

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO
DE EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA MINCIVIL S.A., MEDIANTE EL USO
DE METODOLOGÍA RCM

WILMER ARMANDO MARTÍNEZ OLARTE
FANNY LILIANA RODRÍGUEZ CARRILLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO
DE EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA MINCIVIL S.A., MEDIANTE EL USO
DE METODOLOGÍA RCM

WILMER ARMANDO MARTÍNEZ OLARTE
FANNY LILIANA RODRÍGUEZ CARRILLO

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

Director

JHON FREDDY OCHOA AVENDAÑO
M. Sc. Ingeniería de Materiales y Procesos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

*A Dios por ser quien guía mis pasos,
A mis padres por ser el apoyo constante.*

Wilmer Armando Martínez Olarte

A Dios, Mi Familia y Buenos Amigos

Fanny Liliana Rodríguez Carrillo

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	20
1.1 MARCO CONTEXTUAL	20
1.1.1 Mincivil S.A.	20
1.1.2 Proceso de Minería	21
1.1.2.1 Equipos para Minería	26
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
1.3 OBJETIVOS	30
1.3.1 Objetivo General	30
1.3.2 Objetivos Específicos	30
1.4 JUSTIFICACIÓN	31
2. MARCO TEÓRICO	32
2.1 HISTORIA DE MANTENIMIENTO	33
2.2 METODOLOGÍA DEL MÉTODO RCM	34
2.2.1 Funciones	36
2.2.2 Parámetro de Funcionamiento	37
2.2.3 Fallas Funcionales	38
2.2.4 Análisis de Modos de Falla (AMEF)	38
2.2.5 Consecuencias de Falla	38
2.2.6 Tareas de Mantenimiento enfocadas en RCM	39
2.2.7 Herramientas RCM – Análisis de Criticidad	40

3. SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MAQUINARIA PESADA	43
3.1 EXCAVADORAS.....	44
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	45
4.1 HISTORIAL DE ÓRDENES DE TRABAJO	49
4.2 RELACIÓN DE CONSUMOS DE ACEITE HIDRÁULICO.....	51
4.3 COSTOS DE MANTENIMIENTO	52
4.4 DEFINICIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS.....	54
4.5 EXCAVADORA CAT 330 C	55
4.5.1 Historia de las excavadoras	55
4.5.2 Características y cómo funcionan las excavadoras	56
4.6 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL DEL EQUIPO SELECCIONADO	61
5. MODELO DE MANTENIMIENTO RCM PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO EXCAVADORA CAT 300C	64
5.1 TAXONOMÍA	64
5.2 SISTEMA HIDRÁULICO PILOTO	65
5.2.1 Definición de fronteras del sistema hidráulico piloto	75
5.2.2 Definición de funciones sistema hidráulico piloto	76
5.2.2.1 Control de operación de las válvulas de control de los implementos.....	76
5.2.2.2 Control del flujo de salida de las bombas principales	77
5.2.2.3 Generación de las señales de presión	77
5.2.3 Especificaciones del sistema hidráulico piloto	78
5.2.4 Componentes sistema hidráulico piloto.	78
5.2.4.1 Bomba Piloto	78
5.2.4.2 Filtro Piloto / Válvula de Alivio	79
5.2.4.3 Acumulador	80
5.2.4.4 Válvula solenoide de activación hidráulica	81
5.2.4.5 Válvula Piloto (Joystick)	81
5.2.4.6 Válvula Solenoide (Reducción proporcional) – Power Shift System	82

5.2.5 Análisis de modo de falla del sistema hidráulico piloto	83
5.3 SISTEMA HIDRÁULICO PRINCIPAL	89
5.3.1 Definición de frontera sistema hidráulico principal	91
5.3.2 Funciones del sistema hidráulico principal	92
5.3.3 Especificaciones del sistema hidráulico principal.....	92
5.3.3.1 Bomba de mando	92
5.3.3.2 Bomba de mínima.....	92
5.3.4 Componentes sistema hidráulico principal	93
5.3.4.1 Válvula de alivio principal	94
5.3.4.2 Sistema de control de flujo negativo	94
5.3.5 Análisis de falla y efectos del sistema hidráulico principal.	95
5.4 SISTEMA HIDRÁULICO DE IMPLEMENTOS	100
5.4.1 Definición de frontera sistema hidráulico de implementos	101
5.4.2 Especificaciones del sistema hidráulico de implementos.....	103
5.4.3 Componentes sistema hidráulico de implementos.....	104
5.4.3.1 Cilindros del Boom.....	104
5.4.3.2 Válvula de regeneración del Boom	105
5.4.3.3 Cilindro del Stick	106
5.4.3.4 Válvula de regeneración del stick	107
5.4.3.5 Válvula de descarga del stick	107
5.4.3.6 Válvula de reducción de derivación de stick	108
5.4.3.7 Cilindro de balde	108
5.4.4 Análisis de falla y efectos Sistema Hidráulico de Implementos.....	112
5.5 SISTEMA HIDRÁULICO DE DESPLAZAMIENTO Y GIRO	118
5.5.1 Sistema hidráulico de desplazamiento	120
5.5.1.1 Definición de fronteras sistema hidráulico de desplazamiento.....	124
5.5.1.2 Definición de funciones del sistema hidráulico de desplazamiento.....	124
5.5.1.3 Especificaciones del sistema hidráulico de desplazamiento.	125
5.5.1.4 Componentes del sistema hidráulico de desplazamiento.....	125
5.5.2 Sistema Hidráulico de Giro	131

5.5.2.1 Definición de fronteras del sistema hidráulico de giro	133
5.5.2.2 Definición de funciones del sistema hidráulico de giro.....	134
5.5.2.3 Especificaciones del sistema hidráulico de giro.	134
5.5.3 Análisis de modo de fallas y efectos del sistema hidráulico de desplazamiento y giro	135
6. DEFINICIÓN DE TAREAS Y PERIODICIDAD.....	139
6.1 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO PILOTO.	139
6.2 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO PRINCIPAL.....	142
6.3 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE IMPLEMENTOS.....	146
6.4 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE DESPLAZAMIENTO Y GIRO.....	149
6.5 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO RCM	151
7. CONCLUSIONES	154
BIBLIOGRAFÍA.....	156

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de Taller central Mincivil S.A.	21
Figura 2. Proceso de explotación, extracción y transporte de material en mina de cielo abierto.....	25
Figura 3. Proceso de Minería.....	26
Figura 4. Secuencia de análisis RCM para equipos.	36
Figura 5. Diagrama Análisis de Criticidad.	41
Figura 6. Sistema hidráulico de Excavadora 330CL CAT.	44
Figura 7. Pantallazo de inicio Sistema INFOMANTE.	45
Figura 8. Excavadora CAT 330C - Componentes.....	57
Figura 9. Motor CAT 330C, Seis cilindros, tubo alimentador.	58
Figura 10. Sistema Hidráulico de Excavadora.	59
Figura 11. Características de Pluma Inteligente “ <i>SmartBoon</i> ”.	60
Figura 12. Cucharones y dientes para uso de CAT 330, de acuerdo a actividad a desarrollar.....	61
Figura 13. Taxonomía del sistema hidráulico de la excavadora CAT 330C.....	64
Figura 14. Power Shift Pressure System.	67
Figura 15. Ubicación de Válvula de reducción proporcional.	69
Figura 16. Líneas piloto en la válvula control principal (Vista de planta).....	70
Figura 17. Circuitos interruptores de presión.	73
Figura 18. Fronteras del sistema Hidráulico Piloto.....	76
Figura 19. Filtro Piloto/ válvula de alivio.....	79
Figura 20. Acumulador.....	80
Figura 21. Josystick / Palancas de mando.....	82
Figura 22. Válvula de reducción.....	83
Figura 23. Frontera del sistema hidráulico principal.....	91

Figura 24. Compartimiento de Bombas.	93
Figura 25. Sistema hidráulico de implementos.	102
Figura 26. Elementos del sistema hidráulico de implementos.	102
Figura 27. Partes de cilindro Boom.	105
Figura 28. Partes de cilindro STICK.	106
Figura 29. Partes del cilindro baldes.	110
Figura 30. Motor de desplazamiento.	120
Figura 31. Accionamiento de palancas de mando de desplazamiento- ubicación normal del equipo.	121
Figura 32. Flujo hidráulico en velocidad de desplazamiento bajo.	122
Figura 33. Flujo hidráulico en velocidad de desplazamiento alta.	123
Figura 34. Fronteras del sistema hidráulico de desplazamiento.	124
Figura 35. Válvula piloto de desplazamiento.	126
Figura 36. Esquema parcial del motor de desplazamiento.	127
Figura 37. Válvula de contrapeso de desplazamiento.	129
Figura 38. Mando final.	130
Figura 39. Swivel.	131
Figura 40. Esquema operación giro a la derecha.	132
Figura 41. Fronteras del sistema hidráulico de giro.	134

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Equipos para trabajo en minas de cielo abierto.	27
Tabla 2. Equipos para trabajo en Minas subterráneas.....	28
Tabla 3. Características de la primera generación de mantenimiento.	34
Tabla 4. Listado de equipos por marca MINCIVIL S.A.....	46
Tabla 5. Relación de equipos CATERPILLAR con sistema hidráulico MINCIVIL S.A.	47
Tabla 6. Listado de Equipos CATERPILLAR de sistema hidráulico para análisis de OT.....	49
Tabla 7. Relación de OT por cantidad de equipos.	50
Tabla 8. Relación de consumos de aceite hidráulico por equipos en análisis.	51
Tabla 9. Valores de OT por equipos activos Mincivil S.A.....	53
Tabla 10. Resumen de Paretos y criticidad de equipos analizados.	54
Tabla 11. Descripción del sistema hidráulico piloto.	65
Tabla 12. Líneas piloto – operación en equipo Excavadora CAT330C.....	71
Tabla 13. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del Sistema Hidráulico Piloto.	83
Tabla 14. Descripción del sistema hidráulico principal.....	89
Tabla 15. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del sistema hidráulico principal.	95
Tabla 16. Descripción del sistema hidráulico de implementos.....	100
Tabla 17. Dimensiones de implementos.	103
Tabla 18. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del Sistema hidráulico de implementos.	112
Tabla 19. Descripción del sistema hidráulico de desplazamiento y giro.	118
Tabla 20. Dimensiones de desplazamiento.	125

Tabla 21. Dimensiones de giro.	134
Tabla 22. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del sistema hidráulico de desplazamiento y de giro.....	135
Tabla 23. Hoja de decisión del sistema hidráulico piloto.....	139
Tabla 24. Hoja de decisión del sistema hidráulico principal.....	142
Tabla 25. Hoja de decisión del sistema hidráulico de implementos	146
Tabla 26. Hoja de decisión del sistema hidráulico de desplazamiento y giro.	149
Tabla 27. Programa de Mantenimiento RCM.....	151

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Pareto por modelo de equipos CATERPILLAR con sistema hidráulico.	48
Gráfica 2. Pareto de equipos CATERPILLAR con OT abiertas por fallos de sistema hidráulico.	50
Gráfica 3. Pareto de consumos aceite hidráulico por equipo en análisis.	52
Gráfica 4. Pareto costos repuesto por OT.	53

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO DE EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA MINCIVIL S.A., MEDIANTE EL USO DE METODOLOGÍA RCM.¹

AUTORES: WILMER ARMANDO MARTÍNEZ OLARTE y FANNY LILIANA RODRÍGUEZ CARRILLO.²

PALABRAS CLAVES: SISTEMA HIDRÁULICO, RCM, MCF, MANTENIMIENTO, MAQUINARIA AMARILLA, EXCAVADORA CAT 330C.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Esta monografía expone el desarrollo de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM aplicada al mantenimiento del sistema hidráulico de excavadoras CAT 330C en la empresa Mincivil S.A. Se realiza un análisis de los consumos de aceite hidráulico, de las ordenes de trabajo abiertas y de los costos relacionados al sistema hidráulico de los equipos de la flota y se identifica la excavadora CAT 330C como el equipo en el cual el sistema hidráulico requiere mayor confiabilidad por lo cual se aplica la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) o MCF (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad).

Se establecen los subsistemas y elementos que componen el sistema, recopilados en diagramas funcionales que permiten mediante un estudio detallado de sus funciones determinar las fallas funcionales, los modos de falla o causa de las mismas, y el impacto de estos; con ello y mediante las herramientas que brinda la metodología RCM se definen las tareas que permitan conservar la función del sistema de acuerdo a la criticidad de sus consecuencias.

Se desarrolla paso a paso la metodología RCM y finalmente se elabora el plan de mantenimiento para ser adaptado en las rutinas actuales de mantenimiento definidos por la empresa. Incluye tareas, frecuencias y responsables para obtener mayor vida útil de cada uno de los componentes del sistema seleccionado.

¹ Monografía.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jhon Freddy Ochoa Avendaño, Magíster en Ingeniería de Materiales.

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN FOR THE HYDRAULIC SYSTEM OF CRITICAL EQUIPMENT OF THE MINCIVILIAN COMPANY S.A., THROUGH THE USE OF RCM METHODOLOGY.³

AUTHOR: WILMER ARMANDO MARTÍNEZ OLARTE and FANNY LILIANA RODRÍGUEZ CARRILLO.⁴

KEYWORDS: HYDRAULIC SYSTEM, RCM, MCF, MAINTENANCE, YELLOW MACHINERY, CAT 330C EXCAVATOR.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

This monograph exposes the development of the maintenance methodology based on RCM reliability applied to the maintenance in hydraulic system CAT 330C excavator in the company Mincivil S.A. An analysis of hydraulic oil consumption, open work orders and related costs hydraulic systems of equipment fleet was performed. The CAT 330C excavator was identified as the equipment which the hydraulic system requires the greatest reliability and that is the reason because the RCM methodology (Reliability Centered Maintenance) or MCF (Reliability Centered Maintenance) is applied on it.

The subsystems and elements that compose the system are established and compiled in functional diagrams. These subsystems were made by means of a detailed study of the specific functions, the functional failures, the failure modes or the cause of them, and the impact of these, with this information and using the tools provided by the RCM methodology define the tasks to conserve the function of the system according to the critique of its consequences.

The RCM methodology is developed step by step and finally, the maintenance plan is prepared to be adapted to the current maintenance routines defined by the company. It includes the tasks, frequencies and human resource to obtain greater useful life of the components of the selected system.

³ Monograph.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Jhon Freddy Ochoa Avendaño, Master of materials engineering.

INTRODUCCIÓN

En la ejecución de obras de construcción se hace necesario el uso constante de máquinas excavadoras, ya que además de ser usadas para la excavación de rocas y tierra, gracias a sus numerosos y variados accesorios también pueden ser empleadas en otras actividades como cortes de acero, concreto y demolición de estructuras. El sistema hidráulico es la base del funcionamiento de estos equipos; pues todos los movimientos de la máquina son regulados a través de cilindros accionados por este tipo de sistema. De manera que el fallo en uno de los componentes del sistema hidráulico podría generar la detención inmediata de la máquina afectando el proceso del cual ésta hace parte.

Mincivil S.A con más de 30 años de experiencia en la prestación de servicios de ingeniería de construcción, posee en su flota de maquinaria de 17 excavadoras Caterpillar 330C, que por la versatilidad de funciones y la fácil adaptación a terrenos hostiles, son utilizadas en la mayoría de proyectos de minería, vías e infraestructura desarrolladas por la empresa. En la mayoría de los casos estos proyectos se ejecutan en lugares apartados, donde el acceso para intervenciones de mantenimiento es complejo. Por tanto, cuando una excavadora presenta fallos en el sistema hidráulico, genera pérdida de disponibilidad y confiabilidad, además de una serie de sobrecostos debido a transportes de repuestos, traslados de personal técnicos y equipos de remplazo.

Por lo anterior y considerando el impacto que tiene esta maquinaria en los proyectos junto con el compromiso del equipo de mantenimiento como responsable directo en la disponibilidad del mismo, se decide proponer un plan de mantenimiento desarrollado bajo la metodología del RCM o *Reliability Centred Maintenance*, (Mantenimiento Centrado en confiabilidad). La finalidad de esta

implementación es proporcionar un esquema estratégico que permita aumentar la confiabilidad del equipo.

El desarrollo de cada una de las fases de la filosofía RCM aplicadas al mantenimiento del sistema hidráulico de Excavadoras Caterpillar 330C, permite obtener actividades de mantenimiento recomendadas para la aplicación en el proceso de mantenimiento de la empresa Mincivil S.A.

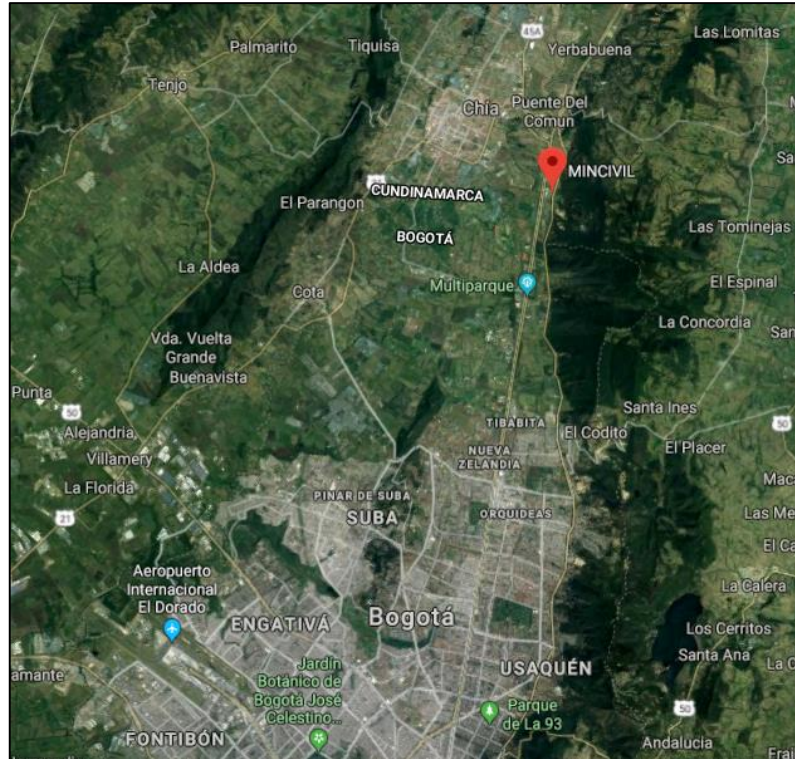
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 MARCO CONTEXTUAL

1.1.1 Mincivil S.A. Es una empresa dedicada a la construcción de obras de infraestructura, viales y explotación minera; dentro de los cuales se encuentran ingeniería vial (Puentes, carretera, túneles), Ingeniería de minas (Explotación minera y canteras, movimientos de tierra y excavaciones) y generación de energía eléctrica (Centrales hidroeléctricas); en el desarrollo de sus actividades en los últimos 30 años Mincivil S.A. se ha consolidado como una de las empresas de mayor desarrollo en el sector, lo cual le permite contar con 16000 m2 en áreas para talleres especializados que respaldan el óptimo funcionamiento de los equipos y adquiriendo gran respaldo en cada uno de los proyectos que emprende.

