

**PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN CONDICION PARA
TREN DE RODAJE DE TRACTORES SOBRE ORUGAS CAT**

ELKIN GABRIEL VALBUENA NOVOA

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

2013

**PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN CONDICION PARA
TREN DE RODAJE DE TRACTORES SOBRE ORUGAS CAT**

ELKIN GABRIEL VALBUENA NOVOA

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

**Director:
ING. RICARDO DUARTE
Esp. Administración de Empresas**

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

2013

DEDICATORIA

Este nuevo título se lo dedico a mis padres, pilares fundamentales en mi vida, sin ellos jamás hubiese podido alcanzar cada uno de mis logros. Su coraje, tenacidad y responsabilidad han hecho de ellos un gran ejemplo a seguir y destacar, sin dejar a un lado la ternura, cariño y amor que siempre me han brindado, estos valores formaron mi personalidad y forjaron mi carácter.

También dedico este título a la razón de vivir, mi angelito Juan José, su sonrisa me recargaba de energía en las noches en las que debía sentarme a estudiar después de una larga jornada de trabajo, por ti este logro fue posible.

No puedo olvidar a mi esposa, la mujer que me dio el título más importante de mi vida, el de ser padre. La compañera inseparable en cada jornada de estudio, la que con un tierno beso me recordaba que no estaba solo en este camino, la que siempre creyó en mí y me apoyó en los momentos de declive y cansancio.

A ellos les dedico este proyecto, pues sin ellos nunca lo hubiese logrado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme alcanzar este nuevo logro personal, por llenarme de bendiciones y siempre estar a mi lado dándome un empujón y brindándome paz y felicidad. Gracias señor por todos los dones recibidos y por regalarme un montón de ángeles para que me acompañen los cuales llamo familia.

A la Universidad Industrial de Santander y su prestigioso cuerpo docente, por permitirme formar parte de la familia UIS.

Al Ing. Ricardo Duarte director de la monografía por su apoyo y amistad.

A los compañeros de la Especialización, los cuales hicieron que este camino fuera más fácil de recorrer.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	20
1. ASPECTOS GENERALES.....	23
1.1 CATEPILLAR.....	23
1.2 HISTORIA.....	24
1.3 LOS ORIGENES.....	26
1.4 NACIMIENTO DE CATERPILLAR.....	29
1.5 ALTOS Y BAJOS FINANCIEROS.....	31
1.6 EL NUEVO SIGLO.....	32
1.7 LA COMPAÑÍA HOY.....	33
2. MAQUINARIA PESADA.....	35
2.1 MAQUINARIA PARA MOVIMIENTO DE TIERRA.....	35
2.1.1 Cargador:.....	35
2.1.2 Tractor.....	37
2.1.3 Motoniveladora.....	38
2.2 MAQUINARIA PARA EXCAVACION.....	39
2.2.1 Retroexcavadora:.....	39
2.2.3 Excavadora Frontal.....	42
2.2.2 Retrocargadora:.....	42
2.3 MAQUINARIA PARA TRANSPORTE DE MATERIAL.....	43
2.3.1 Camión Articulado.....	43
2.3.2 Camión Rígido.....	43
3. TRACTOR DE ORUGAS.....	45

3.1 HISTORIA.....	45
3.2 COMPONENTES DE OPERACIÓN PRINCIPALES DE LOS TRACTORES...	47
3.2.1 Motor:.....	47
3.2.1.1 Sistema de Combustible:	49
3.2.1.2 Sistema de Admisión y Escape:.....	50
3.2.1.3 Sistema de Lubricación.....	51
3.2.1.4 Sistema de Refrigeración.....	51
3.2.2 Tren de Potencia.....	52
3.2.2.1 Convertidor de Torque:	53
3.2.2.2 Engranaje y Corona	53
3.2.2.3 Servo transmisión	54
3.2.2.4 Paquete de Dirección y Freno.....	56
3.2.2.5 Mando Final	57
3.2.3 Sistema hidráulico:.....	58
3.2.4 Sistema eléctrico.....	59
3.3 TIPOS DE TRACTORES	60
3.3.1 Por el Tipo de componente usado para desplazarse	60
3.3.1.1 De Orugas.....	60
3.3.1.2 De ruedas	60
3.3.2 Por la forma en que mueve su hoja	60
4. TREN DE RODAJE PARA TRACTORES	62
4.1 TIPOS	62
4.1.1 Rodaje Oval	62
4.1.2. Rodaje de Rueda Elevada	63
4.2 COMPONENTES.....	64
4.2.1 Cadenas.....	65
4.2.1.1 Sección de la cadena.....	66
4.2.1.2 Eslabón de cadena	67
4.2.1.3 Pasadores y bujes	67

4.2.1.4 Armado de una sección de cadena.....	67
4.2.1.5 Pasador de la siguiente sección de cadena.....	67
4.2.2 Zapatas.....	67
4.2.3 Segmento de rueda motriz:.....	68
4.2.4 Conjunto de rueda motriz.....	68
4.2.5 Rodillo inferior.....	68
4.2.6 Rodillo superior.....	69
4.2.7 Rueda guía.....	70
4.2.8 Sellos.....	71
4.2.9 Arandelas de resorte Belleville.....	71
4.2.10 Sellos anulares.....	71
4.2.11 Eslabón maestro dividido.....	72
4.2.12 Pasador maestro y buje maestro.....	73
4.2.13 Barra compensadora (de pivote):.....	73
4.3 VARIABLES QUE AFECTAN LA VIDA UTIL DEL TREN DE RODAJE.....	74
4.3.1 Variables controlables.....	74
4.3.1.1 Ajuste de la cadena.....	75
4.3.1.2 Ancho de zapatas.....	76
4.3.1.3 Alineación.....	76
4.3.1.4 Consideraciones generales acerca de los problemas, síntomas, causas, efectos soluciones de la alineación.....	79
4.3.2 Variables no controlables.....	80
4.3.2.1 Condiciones del terreno.....	80
4.3.2.2 Compactación de material:.....	82
4.3.2.3 Otras variables ambientales.....	84
4.3.3 Variables Controladas Parcialmente.....	87
4.3.3.1 Velocidad.....	87
4.3.3.2 Giro:.....	88
4.3.3.3 Patinaje de las cadenas.....	88
4.3.3.4 Empuje con la hoja por un solo lado y otros trabajos.....	88

4.4 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION PARA TREN DE RODAJE.....	89
5. ASPECTOS GENERALES DE MANTENIMIENTO.....	93
5.1 QUE ES MANTENIMIENTO?	93
5.2 CLASE DE MANTENIMIENTO	94
5.2.1 Mantenimiento correctivo (MC):.....	94
5.2.2 Mantenimiento Preventivo (PM):.....	94
5.2.3 Mantenimiento Productivo Total (TPM):.....	94
5.2.4 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (RCM).....	95
5.2.5 Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	96
5.3 ORGANIZACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO PARA TRACTORES	97
5.3.1 Diagnostico	97
5.3.2 Plan de mantenimiento aplicado actualmente a los tractores	97
5.3.2.1 PM1 cada 250 horas.....	98
5.3.2.2 PM2 cada 500 horas	98
5.3.2.3 PM3 cada 1000 horas.....	98
5.3.2.4 PM4 cada 2000 horas.....	99
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	100
6.1 OBJETIVOS.....	102
6.1.1Objetivo General.....	102
6.1.2 Objetivos Específicos.....	102
6.2 PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	103
6.2.1 Análisis Información de los Clientes	104
6.2.1.1 Impregilo	104
6.2.1.2 Conalvias	106
6.2.1.3 Consol.....	109
6.3 ANALISIS DE INFORMACION	111
6.3.1 Disponibilidad actual	117
6.3.2 Aumento de la Disponibilidad.....	118

6.4 ANALISIS ECONOMICO	121
6.5 ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO	123
6.6 RUTINA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA.....	125
6.6.1 Inspección Pre operacional diaria	125
6.6.1.1 Limpieza del tren de Rodaje	125
6.6.1.2 Tensión de la cadena.....	126
6.6.2 Mantenimiento Preventivo.....	127
6.6.2.1 PM1 cada 250 horas	127
6.6.2.2 PM2 cada 500 horas	127
6.6.2.3 PM3 cada 1000 horas.....	127
6.6.2.4 PM4 cada 2000 horas.....	128
6.6.3 Entrenamiento del Personal.....	128
7. CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFIA.....	131
ANEXO	133

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Logo actual de la compañía.....	23
Figura 2. Primera cosechadora a vapor.....	25
Figura 3. Primera fábrica caterpillar	26
Figura 4. Boceto del primer tractor.....	27
Figura 5. Diseño de holt en funcionamiento.....	27
Figura 6. Tanque primera guerra mundial.....	28
Figura 7. Tractor caterpillar trabajando en cantera	29
Figura 8. Primera motoniveladora caterpillar	30
Figura 9. Placa de identificación motores cat-acert	33
Figura 10. Dealers cat en los últimos cinco años.....	34
Figura 11. Tractor a vapor sobre ruedas.....	45
Figura 12. Primer tractor sobre orugas caterpillar	46
Figura 13. Primer tractor sobre orugas diésel.....	47
Figura 14. Vista izquierda de motor	48
Figura 15. Vista derecha del motor	48
Figura 16. Sistema de combustible.....	50
Figura 17. Sistema de admisión y escape	50
Figura 18. Sistema de lubricación.....	51
Figura 19. Sistema de refrigeración	52
Figura 20. Esquema tren de potencia	52
Figura 21. Convertidor de torque	53
Figura 22. Engranaje de transferencia y corona	54
Figura 23. Transmisión.	56
Figura 24. Paquete de dirección y freno	57
Figura 25. Mando final	58

Figura 26. plano hidráulico implementos	59
Figura 27. Sistema de carga.....	59
Figura 28. Tractor tildozer-anglodozer	61
Figura 29. Rodaje oval.....	63
Figura 30. Tren de rodaje rueda elevada.....	64
Figura 31. Componentes del tren de rodaje.....	65
Figura 32. Relación abrasión-impacto	66
Figura 33. Armado de cadena.....	66
Figura 34. Eslabón maestro.....	72
Figura 35. Correcta tensión en la cadena	76
Figura 36. Medición de la cadena con ultrasonido.....	90
Figura 37. Medición de bujes y pasadores	90
Figura 38. Medición de zapatas.....	91
Figura 39. Medición de rueda guía.....	91
Figura 40. Medición rodillo superior	92
Figura 41. Medición rodillo inferior	92
Figura 42. Vida útil promedio del tren de rodaje en los proyectos de la zona	104
Figura 43. Proyecto hidroeléctrico sogamoso	105
Figura 44. Participación de los equipos en hidrosogamoso.....	106
Figura 45. Proyecto embalse rio tona	107
Figura 46. Participación de los equipos en el embalse rio tona	107
Figura 47. Proyecto vías sustitutivas hidrosogamoso	108
Figura 48. Participación de los equipos de vías sustitutivas	109
Figura 49. Proyecto ruta del sol	110
Figura 50. Participación de los equipos de ruta del sol tramo ii	110
Figura 51. Cantidad de fallas en los tractores de hidrosogamoso 2011-2012	112
Figura 52. Cantidad horas down de los tractores de hidrosogamoso 2011-2012	112
Figura 53. Diagrama de pareto fallas por sistemas del tractor, 2011-2012.....	113
Figura 54. Diagrama de pareto horas down por sistema del tractor	114
Figura 55. Diagrama de pareto fallas por componentes del rodaje, 2011-2012	115

Figura 56. Diagrama de pareto horas down del equipo por rodaje	116
Figura 57. Diagrama de pareto costos por fallas en el rodaje.....	116
Figura 58. Diagrama de pareto fallas por sistemas del tractor, 2012-2013.....	120
Figura 59. Diagrama de pareto horas down por sistema del tractor, 2012-2013	120
Figura 60. Tren de rodaje sin limpiar	125
Figura 61. Medidas para la tensión de cadena	126
Figura 62. Medición de la tensión de la cadena.....	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones de cargadores compactos	36
Tabla 2. Especificaciones de cargadores medianos/grandes	37
Tabla 3. Especificaciones tractor de orugas	38
Tabla 4. Especificaciones motoniveladoras	39
Tabla 5. Especificaciones mini-excavadoras	40
Tabla 6. Especificaciones retroexcavadoras de orugas.....	41
Tabla 7. Especificaciones retroexcavadora de ruedas.....	41
Tabla 8. Especificaciones excavadoras frontal	42
Tabla 9. Especificaciones retrocargadora	42
Tabla 10. Especificaciones camión articulado	43
Tabla 11. Especificaciones camión rígido	44
Tabla 12. Fallas por alineación del bastidor.....	77
Tabla 13. Fallas por alineación de la rueda guía	78
Tabla 14. Fallas por alineación de la rueda motriz.....	78
Tabla 15. Efecto de las condiciones del terreno sobre el tren de rodaje.....	86
Tabla 16. Tractores presentes en hidrosogamoso.....	106
Tabla 17. Tractores presentes en el embalse rio tona	108
Tabla 18. Tractores presentes en vías sustitutivas	109
Tabla 19. Tractores presentes en vías sustitutivas	110
Tabla 20. Hoja de vida de los equipos de hidrosogamoso.....	111
Tabla 21. Fallas y horas down por sistema del tractor 147-01, 2011-2012.....	113
Tabla 22. Fallas, costos y horas down debido al rodaje	115
Tabla 23. Fallas y horas down del equipo periodo 2012-2013.....	120
Tabla 24. Costos del equipo de ultrasonido.....	121
Tabla 25. Costos hora hombre para la implementación del cbm	122

Tabla 26. Costos fijos por la operación del tractor	122
Tabla 27. Costos de filtración para las horas ganadas por la implementación	122
Tabla 28. Costos/ahorros de implementación del plan	124

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A INFORME DE INSPECCIÓN CTS	133

RESUMEN

TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN CONDICION PARA TREN DE RODAJE DE TRACTORES SOBRE ORUGAS CAT*

AUTOR: ELKIN GABRIEL VALBUENA NOVOA**.

PALABRAS CLAVES: CATERPILLAR, TRACTOR, TREN DE RODAJE, MANTENIMIENTO PROACTICO, MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: La presente monografía se desarrolla en base a la importancia e incidencia que los tractores sobre orugas tiene en las diferentes etapas de los proyectos que involucran remoción de tierra.

Con la implementación del plan se consigue una gran reducción en los costos de mantenimiento y en los tiempos de parada del equipo, de igual forma se consigue aumentar la vida útil del componente, la disponibilidad y confiabilidad del equipo, los cuales son factores claves para rentabilidad de un proyecto y el cumplimiento del presupuesto de la gerencia de mantenimiento.

El éxito del plan propuesto depende en gran medida de los operadores de los equipos ya que la mayor parte de las fallas que aumentan el desgaste prematuro del componente están asociadas a variables denominadas "Controlables" las cuales dependen en su mayoría a técnicas de operación y cuidado básicos del componente. Realizando capacitación y sensibilización a los operadores se puede conseguir desarrollar un espíritu proactivo en los mismos y conseguir mitigar las fallas originadas por operación incorrecta del equipo.

La inclusión de la tecnología basada en condición del ultrasonido nos garantiza poder monitorear el desgaste que se está presentando en los diferentes componentes del tren de rodaje, detectando si el desgaste es excesivo, la causa que lo genera y de esta manera tomar acciones correctivas a tiempo, las cuales me disminuyan el impacto negativo generado por la falla del componente. Esta técnica me permite programar la parada del equipo, solicitar repuestos y destinar los recursos para el mantenimiento del componente, reduciendo de manera drástica los tiempos de parada del equipo.

El análisis costo/beneficio demuestra que el plan es económicamente viable, con una pequeña inversión en equipos y capacitación se logra disminuir los costos inherentes a mantenimiento del tren de rodaje.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización Gerencia de Mantenimiento, Director Ingeniero Ricardo Duarte

SUMMARY

TITLE: PROACTIVE CONDITIONED BASED MAINTENANCE PLAN FOR TRACTOR RUNNING GEAR OVER A CAT TRUCK^{*}.

AUTHORS: ELKIN GABRIEL VALBUENA NOVOA^{**}.

KEYWORDS: CAT TRUCK, RUNNING, RUNNING GEAR, MAINTENANCE, PROAC PROACTIVE, CONDITIONED BASED MAINTENANCE.

SUBJECT OR DESCRIPTION: This research monograph is developed based on the importance and incidence that trucks have over a cut truck, in the different steps in the projects that involve ground removal.

Introducing plan helps to achieve lower maintenance costs and downtimes. Also it helps to increase the entire lifetime component, the equipment's availability and reliability; all are key factors for profitability project and assures the maintenance management budget accomplishment

A successful plan's Budget depends on the machinery operators due to the fact that the premature wear failures are associated with manageable variables which are mainly dependent on operating techniques and detailed management of the device. Developing training and increasing sensitivity will develop proactivity and a considerable reduction on the personnel's incorrect operation.

Integrating ultra-scan conditioned based technology allows monitoring on the different components running gear's wear, by identifying whether the wear is excessive or not, which is its cause and using corrective actions. This technique permits further information on the maintenance process with respect to maintenance notifications, maintenance costs incurred, ordering of spare parts, and so on, reducing the equipment downtimes.

A cost – benefit assessment shows that this kind of plan is highly viable, because with low investment in machinery and training, costs related to running gear maintenance can be reduced.

^{*} Monograph

^{**} School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Ricardo Duarte, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

Toda la maquinaria por sencilla o compleja que sea necesita mantenimiento. El desarrollo de este depende de una gran cantidad de variables, como lo son la complejidad del equipo, la criticidad del mismo, los recursos disponibles con los que se cuenta tanto materiales como humanos, localización de los equipos, tipo y programa de mantenimiento a aplicar entre otras. A lo largo de los años y paralelamente al desarrollo tecnológico y evolutivo de la maquinaria, el mantenimiento se ha visto forzado a evolucionar. Así pues, se inició con el desarrollo de prácticas incipientes de mantenimiento correctivo, pasando por los diferentes tipos de mantenimiento como preventivo, predictivo, basado en condición, TPM, mantenimiento proactivo y mantenimiento clase mundo. Esta investigación toma técnicas de mantenimiento basado en condición y las complementa con la filosofía del mantenimiento proactivo buscando aumentar la disponibilidad y asegurar el cumplimiento de la vida útil del tren de rodaje de tractores sobre orugas Caterpillar.

El crecimiento de la población mundial induce la ejecución de mega obras civiles y de construcción, así mismo el aumento en la explotación minera a gran escala con el fin de cubrir las necesidades energéticas y de infraestructura de esta creciente sociedad. El desarrollo de estos proyectos conlleva grandes movimientos de tierra, los cuales hacen necesaria la utilización de gigantesca y numerosa maquinaria para la mayoría de las etapas del mismo.

Estos equipos trabajan bajo condiciones extremas tanto ambientales como de operación, esto significa que para garantizar la disponibilidad de los equipos se debe contar con un programa de mantenimiento acorde a estos requerimientos.

Solo con la implementación de un programa de mantenimiento proactivo basado en condición se puede garantizar el desempeño esperado del tren de rodaje, reduciendo los costos de mantenimiento al aumentar la disponibilidad del equipo y reducir los tiempos de parada.

Esta monografía se realizó netamente en campo y se presenta de una manera clara y sencilla de tal manera que sea fácil de implementar.

El desarrollo de esta monografía inicia con una reseña histórica de la empresa CATERPILLAR líder mundial en la construcción de maquinaria pesada, sus orígenes, su desarrollo y su actualidad. Se describen brevemente los equipos distribuidos por CAT más usados en los proyectos que involucran movimiento de tierra.

Se dedica un capítulo al Tractor de orugas CAT en el cual se explica su funcionamiento, tipos, aplicaciones y componentes principales, con el fin de orientar a los no conocedores de estos equipos sobre su funcionamiento e importancia en los proyectos.

El cuarto capítulo se centra en el componente que dio origen a esta investigación, el tren de rodaje, realizando la definición del mismo, tipos, partes que lo componen, tipos de fallas presentes.

En el quinto capítulo se define brevemente mantenimiento y los tipos de mantenimiento.

En el sexto capítulo se realiza el planteamiento del problema la investigación en campo realizando la recolección de información de los equipos que trabajan en tres de los proyectos de infraestructura más grandes del país, Ruta del Sol. Hidroeléctrica Sogamoso y embalse del Rio Toná. Se toma como muestra para la

implementación del plan uno de los tractores D8T del proyecto Hidrosogamoso, se realiza el análisis de las fallas presentadas en el equipo por componentes en el periodo de Julio del 2010 al Julio del 2011, de igual forma se procede a analizar las falla que se presentaron en el tren de rodaje específicamente y se realiza cálculo de la disponibilidad del equipo en ese periodo.

En el capítulo siete se realiza análisis costo beneficio de la implementación del plan, se hace énfasis en este aspecto ya que este es el que desean ver los gerentes.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 CATEPILLAR¹

Figura 1. Logo actual de la compañía



Fuente: www.dealercat.com

Caterpillar Inc. es una compañía Estadounidense enfocada en la fabricación de maquinaria agrícola e industrial.

Bastante reconocida por sus equipos de color amarillo y negro, Caterpillar es comúnmente referida como “CAT”, la marca número uno a nivel mundial en la fabricación de maquinaria pesada y la segunda marca más reconocida del mundo después de coca cola.

Su desarrollo ha impulsado a la industria a crecer exponencialmente. Iniciándose a comienzos del siglo XX desarrollando las orugas por medio de avances en vehículos propulsados a vapor y gasolina, Caterpillar ha sido un importante actor en el mejoramiento de equipo industrial. En la actualidad produce más de 300 diferentes tipos de maquinaria agrícola e industrial.

¹ CATERPILLAR. Reseña histórica Caterpillar. [en línea] disponible en:< www.caterpillar.com> [citado el 25-08-13]

El éxito ha permitido que la compañía se expanda al mundo entero, con cerca de 400 operaciones en 40 países. Caterpillar posee cerca de 95,000 empleados, 100,000 comerciantes empleados, y miles de abastecedores negociando en todos los continentes. De hecho, más de la mitad de las ventas de la compañía son realizadas afuera de los Estados Unidos.

1.2 HISTORIA

En sus 88 años de historia, Caterpillar se ha convertido en “la productora más grande de equipo minero y de construcción, de motores diésel y a gas natural, y de motores de turbina de gas industriales en todo el mundo”.

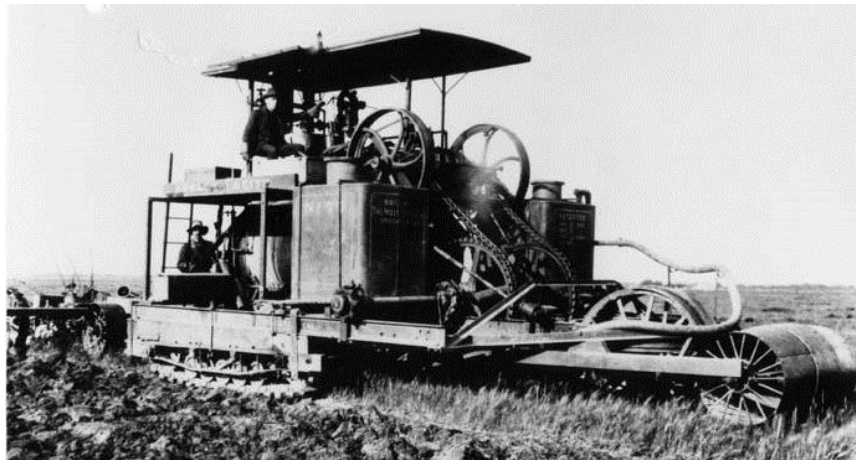
Los dos pioneros de la compañía, Benjamín Holt y Daniel Best, desde finales del Siglo XIX comenzaron a desarrollar máquinas por separado en California. En 1859, Best se trasladó al oeste después de sus dos hermanos que trabajaban en maizales. Once años después, Best diseñó su primer exitoso grain cleaner portátil. Como resultado, para poder producir grain cleaners y otros equipos que había desarrollado, incluyendo las cosechadoras en el 1885, estableció fábricas en California y Oregón.

Benjamín Holt llegó a California en 1864 y junto a sus tres hermanos formó la compañía Stockton Wheel Co. Al comienzo, la compañía se enfocó por completo en la producción de ruedas de madera con la esperanza de entrar a la industria automotriz. Sin embargo, después de presenciar el éxito y la versatilidad de la cosechadora, la compañía decidió entrar al negocio del mercado agrícola. La primera cosechadora de Holt fue fabricada en 1886.

De todas formas, la innovación más grande en agricultura estaba por llegar: el motor de tracción a vapor. El trabajo a caballo en granjas era extremadamente

costoso. Algunas haciendas en California requerían hasta 150 caballos, y el costo para alimentarlos y refugiarlos no era barato. Dándose cuenta de este hecho, Best entendió el potencial del motor de tracción a vapor para su uso en las granjas. Por consiguiente, compró los derechos para vender el motor Remington “Rough and Ready” en la costa del Oeste. Los nuevos motores a vapor eran capaces de remolcar los accesorios que Best había desarrollado.

Figura 2. Primera cosechadora a vapor



Fuente: www.caterpillar.com

Holt también reconoció el mercado que había para el motor a vapor. En poco tiempo ambos estaban en directa competencia el uno con el otro. El ámbito competitivo proporcionó el entorno perfecto para continuos avances.

1.3 LOS ORIGENES

Figura 3. Primera fábrica CATERPILLAR

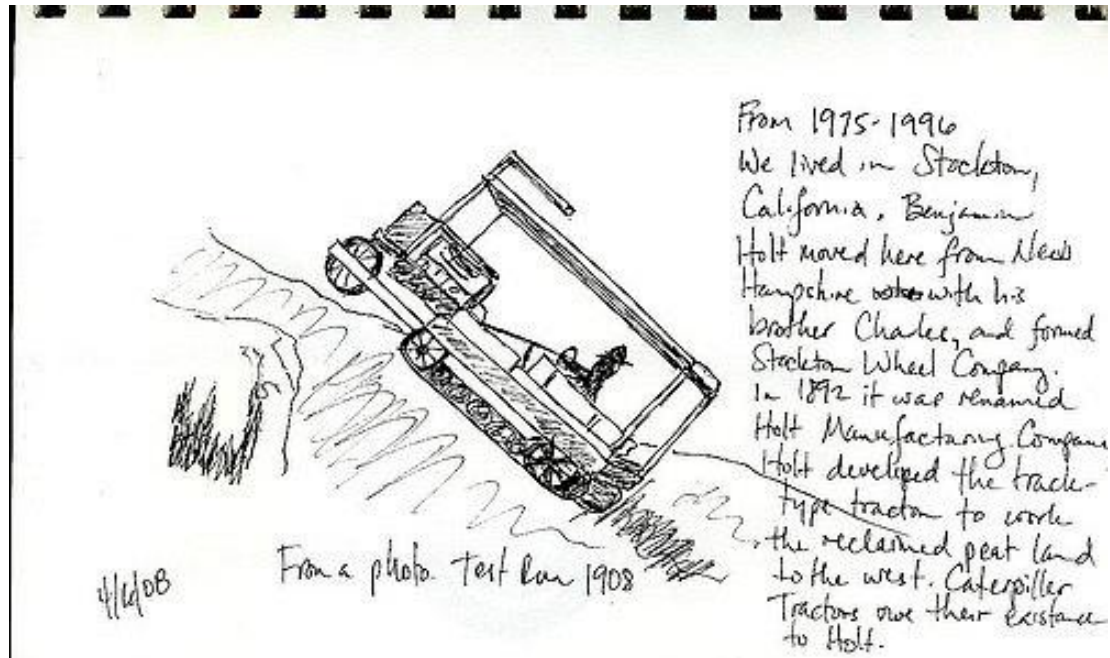


Fuente: www.caterpillar.com

Años después de haberse visto envuelto en la agricultura de California, Holt reconoció que la tierra del Oeste era usualmente pantanosa, siendo imposible de transitar cuando estaba mojada. Consecuentemente Holt produjo en 1904 el primer tractor sobre orugas comercialmente exitoso. Basándose en el Lombard Log Hauler, se remplazaron las ruedas con orugas, lo cual extendió el peso del tractor sobre una superficie de mayor tamaño y permitiendo al vehículo transitar sobre barro y nieve. Este cambio “permitió a campesinos recuperar miles de acres de terreno que previamente habían designado inusables.” El nuevo vehículo rápidamente ganó el nombre de “Caterpillar” (oruga en español), por lo que se movía bastante parecido al insecto de mismo nombre.

