provided by Drummond Ltd Colombia." The URL is "http://corpfpap01.drummondco.net:8000/psp/psprod_11/EMPLOYEE/ERP/c/MANAGE_WORK_ORDER.WM_WO.GEL". The Oracle logo is at the top left. A menu on the left lists various maintenance management options. The main content area shows details for Work Order 0000231607, including description "OTO 250 Hrs Calibracion Motor", status "Open / Abierta", and asset information for "CAT D11R Tractor".

*Description	Asset ID	Status	Problem Group	Problem
1 OTO 250 Hrs	M05743	Open / Abierta	1000	Eq_Mov-Motor 7524

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Tabla 5. Reporte de Fallas en el Equipo 5184 en el mes de Enero de 2010

Asset ID	Code	Shop	SMU Reading	Date Down	Date Up	Machine Down Hour	Work Order	Task No.	Task Description	Problem Group
M05184	B	BACKLINE	1010	03/01/2010 16:44	08/01/2010 03:30	106,77	0000110496	1	EST: Ene 08/10 Bot 9E +125	7500
								2	Instalar espada del ripper	6800
								3	Mando Final Lh	4051
								4	Instalar Mando Final Lh	4051
								5	UC-bogie # 1 LH tapa pin faltantes	4150
								6	Vibracion en Cabina Bases y parales agrietados Reparar Cambiar Cerraduras..	7300
								7	Cambio del sello de la boca del telescopico del lado izquierdo por encontrarse en mal estado	4150
								8	Instalar Wiggig de llenado rapido aceite de - Transmision	
								9	MOTOR THOMPSON Instalado Nov/05/09 - COBRE, HIERRO SIGUEN REPORTABLES - Aplicar critico nivel 1 Próximo PM (Se tomo muestra y revisaron respiradero	1000
								10	PM F	7500
								11	Fuga por fitting de toma presion dela b/b del fan + cambiar lineas de levante que salen del capot	6050
								12	Cyl de inclinacion del Dz RH no tiene bearing	5100
								13	UC : extraer tornillo partido del rodillo # 1 izquierdo	4150
M05184	B	FIELD	1070	13/01/2010 19:32	13/01/2010 20:32	1,80	0000114917	1	EST Bot. 4+100 perimetral	1400
								2	Sin luces frontales	1400
								3	GET -Mandos de la cuchilla invertidos	6800
M05184	B	FIELD	1080	14/01/2010 09:30	14/01/2010 16:38	7,13	0000115134	1	EST: Ene/14/2010 Ub: B4-100	1400
M05184	B	FIELD	1103	16/01/2010 09:35	16/01/2010 11:30	1,92	0000116005	1	EST: Ub: B4-180	7320
								2	A/C: Base del condensador partido	7320
M05184	B	FIELD	1166	19/01/2010 09:11	19/01/2010 09:30	0,32	0000117096	1	EST Bot, 4-190 Cartucho	
M05184	B	FIELD	1166	19/01/2010 09:11	19/01/2010 09:30	0,32	0000117096	2	GET -Palanca de movimiento de la cuchilla suelta Se hace ajuste coloco tronillos faltanmtes--	6800
M05184	B	BACKLINE	1228	22/01/2010 09:00	23/01/2010 10:22	25,37	0000118342	1	EST. Ene 23/10	
								2	PM X	7500
M05184	B	UC SHOP	1240	24/01/2010 06:00	24/01/2010 22:00	16,00	0000119265	1	Est: Ene 24/10	
								2	Fuga por sello telescópico bastidor LH. Eval Tensor	4150
M05184	B	FIELD	1350	30/01/2010 18:00	30/01/2010 20:00	2,00	0000121956	1	SOS sistema hidraulico	5050
								1	EST: Botadero 9E	
								2	Problemas de luces Corto en harnes luces frontales y traseras Cambio filtro Secundarios y primarios..	1400

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Para realizar el análisis de la información de las fallas en los tractores D11N, se definió con el supervisor de botaderos, el operador del equipo y el grupo de mantenimiento la función y la falla funcional, de esta forma se determinaron cuales son los modos de falla que pueden ocasionar la falla funcional colocando la misma codificación que se programo en el software y que se maneja comúnmente por Caterpillar.

Tabla 6. Función, Falla Funcional y Modos de Falla en los Tractores D11N

Cod. Func.	Función	Cod. FF	Descripción Falla Funcional	Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I
1	Empujar y Esparcir el Material Estéril Descargado por los Camiones 793 en el Botadero a razón de 1150 y 1250 toneladas por hora con una disponibilidad del mínima mensual del 85%	11	No puede Empujar ni Esparcir el Material Estéril o hacerlo por debajo de las 1150 toneladas por hora y la Disponibilidad del equipo cae por debajo del 85%	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
				4150	Falla en el Rodaje
				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
				6000	Falla en Hoja Topadora
				6800	Falla en el GET Herramienta de Corte
				7050	Falla en el Chasis, Estructura / Frame
				7500	PM - Mantenimiento Preventivo
7540	Falla en el Sistema de Engrase				
7600	PCR - Reemplazo de componentes				
9700	Falla en la Operación				
2	Brindar comodidad y seguridad al operador para que este opere el equipo sin riesgos contra su salud	21	La cabina no brinda comodidad 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 Análisis de RCM Tractores D11N

Al realizar el análisis de la información de mantenimiento de los tractores del mes de Enero a Junio de 2010, se determinaron cuales son los modos de fallas que se presentan con más frecuencia y por lo tanto afectan la confiabilidad y el tiempo medio entre (MTBS) fallas de los equipos, de las 333 fallas que se presentaron en los 8 tractores D11N de la mina en el periodo del 1ro de Enero al 30 de Junio del 2010, 78 fueron fallas de motor que representan el 23.4% del total de las fallas. 75 fallas fueron por enviar el equipo a PM sin embargo estas son paradas obligatorias que debe hacer el equipo para mantenimiento. 75 fueron fallas del Sistema Eléctrico del tractor que representan el 22.5% del total de las fallas, estos dos sistemas representan el 45.9% del total de las fallas, por lo tanto si se orienta la estrategia de mantenimiento a reducir las fallas en estos dos sistemas se incrementaría considerablemente la confiabilidad de estos equipos. Siguiendo el

orden de prioridad los siguientes sistemas a analizar serian el sistema de aire acondicionado con un 8.4% del total de las fallas y el sistema hidráulico con el 7.5% de la fallas.

Tabla 7. Estadísticas de Modos de Falla Presentadas en los Tractores D11N

Código	Modo de Falla	Total Fallas	%
1000	Motor	78	23,4%
7500	PM	75	22,5%
1400	Sistema Eléctrico	75	22,5%
7320	A/C	28	8,4%
5050	Sistema Hidráulico	25	7,5%
1353	Refrigerante	16	4,8%
4150	Rodaje	11	3,3%
6800	Get	9	2,7%
7300	Cabina	7	2,1%
3030	Transmisión	7	2,1%
7050	Chasis	2	0,6%
TOTAL		333	100%

Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Figura 49. Diagrama de Pareto de Fallas en Tractores D11N



Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

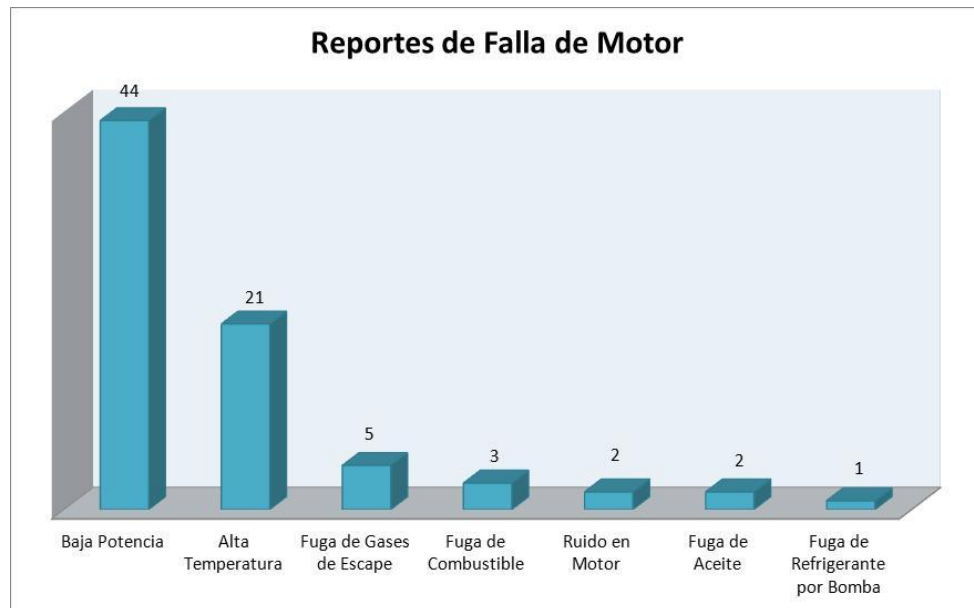
Se hizo necesario un análisis más profundo de los modos de falla para determinar cuáles son las causas reales de la falla debido a que las fallas del motor pueden ser por diferentes causas, al revisar esto se encontró que la causa más frecuente de las fallas en el motor en las de baja potencia representadas en el 56% seguida por los problema de alta temperatura 27% y las fugas de gases de escape 6%

Tabla 8. Estadísticas de Modos de Falla de Motor

Reportes de Falla en el Motor		
Baja Potencia	44	56%
Alta Temperatura	21	27%
Fuga de Gases de Escape	5	6%
Fuga de Combustible	3	4%
Ruido en Motor	2	3%
Fuga de Aceite	2	3%
Fuga de Refrigerante por Bomba	1	1%
Total	78	100%

Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Figura 50. Diagrama de Pareto de Modos de Falla de Motor



Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

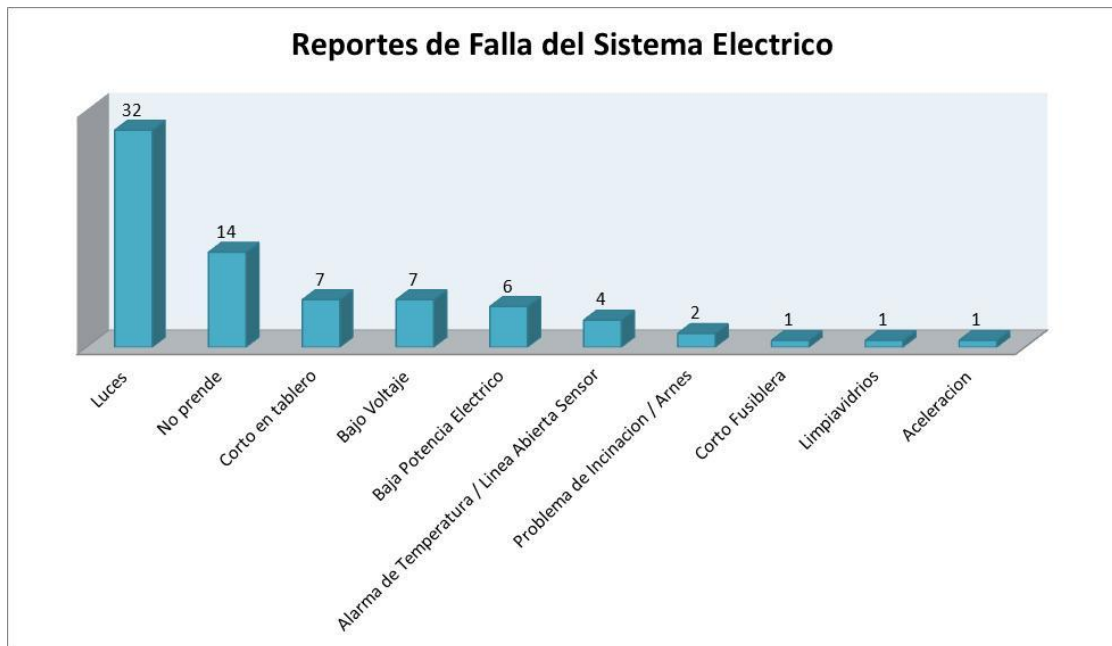
Las fallas en el sistema eléctrico son causadas principalmente por problemas en las luces con el 43% de las fallas y problemas de encendido con el 19% de las fallas.

Tabla 9. Estadísticas de Modos de Falla del Sistema Elctrico

Reportes de Falla en el Sistema Elctrico		
Luces	32	43%
No prende	14	19%
Corto en tablero	7	9%
Bajo Voltaje	7	9%
Baja Potencia Elctrico	6	8%
Alarma de Temperatura / Linea Abierta Sensor	4	5%
Problema de Incinacion / Arnes	2	3%
Corto Fusiblera	1	1%
Limpiavidrios	1	1%
Aceleracion	1	1%
Total	75	100%

Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Figura 51. Diagrama de Pareto de Modos de Falla en el Sistema Elctrico



Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

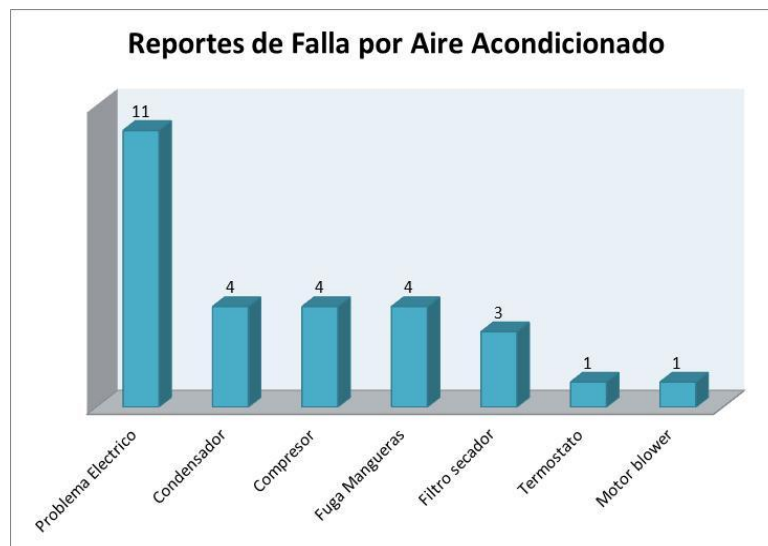
Las fallas en el sistema del aire acondicionado son causadas principalmente por problemas eléctricos 39% de las fallas y problemas con el compresor, condensador y fugas de mangueras con el 14% de las fallas cada una.

Tabla 10. Estadísticas de Modos de Falla del Aire Acondicionado

Reportes de Falla en el Aire Acondicionado		
Problema Electrico	11	39%
Condensador	4	14%
Compresor	4	14%
Fuga Mangueras	4	14%
Filtro secador	3	11%
Termostato	1	4%
Motor blower	1	4%
Total	28	100%

Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Figura 52. Diagrama de Pareto de Modos de Falla en el Sistema Electrico



Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

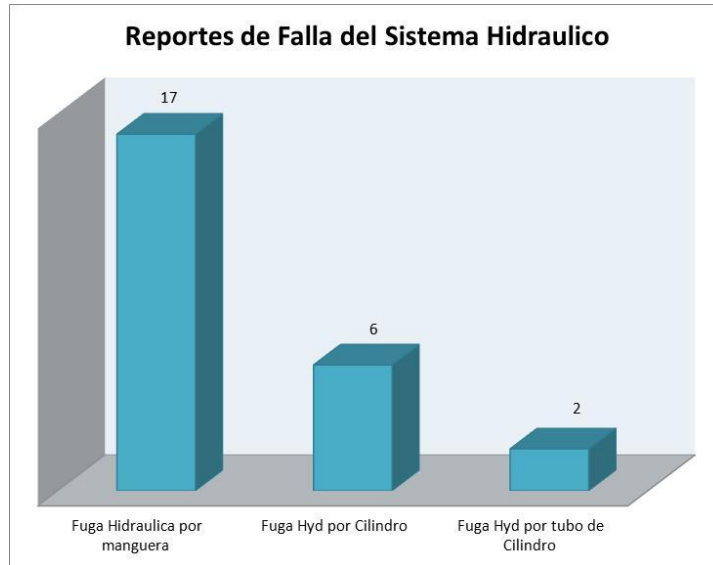
Las fallas en el Sistema Hidráulico son causadas principalmente por fugas en las mangueras 68% de las fallas y fugas hidráulicas por cilindros con el 24 % de las fallas.

Tabla 11. Estadísticas de Modos de Falla del Sistema hidraulico

Reportes de Falla en el Sistema Hidraulico		
Fuga Hidraulica por manguera	17	68%
Fuga Hyd por Cilindro	6	24%
Fuga Hyd por tubo de Cilindro	2	8%
Total	25	100%

Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Figura 53. Diagrama de Pareto de Modos de Falla en el Sistema Hidraulico



Fuente: Software de Mantenimiento Equipo Móvil Tractores

Como los modos de fallas listados inicialmente son muy generales en la hoja de RCM se realizo el Análisis de Modos de fallas y sus Efectos (AMFE) a un segundo nivel para poder definir claramente la causa de la falla y así determinar las tareas adecuadas de mantenimiento a realizar, esta labor se realizo conjuntamente con Supervisores Senior, Supervisores y Técnicos de Campo, Supervisores y Técnicos de PM.