Mincivil S.A. desarrolla actividades en todo el territorio nacional. Debido a la extensión de los proyectos, es posible dividir las operaciones por regionales o por zonas; regional central con proyectos en Ibagué, Mosquera, Chía, Ubalá, Cúcuta entre otros. Regional Boyacá con proyectos en Sogamoso, Iza, Nobsa, Puerto Libertador etc. y regional Antioquia con proyectos en Cisneros, Barbosa, Girardota, El Peñol, Ituango, Magangué entre otros. La dirección nacional de maquinaria y equipo se encuentra en el taller principal en Chía, Cundinamarca donde se dirige el proceso de mantenimiento y de movimiento de Maquinaria y Equipos a nivel nacional.

Figura 1. Ubicación de Taller central Mincivil S.A.



Fuente: GOOGLE. Búsqueda en Google Maps. [En línea]. [Consultado el: 20 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://www.google.com.co/maps/place/MINCIVIL/>

1.1.2 Proceso de Minería. El uso de utensilios construidos usando como base las rocas, marcaron lo que podemos denominar la minería de la prehistoria; las personas usaban piedras, cerámicas y metales tomados de la superficie para fabricación de utensilios, armas y herramientas.⁵

El desarrollo de las construcciones en el antiguo Egipto llevo a esta cultura a expandirse por territorios extranjeros para mantener y descubrir nuevos minerales y así propiciar el crecimiento y auge de la cultura.

⁵ WIKIPEDIA. Minería. [En línea]. [Consultado el: 20 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%ADa>

Con la llegada de las civilizaciones griega y romana, se dieron a conocer nuevos minerales y piedras preciosas que fueron extraídas para construcción de palacios, joyas y esculturas. Ciudades como Atenas aumentaron la explotación de minerales como la plata, oro, cobre, hierro y mármol blanco.

Con la llegada de los acueductos estas culturas encontraron en el agua un gran aliado para el descubrimiento de vetas en las rocas. La usaron a presión y en volumen, para posteriormente ser liberada sobre las áreas a explotar esto permitía dejar al descubierto las vetas; práctica denominada "*hushing*", otra práctica muy utilizada en estas etapas de la minería era calentar la roca para luego ser enfriada con agua a presión; este procedimiento generaba un choque térmico que terminaba por agrietar la roca.

En la edad media la demanda de minerales se enfocó en el cobre, hierro y otros minerales; estos dieron inicio a las minas de cielo abierto, dado que para siglo XIV, la demanda de hierro para fabricación de armas, armaduras, estribos y herraduras era a tal punto que cada caballero podría tener en su vestimenta hasta 50 Kg de hierro. Esta gran demanda generó una crisis a mediados de 1456, pues las minas habían llegado a su límite de profundidad y no se contaba con la tecnología para ser drenadas y continuar.

Estas situaciones generaron que se dieran uniones entre países para dar continuidad a las explotaciones a través de las invenciones de los técnicos de la minería. La creciente industria agrícola se sumaba a las demandas de la industria de militar; lo cual permitió invenciones como el arrastratrilla, mecanismos para extraer el agua subterránea de los apiques y consolidó la eficiente y próspera industria minera.

De manera paralela en América hace más de 5000 años los amerindios extraían el cobre y con este mineral creaban herramientas, puntas de flechas y otros artefactos que de acuerdo a los científicos crearon una red comercial entre pueblos.⁶ En la zona norte, años más tarde se encontraron con las minas de cobre cerca del lago norte, las cuales siguen activas

En América central y del sur, los primeros colonos se encontraron con minas de oro y plata, materiales que fueron trasladados a España en galeones.

Durante la primera mitad del siglo XIX, la actividad de minería tuvo un crecimiento en Estados Unidos, de tal forma, que para 1872, fue necesaria la creación de la Ley General de Minería, la cual buscaba regular y fomentar las explotaciones mineras. Sus principales ciudades se fueron desarrollando como centros mineros, trayendo la innovación en herramientas y el ferrocarril.

Australia para la década de 1850, se posicionó como el principal productor de oro cubriendo el 40% del mercado mundial con la mina *Mount Morgan*, explotada por casi cien años. A través de los años este país ha mantenido su posición entre los más importantes exportadores de minerales.

Es así como se identifica que la minería se ha globalizado, generando a lo largo de las épocas múltiples reglamentaciones y normas en cada país para control de explotación y cuidados medioambientales; de la mano con un desarrollo de numerosos equipos, tecnologías y procesos que permiten hacer una explotación más eficiente.

En la minería se definen dos métodos para el proceso: Minería a Cielo Abierto y Minería subterránea.

⁶ WIKIPEDIA. Minería. [En línea]. [Consultado el: 20 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%ADa>

Las minas de cielo abierto, contienen comúnmente los minerales contenidos en la grava de los ríos arena de las playas o sedimentos producidos por aluviones. Este proceso Inicia con la eliminación de la vegetación y de las capas superiores de la roca. Y dependiendo del mineral o material a explotar las minas pueden ser: *pit mining*; mina a cielo o rajo abierto, explotación de canteras, pero en rocas, arena o arcillas y *strip mining* yacimientos cercanos a la superficie. Todas estas actividades mineras involucran la alteración de la geología del lugar.⁷

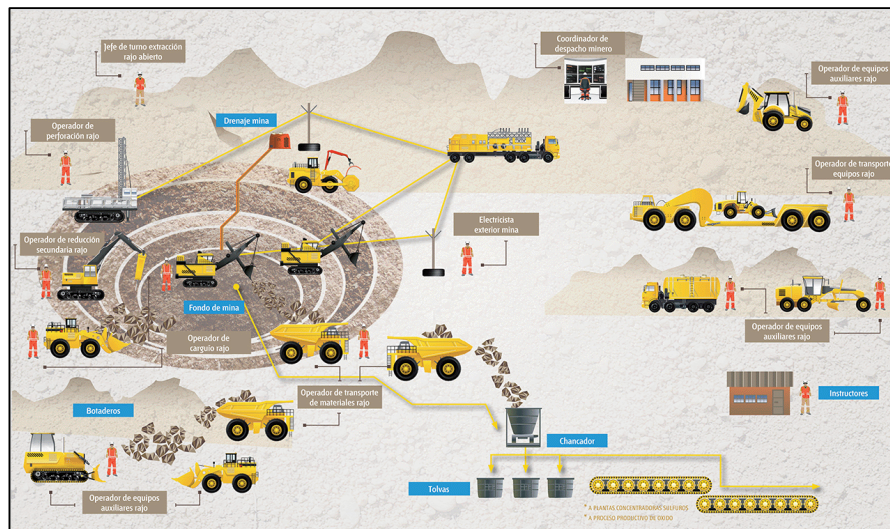
Minas a Cielo abierto o de Tajo Abierto: área especializada en remoción de grandes cantidades de suelo y subsuelo, que es posteriormente procesados para extraer mineral. Este mineral puede estar en concentraciones muy bajas, en relación con la cantidad de material removido.

En la figura 2, se puede observar la estructura general de una mina a cielo abierto, la cual tiene espacios amplios para el transporte y las áreas de zona de mantenimiento o talleres, botaderos de material estéril, zona de drenajes o lagos artificiales, zonas administrativas.

Minas Subterráneas: Minas desarrolladas a través de túneles subterráneos, los equipos utilizados en mina subterránea en comparación con los equipos de cielo abierto difieren en tamaño y en volúmenes de movimientos.

⁷ SEGEMAR. Proceso de la minería a tajo abierto. [En línea]. Buenos Aires: El instituto, 2014. [Consultado el: 18 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://segemar-intemin-bibliotecaagro.blogspot.com.co/2014/05/proceso-de-la-mineria-tajo-abierto.html>.

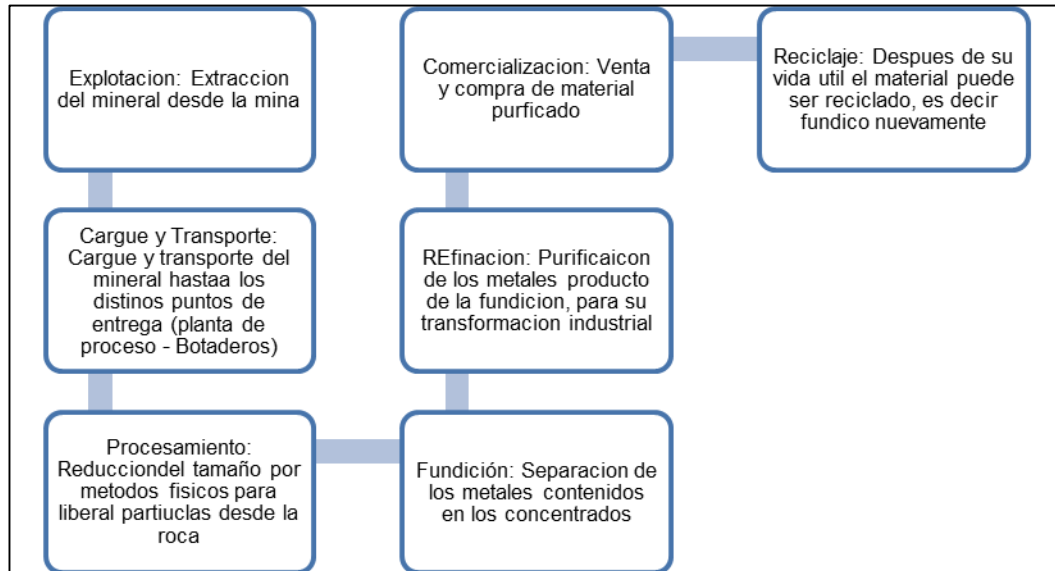
Figura 2. Proceso de explotación, extracción y transporte de material en mina de cielo abierto.



Fuente: SEGEMAR. Proceso de la minería a tajo abierto. [En línea]. Buenos Aires: El instituto, 2014. [Consultado el: 18 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://segemar-intemin-bibliotecaagro.blogspot.com.co/2014/05/proceso-de-la-mineria-tajo-abierto.html>.

Actividades en la Explotación Minera

Figura 3. Proceso de Minería.



Fuente: SONAMI. Etapas del proceso productivo de una mina. [En línea]. Santiago de Chile: La Sociedad, 2012. 30 p. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/04/01.-Etapas-del-Proceso-Productivo-de-una-Mina.pdf>

1.1.2.1 Equipos para Minería. Los tipos de equipos usados en la minería depende de la clase de mina: A cielo abierto o Subterránea.

Los equipos comúnmente utilizados en las minas de cielo abierto definidas en la sección anterior se identifican en la Tabla 1.

Tabla 1. Equipos para trabajo en minas de cielo abierto.

	
<p>Dragalina</p>	<p>Excavadora / Pala Mecánica</p>
	
<p>Rotopala</p>	<p>Mototrailla</p>
	
<p>Bulldozer</p>	<p>Camión transportador</p>

Fuente: ORTEGA, Kevin. La maquinaria en las minas. [En línea]. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://motorenminas.blogspot.com.co/2014/08/maquinaria-en-la-mineria.html>

Los equipos usados para la explotación minera subterránea se han desarrollado de acuerdo a las condiciones de este tipo de minas los cuales son mucho más compactos, como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Equipos para trabajo en Minas subterráneas.

	
<p>Jumbo de Perforación</p>	<p>Pala Cargadora Scopp</p>
	
<p>Grúa de Levante</p>	<p>Robochott</p>

Fuente: ORTEGA, Kevin. La maquinaria en las minas. [En línea]. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://motorenminas.blogspot.com.co/2014/08/maquinaria-en-la-mineria.html>

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los equipos y maquinaria utilizados por MINCIVIL S.A. en el desarrollo de sus proyectos poseen un plan de mantenimiento de tipo preventivo, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y al histórico de fallas. Las novedades en los sistemas hidráulicos de los equipos, generan un alto impacto en los costos de suministros, debido a aumentos en los consumos de aceite hidráulico, repuestos e inversiones adicionales de mano de obra, paradas de producción, transportes y esperas innecesarias. Adicionalmente la empresa cuenta con una fuerte política ambiental que se enfoca en disminuir el uso de elementos contaminantes y de prevenir derrames o incidentes con los mismos.

En Mincivil S.A. el 80% de la maquinaria posee sistemas hidráulicos, es por esto que el costo en el mantenimiento de estos sistemas es un rubro importante para el departamento de mantenimiento de la empresa, anualmente se establece un presupuesto de mantenimiento preventivo y predictivo; sin embargo, este rubro se ha visto afectado por el incremento en las acciones correctivas en los sistemas hidráulicos de sus equipos.

Dada esta situación se propone establecer un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM (*Reliability Centered Maintenance*), donde se integra los mantenimientos de fallas por condición o programado del sistema hidráulico de los equipos críticos de la empresa Mincivil S.A., esto con el objetivo de disminuir y mejorar la distribución de recursos de mantenimiento, las pérdidas de producción y/o ejecución de las obras.

La base de la metodología RCM, es definir las tareas de mantenimiento que permitirán minimizar las consecuencias de los fallos del sistema hidráulico de los equipos, generando mayor confiabilidad y disminución de los costos de mantenimiento por equipo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Diseñar un plan de mantenimiento para el sistema hidráulico de equipos críticos de la empresa MINCIVIL S.A., mediante el uso de la metodología RCM.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Definir los equipos a los cuales se les aplicará la metodología RCM teniendo en cuenta el histórico de fallas y consumos del sistema hidráulico.
- Recopilar y analizar la información de los sistemas hidráulicos y sus componentes, para establecer un diagnóstico de la situación actual y las características operacionales.
- Identificar y definir funciones de los sistemas hidráulicos de los equipos, fallas funcionales, modos de fallas, análisis de efectos y criticidad, tareas de mantenimiento y frecuencia de las tareas aplicables a los equipos seleccionados.
- Generar matriz de fallas del sistema hidráulico y disponerla como información para el registro en el software de mantenimiento que permita la trazabilidad de las intervenciones
- Consolidar las tareas de mantenimiento haciendo un análisis de las frecuencias, con el propósito de optimizar los recursos económicos asignados al plan de mantenimiento.

- Identificar técnicas de mantenimiento predictivas o por condición aplicables.
- Proponer actividades y tipo de mantenimiento a aplicar en los sistemas hidráulicos de los equipos identificados.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el área de mantenimiento es vista por las compañías como una inversión necesaria para mantener sus equipos en óptimas condiciones, disponibles y confiables en el desarrollo de sus funciones. De manera que el mantenimiento está en constante desarrollo y crecimiento tecnológico convirtiéndose en un sector estratégico para las organizaciones. Por lo anterior y teniendo en cuenta que el área de mantenimiento es una de las partes más importante para su funcionamiento, Mincivil S.A. se encuentra interesada en desarrollo de un programa de mantenimiento basado en metodología RCM con el objetivo de mejorar y aumentar la confiabilidad y la disminución de los costos de mantenimiento de los sistemas hidráulicos de sus equipos, así como aportar al medio ambiente reduciendo el impacto por los consumos de suministros y repuestos en sus actividades.

Diseñar una estrategia de mantenimiento basada en la metodología RCM permitirá al proceso del Departamento de Maquinaria y Equipo de Mincivil S.A identificar los modos de falla en el sistema hidráulico de los equipos críticos de la producción y anticiparse al fallo total del equipo de manera eficiente y eficaz; el desarrollo de este proceso posibilita el aumento en la confiabilidad y operación de los equipos, la reducción de costos y tiempos de parada.

2. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento centrado en confiabilidad MCC o RCM (*Reliability Centered Maintenance*), se ha convertido en una de las herramientas más importantes en el estudio y evaluación de fallo de equipos; integrando modelos estadísticos de análisis de fallos, evaluación de comportamiento de equipos y seguimiento de resultados; demostrando que los componentes de un activo no se pueden tratar de la misma manera, sino por su función específica; pues presentan diferentes modos de falla.⁸ Esto permite evaluar cada sistema y subsistema, a través de variables innatas de su operación. De manera que se establecen rutinas de mantenimientos que permiten llegar a los componentes más afectados por el uso u operación del equipo; adicionalmente, la metodología planteada genera una herramienta para que los operarios puedan identificar los síntomas de fallos y ser más asertivos en la intervención.

El mantenimiento bajo la metodología RCM parte de la filosofía “No hacer mantenimiento es muy costoso, pero hacerlo en exceso también cuesta”, RCM permite incrementar la disponibilidad de operación del equipo con actividades planeadas a frecuencia determinada usando un recurso humano apropiado para la tarea.⁹ Esto permite establecer políticas para el mejoramiento de las funciones de los activos y manejar las consecuencias de sus fallas.

⁸ PATIÑO, Carlos y BETANCOURT, Yamid. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de COCA COLA FEMSA. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. 138 p. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/153886.pdf>

⁹ *Ibíd.* p. 7.

Este método originalmente fue definido por Stanley Nowlan y Howard Happ Heap en su libro “*Reability Centered Maintenance*” en el año 1974, libro que recopiló más de 20 años de investigación y experimentación en la industria de la aviación comercial de USA.