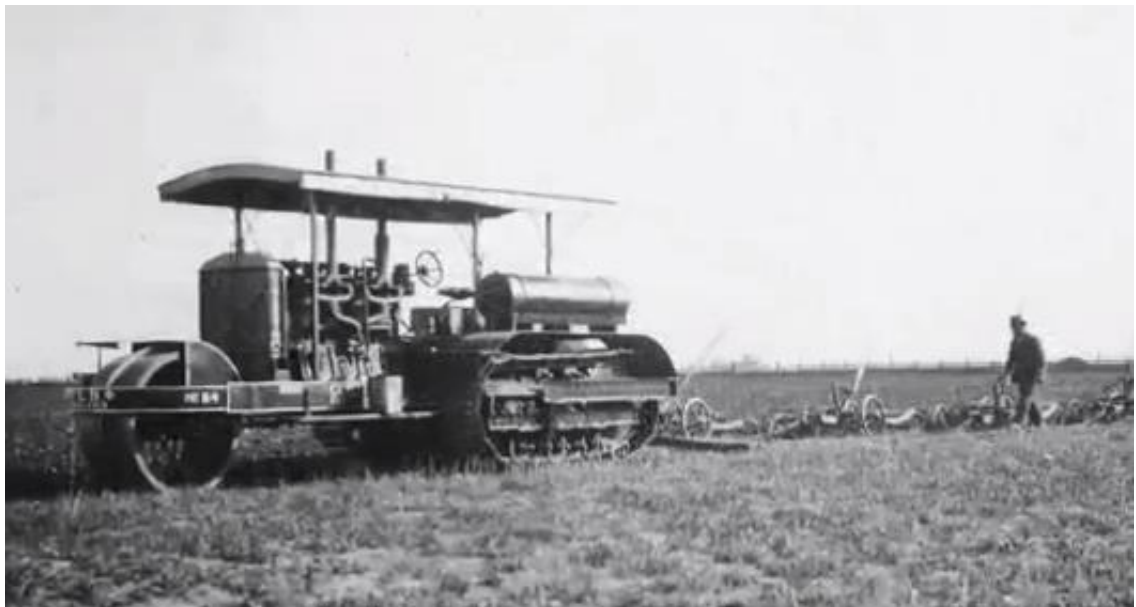
En el año 1908, Holt comenzó a fabricar orugas propulsadas a gasolina. Inmediatamente esto le proveo un considerable incremento en ventas.

Figura 4. Boceto del primer tractor



Fuente: www.caterpillar.com

Figura 5. Diseño de Holt en funcionamiento

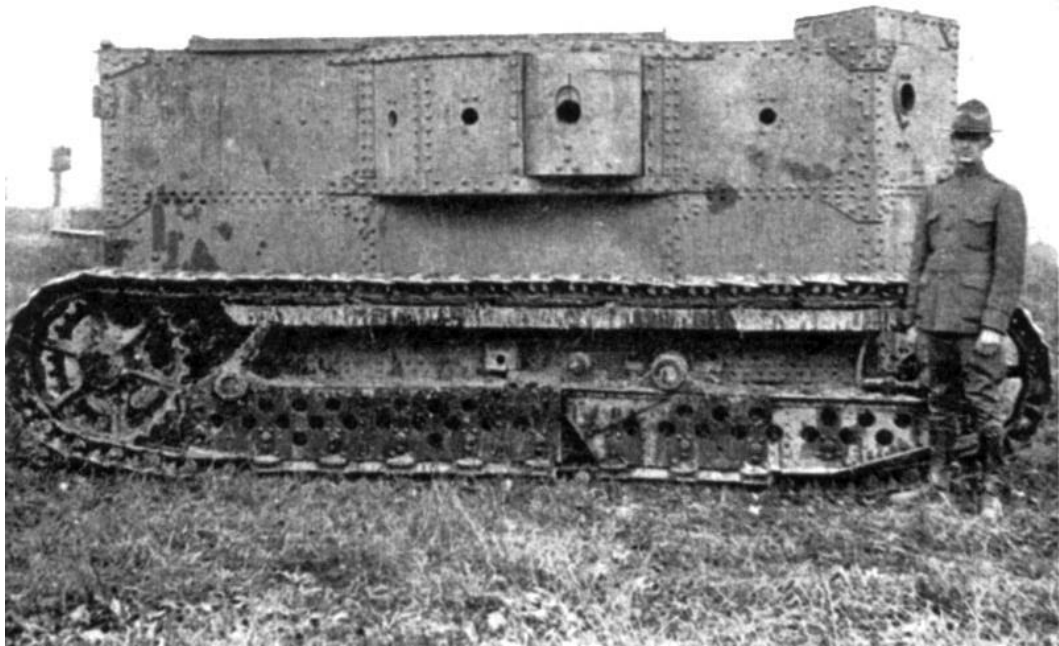


Fuente: www.caterpillar.com

En el año 1908, Daniel Best vendió su compañía a Holt Manufacturing sin embargo como parte del trato, Daniel quiso que su hijo Clarence Leo Best mantenga la presidencia en San Leandro, la cual era la instalación principal de la compañía de Best. Unos años después, C.L. Best estableció su propia compañía, llamada C.L. Best Gas Tractor Co.

Para desarrollar el tanque en la Primera Guerra Mundial, el Ejército de los Estados Unidos usó la tecnología de orugas producido por Holt.

Figura 6. Tanque primera guerra mundial



Fuente: www.caterpillar.com

Benjamín Holt falleció en 1920. Su sucesor fue Thomas A. Baxter, un ex-banquero de Boston quien en 1913 se había unido a Holt Manufacturing como Director de Negocios. Con el fin de la guerra llegaron malos momentos para ambas compañías y por consiguiente decidieron que la única manera de sobrevivir era uniéndose.

1.4 NACIMIENTO DE CATERPILLAR

En el año 1925, Holt Manufacturing Co. Y C.L. Best Gas Tractor Co. Se fusionaron para formar Caterpillar Inc. La sede quedaba en Peoria, Illinois; C.L Best sirvió como el primer Presidente de la Junta Directiva en la compañía.

En el año 1929, Caterpillar había alcanzado ventas de 52 millones de dólares, pero se vio afectada por la Gran Depresión. Sin embargo, por lo que se había expandido mundialmente, incluyendo instalaciones en la Unión Soviética, fue capaz de mantenerse a flote. Caterpillar tuvo que luchar durante comienzos de los años treinta, pero eventualmente mejoró la situación.

A pesar de los contratiempos de los treinta, Caterpillar continuó implementando tecnología innovadora que era notable primordialmente en tractores propulsados a diésel. “En 1933, la producción de Diésel de Caterpillar era el doble de la cantidad producida por todas las otras empresas en los Estados Unidos combinadas”.

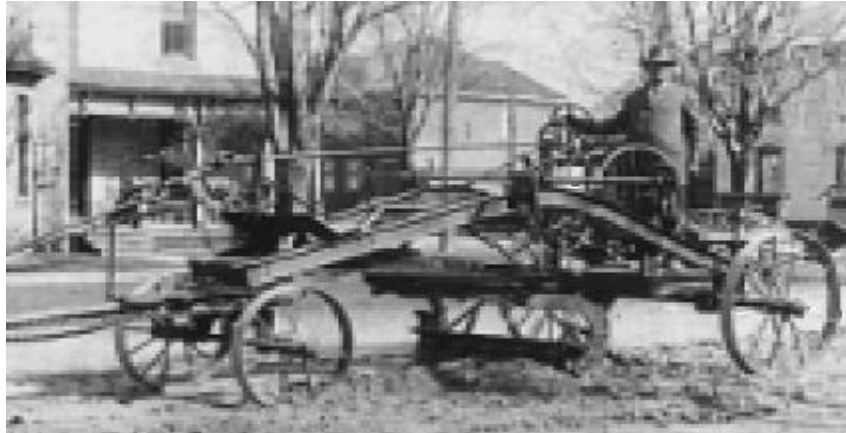
Figura 7. Tractor CATERPILLAR Trabajando en Cantera



Fuente: www.caterpillar.com

Para 1940, Caterpillar había expandido su línea de productos para incluir moto conformadoras, cuchillas, moto conformadoras de elevación, niveladoras y generating sets eléctricos.

Figura 8. Primera Motoniveladora CATERPILLAR



Fuente: www.caterpillar.com

Durante la Segunda Guerra Mundial, el Ejército de los Estados Unidos usó vehículos y tecnología CAT. Tractores Caterpillar fueron usados en zonas de combate para reparar carreteras dañadas y ayudaron a convertir el motor a gasolina del avión en un motor a diésel más fiable.

El éxito de Caterpillar permitió la expansión a mercados internacionales. Caterpillar Tractor Co. Ltd. fue establecido en Inglaterra en el año 1950, con el propósito de “manejar las bajas del cambio extranjero, aranceles, controles a la importación, y para servirle mejor a los clientes de alrededor del mundo”. La compañía también abrió sucursales en Brasil en 1954, en Australia en 1955, y en Escocia en 1956. En el año 1963, Caterpillar se unió a Mitsubishi Heavy Industries Ltd., volviéndose una de las primeras empresas conjuntas estadounidense en Japón. En el año 1965 ya habían renombrado la compañía como Shin Caterpillar Mitsubishi Ltd., y desde entonces se encaminó llegando a ser el fabricante de equipo minero y de construcción número dos en Japón.

En 1978, la expansión de Caterpillar estaba dando buenos resultados con ventas que alcanzaban los 6 billones de dólares. Sin embargo, en los ochentas CAT se vio confrontada con una recesión.

1.5 ALTOS Y BAJOS FINANCIEROS

La década comenzó bien con ventas en 1981 sobrepasando los 9 billones de dólares. El siguiente año, Caterpillar registró una baja en ventas de 65 millones de dólares debido a una recesión. Como resultado, la compañía se vio forzada a despedir un considerable número de gente y a cerrar varias instalaciones.

En 1985, la compañía contrató a un nuevo Principal Oficial Ejecutivo llamado George A Schaefer, quién decidió trasladar parte de la producción de los Estados Unidos al exterior. El alto valor del dólar Estadounidense ayudó a que este programa sea un éxito financiero. Trabajadores seguían siendo despedidos, pero la compañía obtuvo ganancias de 200 millones de dólares.

Durante el resto de los ochentas, la compañía se bamboleó entre subidas y bajadas financieras.

Al comienzo de los años noventa, Caterpillar se encontró con huelgas considerables. Los trabajadores eventualmente fueron traídos de vuelta al trabajo bajo un contrato impuesto por la compañía.

En 1993 la compañía comenzó un programa para la modernización de la fábrica, lo cual redujo el tiempo usado en procesar una parte en un 75 por ciento e inventarios en un 60 por ciento. Las nuevas instalaciones recientemente actualizadas introdujeron nuevos y mejorados productos. En 1994, las ganancias alcanzaron los 955 millones de dólares.

En Junio de 1994 Caterpillar se encontró con una serie de huelgas. En Diciembre un gran número de trabajadores regresaron al trabajo sin la promesa de un nuevo contrato.

En 1995 la compañía alcanzó por primera vez ganancias de más de 1 billón de dólares. El éxito financiero de Caterpillar continuó por el resto de los años 1990s, con ganancias alcanzando 1.66 billones de dólares en 1997.

En 1998 la compañía pareció finalmente haber superado los problemas que tuvo con los trabajadores gracias a la introducción de un nuevo contrato:

La mayoría de los observadores concordaron que la compañía ha salido adelante habiendo logrado en su mayoría las metas que se había propuesto antes de que el conflicto comenzara. Sin embargo, el sindicato logro forzar a la compañía a revocar incondicionalmente 160 obreros que por haber estado involucrados en actividades relacionadas al sindicato durante el prolongado y calamitoso periodo del conflicto habían sido despedidos.

1.6 EL NUEVO SIGLO

El comienzo del nuevo siglo fue recibido con otro problema, pero Caterpillar nuevamente fue capaz de permanecer a flote gracias a la variedad de sus posesiones. Esto no significa que la compañía no tuvo pérdidas, sino que “gracias a su mejoradas y más diversas operaciones, la compañía fue menos vulnerable a las altas y bajas cíclicas presentes en la industria de maquinaria pesada.

El Siglo XXI fue también recibido con una aumentada atención al medio ambiente. Caterpillar se convirtió en el primer fabricante de motores que ofrecía una línea completa motores diésel limpios adecuados y completamente certificados por la

Agencia de Protección Ambiental (EPA) Estadounidense. Según la página Web de Caterpillar, “el adelanto tecnológico en control de emisiones de Caterpillar, conocido como ACERT, está diseñado para cumplir con los estándares impuestos por la EPA y TIER III sin sacrificar el rendimiento, la fiabilidad o la eficiencia del combustible.

Figura 9. Placa de identificación motores CAT-ACERT



Fuente: Catalogo línea de producto CAT

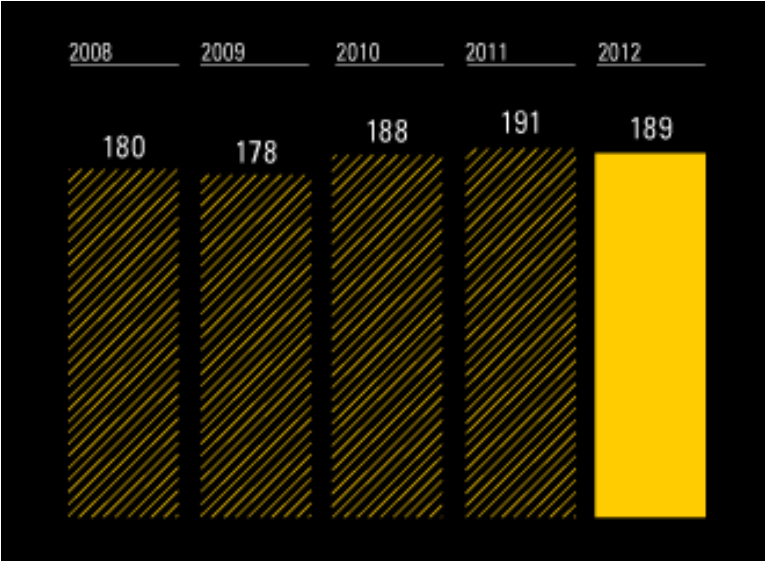
1.7 LA COMPAÑÍA HOY

Caterpillar puede ser encontrada en cualquier continente del mundo y sus grupos de productos son el número uno o dos en todas las industrias que los utilizan. Actualmente, Caterpillar está activo en una gran variedad de industrias, incluyendo la construcción, minería, diésel y motores a gas natural, generadores, turbinas a gas natural, re fabricación, logística y operaciones de servicios naturales.

El equipamiento de CAT puede ser visto en la construcción pesada o general, en minería e industria, bosques, canteras y hasta enterramiento de residuos.

Caterpillar está buscando expandirse hacia la China e India, por lo que “representan la más grande oportunidad para el crecimiento en el mercado global de equipamiento para la construcción hoy en día.”

Figura 10. Dealers CAT en los últimos cinco años



Fuente: www.dealercat.com

2. MAQUINARIA PESADA

La ley colombiana, define la maquinaria pesada como: “Maquinaria rodante de construcción o minería: Vehículo automotor destinado exclusivamente a obras industriales incluidas las de minería, construcción y conservación de obras, que sus características técnicas y físicas no pueden transitar por las vías de uso público o privadas abiertas al público.”.²

Son máquinas de gran envergadura y peso considerable, las cuales son utilizadas para la elaboración de todo tipo de obra desde construcción urbana y rural, explotación del suelo, hasta proyectos que desafían el genio del ser humano como hidroeléctricas, túneles, etc.

2.1 MAQUINARIA PARA MOVIMIENTO DE TIERRA

Como su nombre la indica su vocación es la de realizar movimientos relativamente cortos de material ya sea cargándolo, empujándolo o esparciéndolo, los equipos de este tipo más usados son los cargadores, tractores y motoniveladoras.

2.1.1 Cargador: El cargador frontal es un equipo tractor, montado en orugas o en ruedas, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal.

Los cargadores son equipos de carga, acarreo y eventualmente excavación, en el caso de acarreo solo se recomienda realizarlo en distancias cortas.

² REPUBLICA DE COLOMBIA Ministerio de Transporte. Memorando 41490 del 19/08/2004

El uso de cargadores da soluciones modernas a un problema de acarreo y carga de materiales, con la finalidad de reducir los costos y aumentar la producción. En el caso de excavaciones con explosivos, la buena movilidad de éste le permite moverse fuera del área de voladura rápidamente y con seguridad; y antes de que el polvo de la explosión se disipe, el cargador puede estar recogiendo la roca regada y preparándose para la entrega del material.

Los cucharones del cargador frontal varían en tamaño, desde 0.19 m³ hasta más de 19.1 m³ de capacidad, colmado. El tamaño del cucharón está estrictamente relacionado con el tamaño de la máquina.

Los cargadores según su tamaño se divide en compactos, cargadores medianos y grandes, siendo los medianos los que se encuentran a partir del modelo 924 hasta el 966.

Tabla 1. Especificaciones de cargadores compactos




<i>Compact</i>						
Model	Power		Operating Weight		Bucket Capacity	
	hp	kW	lb	kg	yd ³	m ³
904B	52	39	9,810	4450	0.78	0.6
906H	69	51	12,412	5630	1.18	0.9
908H	79	58	14,252	6465	1.44	1.1
914G	95	71	17,530	7950	1.57-1.83	1.2-1.4

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

Tabla 2. Especificaciones de cargadores medianos/grandes

Wheel Loaders



Model	Power		Operating Weight		Bucket Capacity	
	hp	kW	lb	kg	yd ³	m ³
924H	128	96	25,644	11 632	2.2-3.6	1.7-2.8
924Gz	129	96	23,920	10 850	2.2-2.7	1.7-2.1
928Hz	149	111	27,699	12 564	2.6-3.0	2.0-2.3
930H	149	111	28,725	13 029	2.6-6.5	2.1-5.0
938H	197	147	33,216	15 071	3.0-4.0	2.3-3.0
950H	217	162	40,435	18 338	3.25-4.5	2.5-3.5
962H	230	172	42,700	19 365	3.5-5.0	2.7-3.8
966H	286	213	52,254	23 698	4.5-5.5	3.4-4.2
972H	311	232	55,451	25 148	5.0-6.0	3.8-4.6
980H	355	264	67,294	30 519	5.0-8.0	3.8-6.1
988H	475	354	109,230	49 546	8.2-9.2	6.3-7.0
990H	627	468	168,617	76 484	11.0-12.0	8.4-9.2
992G	800	597	209,278	94 927	15.0-16.0	11.5-12.2
994F	1,463	1092	423,064	191 899	18.5-41.0	14.0-31.0

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

2.1.2 Tractor: Máquina para movimiento de tierra con una gran potencia y robustez en su estructura, diseñado especialmente para el trabajo de corte (excavando) y al mismo tiempo empujando con la hoja (transporte).

En esta máquina son montados diversos componentes para poder ejecutar su trabajo, además debido a su gran potencia tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten.³

³ www.buenastareas.com/ensayos/Equipos-Para-La-Construccion-De-Vias

Tabla 3. Especificaciones tractor de orugas



Track-Type Tractors

Model	Power		Operating Weight		Blade
	hp	kW	lb	kg	
D3K XL*	74	55.2	17,185	7795	VPAT
D3K LGP*	74	55.2	17,842	8093	VPAT
D4K XL*	84	62.6	17,961	8147	VPAT
D4K LGP*	84	62.6	18,742	8501	VPAT
D5K XL*	96	71.6	20,741	9408	VPAT
D5K LGP*	96	71.6	21,374	9683	VPAT
D6K XL	125	93.2	28,409	12 886	VPAT
D6K LGP	125	93.2	29,690	13 467	VPAT
D6N XL†	150	111.8	36,497	16 555	VPAT, SU
D6N LGP†	150	111.8	39,112	17 741	VPAT
D6T STD	185	138	41,298	18 737	S, SU, A
D6T (XL, XW or LGP)	200	149	50,968	23 119	S, SU, A, VPAT
D7R Series 2 (STD or LGP)	240	179	60,503	27,443	S, SU, U, A
D8T*	310	231	84,850	38 488	SU, U, A
D9T*	410	306	105,600	47 900	SU, U
D10T*	580	433	146,500	66 451	SU, U
D11T*	850	634	230,100	104 590	SU, U
D11T Carrydozer*	850	634	248,600	113 000	CD


Fuente: Catalogo línea de producto CAT

2.1.3 Motoniveladora: Es una máquina muy versátil usada para mover tierra u otro material suelto. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial.

Su versatilidad está dada por los diferentes movimientos de la hoja, como por la serie de accesorios que puede tener. Puede imitar todo los tipos de tractores, pero su diferencia radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de

aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor. Debido a esto es más utilizada en tareas de acabado o trabajos de precisión.⁴

Tabla 4. Especificaciones motoniveladoras



Motor Graders

Model	Net Power				Operating Weight		Standard Blade Length	
	Standard hp	103- kW	Optional hp	103- kW	lb	kg	ft	mm
120M	138-153	103-114	138-173	103-129	31,069	14 093	12	3.7
120M AWD	138-153	103-114	138-173	103-129	32,369	14 682	12	3.7
12M	158-173	118-129	158-193	118-144	32,016	14 522	12	3.7
140M	183-198	136-148	183-218	136-163	33,356	15 130	12	3.7
140M AWD	183-198	136-148	183-218	136-163	34,656	15 720	12	3.7
160M	213-228	159-170	213-248	159-185	35,060	15 903	14	4.3
160M AWD	213-228	159-170	213-248	159-185	36,360	16 493	14	4.3
14M	259-274	193-204	259-294	193-219	47,133	21 379	14	4.3
16M	297-312	221-233	297-332	221-248	57,452	26 060	16	4.9
24M*	533	397			137,694	62 457	24	7.3

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

2.2 MAQUINARIA PARA EXCAVACION

2.2.1 Retroexcavadora: Es una máquina que se utiliza autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro, y de forma ininterrumpida) que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín, sin que la estructura portante o chasis se desplace.⁵

⁴ GALEON. Niveladora [en línea] <http://carbajalcopara.galeon.com/mniveladora.html>

⁵ MAQUINARIA LA VERA Estudio técnicos de excavadoras [en línea] <http://maquinarialavera.es/2012/07/26/estudio-tecnicos-excavadoras/>

La retroexcavadora se utiliza habitualmente en obras para el movimiento de tierras, para realizar rampas en solares, o para abrir surcos destinados al pasaje de tuberías, cables, drenajes, etc., así como también para preparar los sitios donde se asientan los cimientos de los edificios.

La máquina hunde sobre el terreno una cuchara con la que arranca los materiales que arrastra y deposita en su interior.

La retroexcavadora, a diferencia de la excavadora frontal, incide sobre el terreno excavando de arriba hacia abajo. Es utilizada para trabajar el movimiento de tierras a nivel inferior al plano de apoyo, o un poco superior a éste.

Según su tamaño y forma de desplazarse se dividen en mini-excavadoras, Retroexcavadoras de orugas y excavadoras sobre rueda.

Tabla 5. Especificaciones Mini-excavadoras




<i>Mini</i>						
Model	Net Power		Operating Weight		Max Reach/Depth	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
301.6C	18.1	13.5	3,792	1720	12'9"/17'7"	3.9/2.3
301.8C	18.1	13.5	3,935	1785	12'9"/17'7"	3.9/2.3
302.5C	24.9	18.6	6,283	2850	16'2"/19'7"	4.9/2.9
303C CR	29	22	7,837	3555	17'11"/10'6"	5.5/3.2
303.5C CR	39	29	8,620	3910	18'5"/11'4"	5.6/3.5
304C CR	42	31	10,847	4920	19'8"/12'1"	6.0/3.7
305C CR	47	35	11,729	5320	20'4"/12'9"	6.2/3.9
307C	54	41	15,895	7210	22'1"/15'3"	6.7/4.7
307C SB	54	41	18,497	8390	24'3"/15'5"	7.4/4.7
308C CR	54	41	17,725	8040	22'3"/15'5"	6.8/4.7

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

Tabla 6. Especificaciones Retroexcavadoras de orugas

Excavators




Model	Net Power		Operating Weight		Max Reach/Depth	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
311C U	79	59	26,410	11 980	26'7"/18'4"	8.1/5.6
312C	90	67	28,350	12 860	28'4"/19'10"	8.6/6.0
312C L	90	67	28,970	13 140	28'4"/19'10"	8.6/6.0
314C CR	90	67	32,190	14 610	28'4"/19'6"	8.6/6.0
314C LCR	90	67	32,590	14 810	28'4"/19'6"	8.6/6.0
315C	110	82	36,160	16 400	30'0"/21'6"	9.1/6.6
315C L	110	82	36,930	16 750	30'0"/21'6"	9.1/6.6
318C L	125	93	43,320	19 650	31'7"/22'6"	9.6/6.9
318C LN	125	93	42,660	19 350	31'7"/22'6"	9.6/6.9
320D	148	110	44,820	20 330	35'2"/25'1"	10.7/7.6
320D L	148	110	47,554	21 570	35'2"/25'1"	10.7/7.6
320D LRR	148	110	52,249	23 700	35'2"/25'1"	10.7/7.6
321D LCR	148	110	53,308	24 180	32'1"/22'0"	9.79/6.71
324D L	188	140	54,660	24 790	34'7"/24'1"	10.55/7.33
325D L	204	152	64,460	29 240	36'7"/25'8"	11.15/7.83
328D LCR	204	152	76,500	34 700	34'8"/22'8"	10.56/6.92
330D L	268	200	79,700	36 151	38'5"/26'10"	11.71/8.19
345C L	345	257	99,150	44 970	42'6"/29'3"	12.96/8.9
365C L	404	302	145,430	65 960	46'1"/31'0"	14.04/9.64
385C L	513	382	187,360	84 980	56'5"/38'7"	17.2/11.75

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

Tabla 7. Especificaciones Retroexcavadora de Ruedas

Wheel Excavators




Model	Net Power		Max Operating Weight		Max Reach*/Depth*	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	m
M313D	128	95	34,835	15 800	30'3"/18'11"	9.21/5.57
M315D	136	101	39,465	17 900	31'5"/20'0"	9.56/6.09
M316D	158	118	42,770	19 400	31'5"/20'0"	9.56/6.09
M318D**	166	124	44,313	20 100	32'1"/20'11"	9.76/6.36
M322D**	165	123	49,604	22 500	34'1"/21'11"	10.39/6.68

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

2.2.3 Excavadora Frontal: La cual se caracteriza por tener la cuchara hacia arriba. Tiene mayor altura de descarga. Útil en trabajos de minería, cuando se cargan materiales por encima de la cota de trabajo.