Tabla 12. Analisis de Modos de falla de Motor y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod. MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
		1001	Baja Potencia por Filtros de Aire Obstruidos	
		1002	Baja Potencia por Filtros de Combustible Obstruido	
		1003	Baja Potencia por Precelamers Obstruidos	
		1004	Baja Potencia por Baja Presion de Combustible / Aire en el combustible	
		1005	Baja Potencia por Falla Mecanica en Inyector/Resorte Partido	
		1006	Baja Potencia por Tanque de Combustible sucio	
		1007	Baja Potencia por Turbocargador con desgaste / fallado	
		1008	Baja Potencia por Fuga de Gases de Escape / Fuga de Admision	
		1009	Baja Potencia por Valvula de Admision / Escape partida	
		1010	Baja Potencia por Calibracion Erronea de Valvulas	
		1011	Baja Potencia por Falla en Lobulo de Arbol de levas	
		1012	Baja Potencia por Desgaste en Anillos y Carrisas / Alto Blow by	
		1013	Alta temperatura por Radiador Obstruido Externamente	
		1014	Alta temperatura por Radiador Obstruido Internamente	
		1015	Alta temperatura por Filtros de Aire obstruidos	
		1016	Alta temperatura por Posenfriador obstruido / Roto	
		1017	Alta temperatura por Baja velocidad del Ventilador, causado por baja presión o problemas en el sistema hidráulico del ventilador	
		1018	Alta temperatura por Aire en el sistema de enfriamiento por un incorrecto procedimiento de llenado.	
		1019	Alta temperatura por Compresión al radiador.	
		1020	Alta temperatura por Vapor en el sistema de enfriamiento por que el motor esta sobrecalentado	
		1021	Alta temperatura por Termostatos pegados cerrados o abiertos	
		1022	Alta temperatura por El Impeler de la Bomba de Agua no gira	
		1023	Alta temperatura por Fugas Externas de Refrigerante	
		1024	Alta temperatura por Enfriador de Aceite de Motor Obstruido	
		1025	Alta temperatura por Tubos de Escape obstruidos	
		1026	Baja Presion de Aceite de Motor por Bajo Nivel de Aceite de Motor por fuga o por consumo (Alto blow by)	
		1027	Baja Presion de Aceite de Motor por Filtros de Aceite Obstruidos	
		1028	Baja Presion de Aceite de Motor por Dilucion de Combustible en el Aceite de Motor	
		1029	Baja Presion de Aceite de Motor por Desgaste Interno en la Bomba de Aceite	
		1030	Baja Presion de Aceite de Motor por Desgaste en los cojinetes del cigüeñal o del arbol de levas	
		1031	Baja Presion de Aceite de Motor por Degradacion del Aceite por altas horas	
		1032	Baja Presion de Aceite de Motor por Baja Viscosidad del aceite por alta temperatura	
		1033	Baja Presion de Aceite de Motor por Obstruccion Interna en conductos de lubricacion	
		1034	Fuga de Gases de Escape por Manifold de escape por instalacion incorrecta	
		1035	Fuga de Gases de Escape por Codos de Turbocargadores por instalacion incorrecta	
		1036	Fuga de Gases de Escape por Exhosto Suelto por Instalacion incorrecta o roto por desgaste	
		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	
		1040	Fuga Externa de Refrigerante Por testigo de Bomba de Agua por desgaste interno - Instalacion incorrecta	
		1041	Fuga Externa de Refrigerante por Enfriador de Motor - Instalacion incorrecta	
		1042	Fuga Externa de Refrigerante por Caja de Termostatos - Instalacion incorrecta	
		1043	Fuga Externa de Refrigerante por Tubos y Mangueras de Refrigerante- Instalacion incorrecta	
		1044	Fuga Externa de Refrigerante por Turbocargadores- Instalacion incorrecta	
		1045	Fuga Aceite de Motor por Filtros de Aceite de Motor - Instalacion incorrecta	
		1046	Fuga Aceite de Motor por Enfriador de Motor - Instalacion incorrecta	
		1047	Fuga Aceite de Motor por Drive de Bombas / Alternador - Instalacion incorrecta	
		1048	Fuga Aceite de Motor por Sello Frontal del Cigüeñal/Phones Locos - Instalacion incorrecta	
		1049	Fuga Aceite de Motor por Tapones de drenaje- Instalacion incorrecta	
		1050	Fuga Aceite de Motor por sellos del carter - Instalacion incorrecta	
		1051	Fuga Aceite de Motor por sellos de Distribucion Frontal/ Trasera - Instalacion incorrecta	
		1052	Fuga Aceite de Motor por Tubos de Aceite de Motor- Instalacion incorrecta	
		1053	Fuga de Aceite de Motor por rotura del carter por golpe (Accidente)	
		1054	Analisis de Aceite Critico de Motor SOS por Silicio, entrada de tierra al motor - Instalacion Incorrecta	
		1055	Analisis de Aceite Critico de Motor SOS por Agua, entrada de agua al motor - Instalacion Incorrecta	
		1056	Analisis de Aceite Critico de Motor SOS por Sodio, entrada de Refrigerante al motor	
		1057	Analisis de Aceite Critico de Motor SOS por Cobre, Bombas sueltas / Desgaste en Lifter Arbol Levas - Instalacion/ Calibracion Incorrecta	
		1058	Analisis de Aceite Critico de Motor SOS por Hollin, Problemas de Inyeccion y Combustion	
		1059	Analisis de Aceite Critico de Motor por Hierro/Aluminio Desgaste Interno en el motor	
		1060	Analisis de Aceite Critico SOS por Plomo, Desgaste en casquetes de Cigüeñal	
		1061	Contaminacion del Aceite de Motor con refrigerante / Enfriador de Aceite Roto	
		1062	Contaminacion del Aceite de Motor con Combustible / Inyectores, Culata o Bomba de transferencia con fuga	
		1063	Motor no gira por Problemas Mecanicos Bloqueo Hidraulico con Refrigerante o Combustible	
		1064	Motor no gira por Problemas Mecanicos Cigüeñal pegado por falta de lubricacion	
		1065	Motor no gira por Problemas Mecanicos Cigüeñal pegado por falta de lubricacion	
		1066	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Baja Presion de Combustible / Aire en el combustible	
		1067	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Falla en Inyector /Solenoides del Inyector/ Arnes del Inyector	
		1068	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Tanque de Combustible sucio	
		1069	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Mecanicos Bajo Nivel de Combustible	
		1070	Ruido en el Motor / Falla Interna de algun elemento de sujecion o engranaje	

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 13. Analisis de Modos de falla de Radiador y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
1353	Falla en el Radiador	1354	Fuga por Mangueras de Refrigerante por lineas de refrigerante por roce - instalacion incorrecta	la fuga de refrigerante ocasiona que el equipo se quede sin refrigerante, La temperatura del motor sube por encima de 110 °C, aparece la alarma de alta temperatura de motor o de bajo nivel de refrigerante en el tablero y el operador para el equipo, si el equipo contuna operando con alta temperatura se puesden ocasionar daños severos
		1355	Fuga por Mangueras de Refrigerante por Tubos de Refrigerante por roce - instalacion incorrecta	
		1356	Fuga de Refrigerante por sello de Modulo - Instalacion Incorrecta	
		1357	Fuga de Refrigerante por Modulo por golpe	
		1358	Radiador Obstruido Externamente por suciedad	El Radiador obstruido ocasiona que La temperatura del motor suba por encima de 110 °C, aparece la alarma de alta temperatura de motor en el tablero y el operador para el equipo, si el equipo contuna operando con alta temperatura se puesden ocasionar daños severos en el motor
		1359	Radiador Obstruido Internamente por contamiacion	

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 14. Analisis de Modos de falla de Sistema de Frenos Y Direccion y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
4250	Falla en el Sistema de Frenos	4251	Equipo Frenado / Equipo No frena por Varillaje Suleto de Frenos o Ajuste incorrecto	El Operador no puede operar correctamente el equipo y lo para
		4252	Equipo Frenado / Equipo No frena por Valvua de control y direccion y frenos atascada o con fuga interna	
		4253	Equipo Frenado / Equipo No frena por Embragues de Direccion y frenos con fuga interna o con alto desgaste	
4300	Falla en el Sistema de Direccion	4301	Equipo no gira a la derecha o a la izquierda por Varillaje Suleto de Direccion o Ajuste incorrecto	
		4302	Equipo no gira a la derecha o a la izquierda por Valvua de control y direccion y frenos atascada o con fuga interna	
		4303	Equipo no gira a la derecha o a la izquierda por Embragues de Direccion con fuga interna o con alto desgaste	
		4304	Equipo no gira en ninguna direccion por Varillaje Suleto de Direccion o Ajuste incorrecto	
		4305	Equipo no gira en ninguna direccion por Baja presion de aceite en la valvula de direccion y frenos	
		4306	Equipo no gira en ninguna direccion por La valvula de prioridad no maneja la presion correcta	
		4307	Equipo no gira en ninguna direccion por Fugas de aceite en mangueras o en la valvula de direccion y frenos	
		4308	Equipo no gira en ninguna direccion por Embragues de Direccion y frenos con fuga interna o con alto desgaste	
4309	Direccion dura por Varillaje Suleto de Direccion o Ajuste incorrecto falta de lubricacion			

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 15. Analisis de Modos de falla del Sistema Electrico y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod. MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos	
1400	Falla en el Sistema Eléctrico	1401	Bajo Voltaje El Voltaje de la Bateria en mas de 32 voltios DC / Alternador no regula	Aparece alarma de alto voltaje en el tablero, el operador para el equipo	
		1402	Alto Voltaje El Voltaje de Las Baterias es menor que 9 Voltios DC/ Alternador no carga / Baterias no cargan	Aparece alarma de bajo voltaje en el tablero, el operador para el equipo	
		1403	Baja Potencia por Problemas Electricos Falla en Inyector /Solenoides del Inyector/ Arnes del Inyector abierto o en corto	Las Velocidad del motor calado estan por debajo de 1500 rpm, El tractor no puede empujar la carga por baja potencia. El operador para el equipo	
		1404	Baja Potencia por Problemas Electricos Switch de aceleracion no funciona / Arnes del Switch abierto o en corto		
		1405	Baja Potencia por Problemas Electricos Sensor de posicion del desacelerador no funciona / Arnes del Sensor abierto o en corto		
		1406	Baja Potencia por Problemas Electricos Sensor de Presion de salida del Turbocargador no funciona / Arnes del Sensor abierto o en corto		
		1407	Baja Potencia por Problemas Electricos Sensor de Presion Atmosferica no funciona / Arnes del Sensor abierto o en corto		
		1408	Baja Potencia por Problemas Electricos Sensor de Velocidad y tiempo no funciona / Arnes del Sensor Abierto o en Corto		
		1409	Baja Potencia por Problemas Electricos Arnes de Motor Abierto o en Corto		
		1410	Baja Potencia por Problemas Electricos Falla Interna del EMC		
		1411	Motor no gira por problemas Electricos Baterias descargadas		El Motor no gira, se debe traer el equipo al taller para evaluacion
		1412	Motor no gira por problemas Electricos Motores de Arranque Abierto en Corto		
		1413	Motor no gira por problemas Electricos Arnes de Motor Abierto o en Corto		
		1414	Motor no gira por problemas Electricos Arnes de Circuito de Arranque Abierto o en Corto		
		1415	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Electricos Arnes de Motor Abierto o en Corto - Instalacion Incorrecta	El Motor no trabaja correctamente el operador para el equipo	
		1416	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Electricos Falla en Inyector /Solenoides del Inyector/ Arnes del Inyector abierto o en corto		
		1417	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Electricos Falla Interna del EMC		
		1418	Motor Gira pero no Arranca por Problemas Electricos Configuracion erronea del ECM		
		1419	Alta Temperatura de Motor / Transmision / Hidraulico por Problemas Electricos Sensor de Temperatura de dañado	Aparece Alarma de temperatura en el tablero, el operador para el equipo	
		1420	Alta Temperatura de Motor / Transmision / Hidraulico por Problemas Electricos Arnes de Sensor Abierto o en Corto - Instalacion Incorrecta		
		1421	Alta Temperatura de Motor / Transmision / Hidraulico por Problemas Electricos Indicador de Temperatura Abierto o en Corto		
		1422	Indicador de Nivel de combustible Abierto en corto	Aparece la alarma de Indicador de Nivel de Combustible, el operador para el equipo	
		1423	Luces no Funcionan Arnes de Luces Abierto o en Corto / Daño en Lmparas / Daño en Sw itch	En turno nocturno el operador pierde visibilidad por la falta de luces y para el equipo	
		1424	Corto en la Fusiblera	El operador no observa ninguna señal de alarma en el tablero, para el equipo	
		1425	Pito No funciona Arnes de Pto Abierto o en Corto / Daño en Pto / Daño en Sw itch	El Operador No para le equipo, esto se revisa el FM	
		1426	Alarma de Retroceso no Funciona Arnes de Alarma Abierto o en Corto / Daño en Alarma / Daño en Sw itch	El Operador No para le equipo, esto se revisa el FM	
		1427	Luces de Tablero - Alarmas No funcionan /Corto en el tablero Arnes de Tablero Abierto o en Corto / Daño en Lues de tablero	El operador no observa ninguna señal de alarma en el tablero, para el equipo	
		1428	Alarma de 5 voltios Arnes de Motor Abierto o en Corto - Instalacion Incorrecta	El Motor no trabaja correctamente el operador para el equipo	
		1429	Problema de Incliancion de la hoja topadora Arnes de Careta Abierto o en Corto - Instalacion Incorrecta	El operador no puede inclianr la hoja topadora y para ele quipo	
		1430	Plumillas limpia vidrios no Funcionan Arnes de Motores limpiavidrios Abierto o en Corto / Daño en Motores / Daño en Sw itch	En dias lluviosos el operador para el equipo al perder la visibilidad	

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 16. Analisis de Modos de falla de la Transmision y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
3030	Falla en la Transmision	3031	Neutralizado por Problemas Mecanicos Bajo nivel de Aceite	El operador no puede mover el equipo
		3032	Neutralizado por Problemas Mecanicos Varillaje Suleto o Ajuste incorrecto	
		3033	Neutralizado por Problemas Mecanicos Falla en la Boma de Transmision	
		3034	Neutralizado por Problemas Mecanicos Fuga de Aire en la succion de la bomba	
		3035	Neutralizado por Problemas Mecanicos Valvula de Prioridad no esta ajustada correctamente	
		3036	Neutralizado por Problemas Mecanicos Falla Mecanica intenamente en la transmision	
		3037	Neutralizado por Problemas Mecanicos Fugas de aceite internas en la transmision o Control de Transmision	
		3038	Neutralizado por Problemas Mecanicos Valvula de Alivio no esta ajustada correctamente	
		3039	Neutralizado por Problemas Mecanicos Partio eje cardan, crucetas o tornillos de eje por instalacion incorrecta	
		3040	Entran solo cambios hacia delante Varillaje Suleto o Ajuste incorrecto	El Operador no puede operar correctamente el equipo y lo para
		3041	Entran solo cambios hacia delante Embrague #2 no engancha por fuga interna, Deslizamiento o daño de discos	
		3042	Entran solo cambios hacia atrás Varillaje Suleto o Ajuste incorrecto	
		3043	Entran solo cambios hacia atrás Embrague #1 no engancha por fuga interna, Deslizamiento o daño de discos	
		3044	No Entra 1ra hacia a delante o 1ra hacia a atrás/ Embrague #4 no engancha por fuga interna, Deslizamiento o daño de discos	
		3045	No Entra 2da hacia a delante o 2da hacia a atrás / Embrague #5 no engancha por fuga interna, Deslizamiento o daño de discos	
		3046	No Entra 3ra hacia a delante o 3ra hacia a atrás / Embrague #3 no engancha por fuga interna, Deslizamiento o daño de discos	El equipo se queda sin aceite de transmision y se neutraliza o el operador observa la fuga en la inspeccion preoperacional y para el equipo antes de que se quede sin aceite
		3047	Fuga de Aceite de Transmision por lineas de Transmision por roce - instalacion incorrecta	
		3048	Fuga de Aceite de Transmision por Tubos de Transmision por roce - instalacion incorrecta	
		3049	Fuga de Aceite de Transmision por tapa o carcaza de Filtros de Transmision- instalacion incorrecta	
		3050	Fuga de Aceite de Transmision por Screen de Transmision- instalacion incorrecta	
		3051	Fuga de Aceite de Transmision por Bomba de Transmision- instalacion incorrecta	
		3052	Fuga de Aceite de Transmision por sello de instalacion de Transmision - instalacion incorrecta	
		3053	Fuga de Aceite de Transmision por Tanque de Transmision - instalacion incorrecta	
		3054	Fuga de Aceite de Transmision por Enfriador de Transmision - instalacion incorrecta	El Operador no puede operar correctamente el equipo y lo para
		3055	Contaminacion del Aceite de Transmision con refrigerante Enfriador de Aceite roto	
		3056	Alarma de Filtro de Aceite de Transmision/Convertidor Obstruido	El Operador no puede operar correctamente el equipo y lo para
		3057	Alarma de Temperatura de Transmision por Aceite de Transmision Degradado por horas de operación	Aparece alarma de alta temperatura y en el indicador de temperatura en el tablero, el operador para el equipo
		3058	Alarma de Temperatura de Transmision por Problemas Mecanicos Bajo nivel de Aceite	Aparece alarma de alta temperatura y en el indicador de temperatura en el tablero, el operador para el equipo
		3059	Alarma de Temperatura de Transmision por Problemas Mecanicos Alto Nivel de Aceite	
		3060	Alarma de Temperatura de Transmision por Problemas Mecanicos Enfriador Obstruido	
3061	Alarma de Temperatura de Transmision por Problemas Mecanicos Baja Presion de Bomba			
3062	Alarma de Temperatura de Transmision por Problemas Mecanicos Fugas de aceite internas en la transmision o Control de Transmision			
3063	Analisis de Aceite Critico de Transmision SOS por Silicio o Agua, entrada de agua a la Transmision - Instalacion Incorrecta	Mantenimiento recibe los reportes de analisis de aceite y dependiendo de la criticidad solicita parar el equipo y llevarlo al taller para evaluacion		
3064	Analisis de Aceite Critico de Transmision SOS por Sodio, entrada de Refrigerante a la Transmision			
3065	Analisis de Aceite Critico de Transmision SOS por Cobre, Hierro etc desgaste interno en la transmision			