2.1 HISTORIA DE MANTENIMIENTO

La historia del mantenimiento ha venido evolucionando desde los tiempos de la segunda guerra mundial, tomando importancia desde la llamada Generación 2; que cubre el periodo de la segunda guerra mundial hasta los años setenta. Dado que la mecanización y automatización crecen dentro de las operaciones de las empresas; estas últimas reconocen la importancia de producción continua y centran la atención en disminuir los tiempos de parada por fallo de equipos. Dando inicio a lo que se conoce como mantenimiento preventivo, pues se hace necesario prevenir las fallas para no generar afectación en la producción.¹⁰

La tercera generación da nacimiento al RCM. Desde los años setentas en adelante; la industria adquirió un nuevo impulso con temas de producción continua, por lo tanto, los tiempos de fallo o de avería cobran toda la atención, buscando las alternativas para evitarlos o bien disminuirlos. Esto se logra a través de la prevención de los mismos dando lugar a la aparición de conceptos como disponibilidad y confiabilidad.

De manera general, la evolución de mantenimiento como rama se presenta en la Tabla 3.

¹⁰ NIETO, Steven. Historia del Mantenimiento. [En línea]. 2009. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com.co/2009/05/historia-del-mantenimiento.html>

Tabla 3. Características de la primera generación de mantenimiento.

Generación	Expectativas	Técnicas	Personal
1° Generación	Reparar cuando se rompe	Mantenimiento correctivo	Pocas habilidades
2° Generación	Mayor disponibilidad de la planta Mayor vida útil de los equipos Menor costo	Reparaciones programadas Sistema de planeamiento y control de trabajo Computadoras grandes y lentas	Planeador
3° Generación	Mayor disponibilidad de la planta Mayor Seguridad Mejor calidad del producto Ningún daño al medio ambiente Mayor vida de los equipos Mayor costo beneficio	Monitoreo de condición Diseño direccionado a la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento Estudio de riesgos Computadoras pequeñas y rápidas Análisis de modos de falla y sus efectos Sistemas expertos Trabajo multifacético y en grupos	Especializado

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. pp. 2-3. ISBN 09539603-2-3.

2.2 METODOLOGÍA DEL MÉTODO RCM

El método RCM plantea siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar, esto permite determinar el desarrollo del programa de mantenimiento y sus alcances. Las preguntas planteadas se presentan a continuación:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?

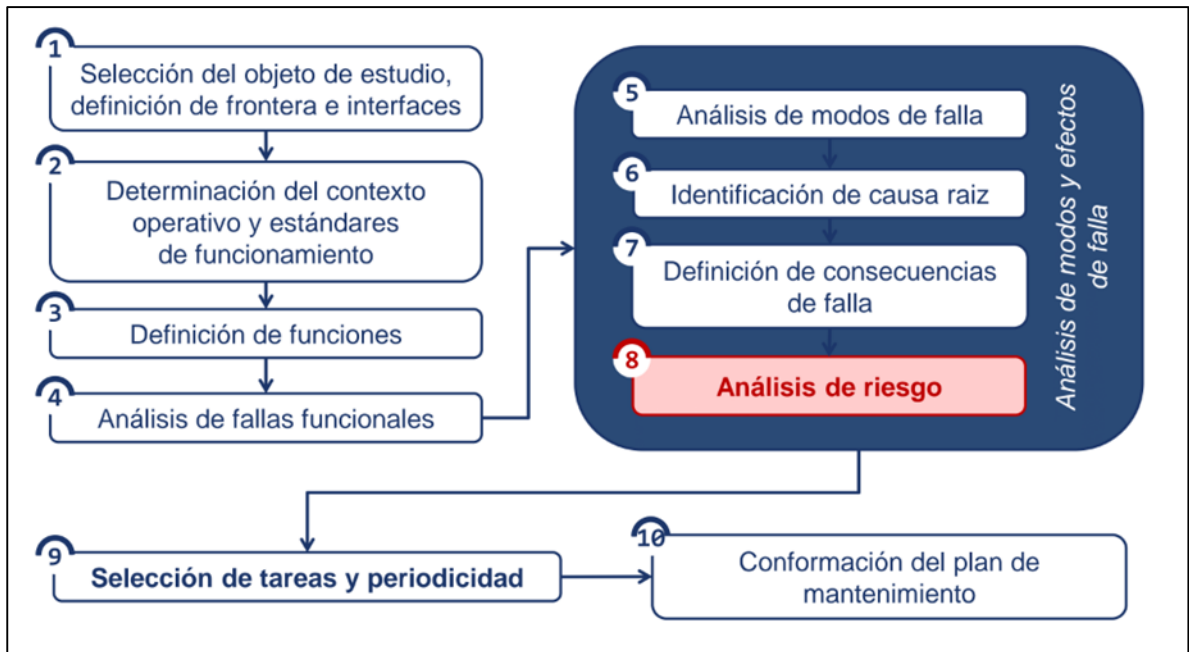
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir esas fallas?
- ¿Qué sucede si no puede prevenir la falla?

Las anteriores preguntas; determinan el funcionamiento del equipo o sistema en su contexto operativo e identifica las fallas funcionales y modos de falla. El análisis y entendimiento de las respuestas de las preguntas planteadas, permiten identificar los riesgos estableciendo un panorama para proponer acciones de prevención y control de los activos y sistemas.¹¹

En la figura 4 se presenta de manera gráfica la secuencia con la que la metodología RCM plantea el desarrollo para la identificación de equipos, funciones, fallos, modos de fallos, análisis causa- raíz, criticidad del equipo o sistema en el proceso de producción y finalmente, las actividades a desarrollar para controlar y prevenir los fallos inesperados.

¹¹ AGUILAR, José; TORRES, Rocío y MAGAÑA, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. [En línea]. En: IMIQ, Tecnología, Ciencia, Educación, 2010, vol. 25, no. 1, pp. 15-26. ISSN: 0186-6036. [Consultado el: 23 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>

Figura 4. Secuencia de análisis RCM para equipos.



Fuente: ORTÍZ PLATA, Daniel. Memorias de clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. 2016.

De acuerdo con la investigación de Moubray en su libro *Reliability Centered Maintenance* de define:

2.2.1 Funciones. El primer paso de RCM es definir funciones del equipo o sistema de estudio en su contexto operacional; es decir determinar lo que los usuarios quieren que haga. Para esto se debe conocer los alcances de diseño del equipo o sistema a fin de determinar si el mismo es capaz de realizar las funciones deseadas. Para esto se puede dividir estas funciones en dos categorías Funciones Primarias y Secundarias.

Funciones Primarias: Éstas funciones están determinadas por el diseño y las capacidades técnicas del equipo o sistema; es decir, para qué fue construido y el objeto de su localización en la cadena de producción.

Funciones Secundarias: Están relacionadas con seguridad, apariencia, protección, regulación ambiental, confort, integridad estructural y funciones superfluas.

Con frecuencia las funciones secundarias toman importancia cuando la falla de alguna de ellas puede resultar en serias consecuencias y en ocasiones estas funciones tienen mantenimientos más frecuentes que las funciones primarias. Dado lo anterior la identificación de estas funciones y sus fronteras dentro del sistema operativo, pueden tomar gran importancia en cuanto al tema de seguridad del equipo y sus usuarios.

2.2.2 Parámetro de Funcionamiento. Los límites entre las condiciones aceptables y las fallas están definidos por un parámetro de funcionamiento. Dado que este término aplica a funciones individuales, se define una falla funcional como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.¹²

¹² MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 443 p. ISBN 09539603-2-3.

2.2.3 Fallas Funcionales. Uno de los objetivos del mantenimiento es que un activo físico pueda desempeñarse de una manera adecuada conforme a unos parámetros deseados por el usuario, El método RCM identifica las fallas que pueden ocurrir en el activo; aquellas que hacen que este salga de lo que en el contexto operacional trae como consecuencia la afectación del producto final o la seguridad de los operarios.

2.2.4 Análisis de Modos de Falla (AMEF). Estas se refieren a los hechos que pueden generar la falla funcional, estos modos de falla se han clasificado en tres grupos:

- Capacidad por debajo del funcionamiento deseado dado por deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos
- Funcionamiento por encima de capacidad inicial es decir cuando el equipo o sistema es sometido a sobrecarga deliberada de forma constante.
- Activo por debajo de la capacidad requerida.

2.2.5 Consecuencias de Falla. La determinación de las consecuencias del fallo en el sistema o activo permite identificar la prioridad de actividades de mantenimiento para evitar el fallo. Estas consecuencias suelen agruparse de la siguiente manera:¹³

- Consecuencias de fallas ocultas
- Consecuencias ambientales y para la seguridad

¹³ PATIÑO, Carlos y BETANCOURT, Yamid. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de COCA COLA FEMSA. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. 138 p. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/153886.pdf>

- Consecuencias operacionales
- Consecuencias No operacionales

Para esta clasificación es importante tener el ámbito operacional del activo o sistema presente, ya que el mismo determina la criticidad.

2.2.6 Tareas de Mantenimiento enfocadas en RCM. Son todas las tareas generadas a partir del análisis de funciones, modos de fallo, efectos y consecuencias; las cuales quedan establecidas con una periodicidad y responsable de acuerdo al alcance de las funciones dentro de la operación del sistema o activo.

El método RCM reconoce tres categorías de tareas preventivas como lo son:¹⁴

Tareas Proactivas: Actividades planeadas antes de que ocurra una falla previniendo que el componente llegue a un estado de fallo prematuro.

Es importante para la determinación de estas tareas la factibilidad de la ejecución de la misma mientras esta en operación del sistema o activo; esta factibilidad está dada por sus características técnicas y la relevancia de la falla potencial que se trata de evitar.

Cuando se habla de fallas potenciales de los equipos, componente o sistemas, es una precepción conocida través de la operación de los mismos y la evaluación de variables conocidas de manuales de operación.

Tareas de Reacondicionamiento Cíclico: Esta tarea identifica los componentes de los cuales se conoce un desgaste cíclico por operación; lo que permite la

¹⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 443 p. ISBN 09539603-2-3.

programación de un reacondicionamiento de la pieza, reduciendo la incidencia de la falla sin sobrepasar los límites de la edad de la misma. Esta práctica es económicamente rentable para ejecutar en fallos de altas consecuencias económicas y de producción dentro de las empresas

Tareas de Sustitución Cíclica: Esta tarea describe el cambio de piezas o componentes de un activo o sistema a una edad específica sin evaluación del estado; permitiendo al equipo volver a su condición estándar

2.2.7 Herramientas RCM – Análisis de Criticidad. El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer una prioridad en dentro del proceso al cual pertenece el sistemas o equipo; esto permite la creación de una estructura de reacción, que da la seguridad de toma de decisiones acertadas con esfuerzos direccionados y disponiendo de los recursos necesarios, garantizando la confiabilidad operacional de los sistemas o equipos.

El análisis de criticidad identifica un listado ponderado desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: Alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Esta clasificación permite la aplicación de procesos que conformen parte de la zona de alta criticidad. La figura 5, relaciona el método para identificación de criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos de Operación y Mantenimiento
- Rata de fallas
- Tiempo de reparación

Estos criterios a través de una puntuación dada a cada elemento evaluado con un grupo interdisciplinario permiten nivelar y homologar criterios para establecer prioridades y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

Figura 5. Diagrama Análisis de Criticidad.



Para esto se han desarrollado medidas de rendimiento a través de indicadores, que permiten reconocer los procesos más débiles, las malas prácticas y otras oportunidades para la mejora continua.

Los indicadores de gestión es un término usado para describir el resultado de cualquier proceso utilizado para reunir, analizar, interpretar y presentar datos cuantitativos.¹⁵ Los indicadores de procesos de producción aplicados a equipos de línea amarilla son:

¹⁵ CATERPILLAR INC. Metrics (KPI's) to assets process performance. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2007, 47 p.

Tiempo medio para reparar MTBS:

$$MTBS = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Numero de Paradas de la Maquina}}$$

Tiempo medio entre fallos MTBF:

$$MTBF = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Numero de Fallos}}$$

Tiempo medio entre reparaciones (MTTR):

$$MTRR = \frac{\text{Total de Horas Fuera de Servicio}}{\text{Numero de Paradas de la Maquina}}$$

Disponibilidad:

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

Con los resultados de estos indicadores se verifica el comportamiento de las flotas, permitiendo desarrollar planes de mantenimiento con el fin de disminuir/optimizar los tiempos y disponibilidades.

3. SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MAQUINARIA PESADA

Los sistemas hidráulicos son utilizados en máquinas para proporcionar la fuerza necesaria para funcionamiento productivo y eficaz. La energía hidráulica utiliza un líquido denominado fluido hidráulico, que inyecta una fuerza a través de la presión; transmitiéndola a los diferentes componentes de sistema hidráulico de la máquina. Estos líquidos usados poseen algunas características ideales para ejercer su función de la manera más eficaz (densidad y viscosidad apropiadas, incompresibilidad, buen poder lubricante, etc.).¹⁶

Además del fluido hidráulico (ACEITE), los sistemas hidráulicos se componen de:

- Tanques Hidráulicos
- Acumuladores
- Filtros
- Enfriadores
- Bombas y motores Hidráulicos
- Tuberías y mangueras
- Cilindros
- Válvulas Hidráulicas

¹⁶ AEROMARINE SPAIN. El mantenimiento de un sistema hidráulico. [En línea]. Madrid: La compañía. [Consultado el: 20 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://aeromarinesoftware.wordpress.com/2015/02/05/el-mantenimiento-de-un-sistema-hidraulico/>

3.1 EXCAVADORAS

Los beneficios de un sistema hidráulico en las excavadoras son:

- Transmisión de fuerza
- Posicionamiento exacto
- Arranque de cero con carga máxima
- Movimientos homogéneos e independientes de la caga
- Buenas características de mando
- Protección de sobrecarga

En la figura 6, se observa los componentes del sistema hidráulico de una excavadora, de los cuales se identifica los cilindros en la pluma, brazo y cucharón, igualmente se identifica el área donde se localizan las bombas del sistema.

Figura 6. Sistema hidráulico de Excavadora 330CL CAT.



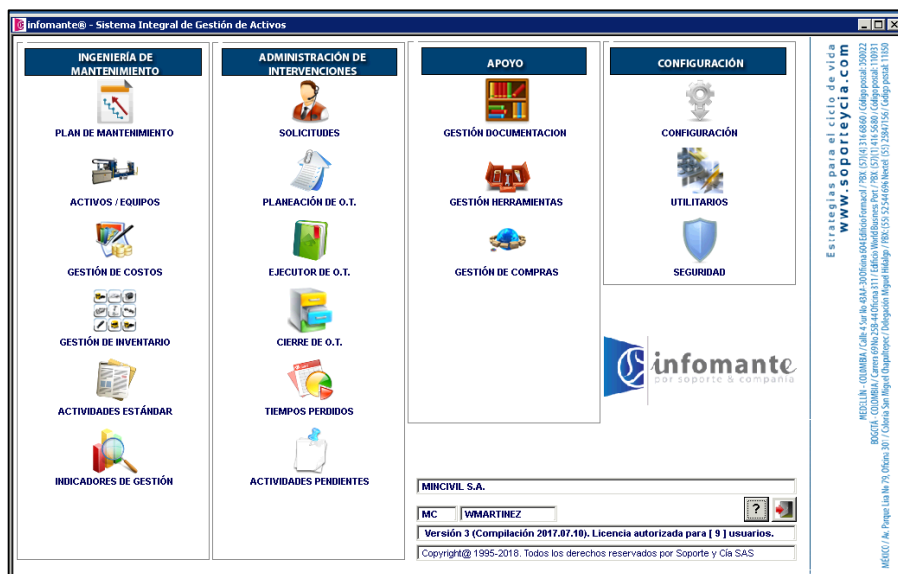
Fuente: CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El área de mantenimiento de maquinaria y equipo de Mincivil S.A. utiliza el CMMS INFOMANTE programa que permite documentar todas las actividades que se ejecutan sobre los equipos de línea amarilla activos en la empresa y de igual manera se registran los reportes diarios de operarios de los equipos. A través de diferentes operaciones predefinidas de este programa se obtienen reportes de mantenimiento que permite toma de decisiones y revisión de estrategias de mantenimiento de los equipos de los diferentes frentes de trabajo.

La figura 7, muestra el cuadro de mandos principal del software al que el usuario ingresa con el nombre del equipo o con clasificaciones predefinidas en el sistema como marca o modelo, esto permite tener una hoja de vida actualizada de cada uno de los equipos.

Figura 7. Pantallazo de inicio Sistema INFOMANTE.



Para efectos de este análisis, se obtiene el listado de equipos, identificando el estado de las ordenes de trabajo, y reportes de consumos desde 1 de enero al 30 septiembre del año 2016; registros que son la línea base para el análisis de la información.

El listado de equipos permite determinar por tipo y modelo, la distribución de equipos que cuentan con sistema hidráulico de la empresa; lo cual permite identificar los equipos Pareto filtrándolos por consumos de aceite hidráulico y fallo en algún componente del mismo sistema.

La tabla 4 presenta un listado con 592 equipos de línea amarilla entre excavadoras, bulldozer, dumper articulados, cargador frontal, dumper rígidos, entre otros; de las marcas CAT, VOLVO, ATLAS, COPCO, entre otras.

Tabla 4. Listado de equipos por marca MINCIVIL S.A.

MARCA DE EQUIPO	CANTIDAD	MARCA DE EQUIPO	CANTIDAD
CATERPILLAR	394	MONTABERT	1
VOLVO	31	BITELLI	1
TEREX	29	BUCYRUS	1
ATLAS COPCO	22	P&H	1
INGERSOLL RAND	15	JCB	1
EVERDIGM	12	TAMROK	1
OLYMPIAN	11	DOOSAN	1
KOMATSU	6	MODASA	1
STAMFORD	5	CORE DRILL	1
CUMMINS	5	BOB CAT	1
JOHN DEERE	4	ERKAT	1
JINAN SANYSAN	4	PAUS	1
PERKINS	4	KOERING	1
JINAN SANYISAN	4	PHB WESER	1
GROVE	4	C M I	1
SANDVIK	3	SOILMEC	1
BOART LONG	3	FOSTER	1

DOMAT	2	ASTRA	1
KOMAC	2	LIEBHERR	1
CIBER	2	HAMM	1
ENERMAX	2	WIRTGEN	1
DETROIT	2	HYUNDAI	1
BERETTA	2	INGERSOL RAND	1
GROVE CRANES	1		
Total general	592		

A partir de esta clasificación se identifica que la marca CATERPILLAR, con el 66% del total de los equipos, es la marca de equipos que tiene mayor influencia para los equipos de Mincivil S.A. esto deberá generar en el departamento de mantenimiento de Mincivil S.A. mayor enfoque; a partir de esta información se enfoca el estudio en esta línea de equipos para identificar los fallos más frecuentes que presentan con respecto al sistema hidráulico

Tabla 5. Relación de equipos CATERPILLAR con sistema hidráulico MINCIVIL S.A.