Tabla 8. Especificaciones Excavadoras Frontal




Front Shovels

Model	Power		Operating Weight		Bucket Capacity Range	
	hp	kW	lb	kg	yd ³	m ³
385C FS	530	390	199,739	90 600	6.0-8.5	4.6-6.5

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

2.2.2 Retrocargadora: También llamada excavadora mixta o más comúnmente conocida como pajarita, está equipada con un brazo retroexcavador en la parte trasera del equipo y un cargador en la parte frontal que lo hacen un equipo muy versátil para labores de pequeña y mediana envergadura principalmente en el área urbana.

Tabla 9. Especificaciones Retrocargadora



Backhoe Loaders


Model	Net Power		Operating Weight		Dig Depth	
	hp	kW	lb	kg	ft-in	mm
416E	74	55	14,960	6792	14'4"	4360
420E/420E IT	89	66	15,474	7025	14'4"	4360
430E/430E IT	97	72	16,066	7294	15'5"	4698
446D	102	76	19,666	8939	16'10"	5142

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

2.3 MAQUINARIA PARA TRANSPORTE DE MATERIAL

2.3.1 Camión Articulado: Camión con volc6 (cuyo nombre deriva del ingl6s to dump, descargar, volcar) para el transporte de materiales en canteras, t6neles y obras. Se mueve a velocidad limitada pero, gracias a su gran potencia y a sus reducidas relaciones de transmisi6n, consigue superar, incluso a plena carga, caminos con grandes pendientes.⁶

Tabla 10. Especificaciones camión articulado



Articulated Trucks

Model	Net Power		Operating Weight		Capacity	
	hp	kW	lb	kg	tons	m/ton
725	301	225	49,075	22 260	26	23.6
730	317	237	50,375	22 850	31	28.1
730 Ejector	317	237	56,330	25 550	31	28.1
735	419	313	69,206	31 391	36	32.7
740	436	325	72,400	32 840	42	38
740 Ejector	436	325	78,505	35 610	42	38


Fuente: Catalogo l6nea de producto CAT

2.3.2 Cami6n R6gido: Cami6n tipo volqueta de gran envergadura y capacidad usado en gran parte en miner6a a cielo abierto donde el espacio de trabajo tiene grandes dimensiones y la distancia a los botadero puede ser de varios kil6metros; lo que significa que en lugar de usar un cami6n articulado el cual realiza 3 0 4 ciclos por hora, un cami6n r6gido puede llegar a efectuarlo en uno solo, de aqu6

⁶ DICCIONARIO MOTOR GIGA Dumper [en l6nea] disponible en: <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/dumper-definicion-significado/gmx-niv15-con193920.htm>

deriva su nombre más conocido “camión minero”, este equipo se denomina off highway o fuera de vía.

Tabla 11. Especificaciones Camión Rígido



Off Highway Trucks

Model	Net Power		ton	Capacity m/ton	Top Speed	
	hp	kW			mph	km/h
770	476	355	40	36.3	46.5	74.8
772	535	399	50	45.0	49.5	79.7
773F	703	524	60	54.4	41.9	67.5
775F	740	552	70	63.5	41.9	67.5
777F	938	700	100	90.9	40.1	64.5
785C	1,348	1005	150	136.0	34.0	54.8
789C	1,771	1320	195	177.0	32.7	52.6
793D	2,337	1743	240	218.0	33.7	54.3
797B	3,370	2513	380	345.0	42.0	67.6

Fuente: Catalogo línea de producto CAT

3. TRACTOR DE ORUGAS

3.1 HISTORIA⁷

Los tractores de ruedas con propulsión a vapor fueron la maravilla en su día. Fácilmente remolcaban grandes cargas, lo cual impresionaba a mucha gente. El fracaso de estas máquinas fue que con frecuencia se atascaban en suelos blandos o barrocos cosa por otra parte habitual en los primeros años del siglo pasado en el cual no existían las infraestructuras de carreteras asfaltadas y frecuentemente los caminos estaban encharcados y deslizantes. En muchos casos se podían pasar días enteros desatascando uno de estos gigantes de su prisión de barro.

Figura 11. Tractor a vapor sobre ruedas



Fuente: www.caterpillar.com

⁷ CATERPILLAR Tractor de Oruga Reseña histórica. [en línea] disponible en: <www.caterpillar.com> [citado el 25-08-13]

En 1904 se ensayó el primer tractor de cadenas de marca Holt. La máquina cosechó un éxito rotundo trabajando en suelos blandos donde habían fracasado los tractores de ruedas. En abril de 1905 un artículo periodístico decía: "La compañía Holt adaptó una máquina de tracción de vapor con las nuevas ruedas de cadenas sin fin y la envió a la isla Roberts donde la vegetación había sido quemada profundamente y donde las máquinas no podían operar a causa de las características blandas del suelo. En un lote de tierra donde un hombre no podía caminar sin hundirse hasta las rodillas y donde los caballos herrados tampoco se podían usar, la nueva máquina se operó sin causar una perceptible impresión sobre el suelo. Este lote de terreno había sido totalmente inservible para cultivar durante años porque no se había descubierto la forma de ararlo, pero la máquina con ruedas de plataforma volvió a convertir esta tierra en provechosa".

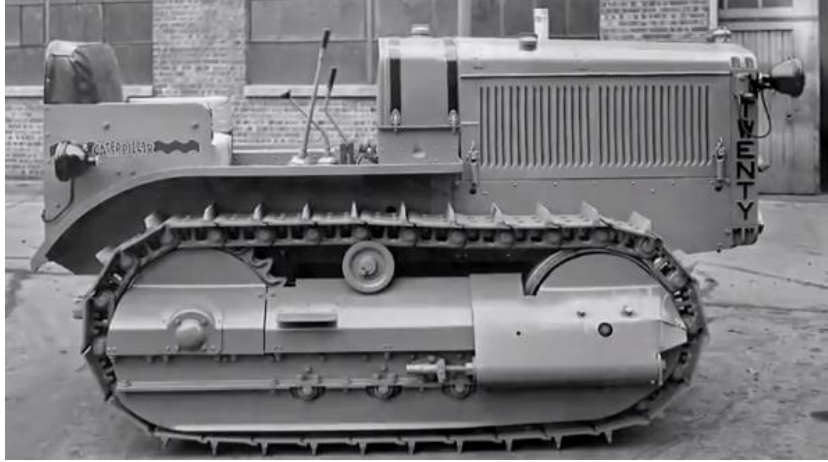
Figura 12. Primer tractor sobre orugas CATERPILLAR



Fuente: www.caterpillar.com

En los años treinta Caterpillar lanza al mercado su tractor de oruga con motor diésel, el cual no se diferencia mucho de los existentes actualmente.

Figura 13. Primer tractor sobre orugas diésel



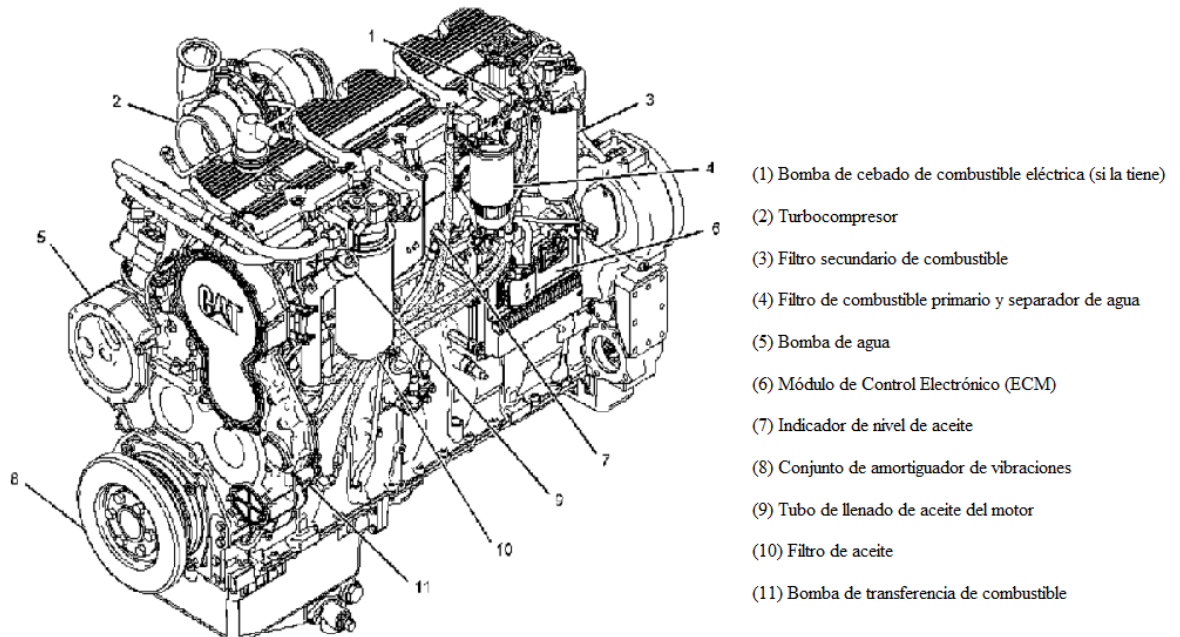
Fuente: www.caterpillar.com

3.2 COMPONENTES DE OPERACIÓN PRINCIPALES DE LOS TRACTORES⁸

3.2.1 Motor: El motor es la unidad que provee la potencia necesaria para que la máquina pueda funcionar y hacer el trabajo para el cual fue diseñado. El motor es una máquina de combustión interna; en lo que respecta específicamente al motor Diésel, su ignición es por compresión. El combustible se quema dentro del cilindro y al expandirse los productos gaseosos de la combustión hacen posible que el pistón se mueva dentro del cilindro del punto muerto superior al inferior, desplazando la biela y esta a su vez el cigüeñal. El movimiento lineal obtenido en el cilindro por el pistón es transferido al cigüeñal donde es transformado en movimiento giratorio, el cual es el utilizado para producir trabajo. Entonces se dice que el motor es una máquina que transforma la energía térmica en energía mecánica.

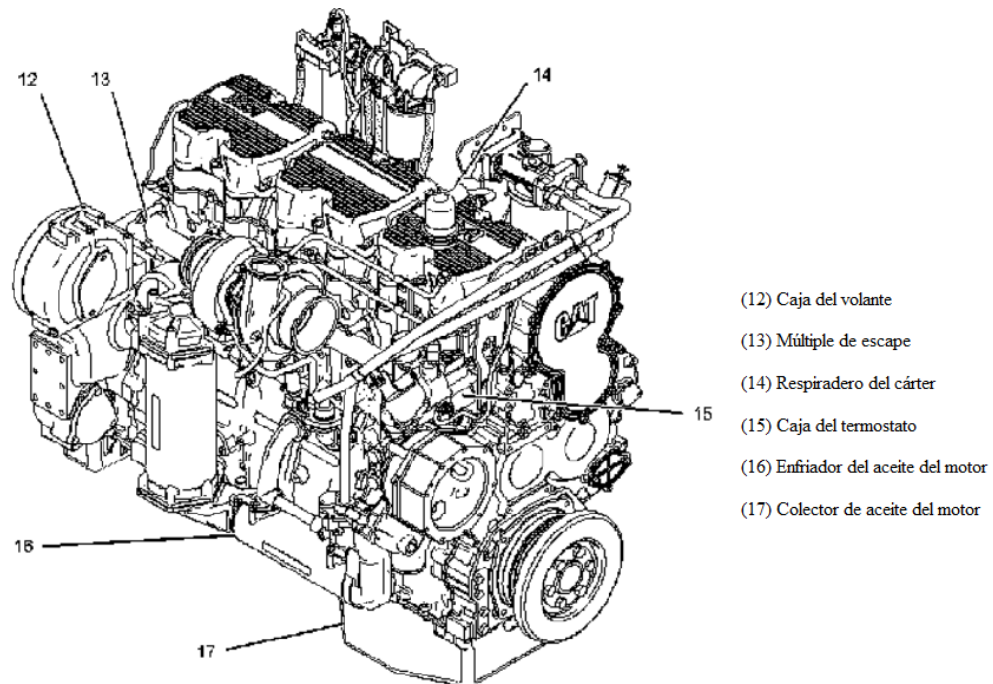
⁸ CATERPILAR. Componentes de operacion principals de los tractors [en línea] disponible en: www.sis.cat.com

Figura 14. Vista izquierda de motor



Fuente: www.sis.cat.com

Figura 15. Vista derecha del motor



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.1.1 Sistema de Combustible: Como su nombre lo indica es el encargado de suministrar el combustible en las cantidades requeridas y en el momento justo en la cámara de combustión del motor. En este se distinguen dos subsistemas, el sistema de alta y el de baja.

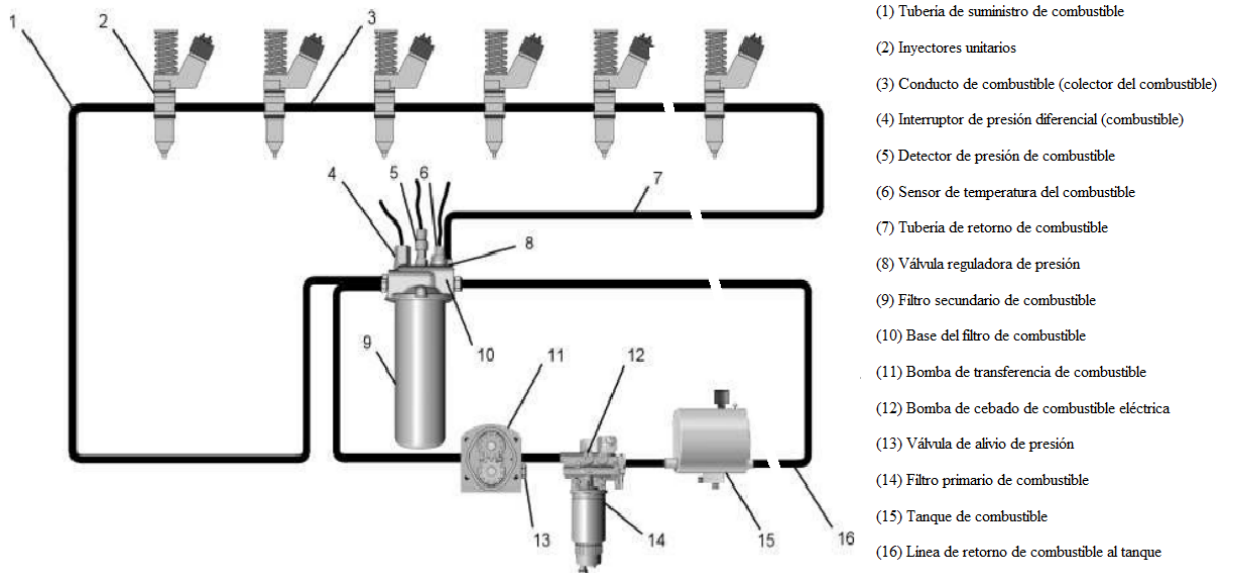
El propósito del circuito de suministro de combustible de baja presión es suministrar combustible filtrado a los inyectores de combustible en un régimen constante y a una presión constante.

Una vez que los inyectores reciben el combustible a baja presión, se presuriza otra vez el combustible antes de inyectarlo en el cilindro.

El inyector unitario usa la energía mecánica proporcionada por el árbol de levas para obtener las presiones que pueden ser mayores que 200.000 kPa (30.000 lb/pulg)².

El ECM administra el control de la entrega de combustible. El ECM reúne datos de varios de los sistemas del motor y los procesa para administrar estos aspectos del control de la inyección de combustible

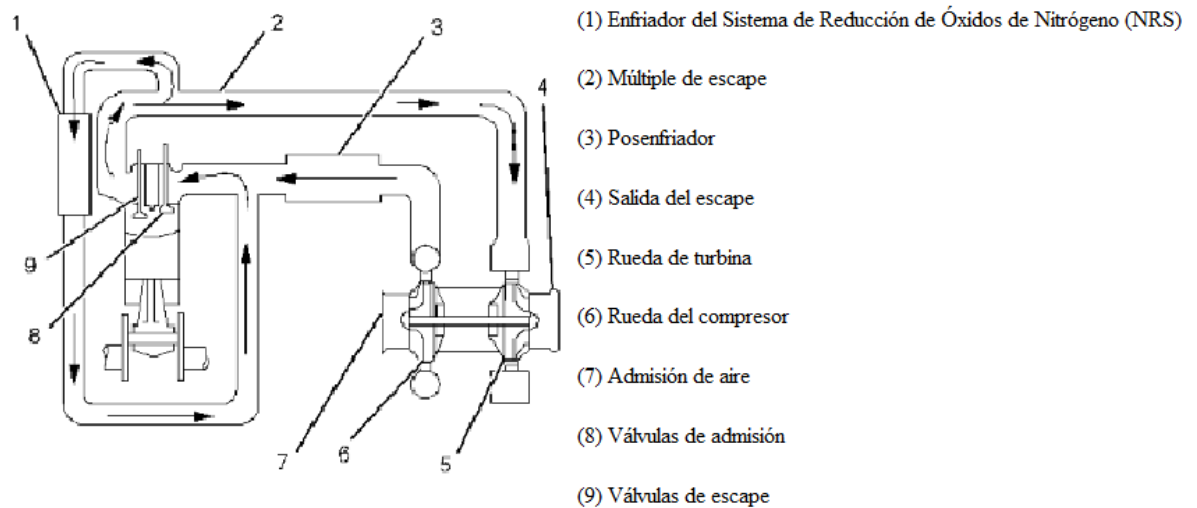
Figura 16. Sistema de Combustible



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.1.2 Sistema de Admisión y Escape: Los componentes del sistema de escape y de admisión de aire controlan la calidad y la cantidad de aire disponible para la combustión.

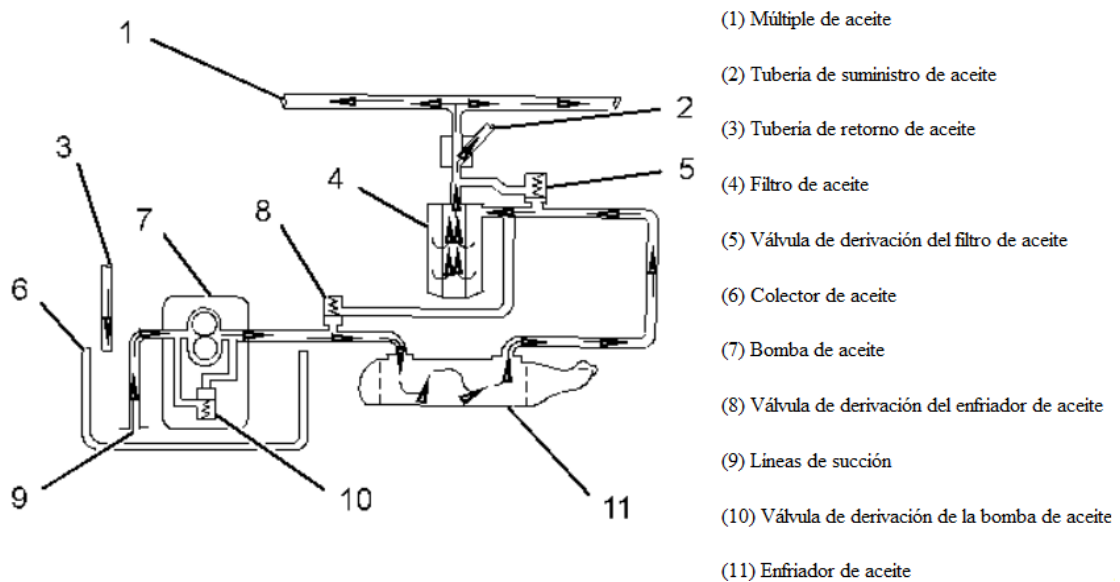
Figura 17. Sistema de admisión y escape



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.1.3 Sistema de Lubricación: Los componentes del motor se encuentran constante movimiento relativo entre ellos. El sistema de lubricación se encarga de tomar el aceite del cárter del motor y distribuirlo a todas las zonas donde se presenta este contacto creando una película lubricante que no permita que el contacto sea efectivo metal-metal ya que de presentarse se elevaría la temperatura fundiendo las caras de las piezas en contacto, destruyendo el motor.

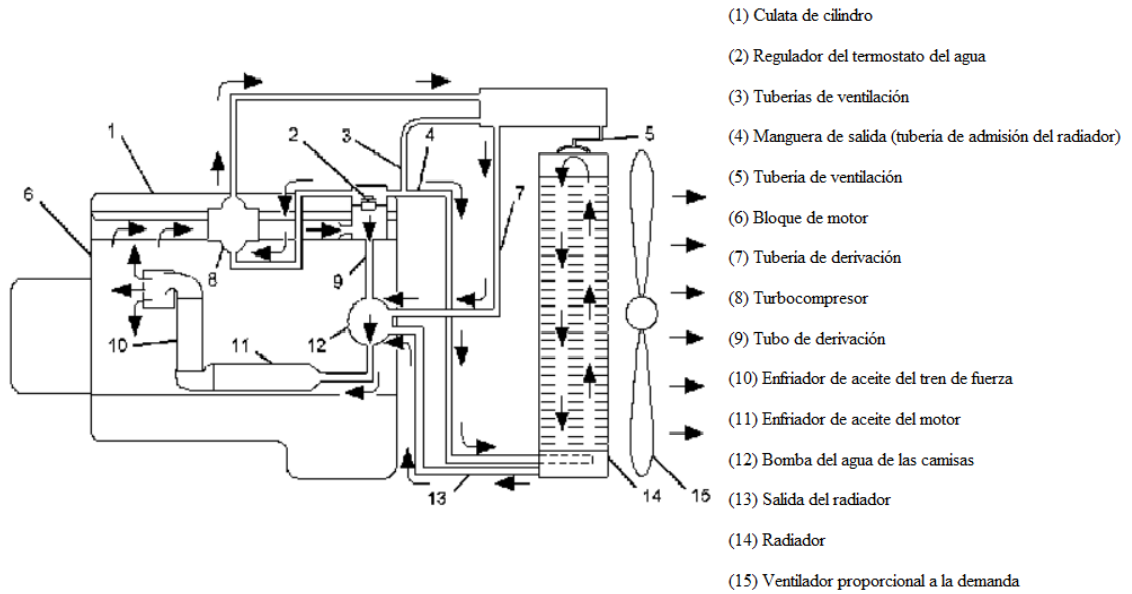
Figura 18. Sistema de lubricación



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.1.4 Sistema de Refrigeración: La finalidad del Sistema de Refrigeración es eliminar el calor generado por la combustión y mantener la temperatura del motor en condiciones estables de trabajo especificado por el fabricante.

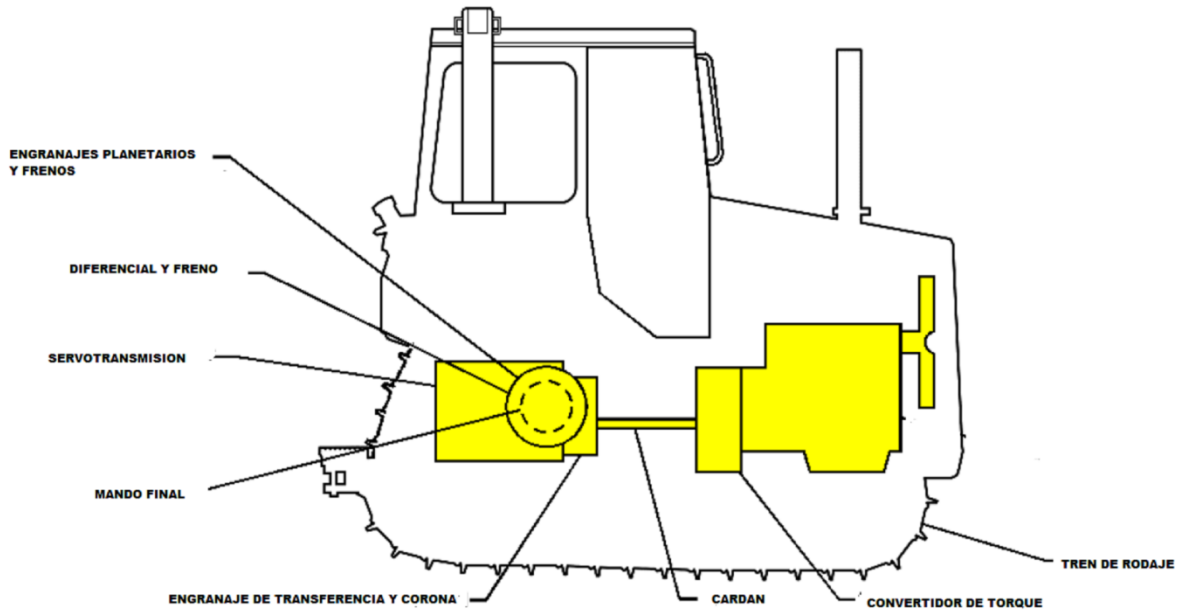
Figura 19. Sistema de Refrigeración



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.2 Tren de Potencia

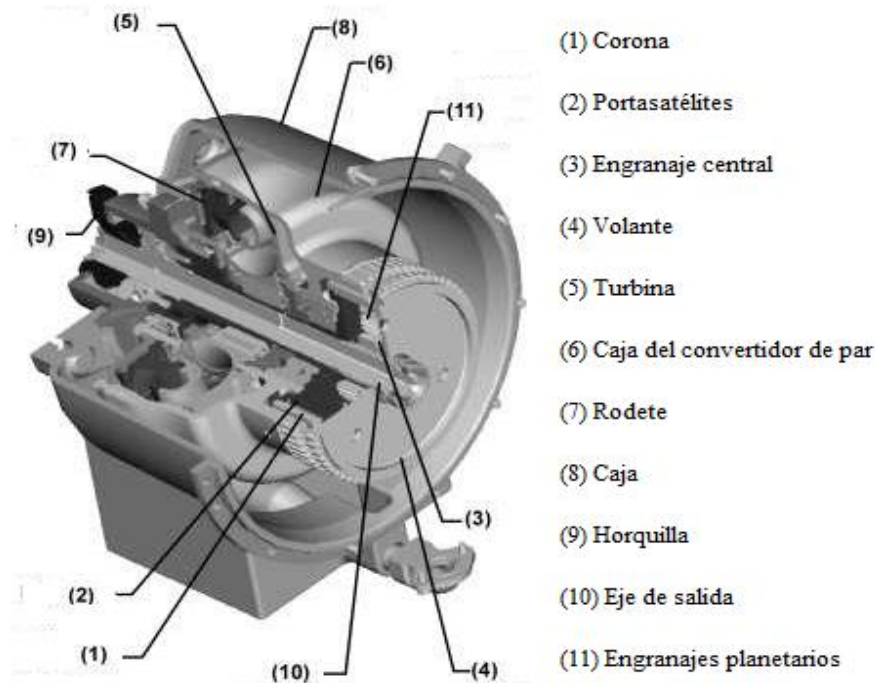
Figura 20. Esquema Tren de Potencia



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.2.1 Convertidor de Torque: El convertidor de par es un dispositivo que usa la energía de fluido en movimiento para transmitir la potencia. Además de tener una bomba activa y una turbina pasiva, lleva una serie de paletas, que constituyen el estator y están contenidos en una caja. Dicha caja tiene en uno de los lados una corona que engrana con el volante del motor; en el otro lado tiene el eje de salida. Las paletas del estator cambian el sentido en que circula el aceite; después de pasar por la turbina, lo envía de nuevo a la bomba; esto permite que la bomba aumente la fuerza de torsión, que equivale a multiplicar el par motor. Por estar cerrado el circuito, se establece una corriente continua del aceite, de sentido circular en un plano paralelo a eje. De esta manera, se pueden lograr transmitir grandes potencias.