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 17. Analisis de Modos de falla del Convertidor, Diferencial y Mandos Finales y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
3101	Falla en el Convertidor de Torque	3102	Neutralizado por Piñon Solar con dientes partidos	El operador no puede mover el equipo
		3103	Alarma de Temperatura de Transmision por Fuga Interna en el convertidor	Aparece alarma de alta temperatura y en el indicador de temeperatura en el tablero, el operador para el equipo
		3104	Alarma de Temperatura de Transmision por Fuga Interna en el convertidor	
		3105	Alarma de Temperatura de Transmision por Bomba de Barrido de convertidor no succiona	
		3106	Alarma de Temperatura de Transmision por Valvula de Salida del Convertidor no regula la presion	
		3107	Alarma de Temperatura de Transmision por Baja Presion de Bomba de carga de convertidor	
		3108	Fuga de Aceite de Transmision Fuga por sello de instalacion de Convertidor - instalacion incorrecta	El equipo se queda sin aceite de transmision y se neutraliza o el operador observa la fuga en la inspeccion preoperacional y para el equipo antes de que se quede sin aceite
		3109	Analisis de Aceite Critico de Transmision SOS por Aluminio, impeler del convertidor con desgaste	Mantenimiento recibe los reportes de analisis de aceite y dependiendo de la criticidad solicita parar el equipo y llevarlo al taller para evaluacion
3258	Falla en el Diferencial (Bevel Gear)	3259	Neutralizado por Dientes del bevel gear partidos	El operador no puede mover el
		5260	Analisis de Aceite Critico de Transmision SOS por Hierro, Bevel gear con desgaste	Mantenimiento recibe los reportes de analissi de aceite y dependiendo de la criticidad solicita parar el equipo y llevarlo al taller para evaluacion
4051	Falla en Mando Final	4052	Equipo no gira a la derecha Eje de Mando final Derecho Roto	El operador no puede mover el equipo
		4053	Equipo no gira a la izquierda Eje de Mando Final Izquierdo Roto	El operador no puede mover el equipo
		4054	Segmentos sueltos - Instalacion Incorrecta	El operador no puede mover el
		4055	Carcaza Mando final Rota Engranajes internos del Mando partidos	El operador no puede mover el equipo
		4056	Carcaza Mando final Rota Engranajes internos del Mando partidos	
		4057	Analisis de Aceite Critico de Mando Final / Desgaste entre el eje y la tapa del mando / Engranajes con desgaste	Mantenimiento recibe los reportes de analissi de aceite y dependiendo de la criticidad solicita parar el equipo y llevarlo al taller para evaluacion
		4058	Aceite del Mando Final degradado por horas de uso	
		4059	Fuga de aceite por tapon de drenaje- Instalacion Incorrecta	El equipo se queda sin aceite de los mandos y se dañan los engranajes de los mandos o el operador observa la fuga en la inspeccion preoperacional y para el equipo antes de que se quede sin aceite
		4060	Fuga de aceite por tapon de llenado- Instalacion Incorrecta	
		4061	Fuga de Aceite por sello duo cone	
4062	Fuga de aceite por carcaza- Instalacion Incorrecta			

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 18. Analisis de Modos de falla del Rodaje y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
4150	Falla en el Rodaje	4151	Tornillo de Rueda Guia partido	El operador o el Personal de Rodaje encuentrn este problema y se para el equipo
		4152	Tornillo de Rodillo partido	El operador o el Personal de Rodaje encuentrn este problema y se para el equipo
		4153	Tapa de Rueda Guia Faltante	El operador o el Personal de Rodaje encuentrn este problema y se para el equipo
		4154	Tapa de Rodillo Faltante	El operador o el Personal de Rodaje encuentrn este problema y se para el equipo
		4155	Rueda Guia Fugando /Alta temperatura/ Frenado	El operador o el Personal de Rodaje encuentrn este problema y se para el equipo
		4156	Rodillo Fugando / Alta temperatura / Frenado	El operador o el Personal de Rodaje encuentrn este problema y se para el equipo
		4157	Rodillo Perdido	El operador o el Personal de Rodaje encuentrn este problema y se para el equipo
		4158	Cadena Partida o por romperse Bujes roto	El operador no puede mover el equipo
		4159	Cadena Partida o por romperse Link Roto / Link Maste Roto / link master suelto- Instalacion Incorrecta	
		4160	Cadena Descarrilada Cadena Estirada	
		4161	Cadena Descarrilada Segmentos con alto desgaste	
		4162	Cadena Descarrilada Tensor con fuga	
		4163	Cadena Descarrilada Resorte partido	
		4164	Cadena No tensiona/ tensor con fuga - Instalacion Incorrecta	
		4165	Zapatas perdidas- Instalacion Incorrecta	El operador puede mover el equipo, pero si lo opera en estas condiciones se puede descarrilar y lo para
		4166	Fuga por Sello Eje Pivote- Instalacion Incorrecta	El equipo puede operar hasta que llegue a PM
		4167	Fuga por Sellos de la Barra Equalizadora- Instalacion Incorrecta	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		4168	Fuga por Sellos del Telescopico- Instalacion Incorrecta	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		4169	Fuga por Carcaza de Bastidor por grietas	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		4170	Eje pivote partido por fatiga	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
4171	Juego en los alojamientos de la Barra Equalizadora por Falta de lubricacion	El operador no puede mover el equipo		
4172	Contamiancion del Bastidor con tierra Boto tapa de tensionar - Instalacion Incorrecta	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion		
4173	Cambio de bastidores y cadenas por Alto desgaste	Mantenimiento para El equipo de forma programada para el PCR de Rodaje		

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 19. Analisis de Modos de falla del Sistema Hidraulico y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
5050	Falla en el Sistema Hidráulico	5051	No levanta los Implementos/Implementos Lentos Varillaje Suleto de palanca de levante	El Operador no puede operar correctamente el equipo y lo para
		5052	No levanta los Implementos/Implementos Lentos Baja Presion de Bomba por incorrecta calibracion de valvula de alivio	
		5053	No levanta los Implementos/Implementos Lentos Baja Presion de Bomba por desgaste inteno	
		5054	No levanta los Implementos/Implementos Lentos por Tanque Hidraulico sin aceite por fuga	
		5055	No levanta los Implementos/Implementos Lentos por Partio el eje de la bomba / daño del drive del motor	
		5056	No levanta los Implementos/Implementos Lentos por Spool de Valvula de Levante atascada por particulas	
		5057	Implementos se caen Varillaje Suleto de palanca de levante	El Operador no puede operar correctamente el equipo y lo para
		5058	Implementos se caen Spool de Valvula de Levante atascada por particulas	
		5059	Implementos se caen Fuga Interna en cilindros	
		5060	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Bajo Nivel de Aceite Tanque Hidraulico	Aparece alarma de alta temperatura y en el indicador de temperatura en el tablero, el operador para el equipo
		5061	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Sobre Nivel de Aceite Tanque Hidraulico	
		5062	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Valvula de Alivio calibrada a presion muy baja o alta	
		5063	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Restriccion en el sistema hidraulico	
			Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Aceite Degradado	
		5064	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Enfriador de aceite obstruido	
		5065	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Valvula de bypas no funciona correctamente	
		5066	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Baja Presion de Bomba por desgaste inteno	
		5067	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Spool de Valvula de Levante atascada por particulas	
		5068	Alta temperatura de Aceite Hidraulico por Ventilador no gira o con baja velocidad	
		5069	Fuga por lineas de Hidraulicas por roce - instalacion incorrecta	El equipo se queda sin aceite de hidraulico y no se mueven los implementos o el operador observa la fuga en la inspeccion preoperacional y para el equipo antes de que se quede sin aceite
		5070	Fuga Hidraulica por Tubos de Hidraulicos por roce - instalacion incorrecta	
		5071	Fuga Hidraulica por tapa o carcaza de Filtros de Hidraulico- instalacion incorrecta	
		5072	Fuga Hidraulica por Screen de Hidraulico - instalacion incorrecta	
		5073	Fuga Hidraulica por Bomba de Fan- instalacion incorrecta	
		5074	Fuga Hidraulica por Bomba de Implementos- instalacion incorrecta	
		5075	Fuga Hidraulica por Tanque de Hidraulico por grietas - instalacion incorrecta	
		5076	Fuga Hidraulica por Enfriador de Hidraulico- instalacion incorrecta	
		5077	Ventilador no gira o con baja velocidad Baja Presion de Bomba de fan por incorrecta calibracion de valvula de alivio	Aparece alarma de alta temperatura y en el indicador de temperatura en el tablero, el operador para el equipo
		5078	Ventilador no gira o con baja velocidad Baja Presion de Bomba de fan por desgaste inteno	
		5079	Ventilador no gira o con baja velocidad Tanque Hidraulico sin aceite por fuga	
		5080	Ventilador no gira o con baja velocidad Partio el eje de la bomba / daño del drive del motor	
5081	Ventilador no gira o con baja velocidad Valvula solenoide y compensadoras del fan atascada o con fuga interna			
5082	Ventilador no gira o con baja velocidad Motor del fan con desgaste interno			
5083	Ventilador no gira o con baja velocidad Partio tonillos de sujecion del ventilador / Instalacion incorrecta	El Operador escucha el ruido en las bombas y para el equipo		
5084	Aire en el sistema hidraulico			
5085	Ruido en la Bomba Bomba con desgaste inteno			
5086	Ruido en la Bomba Implementos no inclinan Problema Mecanico Fuga Interna en Valvula dual	El Operador no puede operar correctamente el equipo y lo para		
5087	Ruido en la Bomba Implementos no inclinan Problema Mecanico Fuga interna en cilindro de inclinacion			
5088	Analisis de Aceite Critico de Hidraulico SOS por Silicio, entrada de tierra al Sistema Hidraulico - Instalacion Incorrecta	Mantenimiento recibe los reportes de analisis de aceite y dependiendo de la criticidad solicita parar el equipo y llevarlo al taller para evaluacion		
5089	Analisis de Aceite Critico de Hidraulico SOS por Agua, entrada de agua al Sistema Hidraulico- Instalacion Incorrecta			
5090	Analisis de Aceite Critico de Hidraulico SOS por Sodio, entrada de Refrigerante al Sistem Hidraulico			
5091	Analisis de Aceite Critico de Hidraulico SOS por Cobre, Hierro, Aluminio Bombas con desgaste interno			
5092	Contaminacion del Aceite de Hidraulico con refrigerante Enfriador de Hidraulico Roto	El aceite hidraulico empieza a oler a quemado y a botar aceite hidraulico por la tapa del radiador, el equipo presenta alta temperatura y el operador para el equipo		

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 20. Analisis de Modos de falla de los cilindros, Hoja Topadors, Herramientas de corte, chasis y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
5100	Falla en Cilindros / Hidráulica Cylinders	5101	Fuga Externa por sellos	El operador para el equipo
		5102	Fuga Interna por sellos	El operador para el equipo
6000	Falla en Hoja Topadora	6001	Lamina Antidesgaste Gastada/ Levantada	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6002	Base de Puntera Partida por grieta	El operador para el equipo
		6003	Juego en los Alojamiento	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6004	Brazo de Empuje con desgaste / Conectores con Desgaste	El equipo puede operar hasta que
		6005	Trunnion con desgaste	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6006	Grietas en la hoja	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6007	Barra Estabilizadora del Dozer o Trunnion con desgaste	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6008	Brazo de empuje Suelto por instalacion incorrecta	El operador no puede operar el equipo
		6009	Barra Estabilizadora del Dozer Suelta	El operador no puede operar el equipo
		6010	Partio trunnion de Barra Estabilizadora	El operador no puede operar el equipo
		6011	Pin de cilindro suelto	El operador no puede operar el equipo
6800	Falla en el GET Herramienta de Corte	6801	Cuchillas desgastadas	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6802	Diente de Ripper desgastado	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6803	Espada de Ripper Desgastada/ Partida	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		6804	Puntera o Cuchilla perdida / Tornillos Suelos	El operador para el equipo
		6805	Diente de Ripper perdido	El operador para el equipo
7050	Falla en el Chasis, Estructura / Frame	7051	Grietas en el Chasis	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		7052	Grietas en el Fender	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		7053	Grietas en Tanque de Combustible	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		7054	Tanque de Combustible Suelto	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		7055	Tanque de Hidraulico Suelto	El operador para el equipo
		7056	Pecheras sueltas - Instalacion Incorrecta	El operador debe parar el equipo, si no lo hace puede causar daños graves al motor o al convetidor
		7057	Guardas de Motor Seltas - Instalacion Incorrecta	El operador para el equipo
		7058	Tapas de baterias Seltas	El operador para el equipo
		7059	Juego en alojamientos del Chasis / lubricacion incorrecta	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		7060	Juego en Alojamiento de Careta/ Yokes de Cilindros / Lubricacion Incorrecta	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		7061	Capo Suelto / Agrietado	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 21. Analisis de Modos de falla del sistema de engrase, Cabina del Operador, Aire acondicionado y FSS y sus Efectos

Cod. MF	Modo de Falla NIVEL I	Cod MF II	Modo de Falla NIVEL II	Descripción Efectos
7500	PM - Mantenimiento Preventivo	7500	PM - Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento programa las rutinas de mantenimiento cada 250 horas
7540	Falla en el Sistema de Engrase	7541	Lineas de Grasa Seltas o partidas	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
		7542	Puntos de Engrase taponados	El equipo puede operar hasta que llegue a PM para relaizar la reparacion
7600	PCR - Reemplazo de componentes Programados	7600	PCR - Reemplazo de componentes Programados	Mantenimiento programa el remplazo de los copmpoentens mayores
9700	Falla en la Operación	9701	Accidente	Hay daños graves en los compoentes o en la estrucutura del tractor el equipo debe ser enviado al taller
		9702	Abuso en la Operación	
7300	Falla en Cabina del Operador	7301	Silla de Operador no funciona	El operador se siente incomodo en la cabina y para el equipo
		7302	Cabina Suelta/ Desajustada	
		7303	Tablero Suelto / Instalacion incorrecta	
		7304	Vidrios Seltos / Partidos	
		7305	Puertas no Cierran / Abren	
		7306	Sellos de cabina dañados	
		7307	Limpia vidros desgastado	
		7308	Pedales pegados / falta de lubricacion	
		7309	Estructura y/o Tornillos ROPS partidos	En caso de volcamiento la estructura ROPS puede fallar y no proteger la vida del operador
7320	Falla en Aire Acondicionado	7321	Compresor Frenado/ con fuga /	El Aire Acondicionado no funciona, el operador se siente incomodo y o opera el equipo
		7322	Condensador roto	
		7323	Mangueras Rotas	
		7324	Blower frenado	
		7325	Filtro secador taponado	
		7326	Termostato No funciona	
7401	Falla en el Sistema Supresor de Incendio / FSS	7402	Se activo el sistema supresor	Por seguridad El Operador No debe Operar el equipo
		7403	Tanques de Polvo quimico sueltos	Por seguridad El Operador No debe Operar el equipo
		7404	Lineas del Sistema Supresor rotas	Por seguridad El Operador No debe Operar el equipo
		7405	Alarma del FSS	Por seguridad El Operador No debe Operar el equipo
		7406	Capsula del FSS Suelta	Por seguridad El Operador No debe Operar el equipo

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Al identificar todos los modos de falla se procedió a determinar las consecuencias de estas fallas, su criticidad y la selección de las tareas de mantenimiento según el diagrama de decisión de RCM de Jhon Mourbray. Los cálculos de la criticidad se realizaron según la Metodología de JCB consultores en Gestion de Activos para el calculo de la criticidad (ver Tabla 22)

Tabla 22. Metodología de JCB consultores para el cálculo de la criticidad

				
Cálculo de la Criticidad de los Modos de Falla				
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 U\$ 20000
		Medio	2	
		Bajo	1	Menos de U\$ 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 u 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:			
	Único		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. 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	
A	CRITICA	16 a 20		
B	IMPORTANTE	11 a 15		
C	REGULAR	06 a 10		
D	OPCIONAL	00 a 05		

Fuente: Hoja de Cálculo de Criticidad (JCB Consultores)

Tabla 23. Cálculo de la criticidad de los Modos de Fallas

 Cálculo de la Criticidad de los Modos de Falla															
ITEM	CODIGO	MODO DE FALLA	PONDERACION											TOTAL	ESCALA DE REFERENCIA
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8		
1	1000	Motor	4	3	1	1	1	0	2	2	1	0	1	16	CRITICO
2	1353	Radiador	4	1	1	1	0	0	1	2	0	0	0	10	REGULAR
3	1400	Sistema Eléctrico	4	1	1	1	0	0	2	2	0	0	1	12	IMPORTANTE
4	3030	Transmisión	4	3	1	1	0	0	1	2	0	0	1	13	IMPORTANTE
5	3101	Convertidor de	4	2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	10	REGULAR
6	3258	Diferencial	4	2	1	1	0	0	1	2	0	0	0	11	IMPORTANTE
7	4051	Mando Final	4	2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	10	REGULAR
8	4150	Rodaje	4	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	9	REGULAR
9	4250	Sistema de Frenos	4	2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	10	REGULAR
10	4300	Sistema de Dirección	4	2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	10	REGULAR
11	5050	Sistema Hidráulico	4	2	1	1	0	0	2	2	0	0	1	13	IMPORTANTE
12	5100	Cilindros / Hydraulic	4	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	9	REGULAR
13	6000	Balde, Hoja	4	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	9	REGULAR
14	6800	GET Herramienta de	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4	OPCIONAL
15	7050	Chasis, Estructura /	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5	OPCIONAL
16	7300	Cabina del Operador	4	2	1	1	1	0	2	2	0	0	0	13	IMPORTANTE
17	7320	Aire Acondicionado	4	2	0	1	0	0	2	2	0	0	0	11	IMPORTANTE
18	7401	Sistema Supresor de	4	2	0	1	1	0	0	2	0	0	0	10	REGULAR
19	7500	PM	4	2	0	1	0	0	2	2	0	0	0	11	IMPORTANTE
20	7540	Sistema de Engrase	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	4	OPCIONAL
21	9700	Mov-Operación	4	3	1	1	1	1	0	2	2	0	0	15	IMPORTANTE

 Cálculo de la Criticidad de los Modos de Falla				
ITEM	CODIGO	MODO DE FALLA	POND.	ESCALA DE REFERENCIA
1	1000	Motor	16	CRITICO
2	1353	Radiador	10	REGULAR
3	1400	Sistema Eléctrico	12	IMPORTANTE
4	3030	Transmisión	13	IMPORTANTE
5	3101	Convertidor de Torque	10	REGULAR
6	3258	Diferencial	11	IMPORTANTE
7	4051	Mando Final	10	REGULAR
8	4150	Rodaje	9	REGULAR
9	4250	Sistema de Frenos	10	REGULAR
10	4300	Sistema de Dirección	10	REGULAR
11	5050	Sistema Hidráulico	13	IMPORTANTE
12	5100	Cilindros / Hydraulic Cylinders	9	REGULAR
13	6000	Balde, Hoja	9	REGULAR
14	6800	GET Herramienta de Corte	4	OPCIONAL
15	7050	Chasis, Estructura / Frame	5	OPCIONAL
16	7300	Cabina del Operador	13	IMPORTANTE
17	7320	Aire Acondicionado	11	IMPORTANTE
18	7401	Sistema Supresor de Incendio / FSS	10	REGULAR
19	7500	PM	11	IMPORTANTE
20	7540	Sistema de Engrase	4	OPCIONAL
21	9700	Mov-Operación	15	IMPORTANTE
RESUMEN	Escala de referencia			CANTIDAD
	CRITICO			1
	IMPORTANTE			4
	REGULAR			8
OPCIONAL			2	

Fuente: Hoja de Cálculo de Criticidad (JCB Consultores)