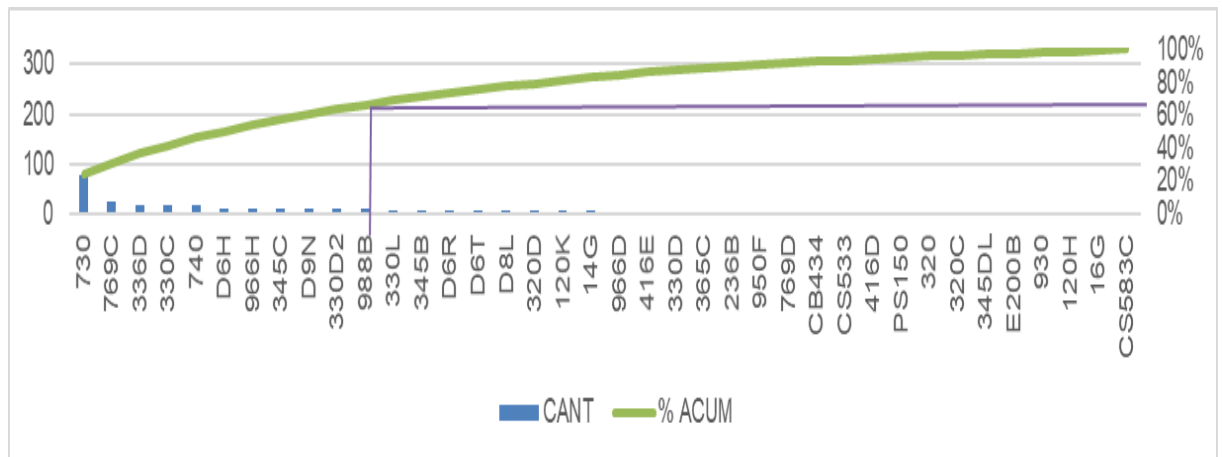
MARCA DE EQUIPO	CANTIDAD	SISTEMA HIDRAULICO
CATERPILLAR	394	SI
EXCAVADORAS	99	SI
DUMPER ARTICULADOS	94	SI
BULLDOZER	49	SI
CARGADOR FRONTAL	43	SI
DUMPER RIGIDOS	27	SI
MOTONIVELADORAS	20	SI
PLANTA ELÉCTRICA	15	NO
APISONADOR COMPACTADOR	13	SI
RETROEXCAVADORAS	9	SI
CARGATODO	8	SI
PAVIMENTADORA	5	SI
COMPACTADOR	5	SI

NEUMATICO		
CARGADOR SUBTERRANEO	3	SI
MARTILLOS HIDRÁULICOS	2	SI
TANQUEROS	1	SI
CAMIÓN CISTERNA	1	SI

En la tabla número 5, se observa que la mayor cantidad de equipos CAT, son excavadoras con un 25% del total y dumper articulados con 24%.

Se genera un Pareto por modelo de equipo con sistemas hidráulicos CATERPILLAR, esto permitió reconocer los equipos con mayor incidencia en la producción de Mincivil S.A., como muestra la gráfica 1.

Gráfica 1. Pareto por modelo de equipos CATERPILLAR con sistema hidráulico.



La mayor cantidad de equipos con sistema hidráulico que posee la empresa es Dumper Articulados 730 con 24% del total de los equipos, seguida de 7% de Dumper Articulados 769C, 6% de Excavadoras 336D y finalmente un 5% de Excavador 330C.

Se identifica que la mayor cantidad de equipos de transporte articulados frente a la cantidad de equipos de excavación está dada por el tipo de operación en las minas; donde se puede encontrar un equipo excavador por cada 6 equipos de transporte. Esto genera la primera condición para el análisis de criticidad.

4.1 HISTORIAL DE ÓRDENES DE TRABAJO

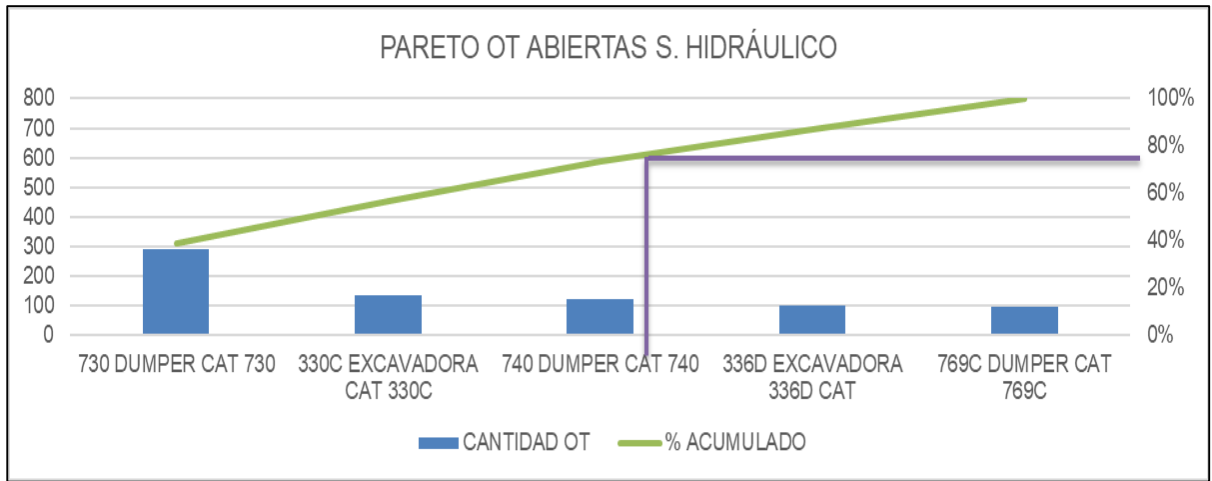
Dado que el software de mantenimiento INFOMANTE ®, permite conocer el historial de las ordenes de Trabajo (OT) por equipos, se obtiene del sistema la información seleccionando aquellas OT, que tiene que ver con el sistema hidráulico de los equipos CAT de la empresa.

En la tabla 6, se relacionan los equipos con mayor cantidad de OT correspondientes a intervenciones del sistema hidráulico, y en la gráfica 2, se modela el Pareto en donde las Dumper Articuladas con un 22%, seguidas de la Excavadora 330c con en 10% son los equipos con mayor intervención.

Tabla 6. Listado de Equipos CATERPILLAR de sistema hidráulico para análisis de OT.

EQUIPO	CANTIDAD OT	% TOTAL	% ACUMULADO
730 DUMPER CAT 730	292	22%	22%
330C EXCAVADORA CAT 330C	137	10%	32%
740 DUMPER CAT 740	124	9%	41%
336D EXCAVADORA 336D CAT	103	8%	48%
769C DUMPER CAT 769C	98	7%	56%
	754		

Gráfica 2. Pareto de equipos CATERPILLAR con OT abiertas por fallos de sistema hidráulico.



Para obtener un indicador objetivo, se relaciona la cantidad de OT abiertas con la cantidad de equipos por modelo a los cuales se intervino dentro del periodo en estudio por temas relacionados con el sistema hidráulico. La Dumper 730 con 78 equipos tiene un promedio de 3,7 OT/Equipo y la Excavadora 330C presenta 8,1 OT/Equipo, tal como muestra la tabla 7.

Tabla 7. Relación de OT por cantidad de equipos.

EQUIPO	CANT	% TOTAL	% ACUMULADO	CANT EQUIPOS	PROM OT/EQUIPO
730 DUMPER CAT 730	292	39%	39%	78	3,7
330C EXCAVADORA CAT 330C	137	18%	57%	17	8,1
740 DUMPER CAT 740	124	16%	73%	16	7,8
336D EXCAVADORA 336D CAT	103	14%	87%	19	5,4
769C DUMPER CAT 769C	98	13%	100%	24	4,1
	754			154	

4.2 RELACIÓN DE CONSUMOS DE ACEITE HIDRÁULICO

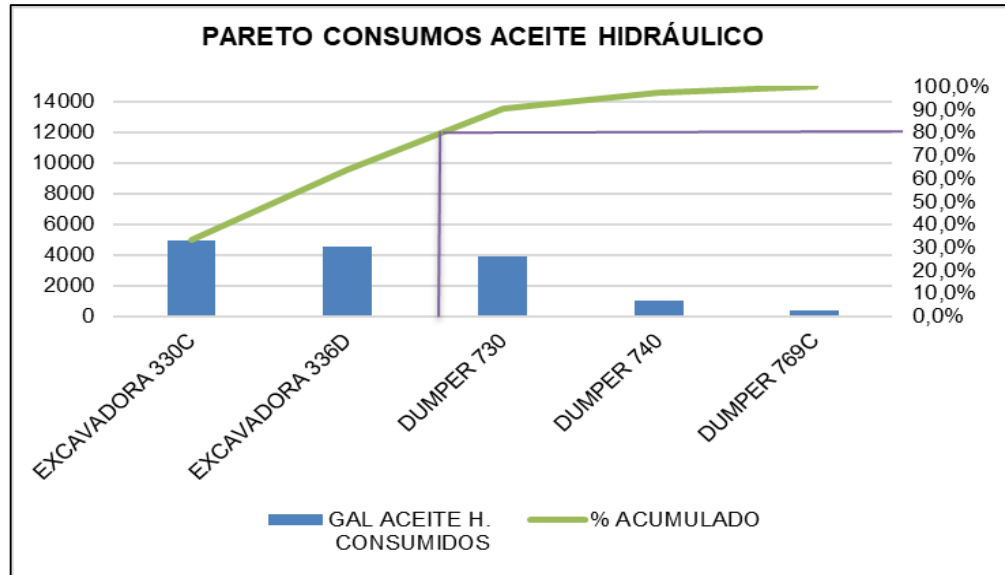
De acuerdo a la información seleccionada de la Tabla 6, se revisa el informe por consumos de aceite hidráulico por equipo en el sistema INFOMANTE®; con esta información se obtiene el Pareto de consumos de aceite hidráulico de los equipos. Los datos obtenidos se observan en la tabla 8.

Tabla 8. Relación de consumos de aceite hidráulico por equipos en análisis.

EQUIPO	GAL ACEITE H. CONSUMIDOS	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
EXCAVADORA 330C	4969	33,5%	33,5%
EXCAVADORA 336D	4523	30,5%	64,0%
DUMPER 730	3933	26,5%	90,5%
DUMPER 740	1022	6,9%	97,4%
DUMPER 769C	392	2,6%	100,0%
	14839		

La gráfica 3, ilustra la información relacionada de la tabla 8, que clasifica como equipos Pareto la Excavadora 330C y 336D. Al verificar los fundamentos de operación en los sistemas hidráulicos de las dos excavadoras se identifica que son similares, lo cual permite agrupar estos dos equipos para aplicación del Método RCM.

Gráfica 3. Pareto de consumos aceite hidráulico por equipo en análisis.



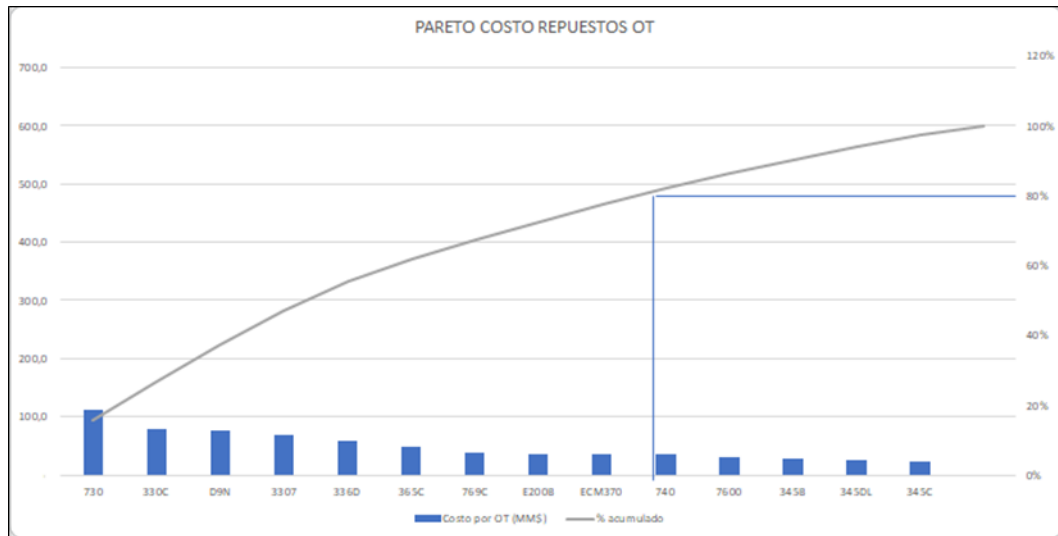
4.3 COSTOS DE MANTENIMIENTO

Se realiza la revisión de los costos por intervenciones en el sistema hidráulico de los equipos activos de la compañía, en las bases de datos y software utilizados se extrae la información del costo del aceite hidráulico y de los repuestos utilizados en las reparaciones del sistema. Al realizar el Pareto basados en la información de la Tabla 9, de acuerdo a la Gráfico 4 se determina que en los equipos CAT 330C existe un potencial de ahorro significativo disminuyendo las intervenciones correctivas. Nuevamente se hace necesario relacionar el costo total del dinero por equipo con la cantidad de equipos de la flota, donde se observa que en promedio la intervención correctiva en repuestos y aceite hidráulico suministrado en una excavadora CAT 330C representa \$8.610.184 y en una Dumper CAT 730 representa en promedio \$2.271.860.

Tabla 9. Valores de OT por equipos activos Mincivil S.A.

Etiquetas de fila	Costo por OT (MM\$)	% total	% acumulado
730	112,0	16%	16%
330C	78,6	11%	27%
D9N	76,7	11%	37%
3307	68,6	10%	47%
336D	58,6	8%	55%
365C	48,0	7%	62%
769C	38,2	5%	67%
E200B	36,6	5%	73%
ECM370	35,2	5%	77%
740	34,8	5%	82%
7600	29,9	4%	87%
345B	27,5	4%	90%
345DL	25,9	4%	94%
345C	24,0	3%	97%
14G	18,8	3%	100%
	713,3		

Gráfica 4. Pareto costos repuesto por OT.



4.4 DEFINICIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS

En la producción se puede encontrar que en una mina por cada Excavadora (Equipo de extracción o cargue) se tienen hasta 6 Dumper (Equipo de transporte), lo cual representa que una detención de la excavadora implica parar la línea de producción y detener las 6 Dumper que alimenta dicha excavadora. En caso contrario, si una Dumper presenta una detención, las otras 5 continuarán transportando material siempre y cuando la excavadora se encuentre operativa.

Tomando la información anterior se consolidan los resultados de los Paretos de las Gráficas 1, 2, 3. En la tabla 10, en la cual se identifica la excavadora CAT 330C, como el equipo que requiere mayor confiabilidad para el proceso de minería de Mincivil S.A.

Tabla 10. Resumen de Paretos y criticidad de equipos analizados.

PARETO CANTIDAD	PARETO CONSUMOS	PARETO OT	EQUIPOS CRÍTICOS
730 DUMPER CAT 730	EXCAVADORA 330C	730 DUMPER CAT 730	330C
769C DUMPER CAT 769C	EXCAVADORA 336D	330C EXCAVADORA CAT 330C	730
336D EXCAVADORA 336D CAT	DUMPER 730	740 DUMPER CAT 740	345C
330C EXCAVADORA CAT 330C	DUMPER 740	336D EXCAVADORA 336D CAT	345B

4.5 EXCAVADORA CAT 330 C

4.5.1 Historia de las excavadoras. La pala hidráulica documentada más antigua apareció en el año 1882 y fue producida por Sir W.G. Armstrong & Co., una compañía británica que previamente construyó Hull docks. Armstrong también construyó palas hidráulicas para agua. Otra compañía que también intentó producirlas fue Kilgore Machina Co. de Minneapolis, Minnesota, quienes patentaron la pala en 1897.

En 1948, un prototipo con ruedas de la excavadora fue desarrollado por Carlo y Mario Bruneri. Ellos cedieron las patentes y derechos de autor a una compañía francesa llamada SICAM en 1954, el mismo año que SICAM construyó el Yumbo. El Yumbo, una excavadora S25, poseía una cadena montada. Los rodadores y las orugas abrieron su camino en la industria por lo que los clientes se interesaron en estos productos.

La primera excavadora hidráulica, la TU, fue producida en 1951 con la ayuda de Poclain. La excavadora no podía producir un giro completo y la energía hidráulica era obtenida con ayuda de una bomba. Poclain introdujo el TY45, la primera máquina giratoria, en 1960.¹⁷

¹⁷ RITCHIEWIKI. Excavadora hidráulica. [En línea]. [Consultado el: 25 de noviembre de 2017]. Disponible en: http://www.es.ritchiewiki.com/wikies/index.php/Excavadora_hidr%C3%A1ulica

4.5.2 Características y cómo funcionan las excavadoras. La excavadora es una maquina dedicada a hacer arranque de material y en la mayoría de los casos carga de este sobre las unidades de transporte; a pesar de esto este equipo es versátil para realizar actividades como zanjeo, manejo de cargas, demolición y rotura de bloques cuando tiene su aditamento de martillo hidráulico.