Figura 21. Convertidor de Torque



Fuente: www.sis.cat.com

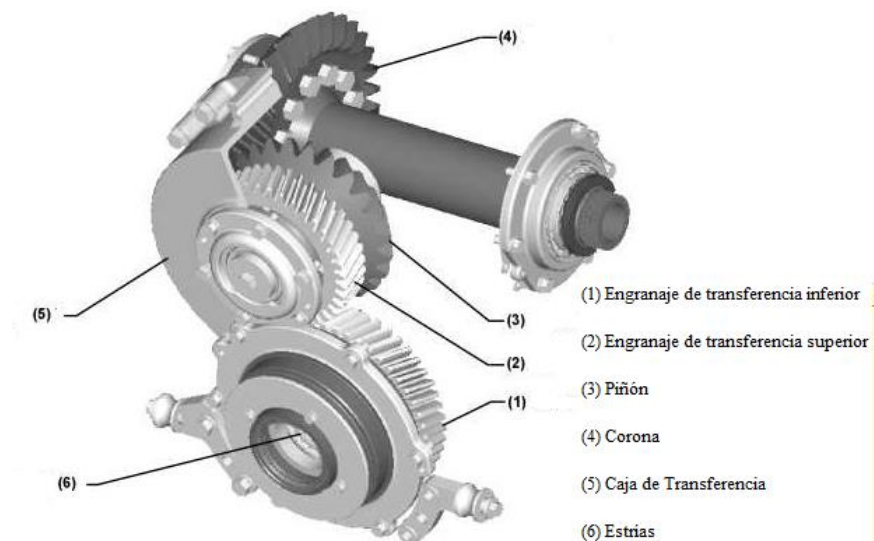
3.2.2.2 Engranaje y Corona: La caja de transferencia está fijada con pernos a la parte trasera de la caja de la transmisión.

El eje de salida de la transmisión está conectado al engranaje de transferencia mediante estrías. Cuando se selecciona una velocidad y un sentido de marcha, se envía potencia desde la transmisión planetaria hasta el engranaje de transferencia inferior. El engranaje de transferencia inferior hace que el engranaje de transferencia superior gire.

El engranaje de transferencia superior hace girar el piñón. El piñón hace girar la corona cónica. La corona cónica hace girar la corona cónica en el eje exterior del diferencial.

Desde los tubos en la caja de transmisión, se rocía aceite lubricante a todos los componentes.

Figura 22. Engranaje de transferencia y corona



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.2.3 Servo transmisión: La transmisión cuenta con embragues activados hidráulicamente. La transmisión tiene un número de velocidades de avance

igualmente de velocidades de retroceso. La velocidad y el sentido de marcha se controlan electrónicamente.

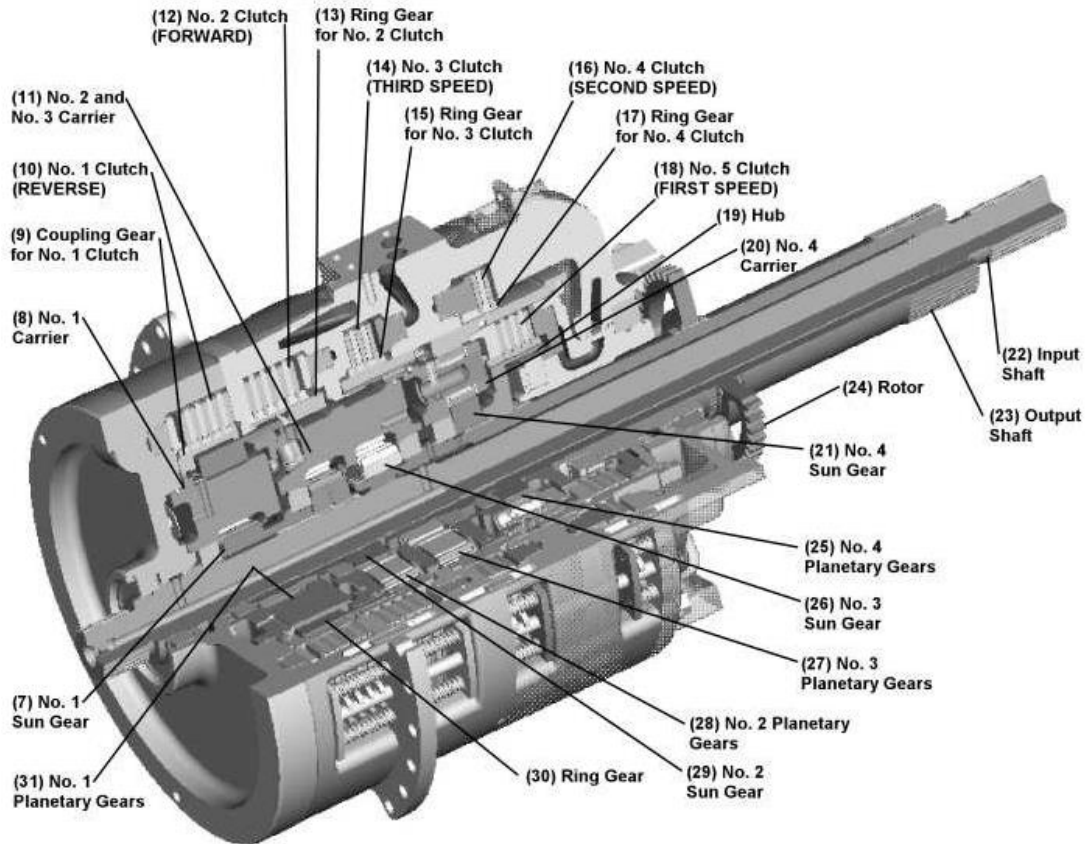
Cada embrague tiene discos y placas. Los dientes interiores de los discos están conectados a los dientes exteriores de la corona. Las muescas en el diámetro exterior de las placas están conectadas a los pasadores en la caja del embrague. Los pasadores evitan que las placas giren.

Los resortes están ubicados entre la caja del embrague y el pistón, como se muestra más arriba. Los resortes mantienen los embragues desconectados. Los embragues se conectan cuando se envía aceite al área detrás del pistón.

Cuando aumenta la presión del aceite en el área detrás del pistón, este se mueve a la derecha. El pistón se mueve contra la fuerza del resorte a fin de empujar los discos y las placas para que se junten. Ahora el embrague está conectado.

Los discos evitan que la corona gire. Cuando se suelta el embrague, la presión en el área detrás del pistón disminuye, y la fuerza del resorte mueve el pistón a la izquierda. Los discos y platos están ahora separados. El embrague no está conectado.

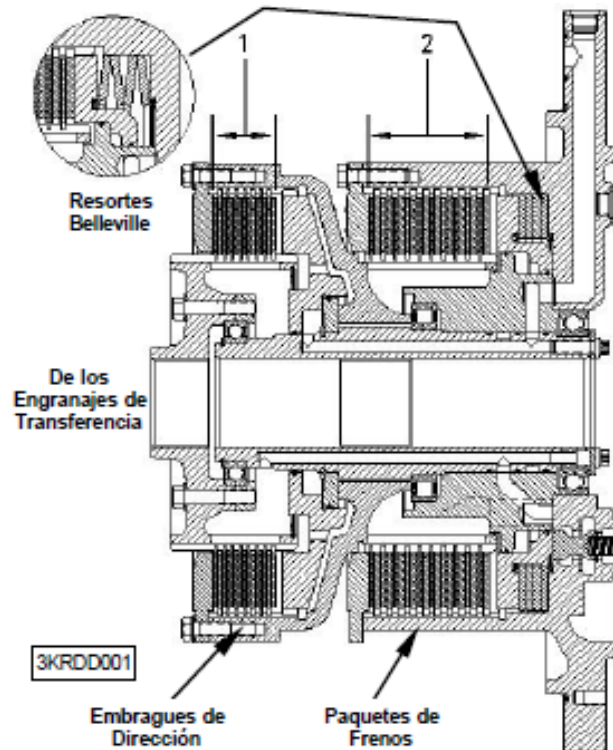
Figura 23. Transmisión.



Fuente: www.sis.cat.com

3.2.2.4 Paquete de Dirección y Freno: 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 24. Paquete de dirección y freno

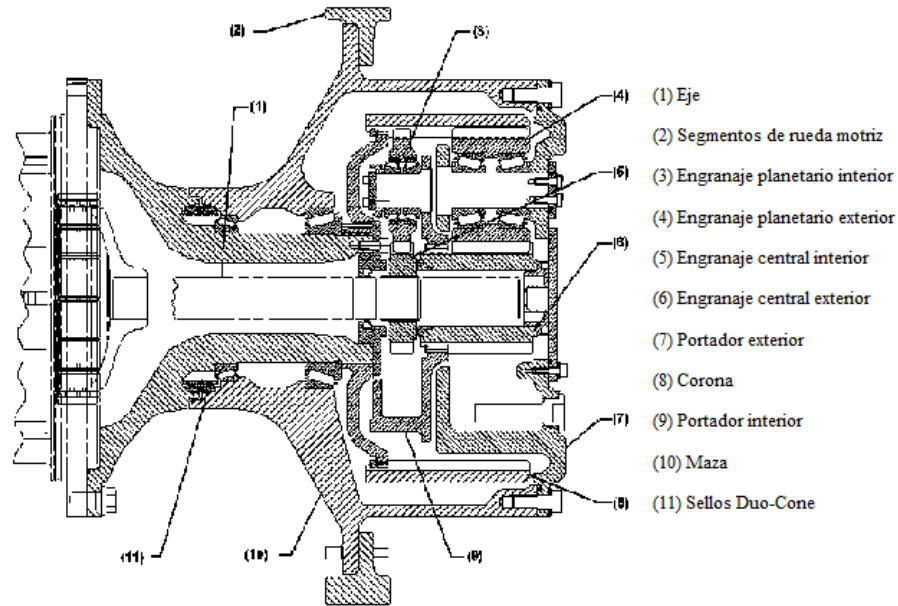


Fuente: www.sis.cat.com

3.2.2.5 Mando Final: Los mandos finales reciben la potencia de la transmisión para transmitirla modificada a una rueda dentada, que acciona el carril para poner en movimiento la máquina. En otras palabras, su función es multiplicar el par motor proveniente del sistema diferencial, para una mayor torsión en las ruedas motrices.

Los mandos finales son simplemente dispositivos de multiplicación; cuentan con un sistema de lubricación que, en su mayor parte, es a presión; cuentan con una bomba de aceite de engranajes que normalmente va montada sobre el extremo del piñón.

Figura 25. Mando final

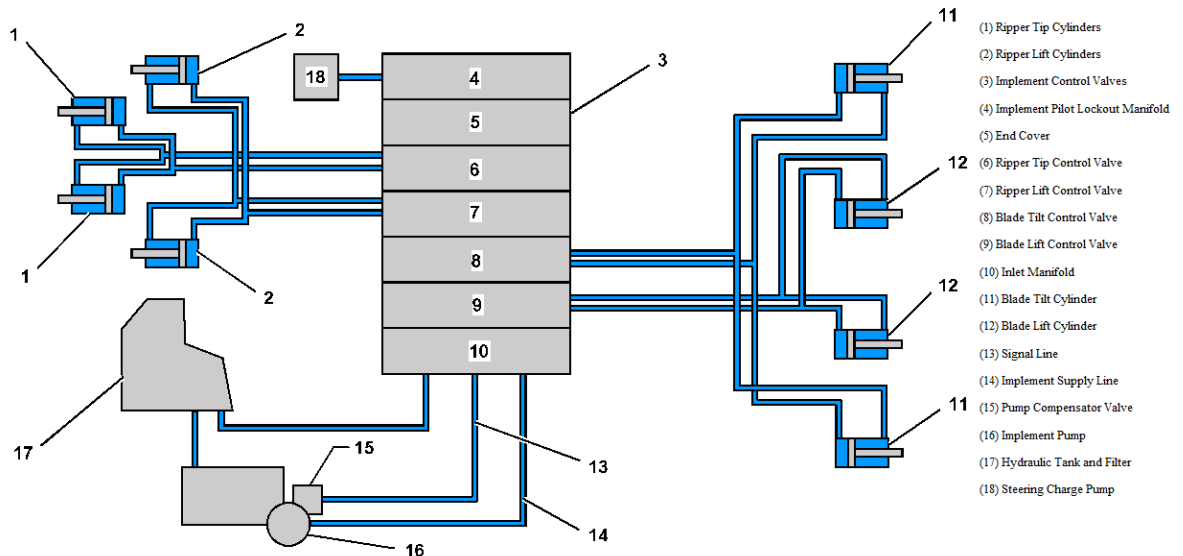


Fuente: www.sis.cat.com

3.2.3 Sistema hidráulico: Los sistemas hidráulicos son simples y la potencia se puede transmitir fácilmente a piezas en movimiento, mediante mangueras y tuberías. Un sistema hidráulico depende del líquido en las tuberías para su funcionamiento; se usa líquido porque éste no puede ser comprimido dentro de un área más reducida, pero sí tiene facilidad de desplazamiento.

El sistema hidráulico consta de una bomba hidráulica la cual convierte la energía mecánica del motor en potencia hidráulica la cual es transferida a los implementos para realizar sus movimientos y poder realizar el trabajo para el cual fueron diseñados.

Figura 26. Plano hidráulico implementos

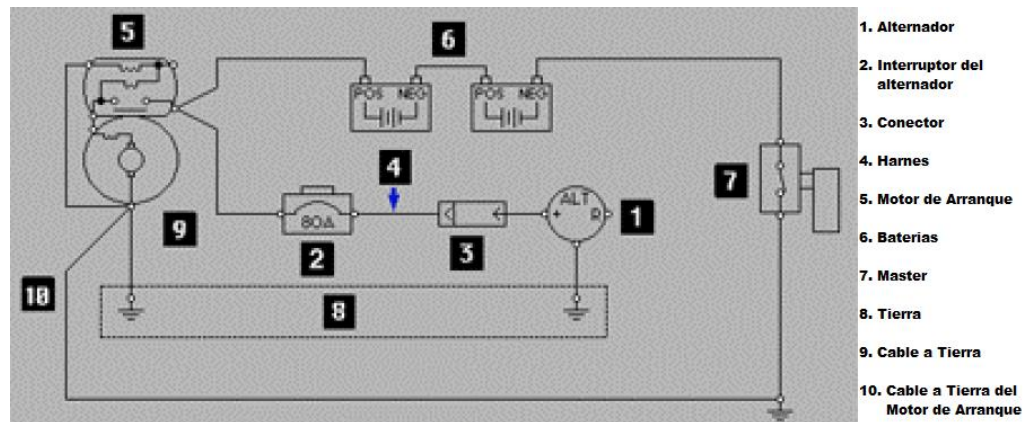


Fuente: www.sis.cat.com

3.2.4 Sistema eléctrico: Este sistema cumple varias funciones dentro de las cuales está el de encender el motor, recargar la batería, encender las luces de trabajo y de cabina, energizar el tablero de control y los ECMs.

Se requiere de una fuente de energía para su funcionamiento, la cual es la batería, la cual produce corriente continua mediante una reacción química.

Figura 27. Sistema de Carga.



Fuente: Curso de Electricidad Aplicada CAT

3.3 TIPOS DE TRACTORES

3.3.1 Por el Tipo de componente usado para desplazarse

3.3.1.1 De Orugas

- Su combustible mayormente es diésel.
- Son equipos de mayor potencia.
- Chasis rígido.
- Velocidades máximas de entre 7 y 15 km/h.
- Potencias de entre 140 y 770 HP.
- Transmisiones mecánicas.
- Pesos en servicio de entre 13,5 y 68 t.
- Capacidad de remontar pendientes de hasta 45°.

3.3.1.2 De ruedas

- Producen menos compactación en el suelo, son mayor uso es en agricultura
- Chasis articulado con ángulos de 40° a 45°.
- Tracción en las cuatro ruedas.
- Velocidades máximas de desplazamiento de entre 16 y 60 km/h.
- Potencias de entre 170 y 820 HP.
- Transmisiones mecánicas o eléctricas.
- Pesos en servicio de entre 18,5 y 96 t.

3.3.2 Por la forma en que mueve su hoja

- Hoja recta se denomina Bulldozer
- Hoja angulable se denomina Angledozer

- Hoja inclinable se denomina Tiltadozer
- Hoja de elevación se denomina Pitchdozer
- Corta tronco se denomina Cutdozer

Figura 28. Tractor Tildozer-Anglodozer



Fuente: Manual del Estudiante Técnico CAT

4. TREN DE RODAJE PARA TRACTORES

Es usado para facilitar el desplazamiento de los equipos en terrenos agrestes y condiciones ambientales adversas.

El tren de rodaje le incrementa la tracción al equipo, además de aumentar el nivel de flotación del mismo.

Este componente representa una gran inversión ya que su costo es cercano al 40% del costo del equipo, además de ser un factor importante en el presupuesto de mantenimiento ya que este puede representar hasta el 60% de los costos de mantenimiento.

4.1 TIPOS⁹

4.1.1 Rodaje Oval: El rodaje oval se usa en algunos tractores pequeños, modelos de tractores antiguos y cargadores frontales.

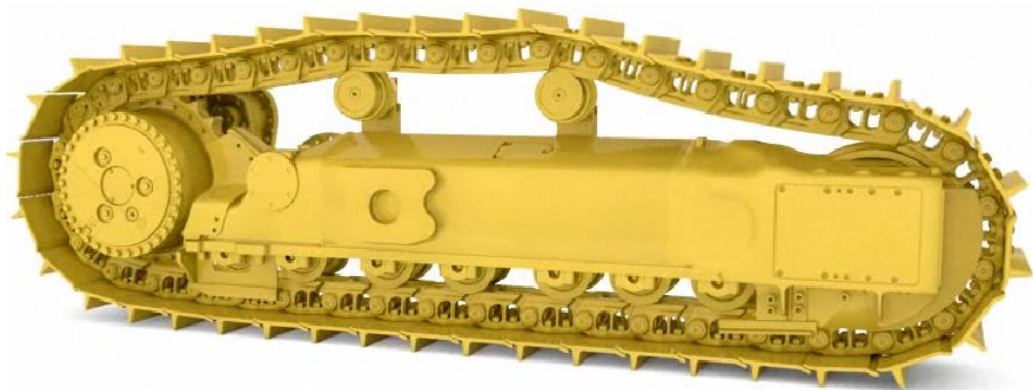
Las ruedas motrices están hacia la parte trasera de la máquina. Las ruedas guía se hallan hacia la parte delantera de la máquina.

Una barra compensadora entre los dos bastidores de rodillos inferiores permite que cada bastidor de rodillos inferiores pivote en su eje pivote. El eslabón de giro de la rueda guía permite un movimiento horizontal de la rueda guía para absorber las cargas de choque, mantienen la tensión apropiada de la cadena y eliminan la necesidad de calces y cintas de desgaste.

⁹ Undercarriage Application Guide CAT

La barra compensadora y los ejes pivote están sujetos con pasadores para limitar la oscilación. La barra compensadora se sujeta con pasadores a cada bastidor de rodillos y al centro del bastidor principal para mantener una plataforma de trabajo estable. Los bastidores de rodillos son secciones en caja soldadas en toda su longitud. Los soportes de caucho están entre la barra compensadora y el bastidor principal.

Figura 29. Rodaje oval



Fuente: Undercarriage Application Guide CAT

4.1.2. Rodaje de Rueda Elevada: El diseño de rueda motriz elevada se usa en la mayoría de los tractores de cadenas y en los tiendetubos. El diseño de rueda motriz elevada aísla los componentes del mando final de choques, aumenta el equilibrio de la máquina y la tracción, además de proveer máxima flexibilidad para el montaje de los bastidores de rodillos inferiores. Esto resulta en menor riesgo de daños del sello.

Las máquinas con rueda motriz elevada tienen bastidores de rodillos delanteros y traseros a cada lado de la máquina.

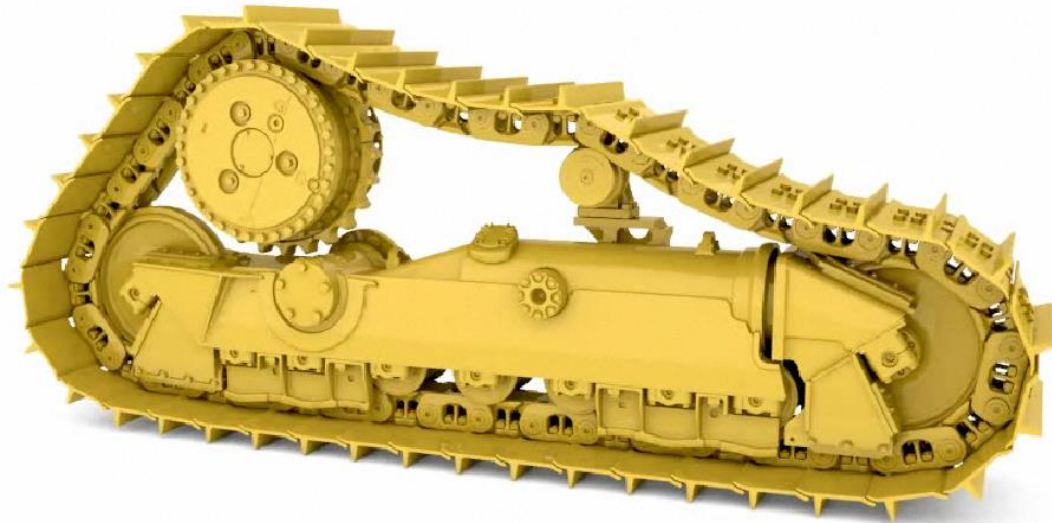
El eje pivote conecta los bastidores de rodillos trasero derecho y trasero izquierdo y transmite los choques del terreno directamente al bastidor principal en lugar de

pasarlos a los componentes del tren de fuerza. Los bastidores de rodillos pueden oscilar alrededor del eje pivote.

La barra compensadora conecta los bastidores de rodillos delantero derecho y delantero izquierdo. La barra compensadora se sujeta con pernos en el centro del tractor y puede girar alrededor de la articulación del pasador central. La barra compensadora controla la medida en que los bastidores de rodillos pueden oscilar alrededor del eje pivote.

El bastidor de rodillos delantero se desliza dentro del bastidor de rodillos trasero. Un resorte tensor mantiene la tensión de la cadena.

Figura 30. Tren de Rodaje Rueda Elevada

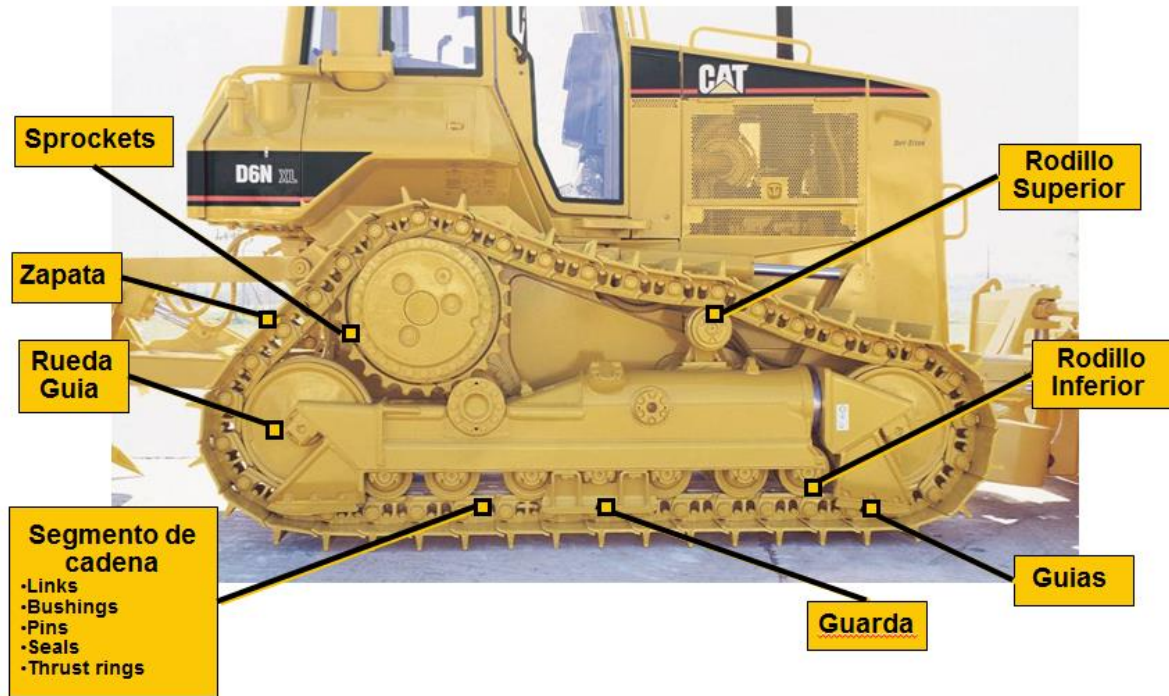


Fuente: Undercarriage Application Guide CAT

4.2 COMPONENTES

La rueda motriz impulsa el grupo de cadena. Los rodillos y las ruedas guía mantienen la cadena en la posición correcta y suministran el soporte.

Figura 31. Componentes del Tren de Rodaje



Fuente: Capacitación Tren de Rodaje Gecolsa

4.2.1 Cadenas: Las cadenas se pueden adaptar para ajustarse a las condiciones de terreno del cliente. En la figura 32, se ven varias máquinas de cadenas en diferentes tipos de terreno clasificados de acuerdo a las características de abrasión (vertical) contra impacto (horizontal).

La abrasión desgasta el metal. Las condiciones abrasivas altas incluyen los terrenos húmedos saturados. Las condiciones de baja abrasión se dan en los terrenos secos.

El impacto se refiere a la fuerza con la que la máquina golpea la superficie del terreno y no tiene nada que ver con las condiciones de humedad del terreno. La dureza de las partículas determina el impacto. Un impacto alto se define como una superficie dura no penetrable por exposición firme de golpes hasta a 15 cm (6 pulg). El impacto bajo lo produce un terreno completamente penetrable, en donde

está disponible el soporte completo de la plancha de la zapata y hay baja exposición a golpes altos.