Tabla 24. Evaluación de Consecuencias y Selección de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Motor

Cod. MF	Cod MF II	Evaluación de Consecuencia				H1 O1	H2 O2	H3 O3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)	RECURSOS HORAS/HOMBRE
		H	S	E	O							
	1001	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Aire	125	0.5
	1002	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Combustible y Limpieza de Filtro Primario	250	0.5
	1003	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Remover y Limpiar los Pre-cleaners	2000	1
	1004	S	N	N	S				A Condicion	Medir la presión de Combustible / Revisar Testigo de Bomba de Transferencia	2000	0.25
	1005	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0.2
	1006	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Combustible y Limpieza de Filtro Primario	250	0.5
	1007	S	N	N	S				A Condicion	Medir la Presión de Refuerzo - Tomar Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre)	250	0.25
	1008	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0.2
	1009	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Calibrar válvulas de admisión, de escape e Inyectores	250/2000/5000	24
	1010	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Calibrar válvulas de admisión, de escape e Inyectores	250/2000/5000	24
	1011	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre e Hierro)	250	0.2
	1012	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2
	1013	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Lavar el Radiador - A las 250 se Realiza Prueba de Fujo / Descargar información del VIDS-Preventor	80/250	0.5
	1014	S	N	N	S				A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	0.25
	1015	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Aire	125	0.5
	1016	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Refrigerante en el Aceite)	250	0.2
	1017	S	N	N	S				A Condicion	Medir la Presión de la Bomba del Fan/ Toma de Muestra de Aceite Hidráulico (Análisis de Partículas en el Aceite Hidráulico) /	250	0.5
	1018	S	N	N	S				A Condicion	Descargar información del VIDS-Preventor	250	0.5
	1019	S	N	N	S				A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar y analizar la información del ECM de Motor	250	0.5
	1020	S	N	N	S				A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	0.5
	1021	S	N	N	S				A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	0.5
	1022	S	N	N	S				A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	0.5
	1023	S	N	N	S				A Condicion	Presurizar el Sistema de Refrigerante / Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	1
	1024	S	N	N	S				A Condicion	Presurizar el Sistema de Refrigerante / Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	1
	1025	S	N	N	S				A Condicion	Presurizar el Sistema de Refrigerante / Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	1
	1026	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	1
	1027	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Aceite e Inspeccionar los Filtros en búsqueda de partículas	250	0.5
	1028	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Combustible en el Aceite)	250	0.2
	1029	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2
	1030	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2
	1031	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambiar el Aceite de Motor	250	1
	1032	S	N	N	S				A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar información del VIDS-Preventor	250	0.5
	1033	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2
	1034	S	N	N	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente por fuga de Gases de Escape / Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de	250	0.5
	1035	S	N	N	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente por fuga de Gases de Escape / Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de	250	0.5
	1036	S	N	N	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente por fuga de Gases de Escape / Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de	250	0.5
	1037	S	S						A Condicion	Inspeccionar Visualmente de las Mangueras de Combustible por Enrutamiento y roces	250	0.5
	1038	S	S						A Condicion	Inspeccionar Visualmente de los Tubos de Combustible por Enrutamiento y roces	250	0.5
	1039	S	N	N	S				A Condicion	Medir la presión de Combustible / Revisar Testigo de Bomba de Transferencia	2000	1
	1040	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Testigo de Bomba de Agua por fugas	2000	0.5
	1041	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Radiador	250	0.5
	1042	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente la caja de termostatos	250	0.5
	1043	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0.5
	1044	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente los Turbo cargadores por fugas	250	0.5
	1045	S	N	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
	1046	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0.5
	1047	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0.5
	1048	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0.5
	1049	S	N	S					A Condicion	Verificar el torque de los tapones de drenaje al instalarlos	250	0.5
	1050	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0.5
	1051	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0.5
	1052	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0.5
	1053	S	N	S					A Condicion	Inspeccionar el Motor por fugas externas de Aceite	250	0.5
	1054	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Slicio -Tierra en el Aceite)	250	0.2
	1055	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Agua en el Aceite)	250	0.2
	1056	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Refrigerante en el Aceite)	250	0.2
	1057	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre)	250	0.2
	1058	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0.2
	1059	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2
	1060	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2
	1061	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Refrigerante en el Aceite)	250	0.2
	1062	N					S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Combustible en el Aceite)	250	0.2
	1063	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Continuación de Refrigerante en el Aceite)	250	0.2
	1064	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2
	1065	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambio de Motor por horas de Trabajo	12000	400
	1066	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Medir la presión de Combustible / Revisar Testigo de Bomba de Transferencia	2000	1
	1067	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Hollín)	250	0.2
	1068	S	N	N	S		N	S	Preventivo	Cambiar los Filtros de Combustible y Limpieza de Filtro Primario	250	0.5
	1069	S	N	N	S		N	N	Ninguno	Ningun Mantenimiento		
	1070	S	N	N	S				A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro, Plomo)	250	0.2

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 25. Evaluación de Consecuencias y Selección de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Radiador, Sistema Eléctrico y Transmisión

Cod. MF	Cod MF II	Evaluación de Consecuencia					H1 O1	H2 N2	H3 O3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)	RECURSOS HORAS HOMBRE
		H	S	E	O								
1353	1354	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2	
	1355	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2	
	1356	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2	
	1357	S	N	S					A Condicion	Revisar el Consumo de refrigerante / Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Refrigerante	250	0,2	
	1358	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Lavar el Radiador - A las 250 se Realiza Prueba de Fujo / Descargar Infrormacion del VIDS-Preventor	250	0,5	
	1359	S	N	N	S	S			A Condicion	Revisar el Consumo de Refrigerante / Descargar infoamcion del VIDS-Preventor	80/250	0,5	
1400	1401	S	N	N	S	S			A Condicion	Probar Carga de las baterias	250	0,5	
	1402	S	N	N	S	S			A Condicion	Probar Carga de las baterias	250	0,5	
	1403	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1404	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1405	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1406	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1407	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1408	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1409	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1410	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1411	S	N	N	S	S			A Condicion	Probar Carga de las baterias	250	0,5	
	1412	S	N	N	S	S			A Condicion	Probar el consumo de corriente (Amperaje) de los Motores de Arranque	250	0,5	
	1413	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1414	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1415	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1416	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1417	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1418	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5	
	1419	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Funcionamiento de las Alarmas del Tablero	250	0,5	
	1420	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Funcionamiento de las Alarmas del Tablero	250	0,5	
	1421	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Funcionamiento de las Alarmas del Tablero	250	0,5	
	1422	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Funcionamiento de las Alarmas del Tablero	250	0,5	
	1423	S	N	N	S	S			A Condicion	Varificar Funcionamiento de las Luces / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses	250	0,5	
	1424	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Fusiblera y Arnes de la Fusiblera	250	0,5	
	1425	S	N	N	S	S			A Condicion	Varificar Funcionamiento del pito/ Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses	250	0,5	
	1426	S	N	N	S	S			A Condicion	Varificar Funcionamiento de Alarma de Reversa / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses	250	0,5	
1427	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Funcionamiento de las Alarmas del Tablero	250	0,5		
1428	S	N	N	S	S			A Condicion	Descargar y analizar la informacion del ECM de Motor / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses Electricos	250	0,5		
1429	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Funcionamiento del sistema electrico de inclinacion / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses	250	0,5		
1430	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Funcionamiento de los Limpiavidrios / Inspeccionar Enrrutamiento de Arneses	250	0,5		
3030	3031	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar el Equipo por fugas externas de Aceite de Transmision	250	1	
	3032	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmision, Direccion y Frenos / Inpeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	3033	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmision, Direccion y Frenos / Inpeccionar y Lubricar Varillaje Tomar de Muestra de	250	1	
	3034	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmision, Direccion y Frenos / Inpeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	3035	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmision, Direccion y Frenos / Inpeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	3036	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Inspeccionar	250	0,2	
	3037	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmision, Direccion y Frenos / Inpeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	3038	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmision, Direccion y Frenos / Inpeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	3039	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Tornillos y Cruzetas de cardan	14000	24	
	3040	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmision, Direccion y Frenos / Inpeccionar y Lubricar Varillaje	500	1	
	3041	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	250	0,2	
	3042	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	250	0,2	
	3043	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	250	0,2	
	3044	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	250	0,2	
	3045	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	250	0,2	
	3046	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	250	0,2	
	3047	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Transmision	250	0,5	
	3048	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Transmision	250	0,5	
	3049	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente la Transmision por Fugas	250	0,5	
	3050	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Screen de Transmision	500	0,5	
	3051	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente la Bomba de Transmision	250	0,5	
	3052	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Sello de Instalacion de la Transmision	250	0,5	
	3053	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Tanque de Transmision por fugas	250	0,5	
	3054	S	N	S	S				A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Transmision	250	0,5	
	3055	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Continuacion de Refrigerante en el Aceite)	500	0,2	
	3056	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar, Cortar e Inspeccionar de Filtros de Transmision y Convertidor por Particulas	500	0,5	
3057	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar el Aceite de Transmision	1000	2		
3058	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar el Nivel del Aceite por bajo Nivel	250	0,1		
3059	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar el Nivel del Aceite por Alto Nivel	250	0,1		
3060	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	500	0,2		
3061	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	500	0,2		
3062	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	500	0,2		
3063	N							S	A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Continuacion de Slicio -Tierra o Agua en el Aceite)	500	0,2	
3064	N							S	A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Continuacion de Refrigerante en el Aceite)	500	0,2	
3065	N							S	A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmision (Analisis de Particulas de Cobre e Hierro)	500	0,2	

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 26. Evaluación de Consecuencias y Selección de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Convertidor, Diferencial, Dirección, Frenos, Mandos Finales y Rodaje

Cod. MF	Cod MF II	Evaluación de Consecuencia				H1 O1	H2 O2	H3 O3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)	RECURSOS HORAS-HOMBRE
		H	S	E	O							
3101	3102	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre, Hierro)	500	0,2
	3103	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Convertidor, Dirección y Frenos	500	1
	3104	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Convertidor por Horas	12000	60
	3105	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Motor (Análisis de Partículas de Cobre)	500	0,2
	3106	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Convertidor, Dirección y Frenos	500	1
	3107	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Transmisión (Análisis de Partículas de Cobre e Hierro) / Medir Presiones	500	0,2
	3108	S	N	S		S			A Condicion	Inspeccion de Fugas por el Sello de instalacion del convertidor o por los motores de arranque	1000	0,5
	3109	N				S			A Condicion	Inspeccionar Filtro y Screen de Convertidor	1000	1
	3258	3259	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Screen de succion de la Bomba de Transmisión	500
5260		N				S			A Condicion	Tomar Muestra de Aceite de Transmisión por hierro	500	0,2
4051	4052	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar Muestra de Aceite de Mandos Finales por partículas de Hierro	500	0,5
	4053	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar Muestra de Aceite de Mandos Finales por partículas de Hierro	500	0,5
	4054	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccion visual del Mando final y los tornillos de segmentos	250	0,2
	4055	S	N	N	S	S			A Condicion	Tomar Muestra de Aceite de Mandos Finales por partículas de Hierro	500	0,5
	4056	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Mando Final por Horas	14000	80
	4057	N				S			A Condicion	Tomar Muestra de Aceite de Mandos Finales por partículas de Hierro / Inspeccion de tapon Magnetico del	500	0,5
	4058	N				S			Preventivo	Cambiar el Aceite de los Mandos Finales		1
	4059	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Torque del tapon de drenaje cuando se cambia el aceite del Mando Final	500	0,2
	4060	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar Torque del tapon de llenado cuando se cambia el aceite del Mando Final	500	0,2
	4061	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visulmente el sello duo cone del mando final	500	0,2
	4062	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visulmente el sello de instalacion del mando final	500	0,2
4150	4151	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visulmente las Rueda Guías por Tornillos Partidos	250	0,2
	4152	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visulmente los Rodillos por Tornillos Partidos	250	0,2
	4153	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visulmente las Rueda Guías por Tapas Faltantes	250	0,2
	4154	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visulmente los Rodillos por Tapas Faltantes	250	0,2
	4155	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir las Temperaturas de Operación y Medicion de desgaste con ultrasonido de los Rodillos Y Rueda	250	1
	4156	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir las Temperaturas de Operación y Medicion de desgaste con ultrasonido de los Rodillos Y Rueda	250	1
	4157	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visulmente por Rodillos Faltantes	250	0,2
	4158	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir las Temperaturas de Operación y Medicion de Estramiento de las cadenas	250	1
	4159	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar visualmente el Link Master y los Tornillos del Link Master / Verificar el Torque de Los tornillos	250	0,5
	4160	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir las Temperaturas de Operación y Medicion de Estramiento de las cadenas	250	1
	4161	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir el desgaste de los Segmentos	250	0,5
	4162	S	N	N	S	S			A Condicion	Probar el Tensor la oruga	250	0,5
	4163	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Resorte cuando se realice la Reparacion de los bastidores de Intercambio	250	6
	4164	S	N	N	S	S			A Condicion	Tensionar la oruga	250	0,5
	4165	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar por Zapatas o Tornillos de Zapatas Faltantes	250	1
	4166	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar por Fuga del Eje Pivote	250	0,2
	4167	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar por Fuga en Sello de Barra Equalizadora	250	0,2
	4168	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar por Fuga en Sellos de telescopicos	250	0,2
	4169	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar por Fugas por carcizas de bastidores	250	0,2
4170	S	N	N	S	S			A Condicion	Inpeccionar con Ultrasonido el eje pivote cuando se realice PCR de rodaje	8000	6	
4171	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar por Fuga en Sello de Barra Equalizadora	250	0,2	
4172	S	N	N	S	S			A Condicion	Verificar el estado del sello y el torque de los tornillos de la tapa de tensionar las cadenas	250	0,5	
4173	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Bastidores y Cadenas por Alto Desgaste	8000	60	
4250	4251	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4252	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4253	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
4300	4301	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4302	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4303	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4304	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4305	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4306	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
	4307	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1
4308	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1	
4309	S	N	N	S	S			A Condicion	Medir Presiones de Transmisión, Dirección y Frenos / Inspeccionar y Lubricar Varillaje	500	1	

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 27. Evaluación de Consecuencias y Selección de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Sistema hidráulico, Cilindros, Hoja Topadora, GET y Chasis

Cod. MF	Cod MF II	Evaluación de Consecuencia				HI O1	HZ O2	HO O3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)	RECURSOS HORAS HOMBRE
		H	S	E	O							
	5051	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion/ Inspeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	5052	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion/ Inspeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	5053	S	N	N	S	S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas de Cobre e Hierro)	250	0,2	
	5054	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar El equipo Por fugas de aceite hidraulico	250	0,2	
	5055	S	N	N	S	N	S	Preventivo	Cambio de Bomba de Implementos por horas	8000	48	
	5056	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion / Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas	250	1	
	5057	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion/ Inspeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	5058	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion / Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas	250	1	
	5059	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion / Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas	250	1	
	5060	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar el nivel de aceite hidraulico	250	0,1	
	5061	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar el nivel de aceite hidraulico	250	0,1	
	5062	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion/ Inspeccionar y Lubricar Varillaje	250	1	
	5063	S	N	N	S	N	S	Preventivo	Cambiar, Cortar e inspeccionar filtros de Aceite Hidraulico	500	1	
		S	N	N	S	N	S	Preventivo	Cambiar Aceite Hidraulico	2000	1	
	5064	S	N	N	S	N	S	Preventivo	Cambiar, Cortar e inspeccionar filtros de Aceite Hidraulico	1000	1	
	5065	S	N	N	S	N	S	Preventivo	Cambiar valvula de By Pass	12000	6	
	5066	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas de Cobre e Hierro)	500	0,2	
	5067	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas de Cobre e Hierro)	500	0,2	
	5068	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Bomba de fan y verificar funcionamiento de solenoide del fan	250	1	
	5069	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Hidraulico	250	0,5	
	5070	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Tubos y Mangueras de Hidraulico	250	0,5	
	5071	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente fugas por el Tanque de Hidraulico	250	0,5	
	5072	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente el Screen de Hidraulico	250	0,5	
	5073	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente la Bomba de Fan	250	0,5	
	5074	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente la Bomba de Implementos	250	0,5	
	5075	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente fugas por el Tanque de Hidraulico	250	0,5	
	5076	S	N	S	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente fugas por el Enfrizador de Hidraulico	250	0,5	
	5077	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Bomba de fan y verificar funcionamiento de solenoide del fan	250	1	
	5078	S	N	N	S	S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas de Cobre e Hierro)	250	0,2	
	5079	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente fugas por el Tanque de Hidraulico	250	0,2	
	5080	S	N	N	S	N	S	Preventivo	Cambio de Bomba de Fan por horas	250	60	
	5081	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Bomba de fan y verificar funcionamiento de solenoide del fan	250	1	
	5082	S	N	N	S	S		A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas de Cobre e Hierro)	250	0,2	
	5083	S	N	N	S	N	S	Preventivo	Cambio de Los tornillos de sujecion del ventilador	12000	24)	
	5084	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccion por fugas externas / Medir Presiones de Bomba de fan y verificar funcionamiento de	250	1	
	5085	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas de Cobre e Hierro)	250	0,2	
	5086	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion / Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas	250	1	
	5087	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir Presiones de Levante e Incliancion / Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas	250	1	
	5088	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico (Continuacion de Silico -Tierra en el Aceite)	250	0,2	
	5089	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico (Continuacion de Agua en el Aceite)	250	0,2	
	5090	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Hidraulico (Continuacion de Refrigerante en el Aceite)	250	0,2	
	5091	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite Hidraulico(Análisis de Particulas de Cobre e Hierro)	250	0,2	
	5092	N			S			A Condicion	Tomar de Muestra de Aceite de Hidraulico (Continuacion de Refrigerante en el Aceite)	250	0,2	
	5101	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente fugas por el Cilindro	250	0,2	
	5102	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Visualmente fugas por el Cilindro	250	0,2	
	6001	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir con ultrasonido el desgaste de la lamina antidesgaste de la hoja topadora y colocar parche si es	10000	1	
	6002	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Hoja Topadora y bases de Puntera por Grietas	250	1	
	6003	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Alojamientos de la Hoja Topadora	250	0,2	
	6004	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Alojamientos de la Hoja Topadora	250	0,2	
	6005	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Trunnion y Casting de Brazo de Empuje/Ajustar o cambiar si es necesario/	250	0,2	
	6006	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Hoja Topadora y bases de Puntera por Grietas	250	0,2	
	6007	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Trunnion y Casting de Barra Estabilizadora/Ajustar o cambiar si es	250	0,2	
	6008	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Trunnion y Casting de Brazo de Empuje/Ajustar o cambiar si es necesario/	250	0,2	
	6009	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Trunnion y Casting de Barra Estabilizadora/Ajustar o cambiar si es	250	0,2	
	6010	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por grietas en el trunnion del chasis	250	0,2	
	6011	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar pines de Dozer de la Hoja Topadora	250	0,2	
	6801	S	N	N	S	S		A Condicion	Medir desgaste en Cuchillas y Cambiar si es necesario / Verificar torque de tornillos en la instalacion	250	0,2	
	6802	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Diente de Ripper por desgaste, cambiar si es necesario	250	0,2	
	6803	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar punta de Espada de Ripper por desgaste, cambiar si es necesario	250	0,2	
	6804	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Cuchillas y Punteras por tornillos sueltos o grietas	250	1	
	6805	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar punta de Espada de Ripper por desgaste, cambiar si es necesario	250	0,2	
	7051	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar el Chasis por Grietas	250	1	
	7052	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar fender por grietas	250	0,2	
	7053	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar Tanque de Combustible por grietas	250	0,2	
	7054	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Tornillos de Tanque de Combustible faltantes	250	0,2	
	7055	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Tornillos de Tanque de Hidraulico faltantes	250	0,2	
	7056	S	N	N	S	S		A Condicion	Verificar torque de Punteras y Cuchillas al cambiarlas	250	1	
	7057	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Tornillos de Gusrdas de Motor y Radiador faltantes	250	0,2	
	7058	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar tapa de Baterias por daños	250	0,2	
	7059	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Alojamientos del Chasis	250	0,2	
	7060	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar por Juego en los Alojamientos de la careta	250	0,2	
	7061	S	N	N	S	S		A Condicion	Inspeccionar el capo por bases desgastadas o grietas	250	0,2	