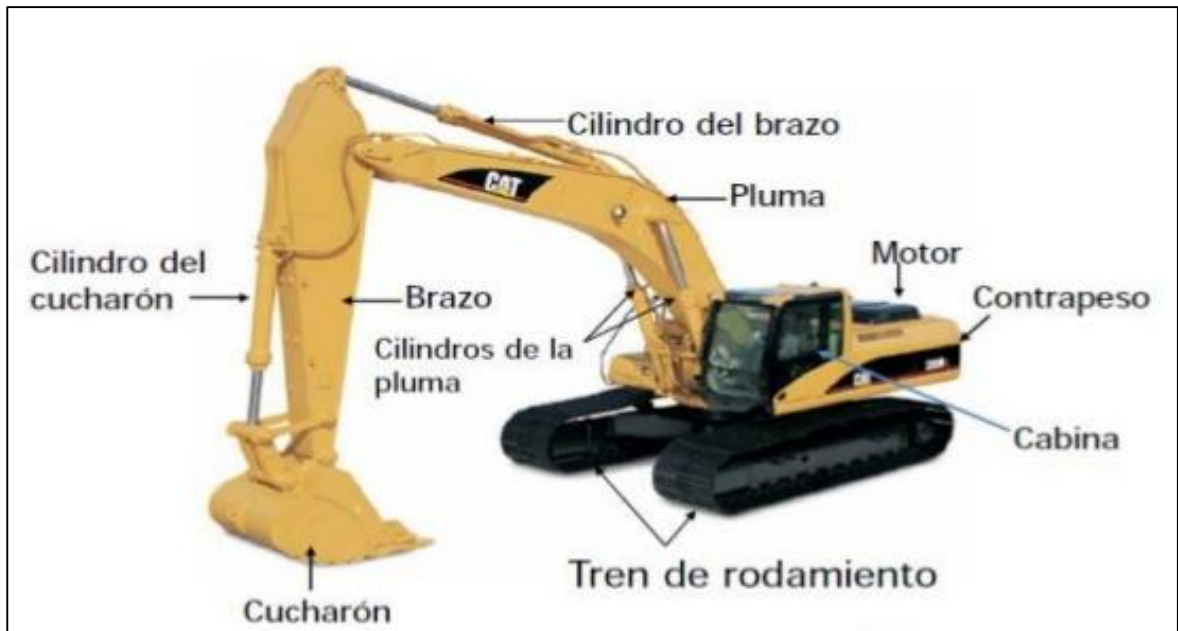
Existen en el mercado dos tipos de excavadoras como de carga frontal y retroexcavadoras; siendo la primera muy parecidas a las palas cargadoras, mientras que las retroexcavadoras se caracterizan porque, para llenar un cucharón primero excavan bajo su nivel de soporte y después carga.

El desplazamiento de estos equipos está en ruedas u orugas, lo cual depende directamente del tipo de trabajo a realizar, así como de los factores de facilidad de desplazamiento, producción requerida, etc.

Estos equipos dada su robustez, mecanismo para el giro, potencia hidráulica instalada son idóneas para la instalación de todo tipo de elementos tales como Martillos, herramientas de demolición, equipos de manipulación.¹⁸

¹⁸ ALCARRAZ, Frank. Maquinaria pesada – Excavadora. [En línea]. [Consultado el: 25 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/263387612/Excavadoras-caracteristicas-y-funcionamiento>

Figura 8. Excavadora CAT 330C - Componentes.



Fuente: CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

En la figura 8 se observa las partes que componen las excavadoras:

- Tren de Rodamiento base de desplazamiento
- Cabina
- Contrapeso
- Motor
- Pluma
- Cilindros pluma
- Brazo
- Cilindro brazo
- Cucharón
- Cilindro cucharón

La excavadora hidráulica trabaja en tres niveles, la pluma el cucharón y el brazo, los cuales son los aditamentos accionados por el sistema hidráulico a desarrollar en este trabajo. El sistema hidráulico es sin duda los elementos más importantes de este equipo.

La excavadora CAT 330C cuenta con un Motor Diesel C-9 ATAAC, el cual muestra la figura 9, que entre otras características tiene una baja emisión de gases,

Figura 9. Motor CAT 330C, Seis cilindros, tubo alimentador.



Fuente: CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

El sistema hidráulico que muestra la figura 10, es muy fácil de utilizar, proporciona automáticamente el número de prioridades para la pluma y el giro, aumentando al máximo sus prestaciones. Las prioridades de la pluma y del giro se justan automáticamente, según el movimiento de la palanca joystick, haciendo innecesario elegir el modo de trabajo.

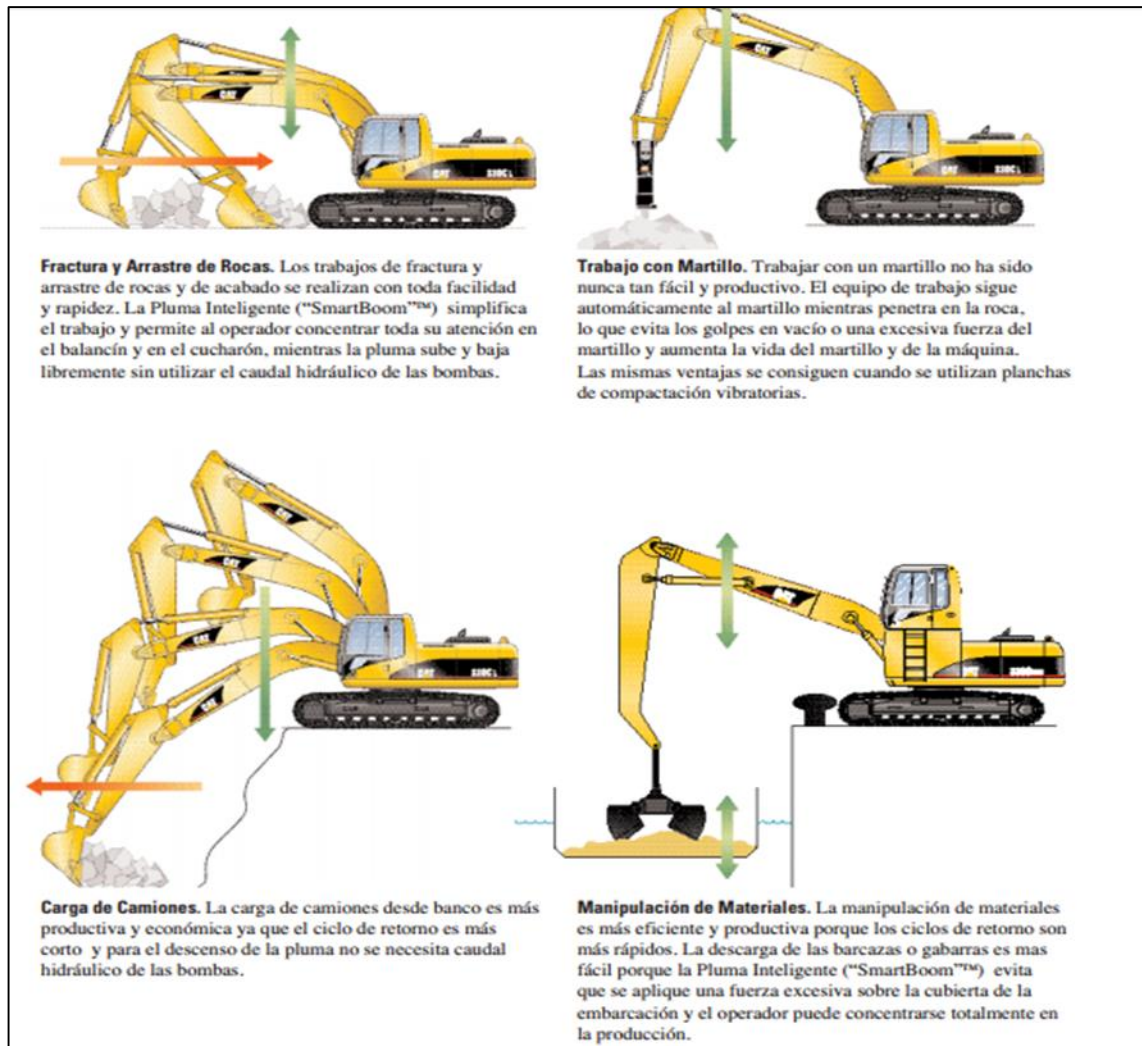
Figura 10. Sistema Hidráulico de Excavadora.



Fuente: CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

Este equipo cuenta con una pluma *Smart Boom* cuyo funcionamiento más suave y fácil, reduce tiempos de ciclo entre aplicaciones de carga de camiones y de fractura y/o arrastre de rocas. Reduce tensiones y vibraciones transmitidas a la máquina y proporciona al trabajador un ambiente de trabajo más cómodo y relajado.

Figura 11. Características de Pluma Inteligente “SmartBoom”.

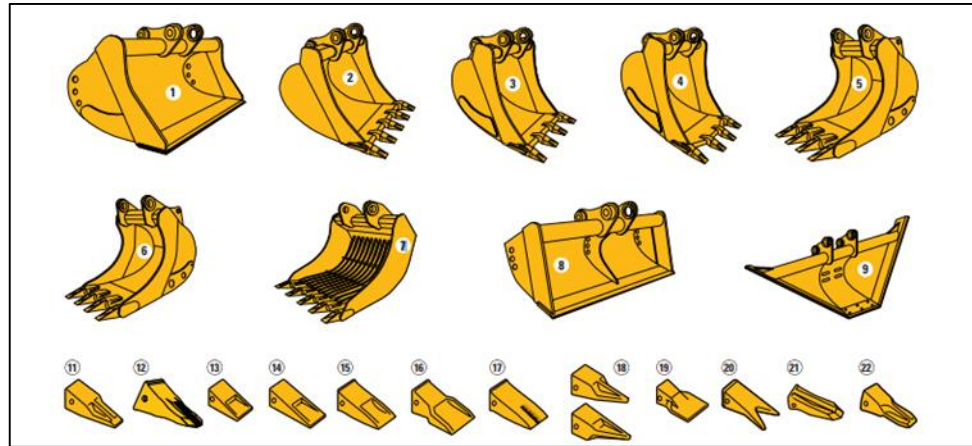


Fuente: CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

Las plumas y balancines que muestra la figura 12, están contruidos para proporcionar altas prestaciones y tener una gran duración; para este modelo, CAT desarrolló tres tipos de plumas que proporcionan gran versatilidad por el alto número de combinaciones de fuerza de excavación y alcance de acuerdo a los balancines que se utilicen.

Por otra parte, la gran variedad de cucharones y dientes existentes permitirá optimizar el rendimiento de la máquina.¹⁹

Figura 12. Cucharones y dientes para uso de CAT 330, de acuerdo a actividad a desarrollar.



Fuente: CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

4.6 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL DEL EQUIPO SELECCIONADO

Para la excavadora CAT 330 C, la empresa Mincivil S.A. tiene establecido un programa de mantenimiento preventivo de acuerdo a número de horas establecidas por el fabricante. Adicional como parte de los procesos de seguridad y mantenimiento el operario diligencia un formato de información pre-operacional diario, en el cual identifica los fallos que son visuales; estos son reportados y de acuerdo a su grado de criticidad se registran en el software para tener la información en el taller al momento de intervención.

¹⁹ Fuente: CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

De la criticidad del fallo visualizado se programa la ejecución de reparación de manera inmediata o programada.

Las rutinas actuales de mantenimiento comprenden una revisión diaria y una rutina preventiva realizada en una frecuencia determinada de horas de trabajo; MANTENIMIENTO CADA 50 HORAS, MANTENIMIENTO CADA 250 HORAS, MANTENIMIENTO CADA 1000 HORAS, MANTENIMIENTO CADA 2000 HORAS.

Cada mantenimiento tiene las actividades definidas a desarrollas y el responsable.

A continuación, se listan las actividades realizadas al sistema hidráulico según la frecuencia definida actualmente:

- Chequeo diario:
 - Medir el nivel del tanque hidráulico
 - Medir el nivel de aceite del reductor de giro
 - Detectar fugas de aceite
 - Inspeccionar ralladuras en los émbolos de los cilindros

- Cada 50 Horas:
 - Comprobar nivel de aceite de sistema Hidráulico

- Cada 250 horas:
 - Obtener muestra de aceite del sistema hidráulico

- Cada 1000 Horas:
 - Comprobar nivel de aceite de los mandos finales
 - Reemplazar filtro de aceite de sistema hidráulico (caja de drenaje)
 - Reemplazar filtro de aceite de sistema hidráulico (piloto)
 - Reemplazar filtro de aceite de sistema hidráulico (retorno)

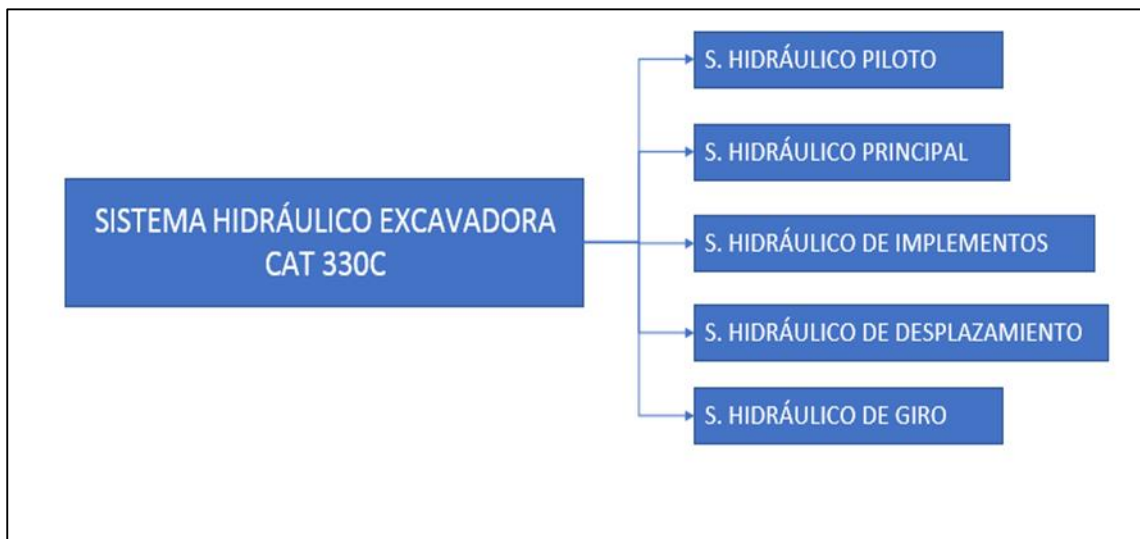
- Cambiar aceite del mando de rotación

- Cada 2000 Horas:
 - Cambio de aceite de mandos finales
 - Cambio aceite del sistema hidráulico

5. MODELO DE MANTENIMIENTO RCM PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO EXCAVADORA CAT 300C

5.1 TAXONOMÍA

Figura 13. Taxonomía del sistema hidráulico de la excavadora CAT 330C.




Se realiza la clasificación del sistema general en subsistemas de acuerdo al circuito hidráulico y a los diferentes componentes que lo conforman. La figura 13 muestra esta clasificación, en algunos casos existe relación de los componentes entre un subsistema y otro ya que, por fabricación, flujo de aceite y proceso de operación del equipo un componente menor de un subsistema se puede encontrar al interior de un componente mayor de otro subsistema.

En el proceso de aplicación de la metodología RCM se analiza cada subsistema con un resumen general de su funcionamiento, se definen las fronteras del subsistema, se definen las funciones generales, se describen las características

técnicas y operacionales representativas del subsistema, se relacionan los componentes y su funcionamiento, se realiza el análisis y codificación de modos de falla y sus efectos para determinar los tipos de tarea a realizar en la propuesta del plan de mantenimiento.

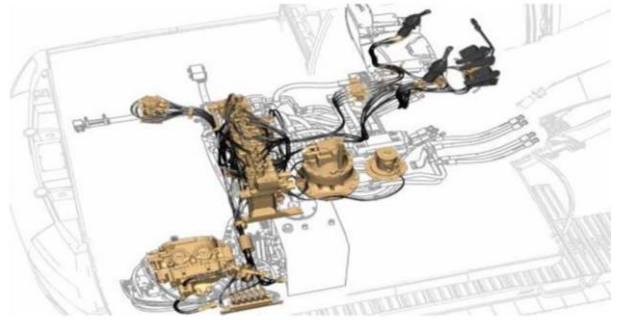
5.2 SISTEMA HIDRÁULICO PILOTO

Tabla 11. Descripción del sistema hidráulico piloto.