Figura 32. Relación Abrasión-Impacto



Fuente: Manual de Tren de Rodaje Gecolsa

4.2.1.1 Sección de la cadena: La sección de la cadena consta de dos eslabones de cadena, un pasador y un buje. Las secciones de la cadena están conectadas juntas para formar el eje central de la cadena, el conjunto de eslabón

Figura 33. Armado de cadena



Fuente: Undercarriage Application Guide CAT

4.2.1.2 Eslabón de cadena: Se usan dos eslabones de cadena en cada sección de la cadena. Los eslabones de cadena proveen un medio para unir las zapatas de la cadena y permiten un carril continuo a los rodillos.

4.2.1.3 Pasadores y bujes: Los pasadores y los bujes mantienen juntos los dos eslabones de cada sección de cadena. El pasador también actúa como una articulación para conectar los dos eslabones de cadena.

En una cadena sellada, los pasadores son sólidos. En las cadenas selladas y lubricadas los pasadores son huecos de modo que el área entre el pasador y el buje de la siguiente sección de cadena pueda lubricarse.

4.2.1.4 Armado de una sección de cadena: El pasador se inserta a presión dentro del orificio del pasador del eslabón. No hay movimiento relativo entre el pasador y el eslabón.

4.2.1.5 Pasador de la siguiente sección de cadena: La cadena desliza el pasador dentro del buje en un ajuste suelto. Los sellos se ajustan sobre el pasador y se asientan contra el eslabón de la cadena. Otro eslabón a mano izquierda y otro a mano derecha se insertan a presión en el pasador. Otro buje se inserta a presión a través del orificio del buje de los eslabones de cadena añadidos.

4.2.2 Zapatas: Las zapatas de cadena están empernadas en el conjunto del eslabón. Las zapatas de cadena soportan el peso de la máquina y proveen tracción y flotación.

El borde superpuesto entre dos zapatas no permite que se depositen los escombros entre las zapatas a medida que la cadena se flexiona alrededor de la rueda motriz y de la rueda guía.

La garra penetra en el terreno para proveer tracción. La plancha suministra flotación. El borde de ataque es curvo hacia abajo, el borde de salida es curvo hacia arriba. Las curvas eliminan la interferencia entre el borde de ataque de una zapata y el borde de salida de la zapata al frente de ésta. Las curvas también proveen refuerzo para reducir la flexión de la zapata y evitan que se suelten los pernos. Los alivios del eslabón evitan la interferencia del borde de ataque con los eslabones a medida que la cadena se flexiona sobre la rueda motriz y las ruedas guía.

4.2.3 Segmento de rueda motriz: En la mayoría de los tractores de cadenas, los segmentos de rueda motriz están empernados al aro.

4.2.4 Conjunto de rueda motriz: La función de la rueda motriz es transferir las cargas impulsadas desde el mando final a través de los bujes. Los dientes de la rueda motriz actúan como dientes de engranaje, llevando hacia arriba los bujes de la cadena y moviendo el grupo de la cadena en el sentido en que la máquina se desplaza.

El conjunto de rueda motriz se halla en la maza del mando final.

En las máquinas de modelos anteriores, puede haber un conjunto de rueda motriz de una sola pieza. Para cambiar el aro del conjunto de rueda motriz, el aro desgastado se desuelda y el nuevo aro se suelda en su sitio. Para convertir una rueda motriz de una sola pieza en una de segmentos empernados, el aro desgastado se desuelda y se reemplaza con un anillo adaptador soldado al cual se conectan con pernos los segmentos de la rueda motriz.

4.2.5 Rodillo inferior: Los rodillos inferiores se montan en los rieles formados por los eslabones de cadena. Estos guían la máquina a lo largo de la cadena.

Los rodillos inferiores soportan el peso de la máquina y lo distribuyen a lo largo de las cadenas.

Los rodillos inferiores de una pestaña se usan junto a las ruedas motrices. La pestaña única permite que el rodillo quede más cerca de la rueda motriz para aumentar el efecto guía.

Los rodillos inferiores de pestaña doble se usan donde quiera que el espacio lo permita. Los rodillos inferiores de pestaña doble aumentan al máximo el efecto guía.

Todos los rodillos inferiores están lubricados y enfriados por aceite para reducir el desgaste interno y disminuir la fricción. Además, contienen sellos Duo-Cone. Los rodillos inferiores tienen superficies templadas del mismo tipo de las de los eslabones de cadena.

Debido a la lubricación y a los sellos Duo-Cone, durante el mantenimiento los rodillos inferiores sólo necesitan el cambio del casco. La reutilización del rodillo significa que los componentes internos se vuelven a usar y el casco se reemplaza.

4.2.6 Rodillo superior: Los rodillos superiores son una adición optativa del sistema de tren de rodaje y se usan para soportar el peso de la cadena entre la rueda guía y la rueda motriz. El segundo propósito de los rodillos superiores es guiar la cadena.

La adición de rodillos superiores puede ayudar a mantener la comba correcta de la cadena en una variedad de condiciones del sistema de tren de rodaje y aumentan la capacidad de empuje con la hoja. Los rodillos superiores también hacen más suave el desplazamiento de la cadena lateral superior y aumentan el espacio libre entre la cadena y el bastidor de rodillos.

La vida del eslabón puede reducirse levemente debido a la superficie de desgaste que se añade con los rodillos portadores.

Los rodillos superiores no requieren pestañas dobles, son lubricados y enfriados por aceite para reducir el desgaste interno y disminuir al máximo la fricción, y tienen sellos Duo-Cone.

Los rodillos portadores tienen superficies templadas del mismo tipo de las de los eslabones de cadena.

4.2.7 Rueda guía: Las ruedas guía conducen la cadena hacia adentro y afuera de los rodillos inferiores. Las ruedas guía soportan intermitentemente el peso de la máquina.

Un tren de rodaje de rueda motriz elevado tiene ruedas guía delanteras y traseras a cada lado de la máquina. Un tren de rodaje oval tiene una rueda guía delantera en cada lado de la máquina.

Las ruedas guía suministran un modo de controlar el ajuste y la tensión y mantienen la alineación vertical y lateral. La tensión de la cadena se ajusta moviendo la rueda guía. Se usa un mecanismo de ajuste para mover la rueda guía o sostener la rueda guía en su lugar.

Algunas máquinas con tren de rodaje oval están equipadas con rueda guía de dos posiciones. En estas máquinas, la posición alta debe usarse para trabajos con barra de tiro. En la posición alta, es menor el contacto de la cadena con el suelo. Esto hace que la máquina tenga mejor maniobrabilidad durante los giros y resulta en menor desgaste de la cadena. La posición baja debe usarse cuando se necesita más estabilidad con implementos montados en la parte delantera. La posición baja resulta en mayor desgaste en las zapatas y garras.

4.2.8 Sellos: Los sellos mantienen la suciedad y otros contaminantes fuera del área sellada. También se usan para mantener el lubricante en el área donde se necesita. Todos los rodillos y las ruedas guía tienen sellos Duo-Cone.

En la cadena sellada, el sello evita que los abrasivos entren al área entre el pasador y el buje. El sello también transporta las cargas laterales y evita que el buje se desgaste contra el abocardado del eslabón de la cadena. La cadena lubricada usa sellos rígidos que evitan que los abrasivos entren al área entre el pasador y el buje, y también mantienen la lubricación en la junta y absorben las cargas laterales.

El sello rígido hace posible tener una cadena lubricada y sellada de servicio pesado debido a que puede manejar las fuerzas del juego lateral que se presentan. El sello rígido también hace posible en la cadena que el buje gire debido a que tiene la integridad necesaria para mantener el sistema lubricado.

4.2.9 Arandelas de resorte Belleville: Los sellos de las cadenas selladas son arandelas de resorte Belleville. Cuando se comprimen entre sí, estas arandelas de resorte en forma cónica se aplanan para hacer el sello. El efecto de resorte de las arandelas mantiene la presión de sello a medida que se desgastan.

4.2.10 Sellos anulares: Los sellos anulares constan de dos partes: un anillo de carga flexible y un sello anular. El sello anular contiene un sello de labio y un material rígido, resistente al desgaste en el interior, llamado la cubierta metálica (mostrada en rojo). El sello del labio se fabrica de uretano. La cubierta metálica ayuda a mantener la forma del sello bajo carga y aumenta la integridad del sello. El anillo de carga sostiene el sello anular contra el buje.

Los sellos rígidos pueden resistir una temperatura máxima de 70° C (160° F). El anillo de empuje es de material de acero templado y protege el conjunto del sello

de cargas de empuje laterales. Las muescas del anillo de empuje permiten que el aceite fluya a las áreas de sellado.

El conjunto del sello está protegido de las cargas de empuje que se transmiten desde los eslabones hasta los bujes a través del anillo de empuje, y no permite que el sello se deforme. La compresión del sello está limitada por el anillo de empuje que mantiene un espacio entre el buje y la parte inferior del abocardado del eslabón

4.2.11 Eslabón maestro dividido: El eslabón maestro dividido, de dos piezas, se usa para quitar e instalar la cadena.

La mitad del eslabón maestro va a un extremo del conjunto del eslabón. La otra mitad va al otro extremo. Las mitades del eslabón maestro están aserradas diagonalmente y empernadas juntas cuando se arma la cadena. Para separar la cadena, se necesita una llave especial.

La vida de desgaste del eslabón maestro es igual a la del eslabón regular. El eslabón maestro usa pasadores y bujes estándar

Figura 34. Eslabón maestro.



Fuente: Manual de Tren de Rodaje Gecolsa

4.2.12 Pasador maestro y buje maestro: Si la máquina no está equipada con eslabón maestro, tiene un buje y un pasador maestro. El pasador maestro y el buje maestro se usan para separar y conectar la cadena.

Ubicado entre el extremo del buje maestro y el sello. Para separar la cadena, se quita el pasador maestro, y la sección de cadena, con el buje maestro, se empuja entre los eslabones de la sección de cadena que tiene el pasador maestro para conectar la cadena, se instalan las secciones de la cadena con los sellos y con los espaciadores. El pasador maestro se pone con una prensa portátil o un martillo pesado.

4.2.13 Barra compensadora (de pivote): A cada lado del tractor hay un bastidor de rodillos inferiores. Los componentes del tren de rodaje están montados en los bastidores de rodillos inferiores. El peso del tractor es llevado a través de los bastidores de rodillo inferiores a los rodillos inferiores.

Los componentes del bastidor y del tren de rodaje a cada lado de la máquina pueden moverse independientes unos de otros. Los brazos diagonales permiten que los bastidores de rodillo inferiores pivoten alrededor del eje de la rueda motriz.

La mayoría de los tractores están equipados con una barra compensadora. Algunos tractores están equipados con un resorte compensador. La barra compensadora, o el resorte compensador, controla el movimiento independiente.

Detrás de la barra compensadora (flecha) pueden verse los brazos diagonales, que mantienen la alineación correcta del bastidor. Un extremo del brazo se suelda al bastidor de rodillos inferiores. El otro extremo está montado al eje de la rueda motriz y tiene un cojinete que debe ser engrasado.

4.3 VARIABLES QUE AFECTAN LA VIDA ÚTIL DEL TREN DE RODAJE¹⁰

Las variables que determinan la vida útil del tren de rodaje completo y el desgaste parejo entre los componentes pueden dividirse en tres grupos principales.

El primer grupo de variables corresponde a las controlables en alto grado. Las variables controlables incluyen el ajuste de la tensión de la cadena (controlado por la operación del usuario y por el personal de mantenimiento), el ancho de las zapatas (controlado por la operación del usuario y por el personal de compras) y, en algunos modelos, la alineación (controlado por el usuario y por el personal de servicio del distribuidor).

El segundo grupo principal es el de las variables no controlables, que incluyen las variables llamadas “supuestas”, de las que hablaremos más adelante.

Estas variables dependen del tipo de trabajo. Las variables no controlables dependen completamente de las condiciones del terreno, e incluyen impacto, abrasión, compactación de material, humedad, tipo de terreno y tipo de aplicación en que la máquina opera.

El tercer grupo principal es el de las variables controladas parcialmente y se relacionan con los sucesos controlables por el operador de la máquina, por ejemplo, “hábitos de conducción”.

4.3.1 Variables controlables: Las variables controlables afectan la vida útil del tren de rodaje y deben tratarse por separado porque, como en el caso del ajuste de la tensión de la cadena y el ancho de las zapatas, pueden tener consecuencias de carácter económico en la operación de los sistemas del tren de rodaje. El ajuste de la tensión de la cadena es de vital importancia en el desgaste externo de

¹⁰ Custom Track Service Handbook

los bujes, y puede inclusive decidir si es necesario o no un volteo costoso para mejorar el sistema rodillo/eslabón.

La tensión de las cadenas puede también afectar la integridad del sello. El ajuste de la tensión de la cadena es una variable controlable, ya que el usuario mismo puede hacerlo.

El ancho de las zapata, es una variable controlable, ya que el usuario, con su recomendación, puede escoger qué zapatas usar en su nueva máquina y/o cuáles usar cuando cambia las cadenas o realiza otro trabajo. El ancho de las zapatas, puede afectar una serie de elementos interrelacionados de la cadena, como los sellos y la integridad de la lubricación, los eslabones agrietados con el desgaste de las pestañas de rodillos y con la tasa de desgaste de los bujes.

La alineación es la tercera variable controlable y la menos vital, particularmente en las máquinas con rueda motriz baja, se la culpa sin razón de la causa de muchos síntomas. Es conveniente saber cómo la falta de alineación afecta los patrones de desgaste para que se pueda identificar la causa real, controlable o no.

4.3.1.1 Ajuste de la cadena: Aunque dependiendo del tipo de máquina varía el método de medir la comba de referencia y el ajuste de tensión de la cadena, la importancia de estas mediciones es la misma en los diferentes tipos de máquinas. Como se dijo antes, las cadenas muy tensas pueden afectar la vida útil de los bujes externos (lo que aumenta hasta tres veces la tasa de desgaste) y, por ésta sola razón, aparecen como la causa o acelerador de desgaste de muchos componentes.

Figura 35. Correcta Tensión en la Cadena



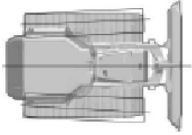

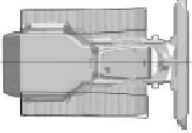

Fuente: Capacitación Tren de Rodaje. Gecolsa 2011

4.3.1.2 Ancho de zapatas: El ancho de la zapata y el grado de impacto (choque) pueden afectar la vida útil del tren de rodaje. Como el ancho de zapata es una variable controlable, se puede mejorar el rendimiento y la vida útil de los componentes si se escoge la zapata correcta.

4.3.1.3 Alineación: Es importante la alineación apropiada del bastidor de rodillos, de la rueda guía y de la rueda motriz, para evitar el desgaste acelerado y desigual de los componentes en movimiento del tren de rodaje (bandas de rodadura, pestañas de rodillos, rieles de eslabones, lados de los rieles, segmentos de rueda motriz y lados de los aros). Como regla general, cualquier diferencia del patrón de

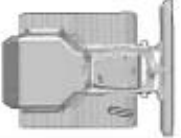
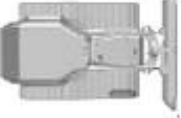

desgaste entre las partes izquierda y derecha, interior y exterior o delantera y trasera puede deberse a la falta de alineación de una o más piezas del bastidor de rodillos, ruedas guía o rueda motriz.

Tabla 12. Fallas por alineación del Bastidor

PROBLEMA	CAUSA	EFEECTO	SOLUCIÓN	GRÁFICO
BASTIDOR DE RODILLOS				
Convergencia horizontal y/o divergencia horizontal. Cuando se ven desde arriba, uno o ambos bastidores de rodillos no están paralelos con líneas central del tractor.	El refuerzo diagonal o el bastidor de los rodillos esta temporal (durante la carga solamente) o permanentemente doblado.	Desgaste desigual cuando se compara la parte interior con la parte exterior del rodillo, y las pestañas de la rueda guía y lados de los rieles. El estado de los rodillos empeora progresivamente, desde los delanteros hasta los posteriores.	Enderezar los refuerzos diagonales y reparar los cojinetes de montaje.	
Inclinación. Cuando, visto desde la parte delantera o trasera, el bastidor de rodillos está doblado hacia fuera o hacia adentro con relación al tractor.	El refuerzo diagonal esta doblado permanentemente, y los montajes o cojinetes están rotos.	Desgaste desigual cuando se compara la parte inferior con la exterior de la rueda guía, rodillo, bandas y pestañas del eslabon. Desgaste desigual en los rodillos, desde los delanteros hasta los traseros.	Enderezar el refuerzo diagonal y/o reparar los cojinetes de montaje.	
Arco. Es similar a la convergencia y divergencia horizontal, pero el bastidor de rodillos esta doblado hacia fuera o hacia adentro con relación al tractor.	El bastidor de rodillos esta doblado.	Es similar al de convergencia y divergencia horizontal, excepto que no afecta los rodillos posteriores.	Enderezar el bastidor de rodillos.	
Torcimiento. Cuando se mira de frente, el bastidor de rodillos se ve torcido y con el extremo delantero inclinado hacia fuera.	El bastidor esta torcido alrededor de un eje horizontal paralelo al tractor.	Es similar al de inclinación, excepto que no afecta los rodillos posteriores.	Enderezar el bastidor de rodillos.	

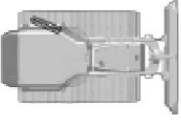

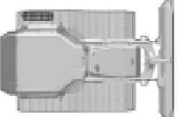
Fuente: Manual de Servicio Especial de Cadenas.

Tabla 13. Fallas por alineación de la rueda guía

PROBLEMA	CAUSA	EFEECTO	SOLUCIÓN	GRÁFICO
MONTAJE DE LA RUEDA GUIA				
Convergencia o divergencia. Cuando se ve desde arriba, la rueda guía no está paralela con la línea central del bastidor de rodillos.	Las secciones en caja del soporte de la rueda guía están dobladas, o el yugo de la rueda guía está doblado.	Se desgastan mayormente los lados interiores de los rieles y las pestañas de las ruedas guía puede afectar el desgaste en las pestañas de los rodillos delanteros.	Enderezar el yugo o las secciones en caja del soporte de la rueda guía.	
Altura de la rueda guía. La distancia que la llanta de la rueda guía de la cadena es superior a la llanta del rodillo de la cadena adyacente.	Altura de la rueda guía insuficiente o excesiva.	A medida que la llanta del rodillo de cadena se desgasta y daña, puede ocurrir el deterioro o pérdida de los toques de los soportes basculantes dando como resultado vibración excesiva de la máquina. La vibración es el resultado de insuficiente altura de la rueda guía. La altura insuficiente resulta en mal control de explanación, particularmente mientras se llevan a cabo las operaciones de explanación.	Poner el número correcto de calces.	
Desplazamiento lateral. Vista desde arriba, la rueda guía está paralela pero movida hacia adentro o hacia fuera con respecto al tractor y al bastidor de rodillos.	El número de calces es incorrecto.	Desgaste selectivo de las pestañas de rueda guía interior o exterior y puede afectar al (los) rodillo(s) delantero(s) si tal condición es severa.	Colocar el número correcto de calces.	
Torcimiento-inclinación. Vista desde arriba, la rueda guía se ladea para inclinarse fuera del plano vertical.	El bastidor de la caja del soporte de la rueda guía está doblado (parte interior y exterior hacia arriba y/o hacia abajo en relación recíproca)	El mismo que el de convergencia y divergencia horizontal.	La misma que para convergencia y divergencia horizontal.	

Fuente: Manual de Servicio Especial de Cadenas

Tabla 14. Fallas por alineación de la rueda motriz

PROBLEMA	CAUSA	EFEECTO	SOLUCIÓN	GRÁFICO
RUEDA MOTRIZ				
Convergencia y divergencia horizontal. Vista desde arriba. La rueda motriz no esta paralela a la línea de centro del bastidor de rodillos.	El eje de la rueda motriz esta doblado hacia delante o hacia atrás.	Desgaste en ambos lados interiores del eslabón y ambos lados de los segmentos.	Enderezar o reemplazar el eje de la rueda motriz.	
Torcimiento. Vista desde atrás, la rueda motriz se ladea o inclina hacia adentro o hacia fuera con respecto al bastidor de rodillos.	El eje de la rueda motriz está doblado hacia arriba o hacia abajo.	El lado interior o exterior de la rueda motriz y los lados interiores del riel están desgastados selectivamente, lo que podría afectar las pestañas de los rodillos interiores	Enderezar el eje de la rueda motriz.	
Desplazamiento lateral. Cuando se ve desde arriba, la rueda motriz está paralela pero no movida hacia el tractor y bastidor de rodillos o viceversa.	La rueda motriz no ha puesto la distancia apropiada en el eje.	Desgaste selectivo en la pestaña interior o exterior de la rueda guía y lado interior del riel, y puede afectar las pestañas de los rodillos traseros.	Recolocar la rueda motriz en el eje.	

Fuente: Manual de Servicio Especial de Cadenas

4.3.1.4 Consideraciones generales acerca de los problemas, síntomas, causas, efectos soluciones de la alineación.

- Cuanto más grande y pesada sea la máquina y más severo el impacto, tanto mayor será el riesgo de problemas de alineación temporal y permanente.
- Los problemas de alineación de la rueda guía del bastidor de rodillos y de la rueda motriz afectarán del mismo modo todos los eslabones.
- Los problemas de alineación del bastidor de rodillos, la rueda guía y la rueda motriz afectarán en forma desigual los rodillos, gradualmente desde los delanteros hasta los traseros, y las pestañas y las bandas de rodadura desde las interiores hasta las exteriores.
- El enderezamiento horizontal del bastidor de rodillos no afectará la cadena, pero sí las bandas de los rodillos delanteros y/o traseros, comparadas con las del centro.
- Una cadena sinuosa no causa tanto daño, comparado con la falta de alineación.

- Los rodillos superiores pueden usarse como buenos indicadores visuales de la alineación del bastidor de rodillos, pero no son tan confiables, comparados con la indicación que dan los rodillos inferiores.
- Si el lado izquierdo del tractor tiene patrones de desgaste, relacionados con la falta de alineación, diferentes de los del lado derecho, probablemente el problema se debe a causas permanentes, más que temporales (cargas de trabajo).
- Las cargas desiguales debidas a operación en laderas resultarán en patrones de desgaste similares desde la parte delantera hasta la trasera, y desde el lado izquierdo hasta el derecho, en todas las piezas afectadas.
- Si hay indicios de falta de alineación, es importante que, antes de instalar nuevos componentes en el tren de rodaje, se tomen medidas para obtener un grado de alineación aceptable, si no se puede corregir completamente.
- Una cadena muy apretada aumenta el efecto de todos los tipos de problemas relacionados con falta de alineación, porque aumentan las cargas en los componentes relacionados.

4.3.2 Variables no controlables: Hay un número de variables no controlables que afectan la tasa y los patrones de desgaste del tren de rodaje. Estas variables deben entenderse para poder explicar sus efectos.

Las variables no controlables incluyen las condiciones del terreno (abrasión, impacto, compactación de material, etc.) y las condiciones de aplicación (trabajo asignado a la máquina).

4.3.2.1 Condiciones del terreno: Generalmente, las condiciones del terreno no pueden controlarse. Estas condiciones incluyen la abrasión, el impacto, la compactación de material e incluso los efectos corrosivos y de temperatura del medio ambiente

Abrasión: La condición abrasiva del terreno es la más difícil de medir con exactitud, excepto sus efectos. Para identificar el grado abrasivo en términos de alto, moderado y bajo, se usan las siguientes descripciones

- Alto: Suelos húmedos saturados que, en su mayoría, contienen partículas de arena duras, anguladas o afiladas.
- Moderado: Suelos ligeros o intermitentemente húmedos que contienen proporciones bajas de partículas duras, anguladas o afiladas.
- Bajo: Suelos secos o roca, que contienen una porción muy pequeña de partículas duras, anguladas afiladas o de fragmentos de roca.

La humedad del terreno se relaciona directamente con el grado de abrasión. Esto se debe a que la humedad afecta la velocidad con que las partículas son transportadas y a que se pegan a la superficie del metal y lo desgastan.

Algunas combinaciones abrasivas tienden a atacar los bujes; otras las garras, los eslabones y los rodillos. Estas diferencias son difíciles de medir, excepto por la experiencia real, pero se debe saber de esta posibilidad.

Impacto: El impacto no se ve afectado por otras condiciones variables tales como la humedad o la dureza de las partículas del terreno. El impacto se puede definir como alto, moderado o bajo. El impacto es determinado por el peso y la velocidad de la máquina. Las siguientes son las descripciones de impacto.

- **Alto:** Superficies duras impenetrables con protuberancias constantes de 15 cm (6 in) o mayores.
- **Moderado:** Superficies parcialmente penetrables con exposición constante a protuberancias más pequeñas que las encontradas en las de impacto alto.

- **Bajo:** Superficies completamente penetrables (que proporcionan soporte completo a la plancha de la zapata) con baja exposición a protuberancias de cualquier tamaño.

El efecto más importante causado por el impacto se presenta como problemas estructurales, agrietamiento, fisuras, roturas, descascarado, astillado, enrollamiento y retención de la tornillería, pasadores y bujes. Sin embargo, cuando el grado de impacto se combina con las condiciones abrasivas, puede afectar las tasas de desgaste y la vida útil por un factor de dos o más.

Las zapatas anchas aumentan los efectos de las condiciones de impacto. Las máquinas con zapatas de una garra son más susceptibles a los efectos del impacto alto que aquellas con zapatas de perfil bajo o de más de una garra.

4.3.2.2 Compactación de material: La compactación de material se refiere a cualquier condición en que el material del suelo se adhiere o se acumula entre los componentes en movimiento del tren de rodaje. La compactación de material tiene dos efectos principales. Primero, puede impedir que las piezas en contacto se acoplen apropiadamente entre sí, lo que produce interferencia, cargas altas y desgaste acelerado.

Los mejores ejemplos de este efecto son la compactación de material en los dientes de la rueda motriz, o entre la zapata y los bujes, lo que hace que los dientes acoplen los bujes con interferencia.

El segundo efecto importante de la compactación de material es la adherencia de partículas abrasivas en los componentes en movimiento, lo que aumenta el desgaste. El mejor ejemplo de este efecto es una mezcla de arena y arcilla compactada alrededor de las ruedas guía y los rodillos superiores e inferiores, que causa una abrasión continua cuando estos componentes giran. El resultado es

similar al que haría el disco abrasivo de una pulidora. Las piezas que sufren este efecto, generalmente, lucen brillantes y lisas.

Los casos severos de compactación de material impiden el giro de los rodillos, particularmente, los superiores. Cuando esto sucede, los eslabones deben deslizarse a través de las bandas de rodadura de los rodillos, lo que produce áreas planas muy características.

Los materiales compactados varían de manera considerable y principalmente, la arcilla y los lodos se relación con los efectos mencionados arriba. La siguiente lista de materiales puede dar lugar a uno o ambos de los efectos principales indicados antes. Obviamente, el contenido de humedad en estos materiales ayuda a determinar sus características de adherencia y su capacidad de compactación.