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Tabla 28. Evaluación de Consecuencias y Selección de Tareas de Mantenimiento para la fallas de Cabina, Aire Acondicionado y Sistema Supresor de Incendios

Cod. MF	Cod MF II	Evaluación de Consecuencia				H1 O1	H2 O2	H3 O3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (Horas)	RECURSOS HORAS/HOMBRE
		H	S	E	O							
7500	7500	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Realizar Tareas de Mantenimiento Preventivo	250	0,2
7540	7541	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Reemplazo de líneas taponadas o Suetas	250	1
	7542	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Reparacion de Puntos de engrase Taponados	250	1
7600	7600	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Realizar Reemplazo de Componentes Programados		
9700	9701	S	N	N	S	N	N	N	Ninguno	Ningun Mantenimiento		
	9702	S	N	N	S	N	N	N	Ninguno	Ningun Mantenimiento		
7300	7301	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar silla por desajustes	250	0,1
	7302	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Cabina por desajuste	250	0,1
	7303	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar el tablero por tornillos faltantes o desajustes	250	0,1
	7304	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Vidrios por grietas o desajustes	250	0,1
	7305	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar y Lubricar cerrojos de las puertas	250	0,1
	7306	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Visualmente los sellos de la cabina/ Realizar Prueba de Hermeticidad a la cabina	250	0,1
	7307	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar por desgaste los limpiavidrios	250	0,1
	7308	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Y lubricar varillaje de los pedales	250	0,5
	7309	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Tornillos de la Estructura ROPS	2000	0,5
7320	7321	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Compresor por Horas	6000	2
	7322	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar condensador por golpes o suciedad	250	0,2
	7323	S	N	N	S	S			A Condicion	Inspeccionar Mangueras por Roce o mal enrutamiento	250	0,2
	7324	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambio de Blow er por Horas	10000	2
	7325	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar Filtro Secador	1000	0,5
	7326	S	N	N	S	N	N	S	Preventivo	Cambiar Termostato por horas	6000	1
7401	7402	S	S		S				A Condicion	Inspeccionar el cable terrico por roces	250	1
	7403	S	S		S				A Condicion	Inspeccionar los Tanques de porvo quimico seco	250	1
	7404	S	S		S				A Condicion	Inspeccionar Mangueras del sistema supresor por roce o mal enrutamiento	250	1
	7405	S	N	N	S	S			A Condicion	Cambiar bateria del Modulo de FSS	250	1
	7406	S	S		S				A Condicion	Inspeccionar la Capsula del FSS	250	1

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

5. PROPUESTA DE LA ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACION DE RCM PARA LA FLOTA DE TRACTORES DE ORUGA D11N.

Para definir una estrategia clara de mantenimiento centrada en confiabilidad se realizaron reuniones de planeación estratégica con los supervisores, planeadores y líderes de la flota para reorganizar las áreas de trabajo de la flota y definir la Misión, la Visión General de la sección, los Objetivos y las funciones específicas en cada área de trabajo con sus indicadores, se tomo como indicador principal el Tiempo medio entre fallas MTBS como indicador de confiabilidad, en MTBS de PM, PCR y Rodaje debe estar por encima de las 100 horas para poder garantizar un MTBS general superior a 50 horas que es el estándar para este tipo de equipos según Caterpillar.

Tabla 29. Planeacion Estrategica de la Seccion de Mantenimiento tractores

PLANEACIÓN ESTRATÉGICA SECCIÓN MANTENIMIENTO TRACTORES				
MISIÓN	<i>La sección de Mantenimiento de Tractores Garantizara la realizacion de Trabajos de Mantenimiento Confiables a los Equipos de la Flota</i>			
VISIÓN	<i>En 1 año tener una Disponibilidad de 80% en los equipos de la Flota.</i>			
SECCIONES FUNCIONALES	PCR / R&I	PM	SERVICIOS DE CAMPO	RODAJE
OBJETIVO GENERAL	Alcanzar y mantener un MTBS después de PCR superior o igual a 100 hrs en promedio durante los tres primeros meses después de ejecutado y un MTBS después de R&I superior o igual a 80 hrs para febrero 28/2010 con cero retrabajos por mes.	Alcanzar y mantener un MTBS después de PM promedio superior a 100 hs en Febrero 28 del 2010.	Alcanzar y mantener un cumplimiento del Programa de Actividades Planeadas de Campo (1) del 95% en Diciembre 30 del 2009 y en adelante.	Alcanzar y mantener un MTBS después de Trabajos de Rodaje superior a 100 hs en Febrero 28 del 2010.
KPIs	MTBS después de PCR	MTBS despues de PM (≥100 horas)	Cumplimiento del Programa de Actividades Planeadas de Campo (1) ≥ 95%	MTBS después de Trabajos de Rodaje superior a 100 hs en Febrero 28 del 2010.
	Reporte de disponibilidad A% (Mensual), accidentes/abusos	MTTR PM y Backlogs (≤ 36 horas)		Reporte mensual de horas y cambio de componentes flota de tractores
	Análisis de confiabilidad para equipos en PCR durante los 3 meses posteriores a su entrega (Semanal todos los miércoles)	Service Accuracy (≥85%)		Reporte mensual de costos flota de tractores
	Análisis de retrabajos del taller en HH (límite 500 horas de servicio después de salir del taller)	Rata Consumo de mangueras hidraulicas en campo (2 @ 1000 hrs)		
	Gestión de garantías (Reclamos abiertos vs cerrados, % reclamos aceptados, negados, compartidos)			

Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Se definieron cuatro áreas principales, PCR cambio de componentes programados, PM Mantenimiento Preventivo, Servicios de Campo y Rodaje, a cada una de estas áreas se le asigno un líder, unos supervisores y planeadores, cada uno con sus indicadores específicos por alcanzar.

Tabla 30. Division Funcional Seccion de Mantenimiento tractores

DIVISIÓN FUNCIONAL DPTO. TRACTORES							
Proceso	Área de trabajo	Jefe de Proceso	Supervisores			Planeadores	Objetivos
PM - Pre PM + Backlogs	Taller de Campo	Orlando Puello	Evaristo León	José Maldonado	Eduardo Mercado	Jose Poveda, David Vergara (aux), Luis Ramón Ospino (aux), Shell Dixon (Aux).	MTBS (después de PM); Fugas hidráulicas en campo; Duración PMs
PCR - R&I	Taller de Backline	José Arzuaga	Ramon Efros	Frank Cuadro	Walter Sepulveda	Héctor Vergel, Rodrigo Berrocal, Antonio de Avila (G), Jose Mantilla (G)	MTBS (después de Overhaul); Garantías
Rodaje - GETS	Taller de Rodaje	Martín González	Anibal Castro (G)	Freddy Solano (G)	Orlando Campo (G)	Juio Pérez (G) Jairo Julio (G)	MTBS despues de Trabajos de Rodaje, Vida componentes rodaje; vida componente Hojas Topadoras D11R Brazos de Empuje y Barras Estabilizadoras D11R, Baldes, H, Stick, Boom,
Llamadas no programadas	Campo	Roberto Bula	Saul Martínez - Edgar campo	Alfonso Meriño - Alex Pérez	Luis Contreras - Temístocle Martínez	Fabian Diaz - (G)	Lavados de radiador, Filtros de Aire ; Ejecución críticos; Engrases; Gestión Islas; Consumo Aceite Hyd; Consumo Refrigerante; DST; VIDS

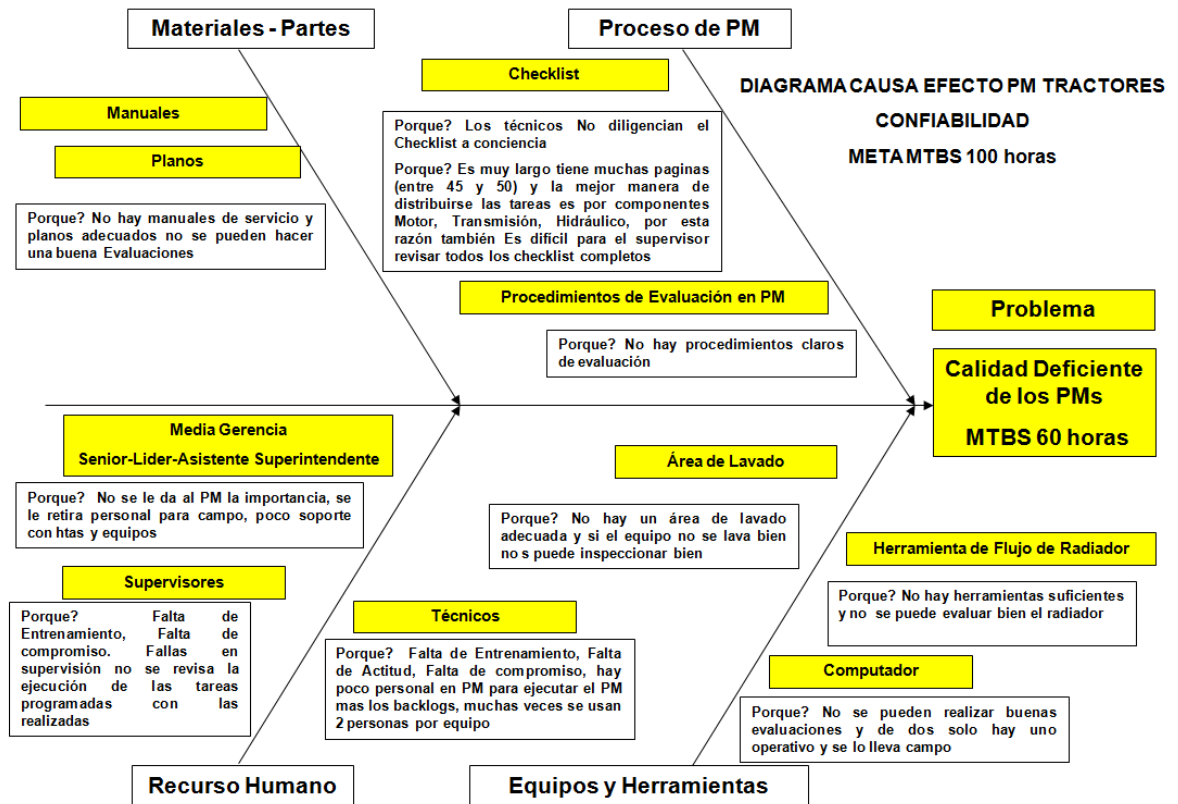
Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO y MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En la reunión de planeación estrategia se definió que el área más importante y en la cual se podría mejorar considerablemente la confiabilidad de los equipos era en el área de PM debido a que es la oportunidad en que los equipos llegan al taller obligatoriamente cada 250 horas al cambio de aceite de motor, los D11N operan en promedio 22 horas diarias o sea que en promedio estos equipos están cada 12 días en el taller, por lo tanto esto se debe aprovechar para atacar los modos de fallas más frecuentes identificados en la hoja de análisis de RCM y de esta forma mejorar la confiabilidad de estos equipos. A demás del análisis de RCM de los

equipos se realizó un análisis utilizando el diagrama de espina de pescado con los supervisores y técnicos de mantenimiento para determinar la causa de la baja confiabilidad de los equipos que se les realizaba PM al medir se encontró que el MTBS de PM después de PM estaba en 60 horas y el objetivo se definió en 100 horas.

Figura 54. Diagrama de Espina de Pescado Proceso de PM



Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Al realizar el diagrama de espina de pescado se encontró que habían deficiencias en el entrenamiento de los técnicos de PM que además siempre eran los técnicos con menos experiencia los que se colocaban en esta área y carecían de manuales y herramientas para realizar de forma adecuada las labores de mantenimiento preventivo, se detectó además que a esta área no se le estaba dando la importancia que se debía debido a que en ocasiones se le retiraba el personal

para enviarlo a realizar servicios de campo, en las listas de chequeo (checklist) de PM se detecto que habían muchos problemas debido a que estas eran muy largas y era difícil diligenciarlos por parte de los técnicos y auditarlos por parte de los supervisores, además no se enfocaban en identificar las causas de fallas más comunes que se detectaron al realizar el análisis de RCM por esta razón se diseñaron listas de chequeo basados en el análisis de RCM.

Se realizo un resumen de las tares de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta los cambios de aceite, filtros y toma de muestras con su frecuencia de realización para la estructuración del checklist

Tabla 31. Tareas de Mantenimiento Preventivo tractor D11N

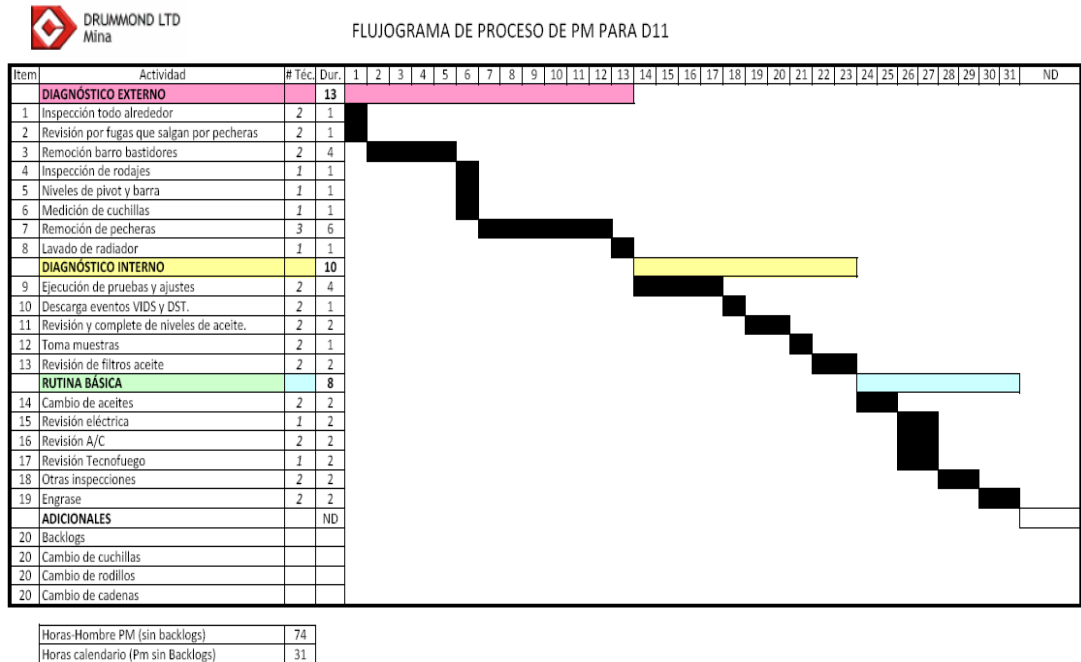
TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	A	B	C	D	E	F	G	H
	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
Aceite de Motor	c,m	c,m	c,m	c,m	c,m	c,m	c,m	c,m
Aceite Hidraulico	m	m	m	m	m	m	m	c,m
Aceite de Transmision y Convertidor	m	m	m	c,m	m	m	m	c,m
Mandos Finales	n,t	n,m,t	n,t	n,m,c,t	n,t	n,m,t	n,t	n,m,c,t
Aceite Bastidores	n	n	n	n	n	n	n	n
Aceite de Barra Ecuilizador	n	n	n	n	n	n	n	n
Aceite Eje Pivote	n	n	n	n	n	n	n	n
Filtro de Aceite de Motor	f	f	f	f	f	f	f	f
Filtro de Combustible	f	f	f	f	f	f	f	f
Filtro de Aire Primario	f	f	f	f	f	f	f	f
Filtro de Aire Secundario	f		f		f		f	
Elemento Filtrante de la Transmision		f		f		f		f
Elemento Filtrante del Convertidor		f		f		f		f
Elemento Filtrante del Tanque Hidraulico		f		f		f		f
Respiradero del Tanque Hidraulico								f
Pecheras								r # 4
Screen del Fondo del Convertidor								f
Screen de Succion de la Bomba de Transmision				f				f
Screen del Fondo de la Transmision				f				f
Respiradero del Housing de la Transmision				f				f

c, cambiar aceite. m, tomar muestra. n, revisar nivel. t, revisar tapon. f, cambiar - revisar filtro

Fuente: Hoja de Análisis de RCM Tractores D11N

Se realizo un flujograma de proceso de la forma que se debían realizar las tares de mantenimiento preventivo y el tiempo que se debía tomar cada tarea

Figura 55. Diagrama de Flujo Proceso de PM



Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

El proceso de PM se dividió en cuatro secciones, Diagnostico Externo, Diagnostico Interno, Rutina Básica de Mantenimiento Preventivo (cambios de aceites y Filtros) y Adicionales o reparaciones de fallas detectadas en los procesos de diagnostico

5.1.1 Diagnostico Externo, a estas tareas se le asigno el color rojo, en esta sección se encuentran todas las tareas de limpieza e inspección externa del equipo, medición de desgaste de cuchillas y segmentos, juegos en los alojamientos, se inspecciona por fugas de aceite o refrigerante, todas estas tareas se realizan con el equipo operativo y antes de parar el equipo dentro del taller.