GENERALIDADES	COMPONENTES
<p>El sistema hidráulico piloto es el encargado de generar aceite a presión para controlar los flujos de salida de las bombas principales y proporcionar aceite piloto a las válvulas de control piloto de los implementos. El sistema hidráulico piloto a través de bombas, válvulas, solenoides y líneas de flujo logra que la manipulación de las palancas en cabina por parte del operador sea ejecutada por cada componente para lograr las funciones de trabajo de una excavadora: Rotación, traslación y movimiento del equipo de trabajo o implementos (Boom, stick y balde).</p>	 <ul style="list-style-type: none"> S. HIDRÁULICO PILOTO BOMBA PILOTO DE ENGRANAJES FILTRO HIDRÁULICO ACUMULADOR VÁLVULA SOLENOIDE (ACTIVACIÓN) VÁLVULA PILOTO VÁLVULA SOLENOIDE (REDUCCIÓN PROPORCIONAL- SISTEMA DE CAMBIO DE POTENCIA POWER SHIFT)

ESPECIFICACIONES

- Desplazamiento de la Pluma
200 mL (6.4 ounces)
- Output flow: 41 L/min (11 US
gpm)
- Presion de Entrega de la
bomba: 3500 kPa (508 psi)
- Velocidad de la bomba: 2440 rpm
- Relación de la bomba: 1:1.22



El sistema hidráulico piloto también controla el bloqueo hidráulico del equipo, éste permite o detiene el flujo de aceite hacia los diferentes subsistemas brindando un parámetro de seguridad para la operación del equipo. Por medio de una palanca en cabina se activa o desactiva el flujo de aceite. Lo anterior implica que cuando la palanca se encuentra en estado desbloqueado el motor diésel no encenderá, y cuando el motor se encuentre encendido pero la palanca en posición bloqueada ningún implemento o equipo de trabajo funcionará así se obturen o se operen las palancas de movimiento en cabina.²⁰

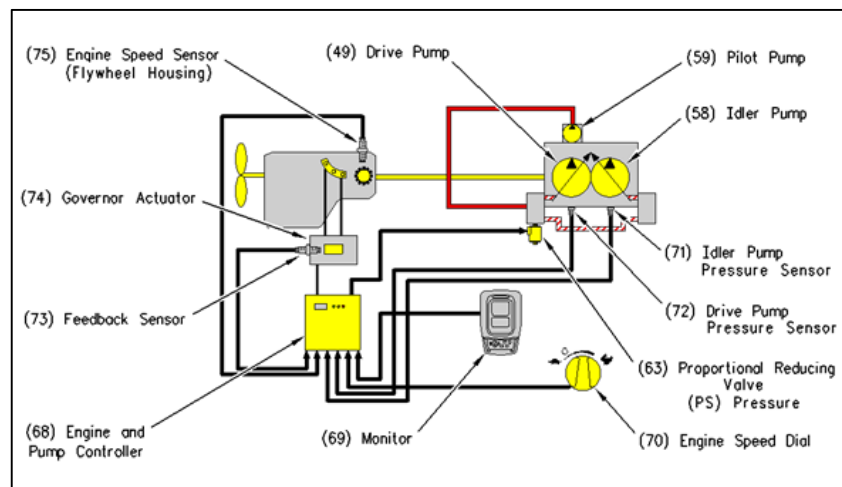
La válvula de alivio piloto limita la presión del aceite que fluye por el circuito piloto. El circuito piloto crea presión para controlar los flujos de salida de las bombas principales, proporciona aceite a las válvulas de control piloto de los implementos para que la máquina pueda operar, crea presión para operar automáticamente los dispositivos de control.

²⁰ CATERPILLAR INC. Información de productos. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: http://www.finning.com/en_CA/products/rental/equipment/excavators/small-excavators/18371806.htm

Los circuitos que conforman el sistema hidráulico piloto son el power shift pressure, circuito de válvulas de control piloto, circuito de interruptores de presión, circuito de desplazamiento recto, circuito de freno de parqueo, circuito de prioridad de boom, circuito de prioridad de giro y circuito automático de velocidad de desplazamiento.

Hidráulicamente modula varias válvulas que controlan el flujo de aceite de sistema hidráulico principal a los actuadores. El sistema hidráulico principal actuará los implementos proporcionalmente según el operador actué sobre los controles. La presión de aceite piloto se usa para regular los flujos del rendimiento de las bombas hidráulicas principales, el funcionamiento de las válvulas del mando principales y otros circuitos.²¹

Figura 14. Power Shift Pressure System.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

²¹ CARDONA, Jaime. Los tipos de sistemas hidráulicos. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://cursossequipoposadojaimecardona.blogspot.com.co/2016/04/los-tipos-de-sistemas-hidraulicos.html>

Cuando el equipo se encuentra en operación, el controlador del motor y de la bomba recibe señales de entrada desde los siguientes componentes:

- Perilla de velocidad de motor
- Sensor de velocidad de motor localizado en la carcasa del volante del motor
- Sensor de presión de bomba de mínima
- Sensor de presión de bomba de mando
- Monitor en cabina
- Sensor de retroalimentación y actuador del gobernador

El controlador del motor y de la bomba monitorea y procesa continuamente las señales de entrada enviando una señal PWM (*pulse width modulated signal*) de salida a la válvula de reducción proporcional en el regulador de la bomba. La válvula de reducción proporcional ayuda a controlar el flujo de salida de la bomba de mínima y bomba de mando.

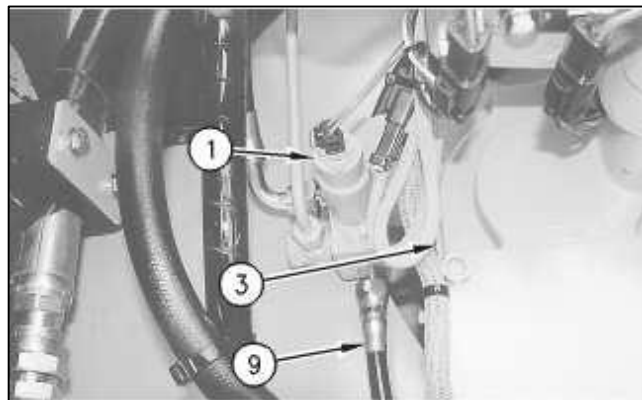
El aceite entregado de la bomba piloto fluye a través del filtro piloto a la válvula de reducción proporcional en el regulador de la bomba. La señal eléctrica enviada desde el controlador del motor y de la bomba hace que la válvula reductora proporcional regule la presión piloto a una presión reducida. Esta presión reducida se denomina presión de cambio de potencia (PS). La válvula reductora proporcional envía la presión reducida del aceite piloto a través del regulador de la bomba de mínima y a través del regulador de la bomba de mando. El flujo de salida de la bomba de mínima y de la bomba motriz se controla de acuerdo con la presión de cambio de potencia.

La señal de salida enviada desde el controlador de la bomba y del motor a la válvula de reducción proporcional cambiará cuando éste detecte un cambio en cualquiera de las señales de entrada. La presión de cambio de potencia que es enviada de los reguladores a la bomba de mínima y de la bomba de mando

cambiará para regular la salida máxima permitida de la bomba hidráulica. Se mantiene la velocidad del motor apropiada.

Una disminución en la velocidad del motor aumenta la presión de cambio de potencia. Éste aumento causa la apertura mínima de las condiciones de las bombas de mínima y de mando. La potencia hidráulica de salida máxima permisible disminuye. Un aumento en la velocidad del motor disminuye la presión de cambio de potencia. Ésta disminución causa la apertura máxima subida de las condiciones de las bombas de mínima y de mando. La potencia hidráulica de salida máxima permisible aumenta.

Figura 15. Ubicación de Válvula de reducción proporcional.



(1) Proportional reducing valve (power shift solenoid)

(3) Cuerpo Bomba Principal

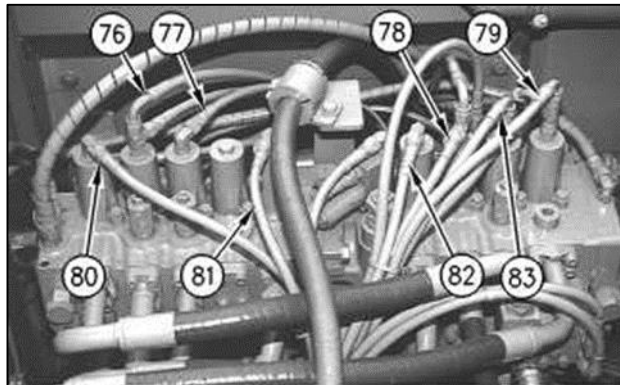
(9) Línea flujo aceite piloto

Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

- Circuitos de la válvula de control piloto

El aceite de la bomba piloto fluye a través del filtro piloto hacia el múltiple piloto. Cuando la palanca de control de activación hidráulica es cambiada a la posición desbloqueada, el controlador de la bomba y del motor energiza la válvula solenoide de activación hidráulica. El aceite piloto entonces mueve la válvula y genera que el aceite piloto fluya a las válvulas de control piloto para los implementos, giro y desplazamiento para realizar operaciones de la máquina. Cuando la palanca de mando - Joystick y los pedales de desplazamiento son movidos, el aceite piloto fluye desde el múltiple piloto a la válvula de control principal con el fin de controlar las funciones de la máquina.

Figura 16. Líneas piloto en la válvula control principal (Vista de planta).



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

Cuando la palanca de mando - Joystick o pedales de desplazamiento son operados, las válvulas de control piloto envían aceite de la bomba piloto a través de las líneas piloto a puertos piloto en la válvula de control principal. En la Tabla

12 y en la figura 16 se identifican las líneas piloto y la operación de la máquina que ejecutan cada una.

Tabla 12. Líneas piloto – operación en equipo Excavadora CAT330C.

Línea Piloto	Válvula de control	Operación
76	Válvula de control Boom I	Descenso del Boom
77	Válvula de control de Balde	Cierre del Balde
78	Válvula de control de Giro	Giro a la Izquierda
79	Válvula de control Boom II	Elevación del Boom
80	Válvula de control Stick II	Contracción Stick
81	Válvula de control Desplazamiento derecho	Desplazamiento Derecho Reversa
82	Válvula de control Desplazamiento Izquierdo	Desplazamiento Izquierdo Reversa
83	Válvula de control Stick I	Extensión Stick

El aceite piloto fluye desde las válvulas de control piloto a través de las líneas piloto a los puertos en el fondo de la válvula de control principal para realizar la operación contraria.

El siguiente ejemplo es dado para la operación del elevación y descenso del boom. La operación del stick, balde y operaciones de giro y desplazamiento se realizan de la misma manera que la operación del boom.

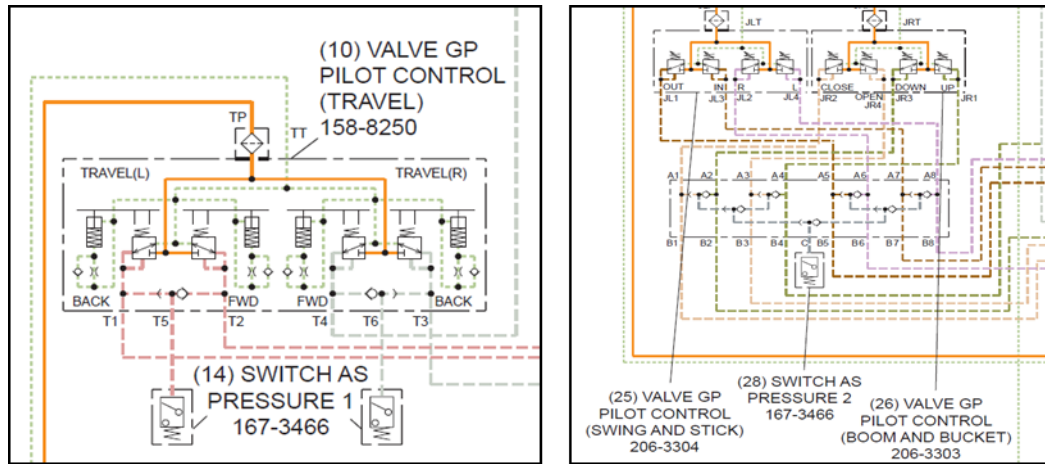
Cuando el joystick del boom se mueve a la posición de elevación del brazo, el aceite piloto de la válvula de control piloto fluye a la válvula de control del boom I. La presión piloto desplaza la válvula de control del boom I. El suministro de aceite de la bomba de mínima fluye hacia el extremo de cabeza de los cilindros de pluma para realizar la operación de elevación del Boom.

Cuando la palanca de mando del boom es movida a la posición de descenso del boom, el aceite de la válvula de control piloto fluye a la válvula de control del boom I. La presión piloto cambia la válvula de control del boom I. El aceite también fluye simultáneamente por otra línea piloto para abrir la válvula de reducción de derivación del boom. El retorno del aceite desde la cabeza en el final de los cilindros del boom fluye a través de la válvula de reducción de derivación del Boom y de la válvula de control del boom I hasta el tanque hidráulico e inicia el descenso del boom.

- Circuito de interruptores de presión

Los interruptores de presión son conectados a la válvula de control piloto de desplazamiento. El interruptor de presión es conectado a la válvula de control piloto de giro y del stick y válvula de control piloto del boom y del balde. Cuando todos los mandos o pedales están en la posición neutral, la presión del aceite piloto a los interruptores de presión es baja por lo tanto los interruptores de presión están apagados. El controlador de la bomba y del motor reconoce la condición de apagado de todos los interruptores de presión y el sistema AEC (*Automatic Engine Speed Control*) es activado para disminuir las RPM del motor.

Figura 17. Circuitos interruptores de presión.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

Sí cualquiera de los mandos o pedales son movidos desde la posición neutral, el aumento de la presión piloto se envía a los interruptores de presión. Sí los interruptores (14) y/o (28) de la figura 17 están encendidos, el controlador del motor y de la bomba activa el sistema AEC para aumentar las RPM del motor.

- Circuito de la válvula de desplazamiento recto

Cuando una operación de giro y/o implementos es realizada durante una operación de desplazamiento, el incremento en la presión piloto en la línea piloto activa el interruptor de presión de implementos/giro. Éste interruptor envía una señal eléctrica al controlador del motor y de la bomba. El controlador energiza el solenoide de desplazamiento recto. La presión piloto activa ahora la válvula de control de desplazamiento recto la cual mantiene el desplazamiento recto aun cuando exista una operación de giro o una operación de implementos durante el desplazamiento.

- Freno De Giro

Cuando la palanca de control de la activación del hidráulico es ubicada en la posición “desbloqueado”, el aceite piloto en el sistema fluye por la válvula de activación hidráulica a la válvula solenoide de freno de estacionamiento de giro. Cuando cualquiera de los mandos es movido de la posición neutral, el incremento de la presión piloto activa el interruptor de presión de implementos/giro el cual envía una señal eléctrica al controlador del motor y de la bomba. Éste energiza la válvula solenoide del freno de estacionamiento de giro. El aceite piloto en la línea fluye hacia el freno de estacionamiento de giro liberando el freno de giro.

- Prioridad Del Boom

Durante la operación combinada de levantamiento del boom y de recogimiento del stick, la presión de aceite piloto activa la válvula de reducción de presión para la prioridad del boom. Ésta permite la prioridad del flujo al extremo de la cabeza de los cilindros del boom durante la operación hidráulica combinada mediante la desactivación de la válvula de control stick II.

- Prioridad Del Giro

Durante la operación del giro, el aceite piloto fluye desde la válvula de control piloto de giro a la válvula de reducción de presión para la prioridad del giro. La válvula de reducción de presión para la prioridad del giro cambia. El flujo de aceite piloto en la línea piloto del múltiple de aceite piloto es bloqueado por la válvula reductora de presión para la prioridad de giro. De esta manera la mayor parte del flujo suministrado por la bomba de mando va al motor de giro.

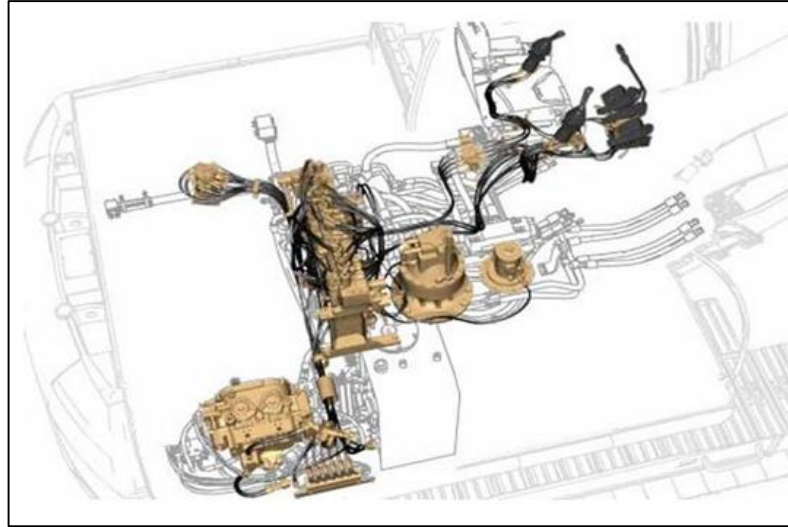
- Válvula De Cambio Automático De Velocidad De Desplazamiento

El aceite piloto de la salida de la bomba piloto fluye a la válvula solenoide de velocidad de desplazamiento. Cuando el interruptor de velocidad de desplazamiento en la parte derecha de la consola es puesto en posición “velocidad alta” o “High Speed” la válvula solenoide se abre permitiendo el flujo a través de la válvula solenoide al motor de desplazamiento izquierdo y de la válvula de cambio de desplazamiento al motor de desplazamiento derecho. A medida que funciona la válvula de cambio de desplazamiento, la velocidad de desplazamiento se mantiene en la posición “high speed”.

Cuando el interruptor de velocidad de desplazamiento en la parte derecha de la consola es llevado a la posición “high speed”, los sensores de presión para la presión de suministro de la bomba controlan la velocidad de desplazamiento de acuerdo con la carga de desplazamiento. Por ejemplo, una velocidad baja para cargas elevadas y una velocidad alta para cargas bajas.

5.2.1 Definición de fronteras del sistema hidráulico piloto. Comprende la bomba piloto, el filtro piloto, el múltiple piloto, las válvulas de control piloto (Boom y balde, giro y stick, desplazamiento), la válvula de alivio piloto y las líneas, mangueras y ductos de señales de presión piloto. No incluye el sistema electrónico de control que envía las señales previas a los solenoides y válvulas.

Figura 18. Fronteras del sistema Hidráulico Piloto.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.2.2 Definición de funciones sistema hidráulico piloto. Las principales funciones del sistema hidráulico piloto son:

5.2.2.1 Control de operación de las válvulas de control de los implementos.

El aceite piloto fluye desde la bomba piloto a través del múltiple piloto y luego a las válvulas de control piloto para la operación de los implementos, del giro o de la traslación del equipo. Las válvulas de control piloto son activadas desde la cabina por el operador a través de las palancas de mando y de los pedales.

Cuando las palancas de mando y los pedales se encuentran en posición Neutra, el aceite fluye desde las válvulas de control piloto a los carretes correspondientes de la válvula de control principal.

El aceite de presión piloto en ese extremo del carrete de la válvula obliga a desplazar el carrete de la válvula. El aceite piloto en el otro extremo del carrete drena al tanque hidráulico. Cuando el carrete de la válvula se desplaza, entonces el aceite es suministrado desde la bomba de mínima o la bomba de mando (26) a los cilindros y motores. Así, el aceite piloto acciona cada sistema de la válvula de control principal.²²

5.2.2.2 Control del flujo de salida de las bombas principales. Durante el funcionamiento de la máquina, la presión piloto se envía a los reguladores de la bomba principal como una señal de presión. Esta señal se denomina presión de cambio de potencia.