Muchos terrenos se componen de una combinación de estos materiales y el efecto puede ser acumulativo. Los materiales compactados pueden clasificarse en dos categorías. La (A) los que, generalmente, cuando están húmedos, pueden forzarse a salir de entre las piezas (extruibles) y (B) los que no pueden forzarse a salir por los orificios normalmente disponibles en las máquinas de cadenas.

A Extruibles (cuando están húmedos)

- Rellenos sanitarios (basura)
- Suelos de aluvión
- Suelos arcillosos
- Suelos arenosos
- Hielo y nieve
- Menas metálicas (taconita)
- Menas no metálicas (yesos)

B No extruibles

- Rellenos sanitarios (basura)
- Ramas, leña y arbustos
- Piedras, rocas y grava
- Escombros de demolición
- Residuos de césped

Por lo general, los efectos de la compactación de material no pueden controlarse, excepto mediante una limpieza y eliminación continua. La modificación más común en los componentes del tren de rodaje o el uso de accesorios optativos.

4.3.2.3 Otras variables ambientales. Hay otras variables que pueden relacionarse o no con las condiciones del terreno.

Humedad: Los efectos de la humedad que influyen en las condiciones abrasivas y de compactación de material ya se explicaron anteriormente. De por sí, la humedad y el agua pueden corroer (oxidar) el acero, con la consiguiente pérdida de material de desgaste. Concentraciones moderadas de humedad aumentan los efectos corrosivos de muchos materiales y compuestos químicos, tanto naturales como fabricados por el hombre, por ejemplo, azufre, sales y fertilizantes.

El agua, en cantidad considerable, tiene el efecto beneficioso de lavar y eliminar las partículas abrasivas, lo que ablanda diferentes tipos de material compactado y facilitar su expulsión. También, el agua tiene el efecto de diluir algunos de los agentes químicos corrosivos y disminuir sus efectos oxidantes.

Compuestos químicos: Los materiales químicos en estado natural, más los compuestos fabricados por el hombre, pueden destruir el material de desgaste de las piezas o propiciar el desarrollo de ciertos tipos de fisuras.

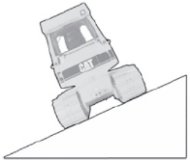
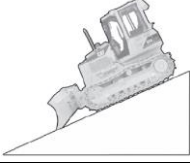
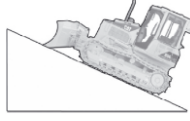


Es irónico que la mayoría de los aceros templados sean más susceptibles a la corrosión y el agrietamiento causado por la corrosión, que los aceros blandos no templados. Los suelos muy ácidos y salinos pueden contribuir a estos efectos. Los compuestos químicos orgánicos, por ejemplo, los derivados del petróleo, pueden atacar los anillos de empuje de goma y los anillos tóricos de los rodillos y ruedas guía, y hacen que se hinchen y fallen.

Temperatura: El efecto de las temperaturas altas es acelerar la acción de los compuestos químicos. Las temperaturas extremadamente altas, por ejemplo, las que ocurren en la eliminación de escoria en los altos hornos siderúrgicos, pueden dañar los sellos y ablandar los aceros templados que hay en el tren de rodaje, lo cual disminuye su resistencia y aumenta el desgaste.

El efecto de la temperatura bajo 0°C (32°F) es congelar los suelos y el agua, y origina todos los efectos que vimos antes relacionados con la compactación de material, a partir de un material que normalmente no se compacta. Las temperaturas muy bajas de -40°C (-40°F) pueden volver quebradizo el acero (con pérdida de la resistencia contra el agrietamiento), ocasionar la pérdida de elasticidad de los sellos de goma y reducir el flujo de lubricante en la Cadena Sellada y Lubricada y en los rodillos y ruedas guía de lubricación permanente

Condiciones del terreno: En todos los efectos de las diversas aplicaciones influye mucho el terreno en el que se trabaja. Los efectos de las aplicaciones más comunes, cualquiera que sea el grado de impacto existente, se describen a continuación.

Tabla 15. Efecto de las condiciones del terreno sobre el tren de rodaje

CONDICIONES DEL TERRENO	EFEECTO	GRAFICO
TRABAJO EN LADERAS	El peso aumenta en la parte de la máquina del lado de cuesta abajo, lo que aumenta el desgaste en esta área. El aumento de peso en el lado de cuesta abajo aumenta el desgaste lateral del riel, las pestañas de los rodillos y de la rueda guía y los extremos de los bujes y de las garras.	
TRABAJO CUESTA ABAJO	Aumenta el peso en la parte delantera de la máquina, lo cual produce una tasa de desgaste relativamente mayor los rodillos inferiores y superiores delanteros. Gracias al diseño de la cadena, el trabajo en avance minimiza la tasa de desgaste de los bujes y de la rueda motriz.	
TRABAJO CUESTA ARRIBA	El peso aumenta en la parte trasera, lo que produce un desgaste relativamente más alto de los rodillos traseros y de los bujes y la rueda motriz del lado de impulsión de avance.	
TRABAJO EN ABOVEDADOS	Los componentes internos transportan más carga. Esto produce más desgaste en los eslabones internos, rodillos y bandas de rodadura de la rueda guía y en los extremos de las garras. En casos severos, el desgaste puede acelerarse en las superficies de contacto entre la rueda motriz y los bujes interiores.	
TRABAJO EN DEPRESIONES	Hace que las cargas sean transportadas por los componentes exteriores, lo cual aumenta el desgaste en los eslabones exteriores, rodillos y	

Fuente: Autor

Condiciones de aplicación: La palabra “aplicación”, con frecuencia se usa erróneamente para describir las condiciones del terreno y debe interpretarse correctamente como lo que la máquina está haciendo. A continuación se hace una breve descripción de los posibles efectos estructurales y de desgaste de las diversas “aplicaciones”, sin importar las condiciones del terreno en que se encuentre la máquina.

- Empuje con la hoja y carga por empuje: El peso de la máquina pasa a la parte delantera y produce un desgaste más acelerado en los rodillos delanteros y ruedas guía que en los rodillos traseros.

- Desgarre y barra de tiro: El peso pasa a la parte trasera de la máquina, aumentando relativamente el desgaste de los rodillos traseros más que de los delanteros y, también, de la rueda motriz y bujes en casos severos.
- Carga: El peso mayor de la máquina pasa de la parte delantera a la trasera, a medida que cambia de la acción de excavar a la de cargar, respectivamente. El efecto principal es mayor desgaste en los rodillos delanteros y traseros, en comparación con los del centro.

4.3.3 Variables Controladas Parcialmente: Algunas variables que afectan la vida útil del tren de rodaje se pueden controlar sólo parcialmente. Hasta cierto punto, éstas dependen de variables no controlables, pero que el operador puede contrarrestar. Se llama a estas variables “condiciones de operación”.

La palabra “operación” con frecuencia se interpreta mal para describir las condiciones del terreno o de aplicación y realmente debe usarse para describir lo que el operador de la máquina está haciendo.

Estas variables, que dependen del operador, pueden o no ser una función de las condiciones del terreno, del tipo de máquina e, incluso, de la aplicación.

4.3.3.1 Velocidad: La tasa de desgaste es una función directa de la velocidad, ya que el desgaste es también una función de la distancia recorrida y no sólo del trabajo realizado. A medida que la velocidad aumenta, también lo hace proporcionalmente, el desgaste en todos los componentes. Los efectos del desgaste y del impacto (estructural) también aumentan proporcionalmente con la velocidad, como resultado de las cargas altas causadas por la velocidad con que las piezas se ponen en contacto entre sí. El desgaste entre eslabones y rodillos, eslabones y rodillos superiores, eslabones y rueda motriz, y bujes y rueda motriz aumenta, como resultado del mayor impacto que ocurre entre estas piezas. El desgaste de las zapatas y garras aumenta, por el mayor impacto que ocurre

contra el suelo. El retroceso a alta velocidad afecta particularmente la tasa de desgaste por contacto entre los bujes y la rueda motriz, a causa del diseño de la cadena. Evite siempre la velocidad no productiva.

Se debe evitar también los cambios de dirección de avance y de retroceso, cuando no son productivos.

4.3.3.2 Giro: Cuanto mayor sea el giro de la máquina, mayor será el desgaste. El giro aumenta las cargas de interferencia entre los eslabones y rodillos, y entre los eslabones y las ruedas guía, particularmente en los lados de los rieles y pestañas de los rodillos y ruedas guía. El giro en retroceso puede acelerar el desgaste de los bujes y de la rueda motriz, si se compara con el giro en avance. Los efectos del giro siempre en la misma dirección pueden equilibrarse intercambiando las cadenas de un lado a otro de la máquina, en la mitad de su vida útil.

4.3.3.3 Patinaje de las cadenas: El desgaste de los componentes aumenta cuando las cadenas patinan. Cuando las cadenas patinan debido a la falta de adherencia entre las garras y el suelo, se afectan particularmente las garras de las zapatas. El aumento de carga que produce el patinaje de las cadenas se acelera cuando el suelo es resistente al cizallamiento.

4.3.3.4 Empuje con la hoja por un solo lado y otros trabajos: El desgaste en el lado de carga de una hoja de empuje aumentará en todos los componentes si sólo se usa un lado de la máquina. La tasa de desgaste aumenta a medida que se aplica mayor fuerza en el lado de la carga. El mayor patinaje y la compactación de material en el lado de carga contribuirán al aumento del desgaste.

La mayor carga y la compactación de material en un lado de la máquina pueden aumentar hasta el doble el desgaste en ese lado. Este desgaste puede equilibrarse intercambiando los componentes de un lado al otro. Esto debe

hacerse cuando los eslabones o los rodillos tienen la mitad de su vida útil máxima, en el lado más desgastado.

4.4 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION PARA TREN DE RODAJE

Para la medición del tren de rodaje CATEPILLAR ha diseñado un programa utilizando la técnica Predictiva del ultrasonido denominado CTS. Este aprovecha la herramienta de ultrasonido para medir el desgaste de los espesores de los diferentes compones del tren de rodaje generando un reporte en el formato “informe de inspección CTS” ver anexo, con el porcentaje de desgaste medido del componente se determina si el desgaste es normal o prematuro, y se toman las acciones correctivas del caso dependiendo de la causa de falla detectada, o se procede a programar el cambio del tren de rodaje si es el caso.

Con esto se garantiza obtener el máximo rendimiento y vida útil del tren de rodaje y se eliminan los tiempos de parada debidos a fallas catastróficas del rodaje, reduciendo los tiempos de parada al poder programar con anterioridad la consecución de los recursos para la parada del equipo.

Figura 36. Medición de la cadena con Ultrasonido



Fuente: Measurement and Calc with SystemOne slides

Figura 37. Medición de Bujes y Pasadores

A photograph showing a person using an ultrasonic probe to measure a bush and pin on a yellow excavator. The probe is held against a metal bush. An inset diagram in the bottom right corner shows a schematic of the probe measuring a bush and pin, with a vertical line indicating the measurement point.

Fuente: Measurement and Calc with SystemOne slides

90

Figura 38. Medición de Zapatas



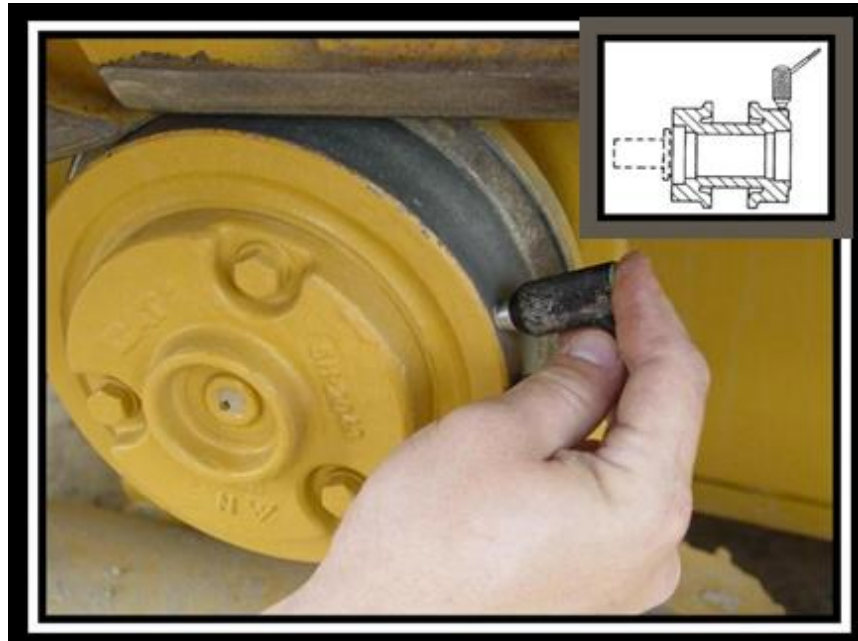
Fuente: Measurement and Calc with SystemOne slides

Figura 39. Medición de Rueda Guía



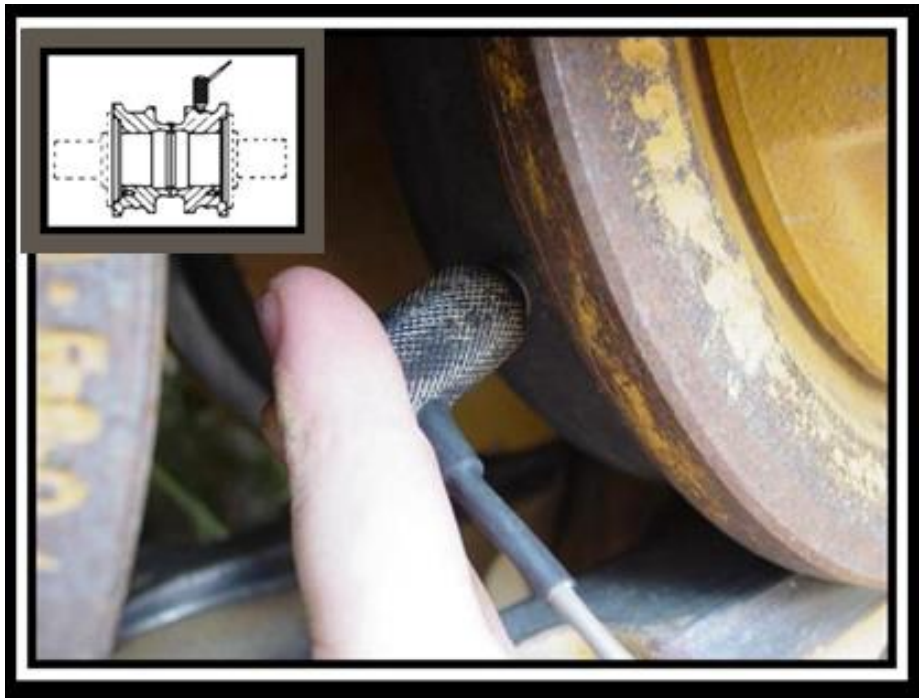
Fuente: Measurement and Calc with SystemOne slides

Figura 40. Medición Rodillo Superior



Fuente: Measurement and Calc with SystemOne slides

Figura 41. Medición Rodillo Inferior



Fuente: Measurement and Calc with SystemOne slides

5. ASPECTOS GENERALES DE MANTENIMIENTO

5.1 QUE ES MANTENIMIENTO?

Existen varios tipos de mantenimiento que hay que realizar en la maquinaria de obra; si lo asemejamos a nuestro cuidado, el primero es el que realizamos diariamente en casa tomando vitaminas y algún tipo de analgésico, así como nuestra limpieza y aseo. Éste sería el mantenimiento preventivo de la máquina, consistente en las tareas básicas de inspección, limpieza y lubricación de las partes móviles, así como la comprobación de los niveles de los fluidos de los sistemas.

Cuando nos encontramos peor y vamos al ambulatorio a que nos vea el médico, estamos realizando un mantenimiento curativo, consistente en este caso en las reparaciones de talleres especializados.

Cuando empeoramos o se repiten los mismos síntomas, ingresamos en el hospital, lo que podríamos asemejar al mantenimiento correctivo, que se realiza desde la fábrica para detectar fallos en el montaje o en el proceso de fabricación.

Por último, cuando los laboratorios experimentan con vacunas para salvar vidas, estamos comparándolo con el mantenimiento predictivo, consistente en el análisis de los fallos y la elaboración de nuevos componentes y sistemas que tecnológicamente aporten nuevas capacidades y prestaciones a la máquina de movimiento de tierras.

5.2 CLASE DE MANTENIMIENTO¹¹

5.2.1 Mantenimiento correctivo (MC): Es la más simple y costosa de las estrategias cuando se utiliza sola. Se trata de la corrección de fallas cuando estas se presentan y no tiene ninguna planificación. Es de aclarar que a pesar de los altos costos que pudiera alcanzar a utilizar esta estrategia, no significa que no se deba utilizar, siempre y cuando mediante una metodología que se indique que por situaciones de conveniencia o costo beneficio, ya sea por el valor del equipo o circunstancias de inaccesibilidad es válido utilizarla.

5.2.2 Mantenimiento Preventivo (PM): Esta estrategia se refiere a las inspecciones y cambio de partes de equipo basadas en rutinas periódicas establecidas generalmente por los fabricantes de los equipos o por grupos de expertos dedicados a establecer estas rutinas. Siendo el más utilizados desde los orígenes de las gestiones de mantenimiento dedicadas después de los años 50. Por ser de concepción basada en la prevención y en la planificación, tiene mejores efectos en el manejo de los costos por fallas imprevistas, al evitarla por inspección. Tiene algunos efectos el uso extendido de esta estrategia y tiene que ver con el cambio de partes que aún no se han deteriorado o que aún tiene vida útil remanente, causando gastos por recambio innecesarios. Igual que el mantenimiento correctivo, si se utiliza de manera coordinada y bajo una metodología correcta es de gran utilidad bajo conceptos de costo beneficio y de conveniencia situacional.

5.2.3 Mantenimiento Productivo Total (TPM): El gran avance en esta filosofía o estrategia de mantenimiento es integrar al personal de producción y mantenimiento para conservar los equipos de una planta y no dejando solo al personal de mantenimiento en esta tarea. Esta estrategia fue originada en el

¹¹ RIOS, Edwin. Metodología para el mantenimiento basado en condición en compresores recíprocos de gas. Pag 16-21

Japón después de la segunda guerra mundial y se trabajó en concentrarse en la reducción de las fallas mediante enfoques grupales de la compañía y dirigidos a trabajar en aspectos como:

- Perdidas en las máquinas.
- Perdidas en mano de obra.
- Perdidas en métodos.
- Perdidas en materia prima.
- Perdidas de energía.
- Perdidas en medio ambiente.

5.2.4 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (RCM): La estrategia RCM nació de la industria aeronáutica hacia los años 60, y se enfocaba por una parte en preservar la función de los equipos, más que mantener en si el equipo, y por otra parte en determinar las consecuencias de las fallas y así mismo crear acciones para mitigarlas o controlarlas. Como podemos observar el contexto operativo se convierte el centro de las acciones de mantenimiento más que considerar los equipos aislados, muy paralelo este concepto con el del TPM, es el sentido de que globalizan las acciones de mantenimiento para hacerlas participes del proceso productivo u operativo. Esta metodología se derivó posteriormente hacia la industria petrolera y petroquímica quienes tomaron ventajas de sus beneficios. Para desarrollar las tareas de mantenimiento basadas en el RCM se establecieron 7 pasos que mediante la resolución de sus interrogantes desarrollan la estrategia a seguir:

- Cuales son funciones y modelos ideales de rendimiento del recurso en su actual contexto operativo (Funciones).?
- En que no puede cumplir sus funciones (Fallas funcionales).?
- Que ocasiona cada falla funcional (Modos de falla).?
- Que sucede cuando ocurre cada falla (Efectos de la falla).?
- En qué forma es importante cada falla (Consecuencias de la falla).?

- Que debe hacerse para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de labores).?
- Que debe hacerse si de una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada?(acciones por defecto)

Los anteriores criterios de evaluación se han descrito y definido en la norma SAE JA 1011 que estandariza el uso de la estrategia RCM.

El criterio de evaluación (Que debe hacerse para predecir o prevenir cada falla), ha permitido desarrollar estrategias y herramienta que permite dar cumplimiento a este punto. Dentro de las herramientas más útiles se encuentra el análisis de causa raíz de fallas RCFA (por sus siglas en ingles Root Cause Failure Analysis). Esta herramienta metodológica trata de prevenir la repetición de fallas mediante un análisis concienzudo por expertos en el área y estandarizar sus soluciones. Otra herramienta poderosa es crear una estrategia de monitoreo, que se le dio el nombre de **Mantenimiento basado en Condición CBM** (por sus siglas en inglés Condition Based Maintenance).

5.2.5 Mantenimiento Basado en Condición (CBM): Como se indica anteriormente, esta estrategia resulta complementaria a las necesidades de RCM y trata de generar tareas predictivas o de inspección rutinarias para los equipos críticos de una planta. Para el desarrollo de estas tareas predictivas o de inspección se hace uso de técnicas y tecnologías de avanzada para lograr establecer la condición de esto equipos objeto. Es de anotar que esta estrategia de mantenimiento, por su formato se puede iniciar sin necesidad de haber establecido un RCM, dando resultados en el corto plazo mientras se logra o se desarrolla completamente la estrategia RCM. Siendo así, el CBM aporta un avance significativo en establecer la salud de una plata, evitando fallas catastróficas y permite tomar planes de acción para prevenir salidas intempestivas de los equipos críticos.

Para el objetivo del CBM, se han desarrollado tecnologías de inspección que hoy en día son de uso imprescindibles en las plantas modernas. Las más utilizadas son:

- Detectores de vibraciones mecánicas
- Detectores de calor infrarrojo- Termografía.
- Ultrasonido
- Análisis de aceite.
- Determinación de la eficiencia y desempeño mecánico de equipos recíprocos
- Evaluación de motores eléctricos.
- Inspección visual remota.
- Tendencia a parámetros operacionales.

El uso combinado eficientemente, de las anteriores técnicas y tecnología ofrecerá los mejores resultados costo beneficio.

5.3 ORGANIZACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO PARA TRACTORES

5.3.1 Diagnóstico: Es de vital importancia, antes de iniciar cualquier plan de mantenimiento, analizar detenidamente la relación entre las variables más importantes y determinar la situación competitiva del departamento, lo que permitirá plantear el plan de acción a seguir para lograr alcanzar los objetivos trazados.

5.3.2 Plan de mantenimiento aplicado actualmente a los tractores: En la actualidad los clientes tienen el paradigma que por la robustez, gran tamaño y calidad del equipo basta con realizar los cambios de fluidos y filtros para que este equipo trabaje sin fallar descuidando e ignorando las recomendaciones de inspección y ajuste que se debe realizar en cada una de estas paradas.

Para Suramérica debido a la mala calidad del combustible, CATERPILLAR recomienda realizar el PM2 cada 250 horas.

5.3.2.1 PM1 cada 250 horas

- Tome y analice muestra de aceite de motor
- Ajuste correas
- Revise nivel de los fluidos
- Inspeccione las Cadena
- Engrase el equipo

5.3.2.2 PM2 cada 500 horas

- Realice las labores del PM1
- Remplace filtro primario de combustible
- Remplace filtro secundario de combustible
- Remplace filtro aceite de motor
- Remplace aceite de motor
- Inspeccione y cambie sello de la tapa del tanque de combustible
- Tome y analice muestra de aceite de transmisión
- Tome y analice muestra de aceite de mandos finales
- Tome y analice muestra de aceite hidráulico

5.3.2.3 PM3 cada 1000 horas

- Realice las labores del PM2
- Remplace filtro de aceite de dirección
- Remplace filtro de aceite hidráulico
- Remplace aceite de transmisión

5.3.2.4 PM4 cada 2000 horas

- Realice las labores del PM3
- Remplace filtro de aire primario
- Remplace filtro del sistema hidráulico piloto
- Remplace filtro de aire acondicionado
- Remplace aceite de mandos finales
- Remplace aceite Hidráulico
- Inspeccione guarda del radiador
- Inspeccione tren de rodaje
- Tome y analice muestra de refrigerante

6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los proyectos de Minería e Infraestructura dependen de numerosa maquinaria de gran envergadura para realizar los movimientos de tierra en las diferentes etapas de los mismos. Dentro de la cuadrilla de equipos no puede faltar el tractor sobre orugas este gigante tiene grandes ventajas sobre las demás máquinas, por su diseño, maniobrabilidad y aplicaciones, siendo utilizados en la mayoría de las etapas del proyecto.

La principal falla que se encuentra en estos equipos radica en el tren de rodaje este no está cumpliendo con la vida útil estipulada por el fabricante para el mismo, incurriendo en grandes pérdidas económicas ya que el tren de rodaje equivale al 40% del costo del equipo y al 60% de los costos de mantenimiento, además de poner en riesgo la vida e integridad de operadores y personal técnico al sufrir descarrilamientos del equipo en plena operación, alteraciones en la programación de otros equipos del área los cuales se deben sacar de línea de producción para prestar primeros auxilios al equipo y poder trasladarlo al taller, aumento en los tiempos de parada del equipo ya que al no poder anticiparse a la falla no se cuenta con el tren de rodaje disponible en el almacén de repuestos para su inmediata instalación durando estos equipos varados hasta por lapsos de dos meses.

La industria minera y de construcción ha aceptado históricamente estos altos costos y riesgos como normales, pero estas cifras pueden ser mejoradas, adicionando utilidades sustanciales al estado financiero de la empresa

Por ejemplo el costo de un tractor de cadenas nuevo CATD8T es de U\$ 510.000 dólares con un costo de operación de U\$22 por hora, 50% del cual es para mantenimiento, particularmente el mantenimiento del tren de rodaje.

Existen varios aspectos que hace importante la aplicación del plan de mantenimiento a este componente.

El primero: Este componente es crítico ya que sin este el equipo no se podría desplazar perdiendo su funcionalidad.

El segundo: Es uno de los componentes más exigidos, ya que soporta todo el peso de la máquina, operando en condiciones ambientales agrestes, además de sufrir sobre cargas por malas prácticas de operación.

El tercero: Su costo de cambio supera el de cualquier otro componente su costo esta alrededor del 25% del valor del equipo.

El cuarto: Los tiempos de entrega en obra del tren de rodaje nuevo son bastante largos llegando a tardarse hasta 2 meses su disponibilidad en obra.

El Quinto: Los tiempos de remoción e instalación del tren de rodaje son bastante largos sobre todo cuando se presentan en una falla no programada, afectando la disponibilidad del equipo

El sexto: El tren de rodaje solo está alcanzando aproximadamente el 60% de la vida útil estipulada por el fabricante reduciendo considerablemente la confiabilidad en este.

Con un programa de mantenimiento Proactivo implementado en el que se logren monitorear las tendencias de desgaste y controlar los factores que los generan, el

tren de rodaje alcanzara la vida útil esperada aumentando la disponibilidad del equipo. Debido a las razones presentadas anteriormente y a un número de fallas repetitivas en los trenes de rodaje de tractores sobre orugas reportadas por los principales clientes de proyectos de construcción de la zona durante el periodo de Julio del 2011 a Julio del 2012 se decide diseñar la propuesta de "PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN CONDICION PARA TREN DE RODAJE DE TRACTORES SOBRE ORUGAS CAT" Para los Gerentes de mantenimiento de maquinaria amarilla o equipos CAT.