5.1.2 Diagnostico Interno, a estas tareas se le asigno el color amarillo, en esta sección se le realizan todas las pruebas de rendimiento y presiones a todos los sistemas, motor, convertidor, transmisión, dirección, frenos y sistema hidráulico y si se encuentran fuera de especificaciones se ajustan para llevar el equipo a

óptimas condiciones de operación, se toman las muestras de aceite de motor, hidráulico y transmisión par enviarlas al laboratorio de análisis de aceite, se descarga las información del ECM Modulo de control Electrónico del motor para evaluar las alarmas que se han presentado en el equipo durante su periodo entre PM, estos sirve para detectar si el motor ha tenido eventos de alta temperatura o problemas eléctricos (Ver Figura 56).

5.1.3 Rutina Básica, después de realizar las pruebas y ajustes se apaga el equipo y se remueven y cortan los filtros y se revisan los screens en busca de partículas y se cambian los aceites según las horas de operación de cada uno de los aceites. Adicionales, en esta sección se corrigen problemas encontrados en el diagnostico externo, interno o en la rutina básica

Figura 56. Eventos Descargados del ECM de Motor

**Caterpillar Electronic Technician 2009C v1.0
Informe del estado del producto**

29/05/2010 10:36 p.m.

3508B D11 (2GR04764)

Parámetro	Valor
Identificación del equipo	5261
Número de serie del motor	2GR04764
Número de serie del ECM	1904B157CD
No de pieza del módulo de personalidad	2649748-00
Fecha emisión del módulo de personalidad	Oct04
Descripción del módulo de personalidad	D11R 3508

Códigos de diagnóstico registrados [Reloj de diagnóstico = 25184 horas]

Código	Descripción	Veces	Primera	Última
110- 3	Sensor de temperatura de refrigerante de motor : Voltaje sobre normal	2	25058	25114
190- 2	Sensor de velocidad de motor : Datos irregulares, intermitentes o incorrectos	5	25130	25183
290- 3	Sensor de presión de la bomba del ventilador de enfriamiento del motor : Voltaje sobre normal	2	25116	25117
291- 5	Solenoides de ventilador de enfriamiento de motor : Corriente bajo lo normal	39	24986	25117
827- 8	Sensor de temperatura de tubo de escape izquierdo : Frecuencia, ancho de pulsación o periodo anormal	50	25005	25117

Códigos de eventos registrados [Reloj de diagnóstico = 25184 horas]

Código	Descripción	Veces	Primera	Última
E017	Alerta de alta temperatura refrigerante del motor	255	17744	22240
E035	Alerta de pérdida de caudal de refrigerante	255	17727	24985
E038	Alerta de baja temperatura refrigerante del motor	255	19109	25179
E095	Alerta de restricción del filtro del combustible	4	21090	21515
E100 (1)	Alerta de baja presión aceite del motor	34	17882	25184
E101	Alerta de alta presión del cárter	2	23845	24107
E173	Alerta de temperatura alta de escape	5	19010	23440
E190	Alerta de exceso de velocidad del motor	5	17954	22020
E272	Alarma de restricción del aire de admisión	147	17812	21431
E279	Alerta de alta temperatura del posenfriador	183	20209	22241




Fuente: Caterpillar Electronic Technician ET - ECM Motor 5261

Tabla 32. Lista de Chequeo – Pruebas de Rendimiento Tractor D11N

LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N																													
PRUEBAS DE RENDIMIENTO																													
				TIPO PM																									
EQUIPO:		HOROMETRO:																											
NOMBRE:		FECHA:																											
TODAS LAS RUTINAS																													
SIST.	Ítem	Descripción	ESPEC.	ENCONTRADO	AJUSTADO																								
MOTOR	1	RPM en baja	650 ± 10																										
	2	RPM en alta	1980 ± 60																										
	3	Presión de refuerzo motor calado.																											
	4	RPM motor calado																											
DIRECCIÓN Y FRENSOS	5	Prueba de frenos. Libere el freno de parqueo, aplique a fondo el pedal de freno, coloque las transmisión en 2F, acelere el motor a 1000 rpm.	La máquina no se mueve																										
	6	<i>Condiciones de la Prueba: PALANCAS DE MANDO Y PEDAL DE FRENO SIN MOVIMIENTO</i>																											
			Clutch de dirección izquierdo (H)	336 ± 25 psi																									
			Clutch de dirección derecho (K)	336 ± 25 psi																									
			Freno izquierdo (J)	336 ± 20 psi																									
		Freno derecho (L)	336 ± 20 psi																										
	7	<i>Condiciones de la Prueba: PALANCA DERECHA COMPLETAMENTE HACIA ATRÁS Y PALANCA IZQUIERDA SIN MOVIMIENTO</i>																											
			Clutch de dirección izquierdo (H)	336 ± 25 psi																									
			Clutch de dirección derecho (K)	10 psi máx																									
			Freno izquierdo (J)	336 ± 20 psi																									
		Freno derecho (L)	50 psi máx																										
	8	<i>Condiciones de la Prueba: PALANCA IZQUIERDA COMPLETAMENTE HACIA ATRÁS Y PALANCA DERECHA SIN MOVIMIENTO</i>																											
			Clutch de dirección izquierdo (H)	10 psi máx																									
			Clutch de dirección derecho (K)	336 ± 25 psi																									
			Freno izquierdo (J)	50 psi máx																									
		Freno derecho (L)	336 ± 20 psi																										
RADIADOR	9	Prueba flujo aire a través del radiador. Valores especificados: Todos los puntos = 250 ó mayor m/min <i>Nota: Los ajustes de los valores del flujo se alcanzan mediante el lavado del radiador.</i>		<table border="1"> <tr><td>A</td><td></td><td>A</td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>B</td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td>C</td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td>D</td></tr> <tr><td>E</td><td></td><td>E</td></tr> <tr><td>F</td><td></td><td>F</td></tr> <tr><td>G</td><td></td><td>G</td></tr> <tr><td>H</td><td></td><td>H</td></tr> </table>	A		A	B		B	C		C	D		D	E		E	F		F	G		G	H		H	
A		A																											
B		B																											
C		C																											
D		D																											
E		E																											
F		F																											
G		G																											
H		H																											
SÓLO EN PMS B-D-F-H																													
TC & XMINS	10	P1, embr. velocidad (psi) (Altas rpm y marcha hacia delante)	370 ± 15																										
	11	P2, embr. dirección (psi) (Altas rpm y marcha hacia delante)	55 ± 5 por debajo de P1																										
	12	Presión salida convertidor (Convertidor calado en tercera) (psi)	78 ± 5																										
HIDRAULICO	13	Presión de alivio del circuito de inclinación (psi)	3400 + 75 - 0																										
	14	Presión de alivio del circuito de levante (psi)	3300 ± 50																										
	15	Presión de alivio del circuito de ripper (psi)	3300 ± 50																										
	16	Presión bomba del ventilador en alta RPM (psi)	1275 ± 50																										




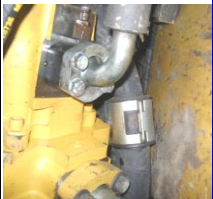
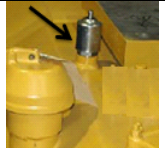
Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Tabla 33. Lista de Chequeo – Subsistema Motor Tractor D11N

		LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N		Secuencia ejecución			
		SUBSISTEMA Motor		I	II	III	IV
Ítem	Fase	Descripción	Fotos				
TODAS LAS RUTINAS (ANTES DE APAGAR EL MOTOR)							
1		Lave el radiador por ambos lados. Inspeccionelo en busca de trapos y suciedad que cause obstrucción.					
2		Tome muestra de aceite de motor.					
3		Inspeccione motor por fugas de aceite. Registre y repare si es necesario.					
DESPUÉS DE APAGAR EL MOTOR							
4		Cambiar los filtros del motor (P/N 272-1788) - Corte e inspeccione filtro de aceite de motor.					
5		Cambiar aceite de motor 15W40 (Cap. 28 Gal) Verificar estado sellos tapa llenado, funda, varilla de medición y manguera de succión de aceite de motor.					
6		Cambiar filtro secundario de combustible(P/N 1R-0755)					
7		Cambie filtros de aire primario. (PN 106-3969) Escriba la fecha en el filtro.					
8		Inspeccionar líneas de combustible del motor. Si encuentra alguna línea deteriorada o mal enrutada y sin sus respectivas abrazaderas o dampers reemplácelas. (Ver Ayuda al Reverso) Revise también los fittings de toma presión y toma muestra de combustible.					
9		Revise el nivel de refrigerante. Agregue si es necesario. (Pre mix Cap. 63 Gal)					
10		Inspeccionar correas del alternador.					
11		Drene 2 galones de acpm del tanque de combustible					
12		Inspeccione todos los componentes en el sistema de escape (turbos, estructuras, abrazaderas etc)					
13		Revise el estado de los tornillos, base del radiador, babero y aspas del ventilador.					
14		Revise sistema de enfriamiento, mangueras, radiador, conexiones, verifique que la bomba de agua no este fugando. Verifique los soportes de las siguientes mangueras: de la bomba al tanque de expansión (arriba) y del tanque inferior. del radiador a la caja de termostatos. (abajo).					
SÓLO EN PMS B-D-F-H							
15		Remueva y lave filtro primario de combustible (screen metálico)					
16		Cambie filtros de aire secundario del motor PN 106-3973. Escriba la fecha en el filtro					
SÓLO EN PMS H							
17		Realice prueba de hermeticidad al sistema de enfriamiento para poder identificar fugas del refrigerante					
18		Realice prueba de hermeticidad al sistema de Admisión para poder identificar fugas de Aire					
19		Revise los ciclónicos de admisión de aire, si estan sucios desmontelos y lavelos					

Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Tabla 34. Lista de Chequeo – Subsistema Hidraulico Tractor D11N

		LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N		Secuencia ejecución			
		SUBSISTEMA Hidráulico		I	II	III	IV
Ítem	Fase	Descripción		Fotos			
TODAS LAS RUTINAS (ANTES DE APAGAR EL MOTOR)							
1		Durante un momento, parquee el equipo con el motor prendido y observe si deja rastros de fugas que salgan a través de las pecheras.					
2		Revise las rótulas de ambos cilindros de inclinación de la hoja topadora.					
3		Inspeccione los 8 cilindros hidráulicos por fugas. Reporte.					
4		Inspeccione dentro del tractor las líneas hidráulicas, controles y bombas hidráulicas por fugas en los sellos o grietas en la estructura.					
5		Tome muestra de aceite hidraulico.					
DESPUÉS DE APAGAR EL MOTOR							
6		En la tapa del tanque hidráulico, inspeccione los siguientes elementos: rosca de la tapa, estado el sello y presencia del screen a la entrada del tanque (PN 3D-6678).					
7		Inspeccione todas las mangueras que llegan a todos los cilindros de la hoja topadora (inclinación y levante). Verifique que no estén rozando o que tengan el "alma" de acero expuesta.					
8		Inspeccione todas las mangueras que llegan a todos los cilindros del ripper (inclinación y levante). Verifique que no estén rozando o que tengan el "alma" de acero expuesta.					
9		Inspeccione enrutamiento de las mangueras debajo de la cabina. Coloque separadores entre mangueras que estén rozando entre sí.					
10		Revise el nivel de aceite hidraulico.					
11		Inspeccione y Lubrique todo el varillaje de Levante e Inclinacion, Cambie conexiones con mucho juego					
SÓLO EN PMS B-D-F-H							
12		Cambie los elementos filtrantes del sistema hidráulico dentro del tanque. Cortelos y revíselos.					
SÓLO EN PMS H							
15		Revise que tornillos que sujetan la bomba de implementos esten lo suficientemente ajustados. (marque con línea blanca)					
16		Revisar el enrutamiento y estado de las mangueras po debajo del tractor, visibles sin pecheras. En especial las mangueras de inclinacion del control y mangueras de levante "Anacondas" que tengan los cuatro clamp.					
17		Cambie aceite hidraulico HD30W (Cap. 60 Gal).					
18		Cambie respiradero y valvula de alivio e inspeccione daños en la tapa del tanque hidraulico y empaque dañado. Reemplace si lo requiere.					




Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Tabla 35. Lista de Chequeo – Subsistema Transmision, Convertidor y Mandos Finales D11N

		LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N		Secuencia ejecución			
		SUBSISTEMA Tren de Potencia		I	II	III	IV
Ítem	Fase	Descripción		Fotos			
TODAS LAS RUTINAS							
1		Verifique el nivel de aceite en los mandos finales					
2		Revise tapón magnético del mando final derecho. Reporte alguna de las 3 apariencias posibles (limpio, pasta u hojuelas) y una de las 3 cantidades relativas (poca, media ó mucha)					
3		Revise tapón magnético del mando final izquierdo. Reporte 1 de los 3 apariencias tipos (limpio, pasta u hojuelas) y 1 de 3 cantidades (poca, media ó mucha)					
4		Revise nivel de aceite de transmisión					
5		Revise nivel de aceite de ambos bastidores, agregue aceite XFD60 (Cap. 25 Gal) si es necesario al nivel apropiado.					
6		Inspeccione transmision por fugas, daños o ruidos extraños.					
7		Inspeccione y Lubrique todo el varillaje de Transmision, Direccion y Frenos y verifique el estado de las guayas de la transmision, Cambie conexiones con mucho juego					
SÓLO EN PMS B-D-F-H							
8		Tome muestra de aceite de la transmision.					
9		Tome muestra de aceite del convertidor					
10		Tome muestra de aceite de ambos mandos finales					
11		Cambie ambos elementos filtrantes de transmisión					
12		Cambie ambos elementos filtrantes del convertidor.					
SÓLO EN PMS D Y H							
13		Revise el screen de succión de la bomba de transmisión.					
14		Cambie el aceite de transmisión y convertidor .					
15		Cambie el aceite XFD60 del mando final Derecho completamente. (Cap 12 galones)					
16		Cambie el aceite XFD60 del mando final izquierdo completamente. (Cap 12 galones)					
17		Cambie el respiradero del housing de la transmisión 9G-9981. Verificar que no esté tirado sobre el hoUsing sino correctamente sujetado fuera de la contaminación.					
SÓLO EN PMS H							
18		Revise el screen del fondo de la carcaza de transmisión, en la parte trasera					
19		Revise el screen del fondo de la carcaza de convertidor.					


Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Tabla 36. Lista de Chequeo – Rodaje, Chasis y GET D11N

		LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N	
		SUBSISTEMA Rodaje-Chassis-GETs	
		Secuencia ejecución	
		I	II
		III	IV
Ítem	Fase	Descripción	Fotos
SÓLO EN PMS H (antes de apagar motor)			
1		Remueva y limpie sólo la pechera #4	
TODOS LOS PMS (ANTES DE APAGAR EL MOTOR)			
2		Revise la tensión de la oruga. (ver figura 1, la distancia 2 debe estar entre 6 y 7 pulgadas). Tensionar a aliviar según sea el caso. También se puede revisar viendo el cromado del telescópico. Si está afuera más de 7.5 pulgadas es posible que la cadena esté muy estirada. No intentar tensionar más allá de esa medida.	
3		Inspeccione visualmente la cadena en busca de eslabones que estén por romperse así como tornillos faltantes o flojos en las zapatas.	
4		Inspeccione extremos de la barra equalizadora (fuga, pin salido o bearing roto) y el estado de los sellos del eje pivote (fugando).	
5		En las cuchillas de la hoja topadora, mida la distancia entre la base y el extremo de la cuchilla. Registre la distancia en pulgadas. Si es menor a 1 pulgada gire o cambie las cuchillas. Revise por tornillería perdida o suelta en las punteras o en las cuchillas, ajuste si es necesario	
6		Inspecciones ambas bases de punteras en busca de grietas.	
TODOS LOS PMS			
7		Inspeccione condición del ripper, protector y diente o Contrapesa	
8		Mida el desgaste del sprocket y revise que los tornillos estén completos y apretados. (357 mm = 0% / 317mm=100% desgaste)	
9		Inspeccione estructura del tanque de combustible y en especial los tornillos de sujeción.	
10		Verifique holgura entre chumacera de ambos brazos de empuje de la hoja topadora y el trunnion. Si es mayor de 1 pulgada retire shims para ajustar.	
11		Verifique la holgura entre la chumacera de la barra estabilizadora del dozer y sus 2 trunnions. Si es mayor de 1 pulgada retire shims para ajustar.	
12		Inspeccione visualmente las 4 ruedas guías, en busca de: tornillos faltantes en las chumaceras, fuga de aceite por el tapón ó evidencias de que está girado.	
13		Inspeccione visualmente las pecheras y asegúrese que tienen los tornillos completos.	
14		Inspeccione visualmente todos los rodillos de ambos lados (16), en busca de: tornillos faltantes en las chumaceras, fuga de aceite por el tapón ó evidencias de que está girado.	
15		Revise el nivel del eje pivote. Complete según sea necesario	
16		Revise el nivel del aceite de las puntas de la barra equalizadora. Complete según sea necesario.	
17		Engrase toda la máquina. Reporte los puntos a los que no les entra grasa. (18 puntos: 6 adelante y 12 atrás)	
SÓLO EN PMS H			
18		Revise los pads y el pin central de la barra equalizadora y los PADS de los Bastidores.	


Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Tabla 37. Lista de Chequeo – Subsistema Electrico D11N

 LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N SUBSISTEMA Electrico y Cabina	
Ítem	Descripción
TODAS LAS RUTINAS	
1	Conecte el ET y revise los eventos activos. Repare según sea necesario
2	Opere equipo en reversa, revise si la alarma de retroceso funciona apropiadamente
3	Revise el estado de luces frontales, y traseras.
4	Revise funcionamiento del pito
5	Revise operacion de limpiavidrios y condicion de los mismos
6	Revise todos los indicadores de la cabina.
7	Revise conexiones de batería. Desconecte uniones sulfatadas y limpie apropiadamente.
8	Revise los cables de los motores de arranque y del alternador
9	Verifique los niveles de agua a la bateria. Completar de ser necesario.
10	Desconecte los cables de bateria. Limpie los terminales.
11	Revise tornillería y sello de la tapa del piso de la cabina. Repare según sea necesario.
12	Revise la condición del cinturón de seguridad


Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

Tabla 38. Lista de Chequeo – Subsistema Aire Acondicionado D11N

 LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N SUBSISTEMA Aire Acondicionado	
Ítem	Descripción
TODAS LAS RUTINAS	
1	Chequear compresor por ruidos generados
2	Chequear polea, clutch y funcionamiento de la bobina. Revisar alineación del clutch.
3	Encender A/C y vehiculo por 5 minutos y sentir como está enfriando.
4	Revisar tension de Correa (120 lb max.)
5	Revisar soporte compresor , en espeucial los tornillos de sujeción.
6	Registrar las presiones en los manómetros
7	Limpiaar o lavar el condensador exteriormente de suciedad u obstruccion
8	Revisar línea que viene del condensador al filtro secador (al tocar debe estar caliente)
9	Chequaer visor y miriar si falta o no refrigerante
10	Revisar el drenaje del evaporador por si está obstruido.
11	Chequear línea de descarga (caliente al tacto) y de succión (frias al tacto). Verificar estado v enrutamiento.
12	Cambiar filtros de reposición de aire de cabina (PN 7T1890)
13	Cambiar filtros de recirculación de aire de la cabina (PN 1070266)
14	Revisar y reparar rejillas direccionales de aire si están rotas.
15	Revisar el selector de velocidades del soplador. Deben servir todas las velocidades del selector.
16	Perciba si el soplador está generando ruido excesivo que indique daño en los buies. Repare si es necesario
SÓLO EN PM G	
17	Revisar el tubo capilar de la válvula expansiva
18	Inspeccionar sello Mecánico
19	Chequear nivel de aceite del compresor
20	Limpiaar o lavar el evaporador por suciedad u obstruccion

Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

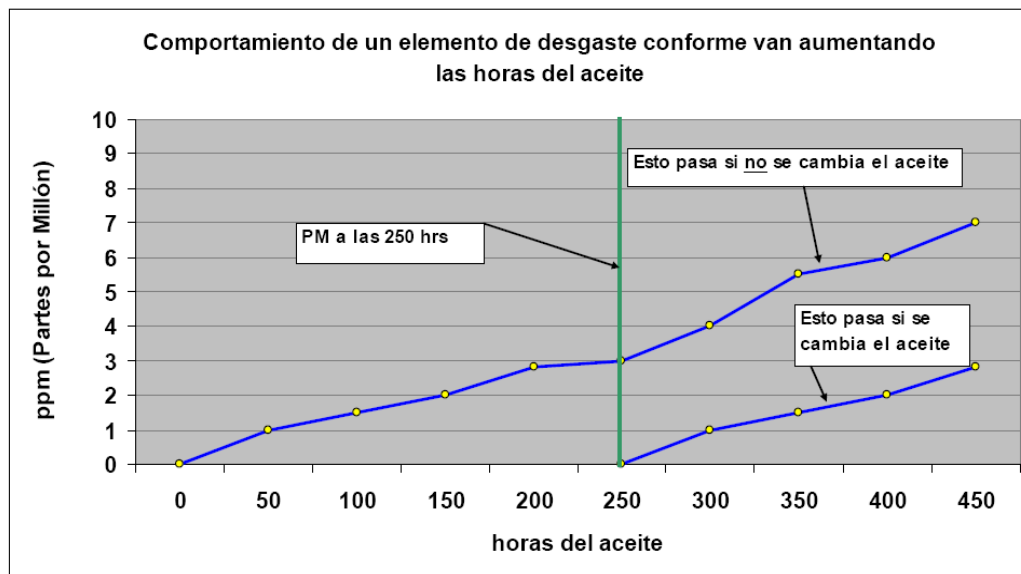
Tabla 39. Lista de Chequeo – Subsistema Sistema Supresor de Incendios D11N

 LISTA CHEQUEO DE PM TRACTORES D11N SUBSISTEMA SISTEMA SUPRESOR DE INCENDIO		
Ítem	Descripción	Fotos
TODAS LAS RUTINAS		
1	Revise la apariencia general de los cilindros de PQS por daño mecánico o corrosión. Revise que el cilindro de PQS este firmemente montado en su soporte.	
2	Inspeccione las cápsulas remotos (LT5R o LT10R). Revise las roscas de las cápsulas y del actuador. Asegúrese que los soportes de las cápsulas presentan empaque. Si no lo tienen, instálelo.	
3	Revise el estado del actuador neumático y manual, revise que el empaque este en su lugar y en buen estado, si lo encuentra deteriorado, cambielo. Instale nuevamente la capsula en su soporte y asegurela.	
4	Revise que las mangueras y sus acoples no presenten deterioro y que las boquillas esten orientadas. Si encuentra alguna manguera con cortes o roturas, cambíela.	
5	Retire todas las tapas de las boquillas. Revise que las boquillas no presenten obstrucción. Limpielas. Instale las tapaboquillas.	
6	Revise las mangueras y boquillas que no esten taponadas, soplelas	
7	Revise el estado del actuador neumático y manual de las capsulas remotas. Examine los empaques del actuador. Coloque el pasador y el precinto de seguridad.	
8	Inspeccione que el modulo de control este operando normalmente (LED verde encendido) Si hay otro LED adicional al verde encendido el sistema tiene problemas y se debe llevar a cabo el procedimiento de prueba al modulo (ver formato FC-CT-01).	
9	Revise la conexion al SQUIB	
10	Revise la linea de deteccion (Cable termico), verifique el estado del aislamiento, verifique que no haya cortes en el cable.	
11	Inspeccione el estado del fin de linea. Reemplace si lo encuentra deteriorado.	
12	Revise los extintores manuales	
SÓLO EN PMS H		
13	Si encuentra alguna manguera obstruida, destapela o cambíela. Si la manguera tiene cortes o roturas, cámbiela.	
14	Desacople el actuador neumático de la capsula y pesela. Reemplace si el peso presenta una variación de +1/2 onza del peso estampado en la capsula. Mientras el actuador este desacoplado de la capsula realice prueba y revise que el Pin baja adecuadamente.	
15	Inspeccione las cápsulas remotos (LT5R o LT10R). Péselas y reemplace si el peso está 1/4 de onza por debajo o por encima del peso estampado en la cápsula. Revise las roscas de las cápsulas y del actuador.	
16	Remueva la tapa del cilindro, limpie y lubrique la rosca. Verifique que el sello este en buen estado. Asegurese que el cilindro este lleno de PQS a un nivel de 3" por debajo del cuello y que el polvo no este compactado.	
17	Retire las capsulas de barrido LT-A 101-30 (Ensamble capsula y actuador) de su soporte (o de la guarda). Asegúrese que los soportes de las cápsulas presentan empaque. Si no lo tienen, instálelo. Inspeccione las capsulas por corrosión o daño mecánico.	
18	Revise la conexión al squib, debe ser remplazado despues de estar en servicio por cinco años. Remueva la capsula LT-5R del actuador manual/neumático, instale una tapa de protección y colóquela en un lugar seguro. Péselas y de ser necesario cámbiela.	
19	Realice un barrido de las lineas con Nitrogeno o aire seco. Asegurese que no hayan obstrucciones.	

Fuente: Reunión de planeación estratégica flota de tractores

El mantenimiento predictivo según condición se realiza analizando los aceite de los componentes como el Motor, Convertidor, Transmisión y Mandos Finales, para la interpretación de los resultados de los análisis es necesario tener en cuenta las horas de cambio de aceite debido a que si las horas del aceite son muy altas los elementos de desgaste de los componentes se incrementarían considerablemente por esto es muy importante realizar los cambios a los horas determinadas por planeación para cada componente (ver figura 57). Las muestras de aceite que se toman en el PM se envían al laboratorio de análisis de aceite y este envía un reporte (ver figura 58) donde se muestra la identificación del equipo y el componente analizado, fecha de toma de la muestra, la fecha de análisis, el horómetro las horas del aceite, los elementos de desgaste (Hierro, Cobre, Aluminio, Plomo etc..), los elementos contaminantes (Tierra, Agua, Sodio, etc..) y la salud del aceite TBN (Numero de Base Total) y Viscosidad del aceite, estos datos se comparan con los estándares definidos por el departamento de planeación de mantenimiento y se definan las acciones a realizar si hay una alerta de falla o una falla en progreso (ver figura 58)

Figura 57. Tendencia de los elementos de desgaste en el Aceite de Motor



Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil

Figura 58. Reporte de Analisis de Aceite de Motor Equipo 5261

DRUMMOND LTDA. Customer Equip. No.: 5261 Shop Job No.:
 Compartment: MOTOR Segment No.:
 Serial No.: 7PZ00770 Customer P.O. No.:
 Manufacturer: CATERPILLAR Sample Label No.: 31
 Model: D11R_CAT
 Job Site: ELDESCANSO
 Market Status:

Overall Evaluation Codes: AR = Action Required MC = Monitor Compartment NAR = No Action Required NC = No Comment

Sample Data							Wear Elements														
Sample No.	Taken Date	Process Date	Label No.	SMU Hr.	Oil Hr.	Overall Eval.	Fe	Cu	Cr	Ni	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	P	Zn	Ca	Mg
53213666	5/18/2010	5/20/2010	31	33335	303	NAR	24	7	0	0	2	1	0	3	6	0	0	1074	1370	2290	286
53105915	5/13/2010	5/18/2010	30	33246	214	NAR	21	4	0	0	3	1	0	7	2	0	0	1080	1300	2319	306
52081730	4/27/2010	4/29/2010	38	33032	301	MC	30	6	0	0	2	2	0	4	3	1	1	1133	1363	2450	312
51815167	4/23/2010	4/25/2010	18	32942	211	NAR	22	3	0	1	1	1	0	3	0	2	1	1202	1433	2578	365
51034681	4/8/2010	4/11/2010	43	32731	274	NAR	21	4	0	0	2	1	0	4	1	1	0	1079	1374	2318	338
50247851	3/23/2010	3/25/2010	39	32457	262	NAR	20	4	0	0	3	2	0	6	0	2	1	1100	1352	2325	309
49491101	3/7/2010	3/9/2010	45	32195	282	NAR	18	4	0	0	2	2	0	4	1	1	1	1148	1373	2361	328

Oil Data					Oil Condition / Contaminants										Particle Count	
Sample No.	Oil Brand	Oil Weight	Oil Added	Oil Chg?	ST	OXI	NIT	SUL	W	F	TBN	V100				
53213666	MOBIL	15W-40	01	Yes	26	16	9	21	N	N		14.2				
53105915	MOBIL	15W-40	01	No	19	15	8	19	N	N		13.8				
52081730	MOBIL	15W-40	01	Yes	33	16	9	21	N	N		14.3				
51815167	MOBIL	15W-40	01	No	23	14	8	19	N	N		14.1				
51034681	MOBIL	15W-40	01	Yes	22	15	9	20	N	N	9.5	13.9				
50247851	MOBIL	15W-40	01	Yes	20	15	9	19	N	N	9.5	13.9				
49491101	MOBIL	15W-40	01	Yes	17	15	8	19	N	N	9	13.8				

Evaluations & Recommendations

53213666: RESULTADOS ACEPTABLES. TOMAR OTRA MUESTRA PARA SEGUIR OBSERVANDO LA CONDICION GENERAL.

53105915: TODAS LAS LECTURAS SE ENCUENTRAN NORMALES. CONTINUE LA TOMA DE MUESTRAS PROGRAMADAS NORMALMENTE.

52081730: HIERRO Y NIVEL DE HOLLIN INCREMENTADOS, LOS DEMAS RESULTADOS ACEPTABLES. INVESTIGUE POSIBLE RESTRICION EN EL SUMINISTRO DE AIRE AL MOTOR. SE INDICO CAMBIO DE ACEITE. TOMAR OTRA MUESTRA PARA CONTINUAR SEGUIMIENTO.

51815167: RESULTADOS ACEPTABLES PARA LAS HORAS DE USO DEL ACEITE. CONTINUE TOMANDO MUESTRAS A INTERVALO NORMAL PARA SEGUIMIENTO.


51034681: TODAS LAS LECTURAS SE ENCUENTRAN NORMALES. CONTINUE LA TOMA DE MUESTRAS PROGRAMADAS NORMALMENTE.

50247851: TODAS LAS LECTURAS SE ENCUENTRAN NORMALES. CONTINUE LA TOMA DE MUESTRAS PROGRAMADAS NORMALMENTE.

49491101: RESULTADOS ACEPTABLES PARA LAS HORAS DE USO DEL ACEITE. CONTINUE TOMANDO MUESTRAS A INTERVALO NORMAL PARA SEGUIMIENTO.

Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil

Tabla 41. Niveles de Citicidad para Elementos de desgaste en Tractores D11N

		Niveles de criticidad para elementos de desgaste en D11				Agosto 17-2009
Sistema Hidráulico						
Elemento de desgaste	85% Resultados históricos		10% Resultados históricos		5% Resultados históricos	Muestras válidas
Fe-Hierro	0	5	6	8	>8	830
Cu-Cobre	0	6	7	39	>39	
Al-Aluminio	0	6	7	9	>9	
Filtros (Se excluyen):						
Muestras con más de: 30 ppm de Si			Muestras con Agua Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de Na			Muestras con Combustible Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de K			Muestras con horas de aceite menor a 60hrs (Break in)			
Motor						
Elemento de desgaste	85% Resultados históricos		10% Resultados históricos		5% Resultados históricos	Muestras válidas
Fe-Hierro	0	33	34	40	>40	952
Cu-Cobre	0	21	22	63	>63	
Al-Aluminio	0	3	4	6	>6	
Pb-Plomo	0	4	5	6	>6	
Filtros (Se excluyen):						
Muestras con más de: 20 ppm de Si			Muestras con Agua Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de Na			Muestras con Combustible Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de K			Muestras con horas de aceite menor a 60hrs (Break in)			
Tren de portencia - Transmisión-Convertidor						
Elemento de desgaste	85% Resultados históricos		10% Resultados históricos		5% Resultados históricos	Muestras válidas
Fe-Hierro	0	22	23	34	>34	705
Cu-Cobre	0	139	140	414	>414	
Al-Aluminio	0	1	2	3	>3	
Filtros (Se excluyen):						
Muestras con más de: 20 ppm de Si			Muestras con Agua Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de Na			Muestras con Combustible Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de K			Muestras con horas de aceite menor a 60hrs (Break in)			
Mandos Finales						
Elemento de desgaste	85% Resultados históricos		10% Resultados históricos		5% Resultados históricos	Muestras válidas
Fe-Hierro	0	67	68	105	>105	600
Cu-Cobre	0	21	22	57	>57	
Filtros (Se excluyen):						
Muestras con más de: 70 ppm de Si			Muestras con Agua Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de Na			Muestras con Combustible Positivo (T,P,E)			
Muestras con más de 25 ppm de K			Muestras con horas de aceite menor a 60hrs (Break in)			

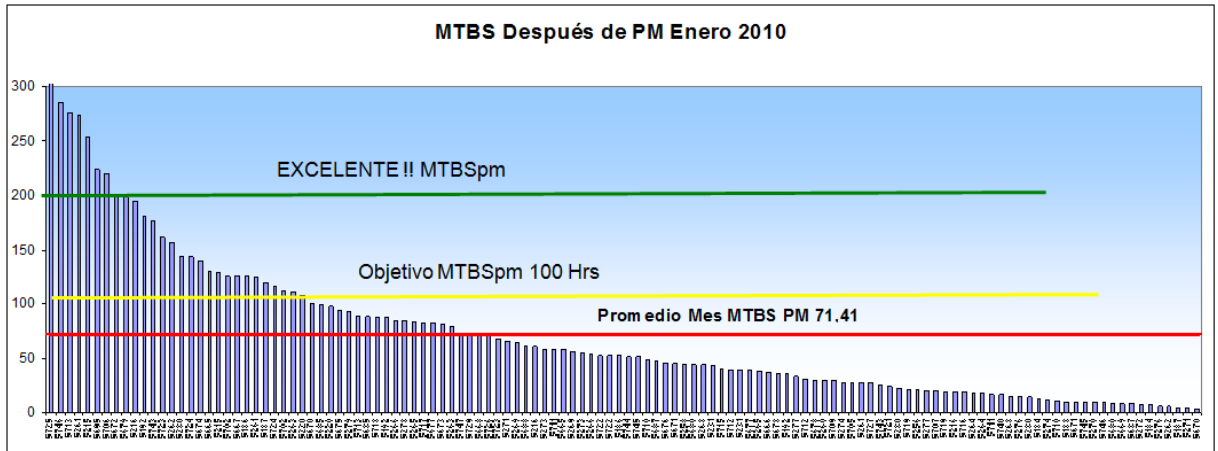
Datos analizados de Enero1-2009 a Agosto16-2009

Resultados Normales	= 85% de probabilidad de ocurrencia
Monitoreo y Prevención	= 10% por encima de la población Normal
Alerta, Falla en progreso	= 5% por encima de la población Normal y de Monitoreo

Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil DltD

Para medir la calidad de los PMs que se estaban realizando se empezó a medir el MTBS des pues de PM, o sea cuanto tiempo se demora el equipo en Presentar una falla después que sale de PM se estableció como objetico en un año llegar a un MTBS de 100 horas.

Figura 59. Medicion de MTBS despues de PM



Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil DltD

5.1 MANTENIMIENTO EN SERVICIOS DE CAMPO

El mantenimiento en campo que se venía realizando en campo era un mantenimiento netamente correctivo, se limitaba a corregir una falla cuando esta se presentaba y no se tenía una buena documentación de las causas de las fallas al realizar reuniones de RCM con los supervisores y técnicos de PM y campo se pudo identificar un total de 295 modos de falla para el tractor D11N, de esta forma se le asigna al Grupo de campo la documentación fotográfica de las causas más frecuentes de falla específicamente en las fallas de Motor y del Sistema Eléctrico que constituyen el 45.9% del total de las fallas y así poder realizar tareas proactivas de mantenimiento cuando el equipo llegue a PM, para el motor se identificaron 70 modos de falla y para el sistema eléctrico 30 modos de falla que se empezaron a documentar para entrenar a los técnicos de PM en su identificación y corrección, ver ejemplo figura 59.