El controlador del motor y la bomba recibe y procesa señales de entrada de varios componentes de la máquina. El controlador envía una señal eléctrica a la válvula reductora proporcional en el regulador de la bomba mínima para regular la presión de cambio de potencia. La presión de cambio de potencia controla el flujo de salida de la bomba de mínima y de la bomba de accionamiento. La presión de cambio de potencia ajusta el flujo de salida de las bombas principales de acuerdo con la velocidad del motor.

5.2.2.3 Generación de las señales de presión. De modo que se puedan realizar las siguientes operaciones: (Crear presión de aceite piloto para operar automáticamente los dispositivos de control)

- La señal de presión piloto activa el sistema AEC – Control de velocidad automática del motor por sus siglas en inglés (Automatic engine control).

²² CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

- La señal de presión piloto libera el freno de estacionamiento del giro.
- La señal de presión piloto automáticamente cambiará la velocidad de desplazamiento ya sea alta o baja de acuerdo con la carga del sistema hidráulico.
- La señal de presión piloto opera la válvula de control de desplazamiento recto. Éste mantiene el desplazamiento recto durante la operación de un implemento.
- La señal de presión piloto controla el funcionamiento de las válvulas que se pueden utilizar durante una operación de carga o una operación de zanjeo.

5.2.3 Especificaciones del sistema hidráulico piloto. El sistema hidráulico, según su funcionamiento y la descripción general realizada tiene las siguientes características con carga:

- Desplazamiento de la Pluma 200 mL (6.4 ounces)
- Output flow: 41 L/min (11 US gpm)
- Presion de Entrega de la bomba: 3500 kPa (508 psi)
- Velocidad de la bomba: 2440 rpm
- Relación de la bomba: 1:1.22

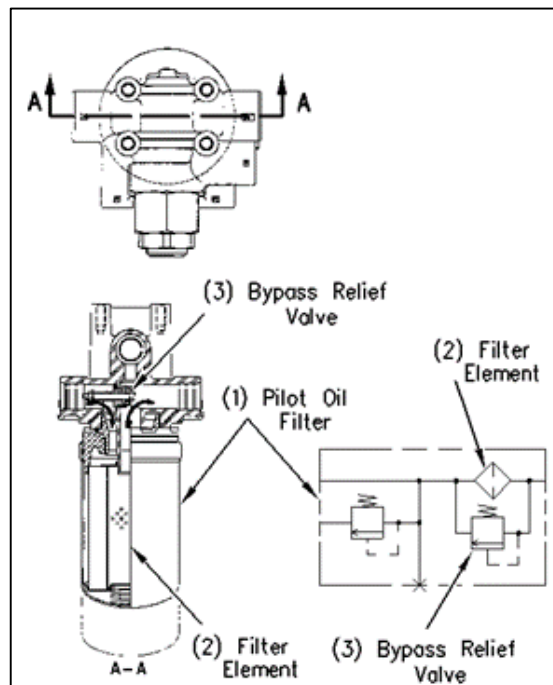
5.2.4 Componentes sistema hidráulico piloto.

5.2.4.1 Bomba Piloto. Bomba tipo engranajes ubicada dentro de la carcasa de la bomba principal y está conectada mecánicamente a la bomba de mando. La bomba piloto suministra flujo de aceite al sistema piloto. La descarga de la bomba con carga es aproximadamente 34 L/min (9 gpm).

La bomba piloto succiona aceite desde el tanque principal y eleva su presión por medio de la variación del caudal suministrando flujo al múltiple de aceite piloto de donde se envían a las válvulas de control piloto de los implementos.

5.2.4.2 Filtro Piloto / Válvula de Alivio. Los elementos filtrantes en el filtro remueven elementos contaminantes del aceite piloto. Sí el aceite piloto es extremadamente frío y por lo tanto su viscosidad es alta o sí el flujo de aceite piloto se ve restringido por contaminantes desvía o sobrepasa el elemento filtrante a través de la válvula de alivio. La válvula de alivio está incorporada en la base del filtro de aceite piloto.

Figura 19. Filtro Piloto/ válvula de alivio.

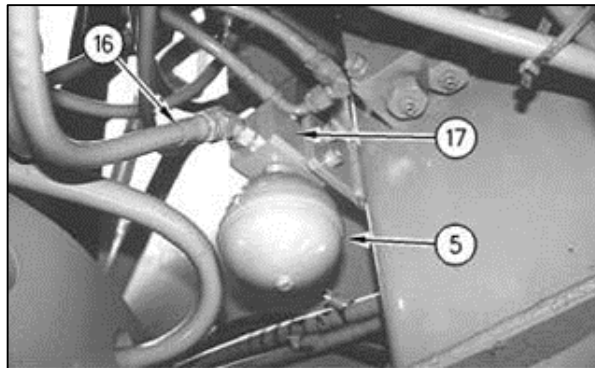


Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.2.4.3 Acumulador. El acumulador almacena aceite de presión piloto para que sea utilizado en las válvulas de control principal. Durante algunas operaciones, el sistema piloto necesita más aceite, debido a que el flujo desde la bomba piloto no es suficiente. El acumulador suministra el aceite de presión piloto al sistema piloto cuando el flujo de la bomba piloto no es el adecuado.

El suministro insuficiente de flujo de aceite piloto al sistema piloto puede deberse a las dos siguientes causas: los implementos se bajan cuando el motor está detenido, y el suministro de aceite a las válvulas de control principal está detenido.

Figura 20. Acumulador.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

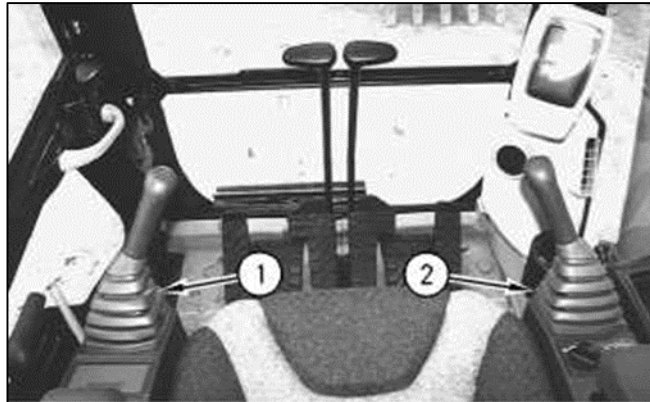
El aceite almacenado se usa únicamente para operar los vástagos de la válvula de control principal.

5.2.4.4 Válvula solenoide de activación hidráulica. Se encuentra en el múltiple de aceite piloto y es activada por el operador desde la cabina por medio de una palanca ubicada al costado izquierdo de la silla. El operador activa o desactiva las funciones del sistema hidráulico inhabilitando el accionamiento de todos los componentes hidráulicos. Si la palanca está en posición desactivado o bloqueado, aunque se accione la palanca de mandos o las palancas de desplazamiento el equipo no se moverá.

El motor diésel no encenderá si la palanca de bloqueo hidráulico está en posición activa o desbloqueada. Si inesperadamente se opera la máquina, ésta no funcionará. Según la condición de la palanca en cabina, se energiza un solenoide conectado a la válvula para permitir o cerrar el paso del aceite piloto a todos los sistemas.

5.2.4.5 Válvula Piloto (Joystick). Las palancas de mando en cabina son el medio por el cual el operador mediante una acción envía una señal a las diferentes bombas y válvulas para lograr los movimientos controlados del boom, el stick, el balde o el giro del equipo. Estos pueden ser ejecutados uno a uno o de manera combinada.

Figura 21. Josystick / Palancas de mando.



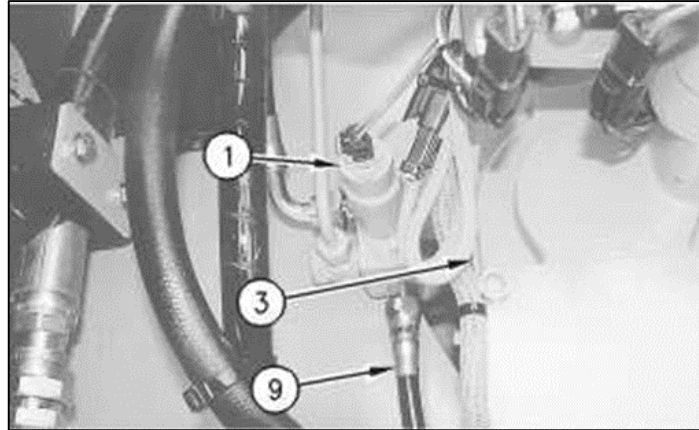
Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.2.4.6 Válvula Solenoide (Reducción proporcional) – Power Shift System.

Por medio de una señal PWM (pulse width modulated signal) enviada desde el controlador de motor y de la bomba, la válvula reconoce si las RPM del motor están aumentando o disminuyendo y respectivamente reduce o aumenta la presión del aceite piloto y lo envía a los reguladores de la bomba mínima y de mando.

El flujo de salida de las bombas se controla de acuerdo con la presión de cambio de potencia (Power Shift Pressure). La presión de cambio de potencia se utiliza para controlar la salida de la bomba hidráulica máxima permitida.

Figura 22. Válvula de reducción.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.2.5 Análisis de modo de falla del sistema hidráulico piloto.

Tabla 13. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del Sistema Hidráulico Piloto.

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F1	Limitar la presión del aceite del circuito piloto hasta 4120 Kpa (597 Psi)	FF1	La presión en el circuito piloto supera los 4120 Kpa	MF1	Válvula de alivio piloto pegada por contaminación	- El operador detecta Ruido extraño en el sistema y para el equipo para revisión
F1	Limitar la presión del aceite del circuito piloto hasta 4120 Kpa (597 Psi)	FF1	La presión en el circuito piloto supera los 4120 Kpa	MF2	Válvula de alivio descalibrada por manipulación del tornillo de ajuste	-Testigo de presión de aceite se enciende y el operador detiene para revisión

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F2	Regular el flujo máximo permitida de la bomba hidráulica 231 l/min (61 gpm)	FF1	El flujo de la bomba hidráulica supera los 231 l/min (61 gpm)	MF1	Solenoides de válvula reducción proporcional dañado	- El operador detecta ruido y detiene El equipo para revisión - Se genera una sobre presión en el sistema que puede activar códigos de falla.
F2	Regular el flujo máximo permitida de la bomba hidráulica 231 l/min (61 gpm)	FF1	El flujo de la bomba hidráulica supera los 231 l/min (61 gpm)	MF2	Sensor de presión de bombas principales no envía señal por daño o por mal contacto	- Se activa código de falla en El sistema de diagnóstico del modulo
F3	Activar / Desactivar el bloqueo hidráulico del equipo	FF1	El sistema no desactiva el sistema hidráulico, permite el funcionamiento de implementos cuando la palanca de activación hidráulica esta en posición off	MF1	Señal de entrada al solenoide de la válvula de desactivación hidráulica interrumpida por líneas eléctricas abiertas	- El operador detecta la falla y la reporta para revisión urgente.
F3	Activar / Desactivar el bloqueo hidráulico del equipo	FF2	El sistema no activa el sistema hidráulico, no permite el funcionamiento de implementos cuando la palanca de activación hidráulica esta en posición on	MF1	Controlador de la bomba y del motor desprogramado por sobre voltaje	- El operador no puede operar El equipo. Reporta la falla equipo down
F3	Activar / Desactivar el bloqueo hidráulico del equipo	FF2	El sistema no activa el sistema hidráulico, no permite el funcionamiento de implementos cuando la palanca	MF2	Válvula de activación hidráulica averiada presión piloto elevada	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
			de activación hidráulica está en posición on			
F3	Activar / Desactivar el bloqueo hidráulico del equipo	FF2	El sistema no activa el sistema hidráulico, no permite el funcionamiento de implementos cuando la palanca de activación hidráulica esta en posición on	MF3	Sistema sin aceite hidráulico por bajo nivel o fuga	
F3	Activar / Desactivar el bloqueo hidráulico del equipo	FF2	El sistema no activa el sistema hidráulico, no permite el funcionamiento de implementos cuando la palanca de activación hidráulica esta en posición on	MF4	Sistema sin aceite por desgaste interno de bomba piloto	
F3	Activar / Desactivar el bloqueo hidráulico del equipo	FF2	El sistema no activa el sistema hidráulico, no permite el funcionamiento de implementos cuando la palanca de activación hidráulica esta en posición on	MF5	Acumulador de aceite piloto sin carga	
F4	Activar las válvulas de control principal de implementos cuando se accionan los mandos en cabina	FF1	El movimiento de los mandos en cabina no genera activación de las válvulas de control principal	MF1	Válvulas de control piloto averiadas por desgaste de resortes o por contaminación de ductos	- No se puede operar El equipo.
F4	Activar las válvulas de control	FF1	El movimiento de los mandos en	MF2	Bajo flujo de aceite piloto	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	principal de implementos cuando se accionan los mandos en cabina		cabina no genera activación de las válvulas de control principal		por falla interna de la bomba piloto	
F4	Activar las válvulas de control principal de implementos cuando se accionan los mandos en cabina	FF1	El movimiento de los mandos en cabina no genera activación de las válvulas de control principal	MF3	Sistema sin aceite hidráulico por bajo nivel o fuga del tanque	
F5	Activar el Sistema AEC Velocidad automática del motor cuando se accionan los mandos en cabina	FF1	No se activa el sistema AEC (Automatic engine speed control)	MF1	Interruptores de presión no envían señal al Controlador por línea eléctrica abierta, mala conexión o daño del interruptor	- Código de falla activo en módulo de diagnóstico. - El operador detecta que el motor no aumenta la entrega de potencia para las operaciones y detiene el equipo para revisión
F5	Activar el Sistema AEC Velocidad automática del motor cuando se accionan los mandos en cabina	FF1	No se activa el sistema AEC (Automatic engine speed control)	MF2	Controlador de la bomba y del motor quemado por sobre voltaje	
F6	Mantener el desplazamiento recto en una operación de giro o una operación de implementos combinada con operación de desplazamiento	FF1	Permite el desplazamiento en varias direcciones cuando hay una operación combinada con giro o implementos	MF1	Solenoide de válvula de desplazamiento recto no acciona	- Código de falla activo en módulo de diagnóstico. - El operador detecta que la velocidad de desplazamiento no se regula y reporta la falla para corrección
F6	Mantener el desplazamiento recto en una operación de giro o una operación de implementos combinada con	FF2	El desplazamiento no funciona en una operación combinada con giro o implementos	MF1	Falla en la válvula de control piloto de desplazamiento	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	operación de desplazamiento					
F7	Liberar el freno de estacionamiento de giro cuando la palanca de activación hidráulica esta desbloqueada	FF1	La operación de giro no funciona cuando la palanca de activación hidráulico se encuentra en posición On	MF1	Restricción en la entrada de múltiple piloto por contaminación	- La operación de giro no funciona, el operador detiene el equipo para revisión
F7	Liberar el freno de estacionamiento de giro cuando la palanca de activación hidráulica esta desbloqueada	FF1	La operación de giro no funciona cuando la palanca de activación hidráulico se encuentra en posición On	MF2	Solenoides de freno de giro en el múltiple piloto no acciona por daño interno	
F7	Liberar el freno de estacionamiento de giro cuando la palanca de activación hidráulica esta desbloqueada	FF1	Las funciones desplazamiento rápido o desplazamiento lento no activan con la perilla en cabina	MF1	Sensores de presión no envían la señal de carga alta o baja por corto en la línea	- La velocidad de desplazamiento siempre estará en rango bajo aumenta tiempos de operación. - El operador reporta la falla para revisión
F8	Cambiar la velocidad de desplazamiento de acuerdo a la carga del sistema hidráulico (Vel lenta para carga elevada - Vel alta para carga baja)	FF2	En una operación con carga hidráulica alta y la función de desplazamiento rápido la velocidad de desplazamiento no disminuye	MF1	Solenoides de válvula de velocidad de desplazamiento dañado	
F9	Generar flujo de aceite al sistema hidráulico piloto	FF1	No genera flujo de aceite al sistema hidráulico piloto	MF1	Falta aceite hidráulico por fuga	- El operador detecta ruido extraño en bombas y detiene el equipo para revisión. - El operador detecta fallas en el pre operativo y reporta la falla
F9	Generar flujo de aceite al sistema hidráulico piloto	FF1	No genera flujo de aceite al sistema hidráulico piloto	MF2	Ducto de succión roto	
F9	Generar flujo de aceite al sistema hidráulico piloto	FF1	No genera flujo de aceite al sistema hidráulico piloto	MF3	Daño interno bomba piloto por desgaste	
F9	Generar flujo de	FF1	No genera flujo de	MF4	Daño interno	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	aceite al sistema hidráulico piloto		aceite al sistema hidráulico piloto		bomba piloto por cavitación	para corrección
F9	Contener el aceite hidráulico	FF1	Fugas de aceite hidráulico piloto	MF1	Mangueras deterioradas por sobre presión del sistema	
F9	Contener el aceite hidráulico	FF1	Fugas de aceite hidráulico piloto	MF2	Acoples sueltos por mala instalación torque inadecuado	
F9	Contener el aceite hidráulico	FF1	Fugas de aceite hidráulico piloto	MF3	Mangueras deterioradas por roces con otros componentes	
F10	No permitir el ingreso de contaminación al sistema	FF1	Ingreso de contaminación al sistema	MF1	Aceite hidráulico contaminado en el cambio de aceite	- Los sistemas se van desgastando continuamente, se comienzan a presentar fallas de bombas y válvulas terminando en la varada del equipo
F10	No permitir el ingreso de contaminación al sistema	FF1	Ingreso de contaminación al sistema	MF2	Sellos deteriorados por vida útil	
F10	No permitir el ingreso de contaminación al sistema	FF1	Ingreso de contaminación al sistema	MF3	Fuga en elementos por mal montaje de sellos y retenedores	

5.3 SISTEMA HIDRÁULICO PRINCIPAL

Tabla 14. Descripción del sistema hidráulico principal.