6.1 OBJETIVOS

6.1.1 Objetivo General: Realizar una propuesta de plan de mantenimiento proactivo basado en condición para tren de rodaje de tractores sobre orugas CATERPILLAR con el cual se aumente la disponibilidad del equipo y la vida útil del componente, se disminuyan los costos de mantenimiento y se mitiguen los riesgos de accidentes.

6.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar los componentes que conforman un tren de rodaje
- Identificar los factores que determinan la durabilidad de los trenes de rodaje de tractores sobre orugas.
- Definir el mantenimiento basado en condición, sus ventajas, objetivos y las herramientas para su aplicación.
- Identificar las técnicas de mantenimiento "a condición" aplicables para los tractores sobre orugas.
- Realizar una propuesta de aplicación del mantenimiento proactivo basado en condición para el tren de rodaje de tractores sobre orugas incluyéndolo en las actuales estrategias de mantenimiento utilizadas en el proyecto.

- Realizar análisis costo/beneficio de la implementación del mantenimiento basado en condición para tren de rodaje en tractores de orugas.

6.2 PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

La propuesta se centra en la filosofía del mantenimiento proactivo, combinado con técnicas de mantenimiento basado en condición, ya que en la actualidad el costo de operar un equipo hasta que el componente falle es muy alto en término de tiempo improductivo, partes de recambio, mano de obra y costos de reparación.

El mantenimiento proactivo es “una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causa que generan los daños y que conducen a la falla de la maquinaria”¹. Esta filosofía de detección y corrección combinada con el mantenimiento basado en condición el cual indica el momento en que el componente está próximo a fallar, aseguran llegar a la vida útil del componente sin que falle, aumentando al confiabilidad y la disponibilidad del equipo y reduciendo los costos de mantenimiento del mismo.

En el tren de rodaje de tractores de cadenas CAT controlar tres causas de falla plenamente reconocidas puede llevar a la prolongación de la vida útil del componente en muchas ocasiones hasta el doble con respecto a las condiciones operacionales actuales. Estas causas son:

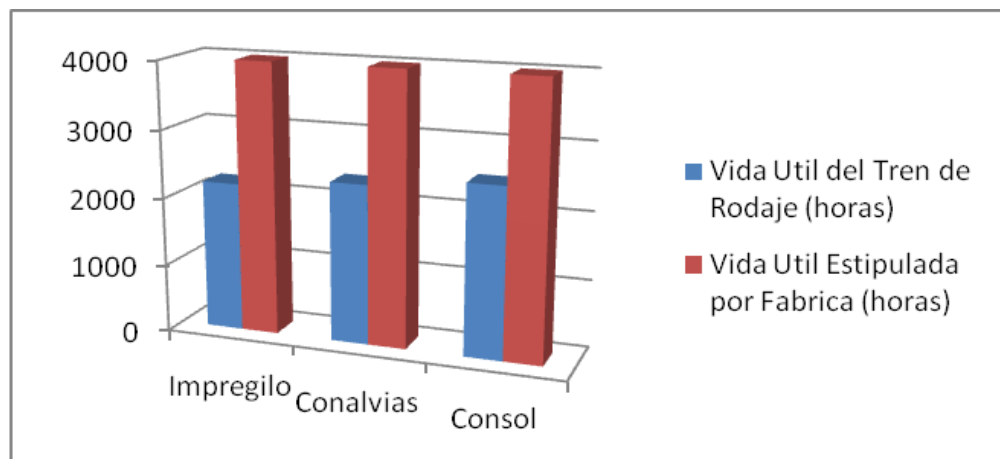
- Aplicación del equipo.
- Mantenimiento del componente.
- Operación del equipo

La técnica basada en condición utilizada es el Ultrasonido, con esta podemos medir las variaciones de espesor de los diferentes componentes pudiendo detectar si el desgaste es normal o se debe a alguna de las variables descritas en el

capítulo cuatro y de esta manera además de poder programar la parada del equipo, se pueden aplicar acciones proactivas para mitigar o eliminar la causa raíz del desgaste prematuro en los componentes.

Se tomó como muestra el tractor D8T debido a que este es el equipo más comúnmente usado, se realizó una revisión preliminar de estos equipo pertenecientes a tres de los clientes más importantes actualmente en la zona, Impregilo, Conalvias y Consol, este estudio revela falla catastrófica prematura en el tren de rodaje de estos equipos al realizar análisis de los históricos de falla de los mismos en el último año y compararlos con la vida útil estipulada por el fabricante.

Figura 42. Vida útil promedio del tren de rodaje en los Proyectos de la Zona



Fuente: Autor

6.2.1 Análisis Información de los Clientes

6.2.1.1 Impregilo. Es una empresa italiana de ingeniería fundada en 1989 que se dedica a la construcción de infraestructura de gran envergadura, tales como embalses, plantas hidroeléctricas, vías férreas, metros, puentes, viaductos, autopistas y vías, puertos y aeropuertos alrededor del mundo.

En la actualidad Impregilo adelanta proyectos de construcción de infraestructura energética en el país, en la zona se encuentran culminando labores de construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso el cual es propiedad de Isagen.

Figura 43. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso



Fuente: Autor

Para el proyecto Hidrosogamoso Impregilo adquirió 99 equipos de remoción de tierra marca CATERPILLAR, de los cuales 53 son equipos que cuentan con tren de rodaje y de estos 20 son tractores.

En la actualidad se encuentran construyendo el embalse del Rio Toná para el acueducto de Bucaramanga y tiene adjudicado la construcción de las vías sustitutivas del proyecto Hidroeléctrico Sogamoso propiedad de Isagen,

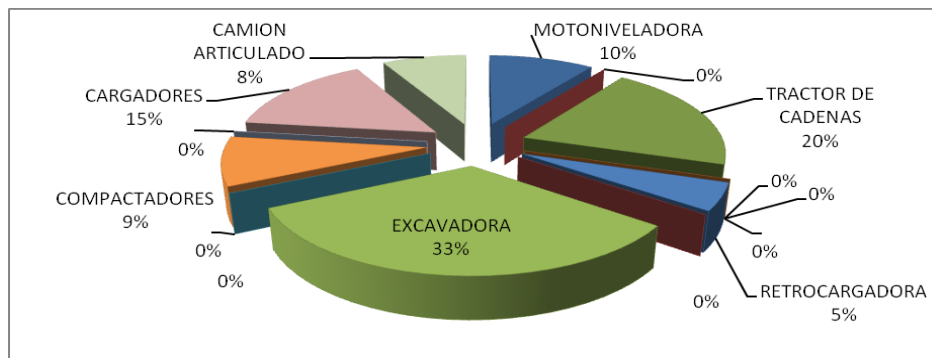
Figura 45. Proyecto Embalse Rio Tona



Fuente: www.conalvias.com

Para el proyecto del embalse del rio Tona Conalvias adquirió 62 equipos de remoción de tierra marca CATERPILLAR, de los cuales 24 son equipos que cuentan con tren de rodaje y de estos 12 son tractores.

Figura 46. Participación de los equipos en el Embalse Rio Tona



Fuente: Autor

Tabla 17. Tractores Presentes en el Embalse Rio Tona

MARCA	MODELO	CANTIDAD	CODIGO INTERNO
CATERPILLAR	D6T	5	E21D6T
CATERPILLAR	D8T	7	E21D8T

Fuente: Autor

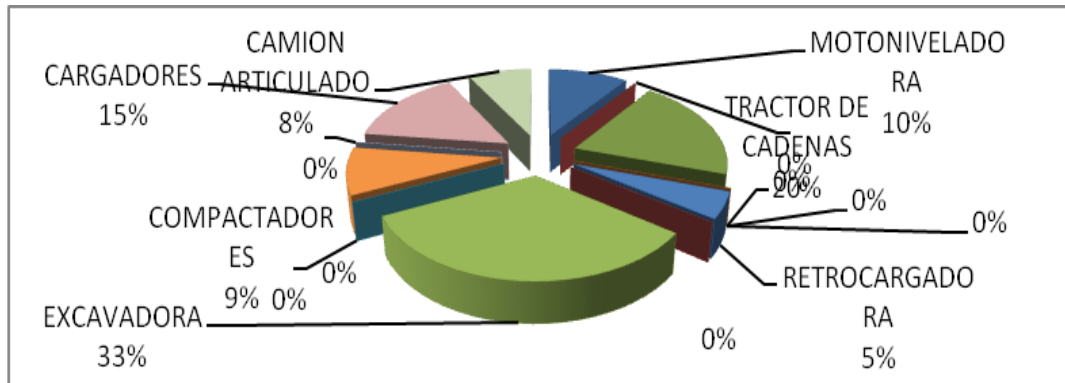
Figura 47. Proyecto Vías Sustitutivas Hidrosogamoso



Fuente: www.conalvias.com

Para el proyecto vías sustitutivas de Hidrosogamoso Conalvias adquirió 42 equipos de remoción de tierra marca CATERPILLAR, de los cuales 16 son equipos que cuentan con tren de rodaje y de estos 6 son tractores.

Figura 48. Participación de los equipos de vías sustitutivas



Fuente: Autor

Tabla 18. Tractores Presentes en vías sustitutivas

MARCA	MODELO	CANTIDAD	CODIGO INTERNO
CATERPILLAR	D6R	2	E21D6R
CATERPILLAR	D8T	4	E21D8T

Fuente: Autor

6.2.1.3 Consol. Está conformado por la Constructora Norberto Odebrecht de Brasil, EPISOL Y CSS Constructores y tiene como objeto contractual el diseño, construcción, mejoramiento y rehabilitación de las obras que comprenden los 528 km del área de influencia desde Puerto Salgar (Cundinamarca) hasta San Roque (Cesar).

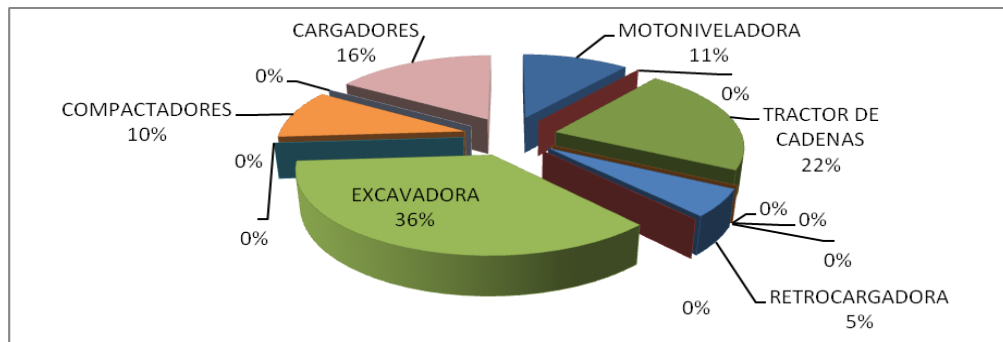
Figura 49. Proyecto Ruta del sol



Fuente: www.rutadelsol.com.co

Para el proyecto Ruta del Sol tramo II Consol adquirió 92 equipos de remoción de tierra marca CATERPILLAR, de los cuales 57 son equipos que cuentan con tren de rodaje y de estos 28 son tractores.

Figura 50. Participación de los equipos de Ruta del Sol Tramo II



Fuente: Autor

Tabla 19. Tractores Presentes en vías sustitutivas

MARCA	MODELO	CANTIDAD	CODIGO INTERNO
CATERPILLAR	D6N	11	CAT10
CATERPILLAR	D6T	9	CAT11
CATERPILLAR	D8T	8	CAT12


Fuente: Autor

6.3 ANALISIS DE INFORMACION

Teniendo en cuenta que la problemática es similar en los tres proyectos, se realiza el análisis y la implementación en el proyecto Hidrosogamoso, debido a gran parte al interés mostrado por el cliente, a la cantidad de equipos, a la ubicación geográfica y a la distribución de los equipos.

El departamento de mantenimiento del proyecto documenta todas las labores realizadas a sus equipos en una hoja de Excel, en el encabezado de esta hoja se registran los datos generales del equipo entre los que se destacan, código interno, modelo, serie, marca, año de fabricación entre otros y en la parte inferior se van enlistando las actividades de mantenimiento realizadas con la fecha de realización de la labor, la actividad realizada, el horometro en el que se intervino el equipo, las horas que duro parado equipo y la orden de trabajo en la que se realiza la actividad.

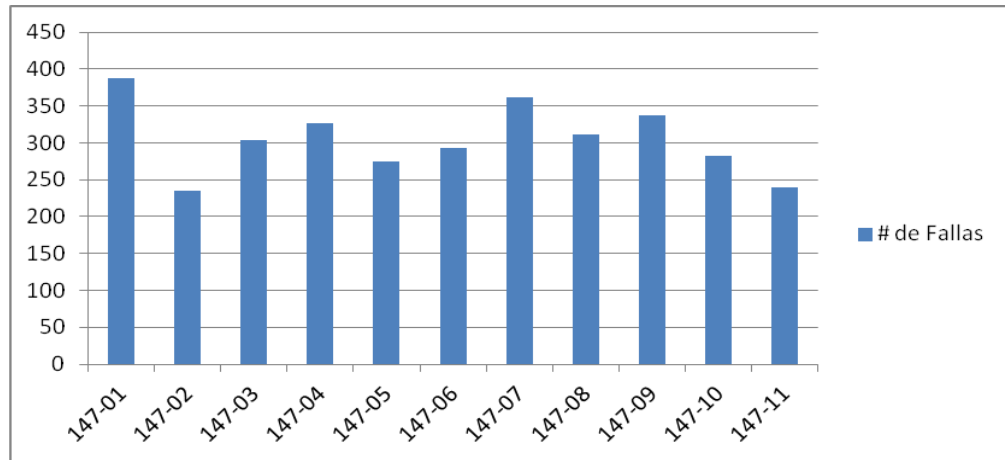
Tabla 20. Hoja de Vida de los equipos de Hidrosogamoso

A	B	C	D	E	F	G	
1		HOJA DE VIDA DEL EQUIPO			Codigo: FM-PYE-GICTII-167		
2					Revisión 02		
3					Fecha: 04/04/2011		
4					FILTRAR		
A. FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO							
6	CODIGO INTERNO	TIPO DE MAQUINA	DISPONIBILIDAD				
7	147-09	Tractor sobre orugas					
8	MARCA	MODELO	SERIAL	AÑO			
9	Caterpillar	D8T	J8B02370	2006			
10	MARCA MOTOR	MODELO MOTOR	SERIAL MOTOR	ARREGLO MOTOR			
11	Caterpillar	C15 Acert	LHX25455	225-0097			
12	MARCA TRANSMISION	MODELO TRANSMISION	SERIE DE TRANSMISIÓN	ARREGLO			
13	0	0	DZH05596	209-5636			
14	PROVEEDOR		KILOMETROS TRABAJADOS	HORAS TRABAJADAS			
15	Gecolsa						
16							
B. BITACORA							
18	CODIGO	FECHA	ACTIVIDAD	HORÓMETR	HORAS DOWN	O.T	INGRESÓ PO
659	105-02	16/04/2010	Ajustar tornillos de zapatas, revisar nivel de aceite, revision de luces y fusibles	108	1	m003	
	105-04	20/08/2010	Ajuste de dos zapatas, cambio suspensión cadena lado	1200	12	m004	

Fuente: Departamento de Mantenimiento Grupo ICT II

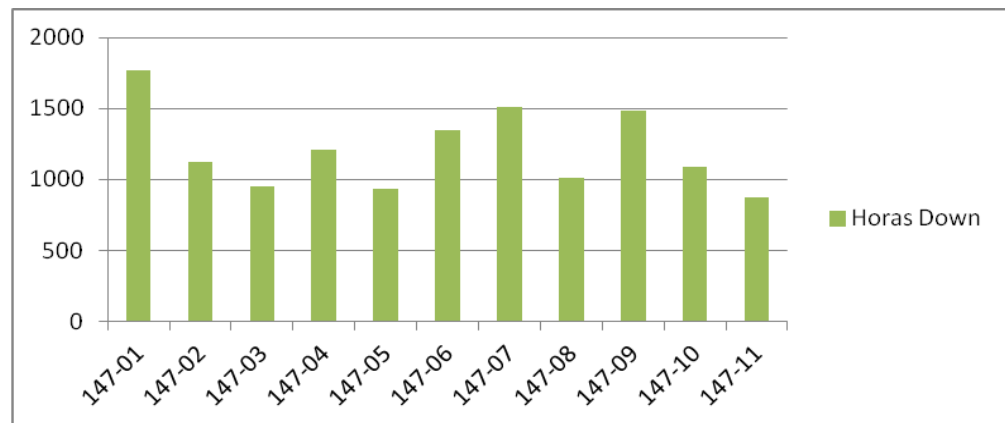
El análisis se inicia definiendo cuál de los tractores con orugas presenta mayor cantidad de fallas y tiempos de inoperatividad, para esto se estudió el comportamiento de esta flota de equipos en un periodo de un año.

Figura 51. Cantidad de Fallas en los Tractores de Hidrosogamoso 2011-2012



Fuente: Autor

Figura 52. Cantidad horas Down de los Tractores de Hidrosogamoso 2011-2012



Fuente: Autor

De la figura número 51 se observa que el tractor menos confiable por la cantidad de fallas que tuvo en el año de seguimiento es el 147-01.

En la figura número 52 se puede evidenciar que el equipo que menor disponibilidad tuvo en el proceso fue igualmente el 147-01 por presentar el mayor tiempo de inoperatividad.

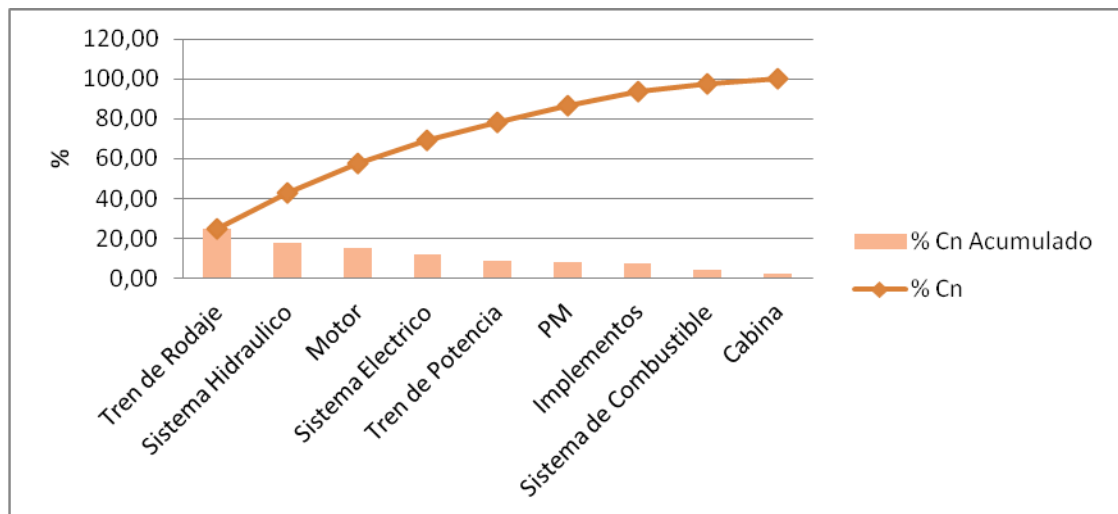
Por lo enunciado anteriormente se procederá a realizar un análisis por tipo de falla de este tractor, clasificándolas en fallas en el motor, sistema de combustible, sistema eléctrico, tren de potencia, sistema hidráulico, sistema eléctrico, tren de rodaje, implemento, cabina y mantenimientos preventivos (PM).

Tabla 21. Fallas y horas Down por Sistema del Tractor 147-01, 2011-2012

Item	Descripción	Fallas	Horas Down
1	Tren de Rodaje	97	775
2	Sistema eléctrico	45	103
3	Tren de Potencia	34	283
4	Sistema de combustible	16	55
5	Sistema hidráulico	68	124
6	Motor	58	285
7	Implementos	28	72
8	PM	32	45
9	Cabina	9	28
	Total	338	1770

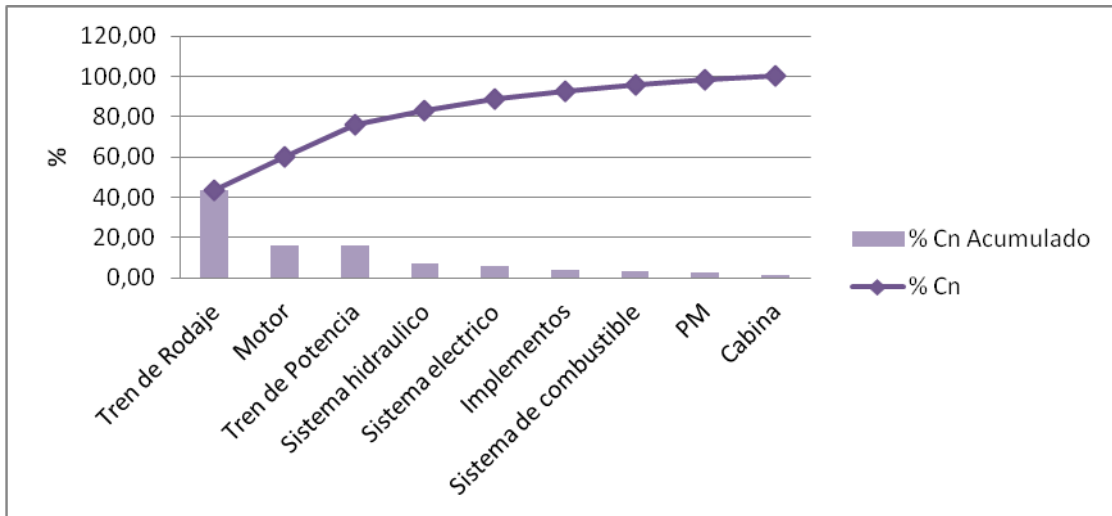
Fuente: Autor

Figura 53. Diagrama de Pareto fallas por sistemas del tractor, 2011-2012



Fuente: Autor

Figura 54. Diagrama de Pareto Horas Down por sistema del tractor



Fuente: Autor

Se puede evidenciar a través de la figura número 53 que el 25 % de las fallas que presenta el equipo 147-01 son relacionadas con el tren de rodaje, seguidas por las hidráulicas con un 18 %. En la figura 54 se observa que los mayores tiempos de parada del equipo son debido a fallas en el tren de rodaje y en el motor con un 44 y 17 % respectivamente del tiempo de inoperatividad total del equipo en el año.

De este análisis se deduce la importancia de aplicar el mantenimiento basado en condición al Tren de Rodaje ya que este componente es el que está afectando en mayor medida la confiabilidad y la disponibilidad del equipo.

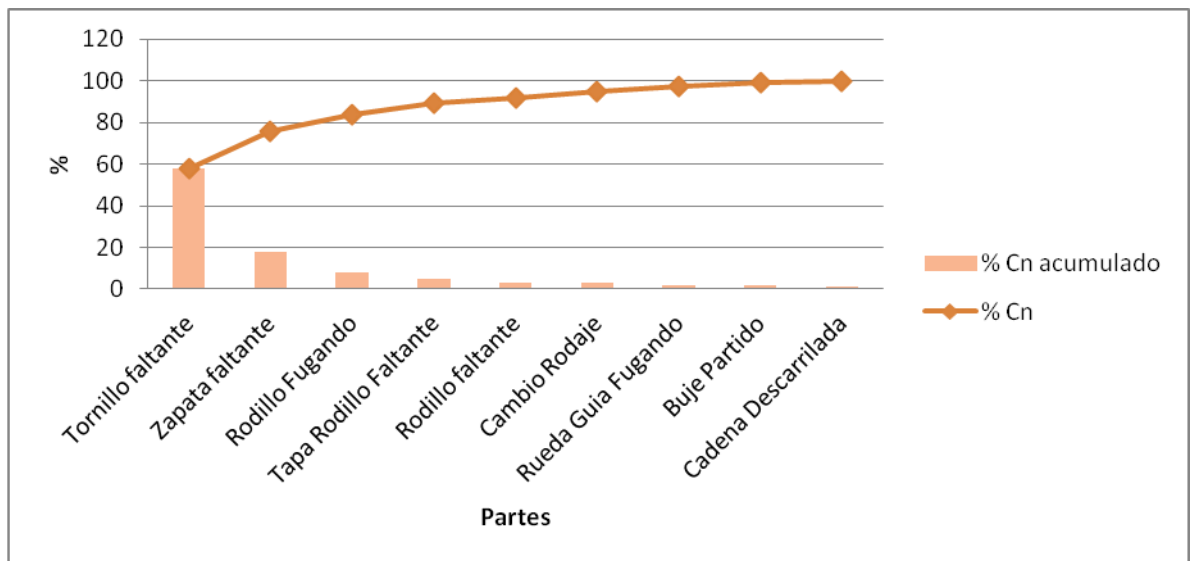
Se procede a realizar un análisis más profundo de los modos de falla reportado en el año en el equipo por el tren de rodaje, para determinar cuáles son las causas reales del porcentaje de participación tan alto en la indisponibilidad del equipo, al igual de encontrar la causa que más incide en los altos costos de mantenimiento del componente.