Figura 60. Reporte de Falla de Baja Potencia de Motor realizado por Supervisores de campo

FALLAS EN EL MOTOR

Baja Potencia de Motor por daño del arnés del sensor de temperatura de turbo

Estrategias para evitar esta falla

- El mal enrutamiento del arnés hace que este roce con la estructura del motor y lo parta, hay que realizar un buen enrutamiento del arnés del sensor.



Fuente: Reunión Análisis de RCM Tractores D11N

Al area de servicios de campo se le asignaron las tareas preventivas de lavado de radiadores y cambio de filtros de aire cada 80 horas de operación esto para evitar unas de las fallas mas frecuentes de motor por alta temperatura por radiador obstruido (ver figura 61) y baja potencia de motor por filtros de aire obstruidos, además de la realización de toma de muestras de seguimiento de componentes en monitoreo para análisis de aceite.

Para medir al grupo de campo se estableció una medición de las alarmas de alta temperatura de los equipos por horas de operación y la cantidad de servicios programados lavado de radiadores y cambio de filtros de aire versus los servicios realizados por cada grupo (ver figura 62 y 63).

Figura 61. Reporte de Falla de Alta Temperatura de Motor




FALLAS EN EL MOTOR Y RADIADOR

Calentamiento de Motor por Obstrucción de Radiador

Estrategias para evitar esta falla

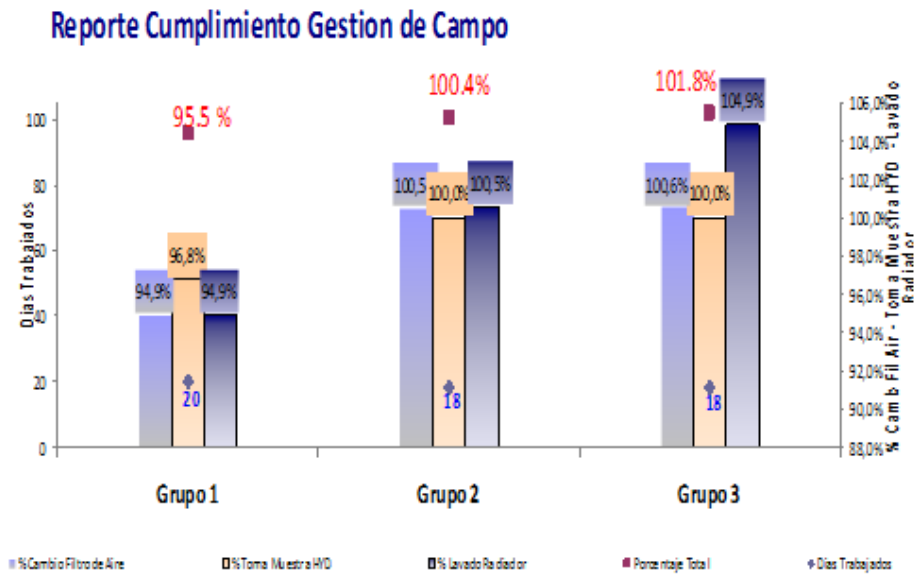
- Lavar el radiador en CAMPO cada 80 horas y en todos los PMs cada 250 horas y en PCR
- Realizar Prueba de Flujo de Radiador después de lavado si no pasa la prueba Lavarlo Nuevamente





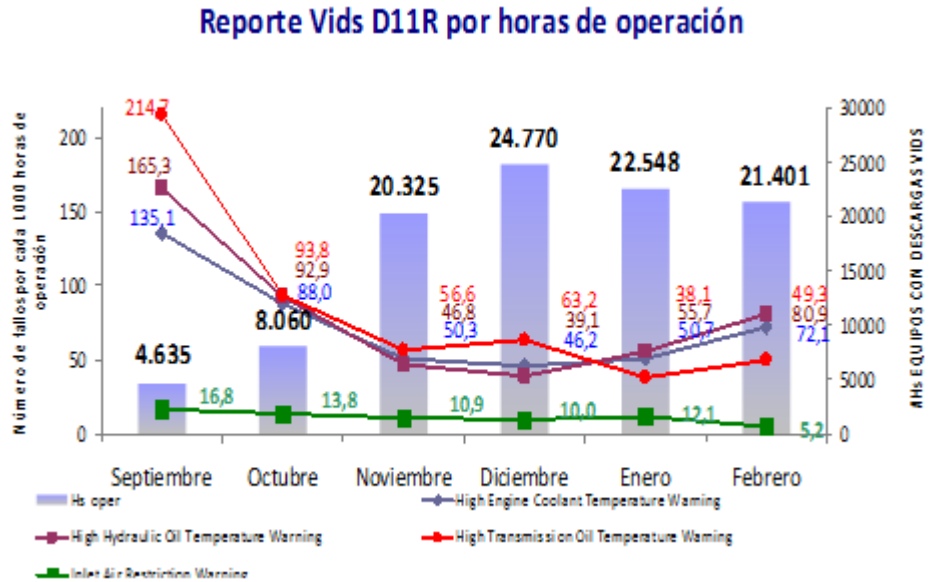
Fuente: Reunión Análisis de RCM Tractores D11N

Figura 62. Reporte de Gestion de Grupo de Servicios de Campo



Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil Dtd

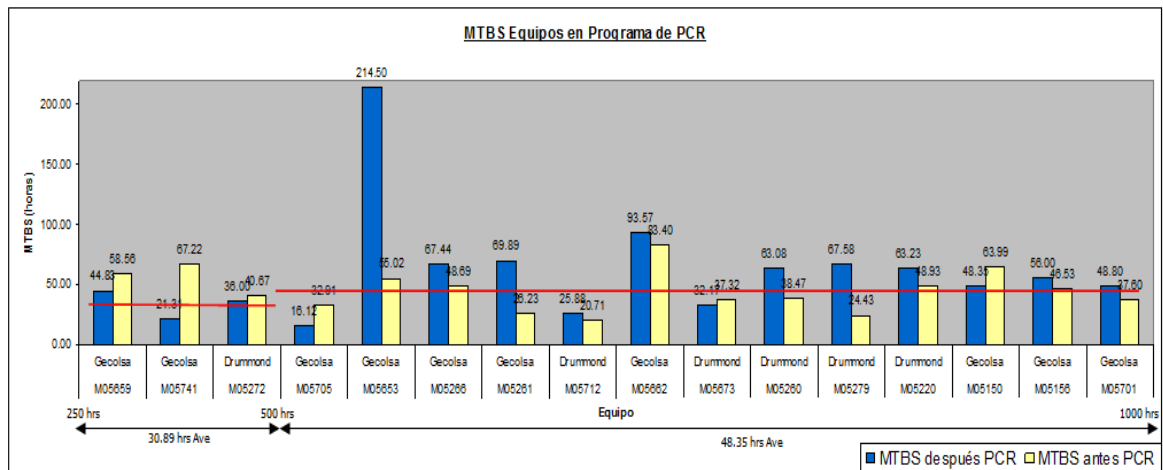
Figura 63. Reporte de Alarmas de temperatura Descargadas del ECM de Motor



Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil DltD

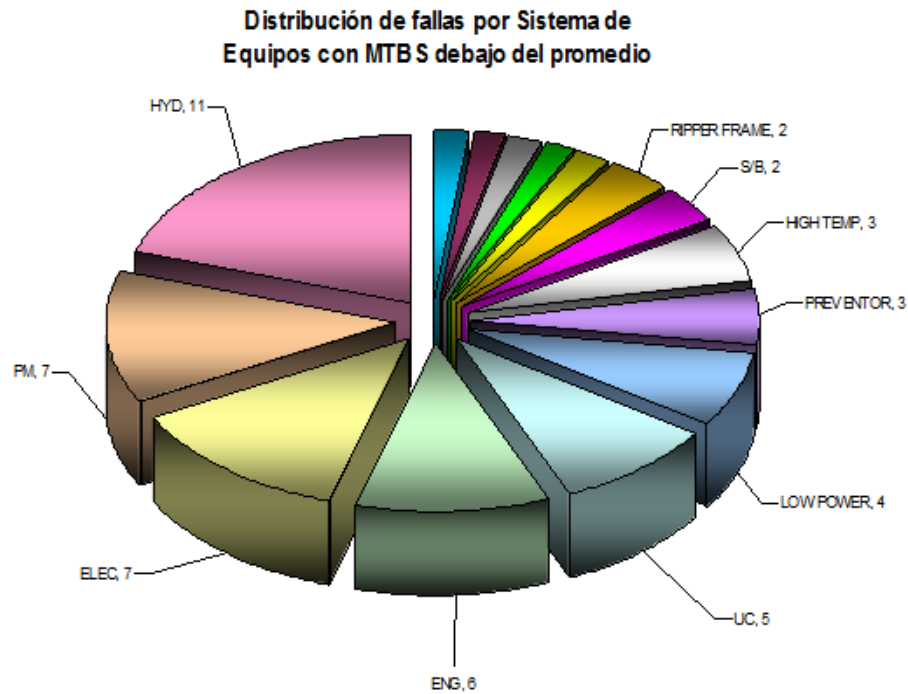
5.3 PCR. Reemplazo de Componentes Programados. Para mejorar la confiabilidad de los equipos que se atendían por PCR en la flota se empezó a medir el MTBS después de PCR y a evaluarse cuáles eran las fallas más frecuentes de PCR

Figura 64. Medicion de MTBS despues de PCR



Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil DltD

Figura 65. Fallas mas comunes despues de PCR



Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil DltD

Se encontró que las fallas más comunes son las de fugas hidráulicas y problemas eléctricos, por lo tanto se estructuro un plan para atacar estas fallas, las actividades del plan fueron las siguientes:

- Realizar Inspección Pre-PCR en campo con un Formato Estándar, esta información se le suministrara a planeación DLTD para que complemente el Programa de Trabajo.
- Realizar Inspección al Llegar al Taller con un Formato Estándar Formato Estándar, esta información se le suministrara a planeación DLTD para que complemente el Programa de Trabajo.
- Controlar Diariamente los Trabajos que están realizando los Técnicos

- Definir cuáles son las Mangueras Y Arnesees eléctricos a cambiar después de remover los componentes Mayores.
- Realizar prueba dinámica de 3 a 6 horas después de realizar las pre-entregas llevando el equipo a temperaturas de operación y antes de instalar las pecheras.
- Realizar revisión antes de instalar pecheras y Revisión final antes de entregar el equipo operativo.
- Realizar seguimiento a los Equipos que son entregados después de PCR en cuanto a confiabilidad y Disponibilidad

5.4 RODAJE Y HERRAMIENTAS DE CORTE. Esta área se ha manejado siempre de forma predictiva en el campo y en PM se realizan mediciones de temperatura y desgaste con una herramienta de ultrasonido y se colocan en una tabla, las mediciones en rojo indican alto desgaste y estos componentes se cambian cuando llegan al límite de desgaste.

Tabla 42. Mediciones de Desgaste de los componentes de Rodaje

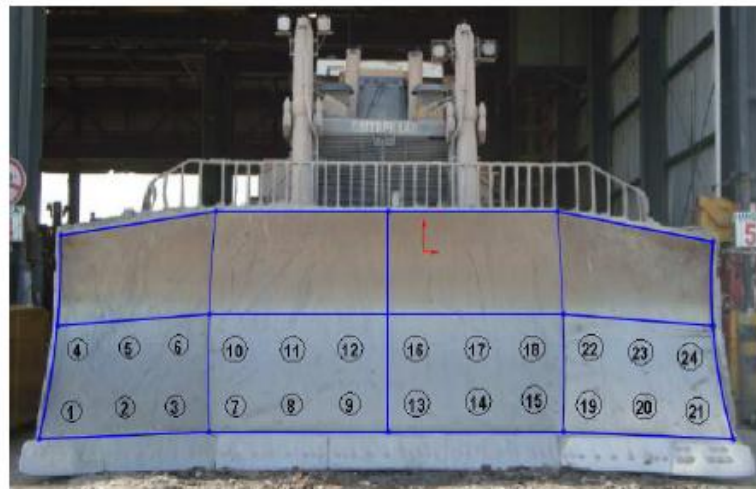
Equipo		Date	Links		Bushing		Turned		Shoes		Front Mlers		Rear Mlers		Lh Rollers								Rh Rollers								Sprockets		Track	
Model	Inspection	Lh	Rh	Lh	Rh	Lh	Rh	Lh	Rh	Lh	Rh	Lh	Rh	S	S	D	D	D	D	S	S	S	S	D	D	D	D	S	S	Lh	Rh	Id. Lh	Id. Rh	
5184	D11N	oct-20-10	92	87	36	94	N	N	72	60	72	72	64	64	100	87	80	74	71	86	54	70	43	18	66	63	63	65	23	62	75	37	7PZTK1587	7PZTK1736
5186	D11N	oct-10-10	50	72	49	58	N	N	26	32	18	10	10	40	17	12	20	20	10	11	8	10	22	18	22	22	17	17	10	11	82	61	7PZTK1701	7PZTK1746
5187	D11N	oct-10-10	75	72	0	51	Y	Y	28	40	96	104		105	125	98	41	104	68	68	104	78	100	110	92	119	72	77	71	80	26	7PZTK1720	7PZTK1692	
5188	D11N	oct-28-10	137	137	106	110	N	N	58	53	2	18	18	10	13	13	10	10	14	14	6	6	10	3	14	14	6	10	10	10	23	44	7PZTK1721	7PZTK1722
5189	D10	oct-29-10	69	59	36	48	N	Y	12	2	40	55	13	13	44	38	33	33	30	29	33	34	64	71	52	88	39	60	57	72	12	15	84WTK1133	84WTK1130
5190	D6R.XL	sep-12-10	26	56	55	65	N	N	54	43	16	24	8	24	40	61	61	3	51	69	48		14	27	38	21	23	60	53		65	69	8LNTK1013	5LNTK1020
5191	D6R.XL	oct-29-10	38	34	54	56	N	N	44	53	40	16	16	8	42	20	41	38	36	27	32		35	24	21	21	23	24	27		0	0	8LNTK1019	8LNTK1020
5192	D11N	oct-14-10	89	92	73	88	N	N	40	39	72	48	56	40	106	89	77	83	71	74	45	60	70	59	61	67	55	55	36	45	59	66	7PZTK1748	7PZTK1749
5207	D6H	oct-20-10	48	32	70	52	N	N	82	0	51	72	82	48	29	21	24	23	21	21	27		27	21	18	20	20	18	23		73	54	8LNTK1015	8LNTK1016
5215	D11N	oct-31-10	0	0	0	0	N	N	0	0	76	48	48	72	77	67	59	63	64	31	45	42	60	46	69	68	56	55	33	42	56	42	7PZTK1807	7PZTK1808
5216	D11N	oct-14-10	151	108	64	106	N	N	81	70	92	80	56	56	15	15	71	65	55	59	37	53	46	83	74	77	65	66	61	49	59	35	7PZTK1629	7PZTK1675
5220	D11N	oct-28-10	82	100	76	70	N	N	10	10	104	100	88	100	50	46	110	118	102	103	73	75	46	42	102	50	96	100	88	86	78	73	7PZTK1729	7PZTK1732

Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil Dtd

A las hojas topadoras se les realiza un seguimiento similar que al rodaje con ultrasonido para determinar cuándo es el momento adecuado para reparar la lamina anti desgaste de la hoja topadora.

Tabla 42. Mediciones de Desgaste de los componentes en las hojas topadoras

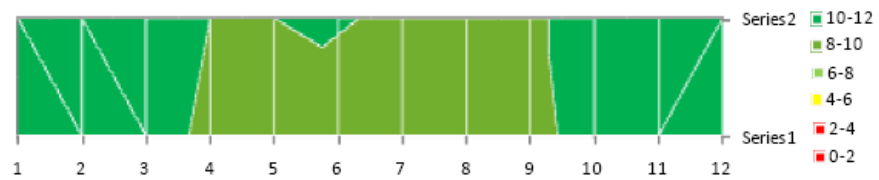
PUNTOS PARA TOMA DE INFORMACION



VALORES OBTENIDOS EN (mm)

												C4
												C3
12	12	11,9	10	10	10,1	9,8	9,5	9,2	12	12	12	C2
11,3	12	12	9	9,7	9,4	8,8	8,8	8,5	12	12	11,9	C1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

GRAFICA DE DESGASTE EN HOJA TOPADORA



PORCENTAJE DE DESGASTE

												C4
												C3
0,0%	0,0%	0,8%	16,7%	16,7%	15,8%	18,3%	20,8%	23,3%	0,0%	0,0%	0,0%	C2
5,8%	0,0%	0,0%	25,0%	19,2%	21,7%	26,7%	26,7%	29,2%	0,0%	0,0%	0,8%	C1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Fuente: Planeación de Mantenimiento Equipo Móvil DItD

CONCLUSIONES

- El Proceso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM realizado conjuntamente con personal de producción y mantenimiento constituye una herramienta fundamental para definir una estrategia eficaz de mantenimiento y así poder alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad de los equipos de una flota, reduciendo la probabilidad de falla en la operación y garantizando que cuando el equipo llegue al taller se le realicen solamente las tareas de mantenimiento mínimas necesarias, optimizando así también los recursos de la flota.
- El Análisis de Modos de Fallas y sus efectos del RCM permite tener una información precisa de las causas de las fallas y su importancia, en el caso de los tractores D11N las fallas de motor y las fallas en el sistema eléctrico son las que más impactan en la confiabilidad de estos equipos, el analizar cuáles son las causas de estas fallas es lo que permite con el Diagrama Lógico de Decisiones de RCM definir tareas de mantenimiento específicas para poder eliminarlas.
- Además del proceso de RCM se definieron indicadores de gestión que permitirán medir la calidad de los trabajos de mantenimiento, el mejor indicador para medir la confiabilidad es el tiempo promedio entre paradas (MTBS) un incremento en el MTBS indica un incremento en la confiabilidad del equipo y una mejora en la calidad de los trabajos de mantenimiento.
- El proceso de RCM por sí solo no asegura el logro de las metas de mantenimiento se hace necesario involucrar a todas las personas del grupo de mantenimiento, Líderes, Planeadores, Supervisores y técnicos para que con una visión clara de los objetivos y unas auditorías constantes a cada una de las estrategias implementadas para que se puedan alcanzar los objetivos propuestos.

BIBLIOGRAFIA

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

CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor Service Training, System Operation and testing and Adjusting. Prioria: Caterpillar Inc. 1984. 90p.

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.

MOUBRAY. Jhon. 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.