Tabla 22 . Fallas, costos y horas Down debido al Rodaje

Item	Descripcion	Fallas	Costo (\$)	Down (h)
1	Tornillo faltante	56	1120000	20
2	Zapata faltante	17	5100000	17
3	Rodillo Fugando	8	1680000	8
4	Tapa Rodillo Faltante	5	1400000	4
5	Rodillo faltante	3	5649147	3
6	Cambio Rodaje	3	459950000	711
7	Rueda Guia Fugando	2	960000	5
8	Buje Partido	2	1600000	2
9	Cadena Descarrilada	1	1000000	5
	Total	97	478459147	775

Fuente: Autor

Figura 55. Diagrama de Pareto Fallas por componentes del Rodaje, 2011-2012

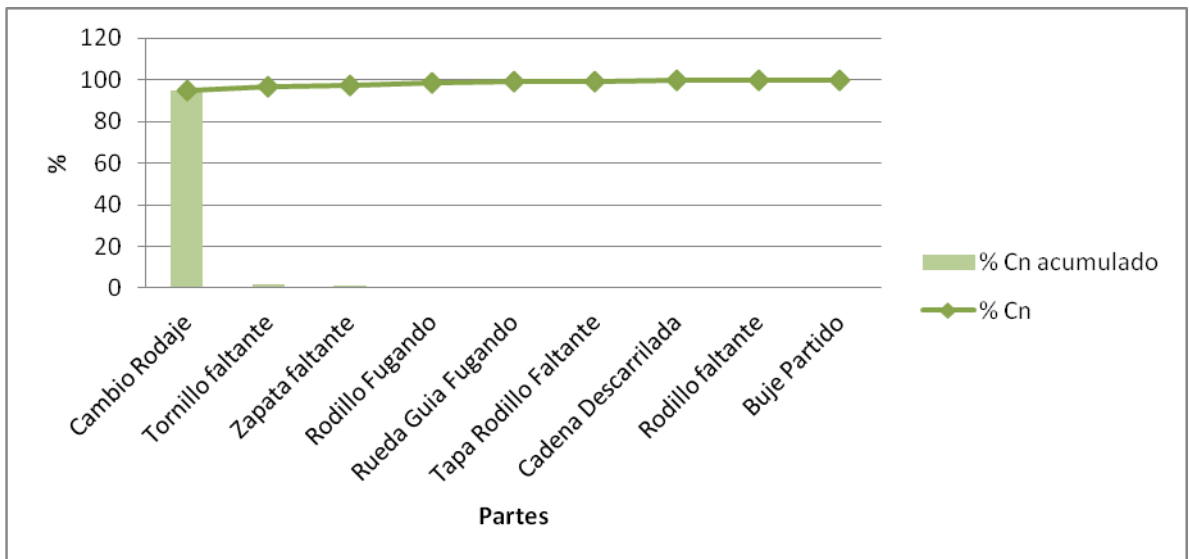


Fuente: Autor

De este análisis se concluye que la perdida de tornillería es la falla más recurrente con un 58%, seguida de la perdida de zapatas con un 18% estas afectan en gran medida la confiabilidad del equipo, por la incidencia y el costo de esta falla se decide tomar una acción preventiva la cual es incluida en el mantenimiento de 250

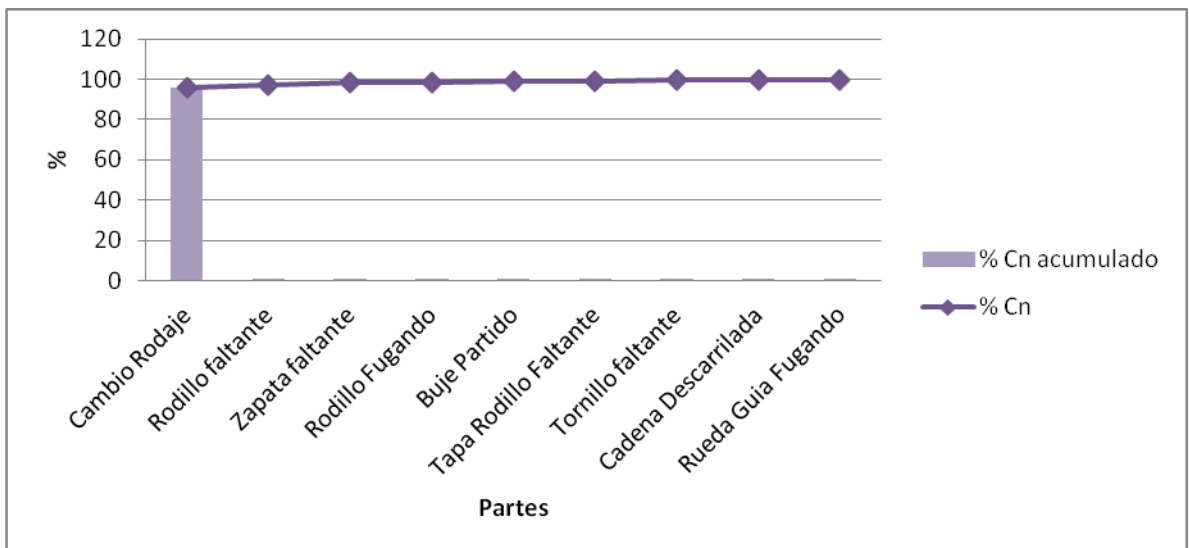
horas o PM1, esta consiste en realizar retorqueo de los tornillos de las zapatas del tren de rodaje.

Figura 56. Diagrama de Pareto Horas Down del equipo por Rodaje



Fuente: Autor

Figura 57. Diagrama de Pareto Costos por fallas en el Rodaje



Fuente: Autor

De igual forma se analiza las figuras 56 y 57, encontrando que los altos costos y los altos tiempos de inoperatividad del equipo son debido al cambio del tren de rodaje, con casi un 100% de la participación, debido al alto costo y a la incidencia en la disponibilidad del equipo y el presupuesto del departamento de mantenimiento del proyecto, se implementa la técnica predictiva de la medición del rodaje por ultrasonido cada 500 horas o PM2 con el fin de llevar control a desgaste de los componentes y poder anticiparse a la falla realizando el mantenimiento de una forma programada contando con todos los recursos disponibles y por ende reduciendo los tiempos de parada.

Además de la técnica Predictiva antes descrita se propone vincular al operador del equipo en el cuidado del tren de rodaje, ya que este es una de las principales fuentes de desgaste prematuro del componente, en la inspección pre operacional el operador deberá realizar limpieza del tren de rodaje e inspección del equipo, esto disminuirá el desgaste por abrasión como ya se vio en el capítulo cuatro aumentando la vida útil del componente.

En este equipo en particular se detectó falla por mala selección del equipo o mala aplicación, al realiza análisis de la causa raíz de las fallas presentes en los Rodillos los cuales tanto en costos como en cantidad de fallas son relevantes se encontró que la causa raíz de esta falla radicaba en la vibración que estaba sufriendo el equipo ya que este equipo es de tren de rodaje rígido diseñado para trabajo en suelo blando y estaba siendo utilizado el área de explotación donde el suelo es rocoso, para esta aplicación se requería un tractor con Bogíes, se realiza el cambio de lugar de trabajo del equipo eliminando las fallas producidas en los rodillos.

6.3.1 Disponibilidad actual. Se realizó análisis con la información recopilada en el año 2011-2012, los equipos que operan en el proyecto deberían estar

disponibles 20 horas diarias, esto por los 365 días de la prueba, arroja que el tiempo que la maquina puede operar es de 7300 horas/año.

El equipo estuvo 1770 horas Down, por lo que este equipo opero correctamente solo 5530 horas/año.

Aplicando la ecuación de Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tempo en que el equipo opera correctamente y funciona bien}}{\text{Tempo en que la maquina puede operar}}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{5530 \text{ h}}{7300 \text{ h}} = 0,757 * 100 = 75,7 \%$$

La disponibilidad del equipo durante el periodo 2011-2012, fue del 75,7 % muy por debajo de los estándares estipulados por fabrica el cual debe está por encima del 85% para los tractores sobre orugas.

6.3.2 Aumento de la Disponibilidad. Incluyendo la técnica basada en condición del ultrasonido y el mantenimiento proactivo para el tren de rodaje en el plan de mantenimiento actual que se le realiza al equipo en el proyecto se logra incrementar notoriamente este indicador el cual es muy importante para el departamento de producción.

Aplicando la propuesta se reduce el tiempo de parada del equipo por causa del tren de rodaje de 775 a 107 horas, ya que en el periodo de Agosto de 2012 a Agosto de 2013 no se presentaron paradas no programas debido a este componente.

Las 107 horas se deben a:

Los bujes del tren de rodaje se tuvieron que voltear a las 2230 y a las 6197, para cada servicio el equipo estuvo parado 24 horas, para un total de 48 horas debido a este mantenimiento preventivo.

A las 4245 horas se procedió al cambio del tren de rodaje por terminación de la vida útil del componente se logró llevar a un 106% de la vida útil del mismo, esta labor se llevó a cabo en 12 horas.

Se implementó cada 250 horas o PM1 la labor de retorqueo y tensión de la cadena debido a que esta fue la falla más recurrente reportada en el año anterior y una de las principales causas del desgaste prematuro del tren de rodaje, esta labor proactiva incremento en una hora el tiempo de parada en los PM1, durante el periodo de implementación se realizaron 25 PM1, para un total de 23 horas de parada por esta labor debido a que en 3 PM1 se realizaron las labores descritas anteriormente.

De igual forma en los mantenimientos de 500 horas o PM2 se programó medición del tren de rodaje, para llevar la tendencia del desgaste y poder programar la parada del equipo tanto para cambio del tren como para volteo de bujes. Esta labor de CBM incremento en 2 horas el tiempo de parada en los PM2, durante el año de seguimiento se realizó 12 PM2, para un total de 24 horas de parada por la realización de esta labor.

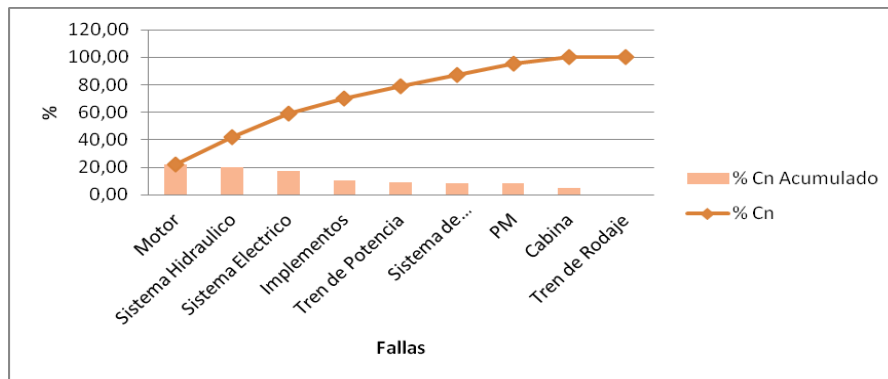
La labor Proactiva de limpieza la cual influye en gran medida en el aumento de la vida útil de componente se realiza en la inspección pre operacional, en el tiempo muerto del cambio de turno, por este motivo no genera parada del mismo, ni sobre costos por labor de personal de mantenimiento.

Tabla 23. Fallas y Horas Down del equipo Periodo 2012-2013

Item	Descripción	Fallas	Horas Down
1	Tren de Rodaje	0	0
2	Sistema eléctrico	53	160
3	Tren de Potencia	27	172
4	Sistema de combustible	25	62
5	Sistema hidráulico	61	114
6	Motor	67	301
7	Implementos	32	73
8	PM	25	156
9	Cabina	15	42
	Total	305	1080

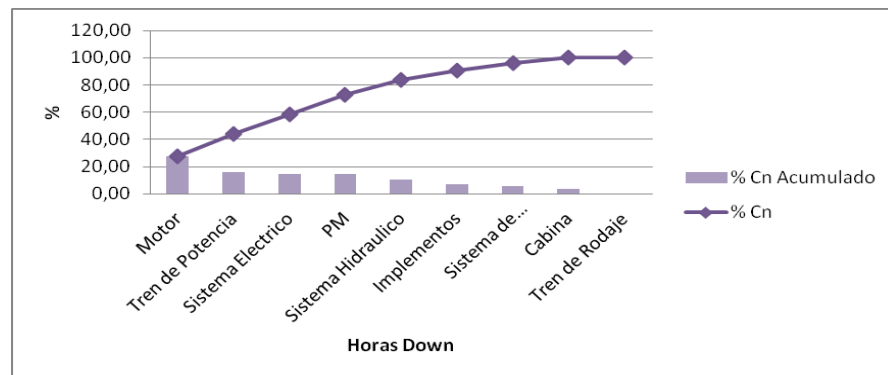
Fuente: Autor

Figura 58. Diagrama de Pareto fallas por sistemas del tractor, 2012-2013



Fuente: Autor

Figura 59. Diagrama de Pareto Horas Down por sistema del tractor, 2012-2013



Fuente: Autor

Para el mismo periodo de tiempo de un año con 7300 horas, aplicando el plan de mantenimiento proactivo basado en condición para este componente las horas que el equipo estuvo Down fueron 1080 horas, por lo que este equipo opero correctamente 6220 horas/año.

Aplicando la ecuación de Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{6220 \text{ h}}{7300 \text{ h}} = 0,852 * 100 = 85,2\%$$

Controlando solo este componente se alcanzaría la meta de disponibilidad estipulada por el fabricante, aumentando la disponibilidad del equipo en un 8% con respecto al periodo anterior.

6.4 ANALISIS ECONOMICO

La propuesta planteada se centra en el cumplimiento del objetivo más importante para la gerencia de cualquier proyecto el costo/beneficio.

Los costos inherentes a la aplicación de la propuesta son los siguientes:

Tabla 24.Costos del Equipo de Ultrasonido

	VALOR
Equipo de Ultrasonido	\$ 10.110.000,00
Equipo de Medición	\$ 2.147.098,00
Entrenamiento personal CBM	\$ 5.000.000,00
Capacitación operadores	\$ 1.000.000,00
Total Costos	\$ 18.257.098,00

Fuente: Autor

Tabla 25. Costos Hora Hombre para la implementación del CBM

	(\$/hora)	HORAS LABORADAS	VALOR
Sueldo técnico Mantenimiento	7300	83	\$ 1.211.800,00
Sueldo Ingeniero CBM	12100	24	\$ 290.400,00
Total Costos			\$ 1.502.200,00

Fuente: Autor

La disponibilidad aumento en 668 horas, tiempo en el cual el equipo va a estar laborando con los siguientes costos fijos de operación y mantenimiento del mismo

Tabla 26. Costos fijos por la operación del Tractor

	PRECIO (\$/gal)	CONSUMO (gal/hora)	HORAS LABORADAS	VALOR
Combustible	6931	2,52	668	\$ 11.667.368,16
Aceite Motor	40934	0,045	668	\$ 1.230.476,04
Aceite Hidráulico	36240	0,01	668	\$ 242.083,20
Aceite Transmisión	40659	0,02	668	\$ 543.204,24
Grasa	13823	0,025	668	\$ 230.844,10
Rodaje (\$/hora)	37000		668	\$ 24.716.000,00
Sueldo Operador	8500		668	\$ 5.678.000,00
Total Costos				\$ 44.307.975,74

Fuente: Autor

Tabla 27. Costos de filtración para las horas ganadas por la implementación

	PRECIO UNIDAD	PM REALIZADOS	VALOR
Filtro Aire	\$ 280.997,00	2,672	\$ 93.853,00
Filtro Prim Combustible	\$ 115.726,00	2,672	\$ 309.219,87
Filtro Secon Combustible	\$ 94.156,00	2,672	\$ 251.584,83
Filtro Hidráulico	\$ 104.466,00	2,672	\$ 69.783,29
Filtro Transmisión	\$ 65.703,00	2,672	\$ 43.889,60
Filtro Motor	\$ 72.438,00	2,672	\$ 193.554,34
Muestra Aceite	\$ 35.000,00	2,672	\$ 187.040,00
TOTAL			\$ 1.148.924,93

Fuente: Autor

Las utilidades generadas por la implementación del plan adicionales a las intangibles de seguridad e integridad del operador y la máquina, se encuentran 2 las relacionas directamente con producción y la disponibilidad del equipo y la del incremento en la vida útil del componente.

Ya que el equipo aumento su tiempo de operación en 668 horas y como cada hora de producción de este equipo tiene un costo de U\$ 65, con la TRM del mes esto da una utilidad por operatividad del equipo.

$$668 \text{ horas} \times 65 \text{ U\$/hora} \times 1935,43 = \text{\$ } 84.036.370,6$$

El aumento de la vida útil del tren de Rodaje de 2200 a 4245 horas para el periodo de tiempo de estudio se realizaron 1,465 cambios del tren de rodaje en comparación con el periodo anterior en el cual se realizaron 3,2 cambios de rodaje esto redujo los costos en un 51%

$$1,465 \times \text{U\$ } 82667 \times 1935,43 = \text{\$ } 234.394.421$$

El año anterior se gastaron en tren de rodaje **\\$ 478.459.147**, con la implementación del plan se obtiene un ahorro por aumento de la vida útil del tren de rodaje de **\\$ 244.064.726/año**

6.5 ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO

Teniendo en cuenta lo expuesto en el punto anterior se encuentra que aplicando el plan para un solo equipo, además de conseguir un aumento de la disponibilidad del equipo del 8% y aumentar la vida útil del componente en un 48%, se obtiene el siguiente ahorro en costos

Tabla 28. Costos/Ahorros de implementación del Plan

	DEBE	HABER
Equipo Ultrasonido		\$ 18.257.098,00
Mano de Obra		\$ 1.502.200,00
Operativos		\$ 44.307.975,00
Insumos		\$ 1.148.924,13
Produccion	\$ 84.036.370,06	
Tren de Rodaje	\$ 244.064.726,00	
Total	\$ 328.101.096,06	\$ 65.216.197,13

Fuente: Autor

De la tabla 28 se deduce que solo con la ganancia obtenida por el aumento de la disponibilidad la cual va ligada al aumento en la producción se obtendría un ahorro de \$ 18.820.173.

Además del ahorro logrado por el aumento de la disponibilidad se le suma el ahorro por el aumento de la vida útil del tren de rodaje, logrando una reducción de costos en el presupuesto de mantenimiento en el año de **\$ 262.884.899**.

Si el costo del Ultrasonido lo dividimos para los 20 Tractores del cliente, el costo del mismo disminuirá de \$ 18.257.098 a \$ 912.855. Obteniendo aun ahorro por equipo de **\$ 36.164.416** en el primer año, ya que para los demás años el equipo de ultrasonido ya se habrá pagado, teniendo solo que tener en cuenta en los costos la calibración del instrumento.

Si se hace el análisis de igual forma para la flota de tractores del cliente asumiendo comportamiento similar de estos al tractor que se le realizo el seguimiento se podría obtener un ahorro superior a los **\$ 5.000.000.000** anuales o más específicamente en 7300 horas de operación de cada uno de estos equipos por este concepto.

6.6 RUTINA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA

6.6.1 Inspección Pre operacional diaria. La inspección pre operacional es una de las tareas más importantes en el programa de mantenimiento ya que con este se controlan las variables que aumentan el desgaste prematuro de los componentes de tren de rodaje.

En esta se incluyen 2 tareas fundamentales.

6.6.1.1 Limpieza del tren de Rodaje. La tierra suelta y el barro pueden quedar aprisionados entre componentes emparejados en el tren de rodaje, haciendo imposible que estos componentes encajen correctamente y afectando negativamente el rendimiento del tren de rodaje, también se pueden causar cargas más altas y regímenes de desgaste más rápidos. No es posible eliminar este empacado de tierra y barro por completo pero se puede eliminar la compactación de estos.

Figura 60. Tren de Rodaje sin Limpiar.

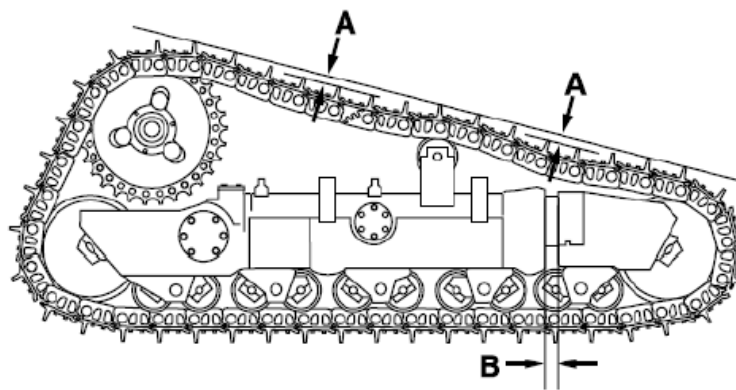


Fuente: Autor

6.6.1.2 Tensión de la cadena. Esta labor realizada por el operador es vital para garantizar la vida útil del tren de rodaje ya que la tensión de la cadena es la mayor causa o acelerador de desgaste de las partes del componente.

Esta tensión garantiza que el equipo no se descarrile en operación y garantice la integridad del operador y de la máquina.

Figura 61. Medidas para la Tensión de Cadena



Fuente: Curso Tren de Rodaje de Cadenas CAT

Figura 62. Medición de la tensión de la Cadena



Fuente: Measurement and Calc with SystemOne slides

6.6.2 Mantenimiento Preventivo

6.6.2.1 PM1 cada 250 horas

- Tome y analice muestra de aceite de motor
- Ajuste correas
- Revise nivel de los fluidos
- Inspeccione las Cadenas
- Engrase el equipo
- Torqueo de tornillería de zapatas

6.6.2.2 PM2 cada 500 horas

- Realice las labores del PM1
- Remplace filtro primario de combustible
- Remplace filtro secundario de combustible
- Remplace filtro aceite de motor
- Remplace aceite de motor
- Inspeccione y cambie sello de la tapa del tanque de combustible
- Tome y analice muestra de aceite de transmisión
- Tome y analice muestra de aceite de mandos finales
- Tome y analice muestra de aceite hidráulico
- Evaluación desgaste del tren de rodaje con ultrasonido

6.6.2.3 PM3 cada 1000 horas

- Realice las labores del PM2
- Remplace filtro de aceite de dirección
- Remplace filtro de aceite hidráulico

- Reemplace aceite de transmisión

6.6.2.4 PM4 cada 2000 horas

- Realice las labores del PM3
- Reemplace filtro de aire primario
- Reemplace filtro del sistema hidráulico piloto
- Reemplace filtro de aire acondicionado
- Reemplace aceite de mandos finales
- Reemplace aceite Hidráulico
- Inspeccione guarda del radiador
- Tome y analice muestra de refrigerante

6.6.3 Entrenamiento del Personal: Se debe realizar capacitación y auditoria a los operadores en técnicas de conducción, con las cuales se mitiguen las variables parcialmente controlables causales del incremento en el desgaste de los componentes como se expone en el capítulo 4.

7. CONCLUSIONES

- El mantenimiento basado en condición es una herramienta muy fuerte para minimizar el tiempo de parada, al poder prever el tiempo de vida útil restante del componente y de esta forma preparar los recursos para la parada del equipo y anticiparse a la falla catastrófica, permitiendo reducir el tiempo de inoperatividad del equipo de semanas a unas cuantas horas, aumentando la Disponibilidad de la máquina.
- En mayor grado el desgaste originado en los componentes del tren de rodaje se debe a variables que se pueden controlar con el compromiso de todo el personal involucrado con la operación del equipo. No es necesario ser expertos en el tema, ni manejar tecnologías sofisticadas para minimizar los desgastes, solo se requiere ser proactivos y regresar a las buenas prácticas de limpieza y operación de la máquina.
- El análisis costo/beneficio muestra que el plan es económicamente viable. Con una pequeña inversión, se produce un considerable incremento en la confiabilidad del equipo y una gran reducción en los costos asociados al mantenimiento de la máquina, demostrando que el mantenimiento proactivo es una gran herramienta que aporta grandes beneficios a la empresa.
- El impacto que causa la implementación del plan en el operador del equipo es muy positivo aumentando la satisfacción del mismo al sentirse miembro del equipo y tener claro el rol fundamental que desempeña en la organización para el cumplimiento de los objetivos de la alta gerencia. Además de adquirir un gran compromiso al interiorizar la importancia que tienen la

implementación del plan con su seguridad, esto compromete aún más al operador en las labores diarias de inspección del equipo.

- La implementación de este plan conlleva un trabajo arduo, tanto para conseguir el apoyo de la alta gerencia para su implementación, como para culturizar el personal técnico y los operadores. una vez son rotas estas barreras se debe llevar continuidad y realizar auditoria a los puestos de trabajo con el fin de realizar seguimiento a las labores proactivas y poder cumplir con los objetivos propuestos.

BIBLIOGRAFIA

ARCINIEGAS, Carlos Alberto. Memorias Clase Mantenimiento productivo total. Especialización Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga. 2013.

ARZUAGA, Jose Elías. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga d11n de la empresa minera Drummond ltd. Monografía Especialización Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 119 p.

BORRAS, Carlos Alberto. Memorias Clase Mantenimiento Principios de Mantenimiento. Especialización Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga. 2013.

CAMPO, Oscar; ORDOSGOITIA, Jorge y PROTTO, Ermeson. Sistema de gestion de mantenimiento proactivo para tren de potencia en equipos mineros en Cerromatoso SA. Monografía Especialización Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2009. 142 p

CATERPILLAR, Custom Track Service Handbook. Pioria: Caterpillar Inc. 2013. 882p

CHAU, Johana. Gestion del mantenimiento de equipos en proyectos de movimiento de tierras. Tesis de grado Magister en Gestion y Administración de la Construcción. Lima. Universidad Nacional de Ingenieria. Facultad de Ingenieria Civil, 2010. 137 p

GOMEZ, Enrique. Modelo gerencial para la administración del mantenimiento y operación de la flota de vehículos de la unidad de equipo pesado de Mansarovar Energy Colombia LTDA. Monografía Especialización Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 124 p

GONZALEZ JAIMES, Isnardo. Memorias Clase seminario II: Monografía de Especialización. Especialización Gerencia de Mantenimiento. UIS. 2013.

MORA GUITIERREZ, Alberto. Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. México: Alfaomega, 2009, 504 p.

RAMIREZ, Juan Francisco. Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra en la industria de la construcción por Topsa construcciones s.a. Tesis de grado Magister en Ingeniería de Mantenimiento. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2007. 139 p

RIOS, Edwin. Metodología para el mantenimiento basado en condición en compresores recíprocos de gas. Monografía Especialización en Ingeniería del gas. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2010. 66 p

TORRES Edgar Isidro, Optimización del mantenimiento eléctrico basado en condición en la operación Santiago de las Atalayas. Monografía Especialización Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2007. 109 p

ANEXOS

ANEXO A INFORME DE INSPECCIÓN CTS



SERVICIO ESPECIAL DE CADENAS

INFORME DE INSPECCIÓN CTS

PREPARADO POR _____
 DISTRIBUIDOR _____
 FECHA DE LA PRÓXIMA INSPECCIÓN _____

Modelo _____ Número de serie _____ Número de equipo _____ Fabricante _____ Nombre del cliente _____ Número _____ Ubicación _____ Fecha de mantenimiento _____ ¿Funciona el horómetro? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Código del tron de rodaje _____ Marca del tron de rodaje _____		Fecha de Inspección _____ Lectura del horómetro _____ Horas por semana _____ Lectura del odómetro _____ Obra _____ Condiciones del terreno: Baj. <input type="checkbox"/> Mod. <input type="checkbox"/> Alt. <input type="checkbox"/> Impactos <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Abrasivos <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Humedad <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Apelmazamiento <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Desgaste permisible de los bujes: Mayor <input type="checkbox"/> Menor <input type="checkbox"/> Comba de la cadena Izda. _____ Dcha. _____ Expansión del bastidor Izda. _____ Dcha. _____ Juntas sacas Izda. _____ Dcha. _____		Notas: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____									
COMPONENTES	DIRECCIÓN DE FECHA DE INSTALACIÓN	HORAS en la superficie de desgaste **	HERRAMIENTA USADA	MEDICIÓN		% DESGASTADO		HORAS POTENCIALES TOTALES					
				Izda.	Dcha.	Izda.	Dcha.	Hasta 100% de desgaste		Hasta 120% de desgaste			
ESLABONES No. de plaza _____ No. de secciones _____				Prof. <input type="checkbox"/>									
BUJES Internos <input type="checkbox"/> Sellados <input type="checkbox"/> Sellados y lubricados <input type="checkbox"/> Giratorios Externos				Cinta <input type="checkbox"/>									
ZAPATAS <input type="checkbox"/> M.S. <input type="checkbox"/> D.G. <input type="checkbox"/> E.S. <input type="checkbox"/> T.G. Ancho _____ <input type="checkbox"/> S.E.S. <input type="checkbox"/> _____				Prof. <input type="checkbox"/>									
RUEDAS GUÍA <input type="checkbox"/> Dos tamaños Delanteras No. de plaza _____ Traseras No. de plaza _____				Prof. <input type="checkbox"/>									
RODILLOS SUPERIORES Delanteros Número de plaza 2 _____ 3 _____				Calibre <input type="checkbox"/>									
RODILLOS INFERIORES Posición Tipo delant. _____ 2 _____ Número de plaza 3 _____ 4 _____ Pestaña sencilla 5 _____ 6 _____ Pestaña doble 7 _____ 8 _____ 9 _____ 10 _____ Promedio				Prof. <input type="checkbox"/>									
RUEDAS MOTRICES				Cinta <input type="checkbox"/>									