GENERALIDADES	COMPONENTES
<p>El sistema hidráulico principal entrega flujo de aceite desde la bomba de <u>mínima</u> y la bomba de mando_con el fin de controlar los siguientes componentes: Cilindro del balde, cilindro del stick, cilindros del boom, motor de desplazamiento derecho e izquierdo, y motor de giro.</p> <p>La bomba de mínima y la bomba de mando_son bombas tipo axial de pistón curvado. El rendimiento de las dos bombas es igual.</p>	
<h3>ESPECIFICACIONES</h3> <p><u>Bomba de mando:</u></p> <p>Flujo de Salida: 231 ± 15 L/min (61 ± 4 US gpm) Presion entregada por la bomba: 9800 kPa (1421 psi) Presion de cambio de potencia 2550 ± 50 kPa (370 ± 7 psi) Velocidad de la bomba 1800 RPM</p> <p><u>Bomba de minima</u></p> <p>Flujo de Salida: 160 ± 15 L/min (42 ± 4 US gpm) Presion entregada por la bomba: 25500 kPa (3700 psi) Presion de cambio de potencia: 2550 ± 50 kPa (370 ± 7 psi) Velocidad de la bomba 1800 rpm</p> 	

La bomba de mando está directamente conectada al motor mediante un acople flexible y entrega aceite al cuerpo de la válvula de control izquierda que hace parte de la válvula de control principal.

La bomba de mínima está conectada mecánicamente a la bomba de mando a través de engranajes y ésta entrega aceite al cuerpo de la válvula de control derecha que hace parte de la válvula de control principal. Los engranajes tienen el mismo número de dientes así que las bombas giran a igual velocidad del motor.

La bomba piloto es una bomba de engranajes la cual suministra aceite al sistema hidráulico piloto, está se encuentra conectada a la bomba de mínima a través de engranajes. Por último, la bomba del ventilador es una bomba de engranajes que suministra aceite al sistema de refrigeración de aceite y está conectada mecánicamente al motor mediante engranajes. La carga entregada por el motor diésel es usada para el movimiento de las bombas mencionadas.

A medida que aumenta la presión de carga durante las condiciones de trabajo, las bombas principales aumentan la entrega de presión y disminuyen el caudal. La potencia hidráulica se mantiene constante, aunque la presión y el caudal cambien. La potencia hidráulica es aproximadamente igual a la potencia del motor.

Cuando no se trabaja, el aceite de la bomba fluye a través de la válvula de control principal y al depósito hidráulico. La válvula de control principal envía una señal de control de flujo negativo a cada regulador de bomba principal para apertura máxima la bomba al flujo de salida mínimo.

Cuando se inicia una operación, la válvula de control principal direcciona el aceite desde la bomba a los respectivos cilindros (boom, bucket o stick) y/o motores (giro y traslación). Para ello la válvula de control principal tiene numerosos vástagos,

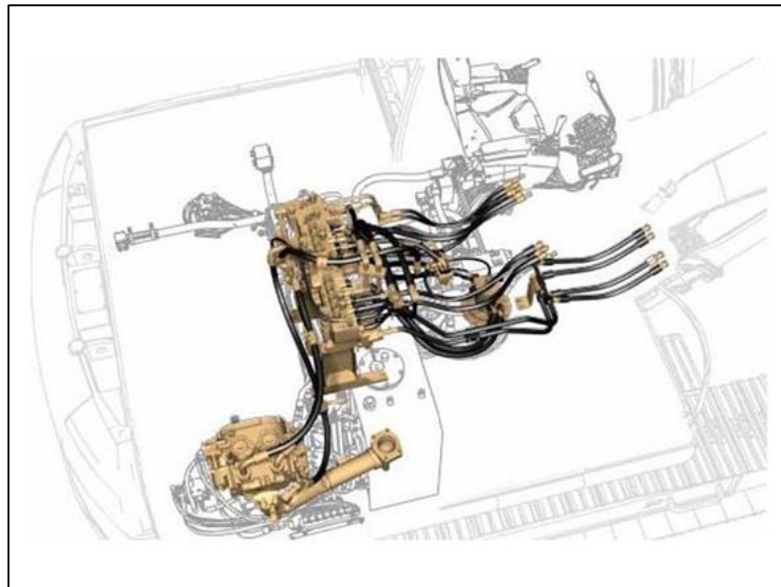
pasos, válvulas y orificios para realizar una sola operación en una operación combinada.

La presión de trabajo del sistema hidráulico principal es regulada por la válvula de alivio principal.

El sistema hidráulico principal entrega flujo de aceite a los implementos a través de mangueras de aceite reforzadas y especiales para las condiciones de presión y en algunos momentos de temperatura que se presenta en el circuito.

5.3.1 Definición de frontera sistema hidráulico principal. Comprende las bombas principales de mínima y de mando, la válvula de control principal y las líneas de flujo de aceite entre la bomba y la válvula de control principal.

Figura 23. Frontera del sistema hidráulico principal.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.3.2 Funciones del sistema hidráulico principal. Este sistema entrega el flujo de aceite de ambas bombas principales a la válvula del mando principal y entonces a varios actuadores:

- Cilindro del cucharón (bucket)
- Cilindro de la pluma (stick)
- Cilindros de los brazos (boom)
- El motor de viaje derecho (travel right)
- El motor de viaje izquierdo (travel left)
- Motor de giro (swing)

5.3.3 Especificaciones del sistema hidráulico principal.

5.3.3.1 Bomba de mando.

- Flujo de Salida: 231 ± 15 L/min (61 ± 4 US gpm)
- Presión entregada por la bomba: 9800 kPa (1421 psi)
- Presión de cambio de potencia: 2550 ± 50 kPa (370 ± 7 psi)
- Velocidad de la bomba: 1800 RPM

5.3.3.2 Bomba de mínima.

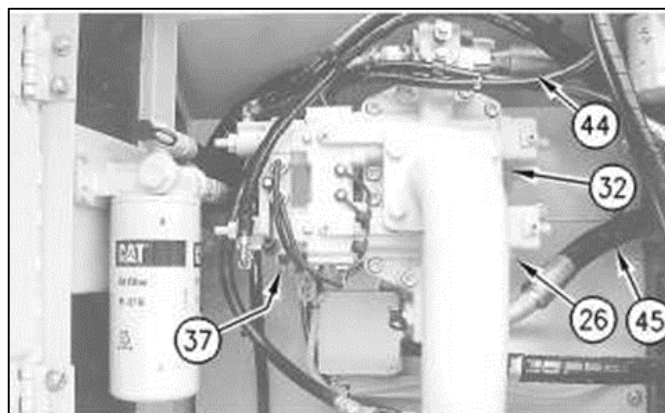
- Flujo de Salida: 160 ± 15 L/min (42 ± 4 US gpm)
- Presión entregada por la bomba: 25500 kPa (3700 psi)
- Presión de cambio de potencia: 2550 ± 50 kPa (370 ± 7 psi)
- Velocidad de la bomba: 1800 rpm

5.3.4 Componentes sistema hidráulico principal. Las bombas principales son la bomba de accionamiento drive y la bomba de mínima las cuales se encuentran en un mismo conjunto o carcasa junto a la bomba piloto del sistema hidráulico piloto. Las bombas de accionamiento y de mínima son iguales en cuanto a construcción y funcionamiento.

El aceite desde el tanque hidráulico fluye hacia el interior del cuerpo de bombas. Cada bomba tiene una línea de salida independiente. Además de la entrada de aceite desde el tanque, a la bomba principal ingresa la presión de cambio de potencia (power shift pressure) determinada por el controlador electrónico y la presión de control de flujo negativo (NFC negative Flow control) fluye desde la válvula principal a la bomba de mínima y a la bomba de mando.

Las bombas principales son de tipo pistón axial curvado lo cual describe el movimiento angular del conjunto bomba – pistón. La salida de las bombas cambia de dependiendo del ángulo de los cilindros. El aceite de entrada es separado y sellado del aceite de salida por un sello metálico.

Figura 24. Compartimiento de Bombas.



(26) Bomba de mando

(32) Bomba Minima

(37) Válvula de reducción proporcional (power shift pressure)

(44) Línea de suministro de bomba mínima (idler pump)

(45) Línea suministro bomba accionamiento (drive pump)

Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.3.4.1 Válvula de alivio principal. Está ubicada en el lado izquierdo de la válvula de control principal, ésta limita la presión máxima de operación del circuito hidráulico de desplazamiento y del circuito hidráulico de implementos cuando la máquina está en una condición de carga.

Las válvulas cheque aseguran que sólo la presión de aceite más alta de la bomba de mínima o de la bomba de impulsión fluya a la válvula de alivio principal.

5.3.4.2 Sistema de control de flujo negativo. La bomba loca y la bomba de transmisión reciben la señal de presión de aceite desde los pasos de derivación centrales de la válvula de control principal. Esta señal de presión de aceite que se crea se denomina presión de control de flujo negativo. La presión de control de flujo negativo fluye hacia los reguladores en la bomba loca y la bomba de mando para controlar el flujo de salida de las bombas. La presión negativa de control de flujo se crea durante las siguientes condiciones de operación de la máquina.

- Todos los joysticks y palancas de desplazamiento / pedales están en la posición neutral.
- Cualquiera de los joysticks y / o palancas de desplazamiento / pedales se mueven parcialmente desde la posición NEUTRAL para realizar una operación de control fino.

- Cuando se realiza una operación de descenso del boom sin ninguna operación sobre otro implemento.

La operación de control de flujo negativo de la bomba loca y la bomba de accionamiento es idéntica.

5.3.5 Análisis de falla y efectos del sistema hidráulico principal.

Tabla 15. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del sistema hidráulico principal.

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F1	Ejecutar las acciones en los implementos ordenados por el operador a través de los mandos en cabina	FF1	Las acciones del operador en cabina no son ejecutados por la máquina	MF1	Bombas principales no generan flujo por falta de aceite hidráulico	Equipo inoperativo, El operador detecta la falla y detiene el equipo para revisión
F1	Ejecutar las acciones en los implementos ordenados por el operador a través de los mandos en cabina	FF1	Las acciones del operador en cabina no son ejecutados por la máquina	MF2	Bombas principales no generan flujo adecuado por degradación del aceite hidráulico	
F1	Ejecutar las acciones en los implementos ordenados por el operador a través de los mandos en cabina	FF1	Las acciones del operador en cabina no son ejecutados por la máquina	MF3	Válvulas de control principales averiadas por contaminación o desgaste interno	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F1	Ejecutar las acciones en los implementos ordenados por el operador a través de los mandos en cabina	FF1	Las acciones del operador en cabina no son ejecutados por la máquina	MF4	Línea hidráulica del flujo de las bombas principales obstruida por contaminación o obstrucción interna de válvulas	
F1	Ejecutar las acciones en los implementos ordenados por el operador a través de los mandos en cabina	FF1	Las acciones del operador en cabina no son ejecutados por la máquina	MF5	Líneas hidráulicas con fuga por deterioro o roce con otros componentes	
F1	Ejecutar las acciones en los implementos ordenados por el operador a través de los mandos en cabina	FF2	Las acciones del operador en cabina generan una operación distinta en los implementos	MF1	Flujo inadecuado por conexiones invertidas de líneas hidráulicas	
F2	Permitir el flujo de aceite desde las válvulas de control principales a los cilindros o motores de los implementos	FF1	No hay flujo de aceite hacia los implementos y motores de giro y desplazamiento	MF1	Líneas hidráulicas principales obstruidas por contaminación	Equipo inoperativo, El operador detecta la falla y detiene el equipo para revisión
F2	Permitir el flujo de aceite desde las válvulas de control principales a los cilindros o motores de los implementos	FF1	No hay flujo de aceite hacia los implementos y motores de giro y desplazamiento	MF2	Líneas hidráulicas principales abiertas	
F2	Permitir el flujo de aceite desde las válvulas de control principales a los cilindros o motores	FF1	No hay flujo de aceite hacia los implementos y motores de giro y desplazamiento	MF3	Fuga de aceite en la válvula de control principal	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	de los implementos					
F2	Permitir el flujo de aceite desde las válvulas de control principales a los cilindros o motores de los implementos	FF1	No hay flujo de aceite hacia los implementos y motores de giro y desplazamiento	MF4	Válvulas de control principal de implementos averiadas por desgaste o deformación interna	
F2	Permitir el flujo de aceite desde las válvulas de control principales a los cilindros o motores de los implementos	FF1	No hay flujo de aceite hacia los implementos y motores de giro y desplazamiento	MF5	Líneas hidráulicas principales con fuga por mal ajuste en montaje	
F3	Generar flujo de aceite hasta 231 L/min (61 gpm)	FF1	- No hay flujo de aceite de las bombas principales	MF1	Eje de la bombas principales desacoplado del eje motriz por rotura del engranaje	- Ruido alerta al operador y detiene el equipo para revisión
F3	Generar flujo de aceite hasta 231 L/min (61 gpm)	FF1	- No hay flujo de aceite de las bombas principales	MF2	Falla interna en las bombas principales por desgaste	- Sensores de presión alertan al operador quien reporta la falla para revisión
F3	Generar flujo de aceite hasta 231 L/min (61 gpm)	FF2	- Flujo de aceite de las bombas principales deficiente	MF1	Bombas principales sin aceite por fuga o bajo nivel en el tanque hidráulico	- Los implementos accionan lentamente y sin capacidad de carga. Operación deficiente
F4	Aumentar la entrega de presión a medida que aumentan las condiciones de	FF1	- El sistema no detecta la variación de carga hidráulica	MF1	Sensores de presión de las bombas principales dañados por	detención para revisión

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	carga				uso	
F4	Aumentar la entrega de presión a medida que aumentan las condiciones de carga	FF2	- La velocidad del motor (Entrega de Potencia hidráulica) no varía con las condiciones de carga del equipo	MF1	Controlador de la bomba y del motor no envía las señales por sobrevoltaje	
F5	Enviar el aceite a través de la válvula de control principal hacia el tanque hidráulico cuando no hay operación	FF1	- EL aceite no retorna al tanque hidráulico cuando no hay operación de implementos	MF1	Líneas hidráulicas de retorno obstruidas	- Alerta en cabina, código de falla - El operador identifica en pre operacional y reporta para corrección
F5	Enviar el aceite a través de la válvula de control principal hacia el tanque hidráulico cuando no hay operación	FF1	- EL aceite no retorna al tanque hidráulico cuando no hay operación de implementos	MF2	Líneas hidráulicas de retorno abiertas	
F5	Enviar el aceite a través de la válvula de control principal hacia el tanque hidráulico cuando no hay operación	FF2	- Sobre presión del sistema por flujo obstruido	MF1	Ductos de válvula principal obstruidos por contaminación	
F6	Ingresar aceite desde el tanque hidráulico al cuerpo de bombas principales	FF1	- Cuerpo de bombas principales sin aceite hidráulico	MF1	Tanque con bajo nivel o con fuga de aceite	- Operador identifica en pre operacional y reporta para corrección. Equipo inoperativo
F6	Ingresar aceite desde el tanque hidráulico al cuerpo de bombas principales	FF1	- Cuerpo de bombas principales sin aceite hidráulico	MF2	Línea hidráulica principal tanque - Cuerpo de bombas con fuga	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F7	Suministrar aceite a presión al cuerpo derecho de la válvula de control principal	FF1	- Bomba de mínima no suministra aceite a presión a la válvula de control principal derecha	MF1	Bomba de mínima no genera presión por falla interna	- Ruido extraño en banco de bombas - Equipo inoperativo. operador detiene para corrección
F7	Suministrar aceite a presión al cuerpo derecho de la válvula de control principal	FF1	- Bomba de mínima no suministra aceite a presión a la válvula de control principal derecha	MF2	Bomba de mínima no genera presión por desacople con eje motriz	
F7	Suministrar aceite a presión al cuerpo derecho de la válvula de control principal	FF1	- Bomba de mínima no suministra aceite a presión a la válvula de control principal derecha	MF3	El flujo desde la bomba de mínima a la válvula principal es obstruido o cortado por deterioro de la línea hidráulica	
F8	Suministrar aceite a presión al cuerpo izquierdo de la válvula de control principal	FF1	- Bomba de mando no suministra aceite a presión a la válvula de control principal izquierda	MF1	Bomba de mando no genera presión por falla interna	
F8	Suministrar aceite a presión al cuerpo izquierdo de la válvula de control principal	FF1	- Bomba de mando no suministra aceite a presión a la válvula de control principal izquierda	MF2	Bomba de mando no genera presión por desacople con eje motriz	
F8	Suministrar aceite a presión al cuerpo izquierdo de la válvula de control principal	FF1	- Bomba de mando no suministra aceite a presión a la válvula de control principal izquierda	MF3	No alcanza el flujo y la presión requerida por degradación de propiedades del aceite	
F9	Controlar el flujo de salida de las bombas principales cuando no hay operación de	FF1	Flujo de salida de las bombas principales excesivo cuando no hay operación de	MF1	Válvulas de control de flujo negativo averiadas por uso o por	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	implementos		implementos		desgaste interno	
F10	Regular la presión de operación del circuito hidráulico de desplazamiento y del circuito hidráulico de implementos	FF1	No regula la presión de operación del circuito hidráulico de desplazamiento y de implementos	MF2	Válvula de alivio principal averiada por deformación plástica del resorte interno	

5.4 SISTEMA HIDRÁULICO DE IMPLEMENTOS

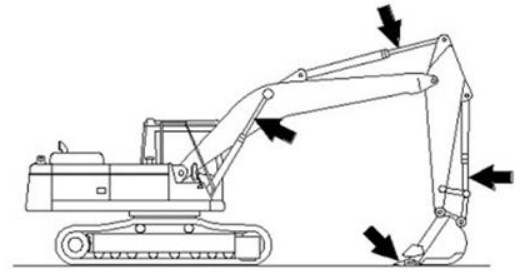
Tabla 16. Descripción del sistema hidráulico de implementos.

GENERALIDADES	COMPONENTES
<p>El sistema hidráulico de implementos es el encargado de llevar el flujo de aceite hasta cada componente para lograr que la máquina ejecute la tarea y el movimiento ordenado por el operador. Es el sistema que directamente ejecuta el accionamiento de los diferentes cilindros y motores que generan la operación. Los implementos de la excavadora CAT 330C son el brazo principal o boom, el brazo medio o stick y el balde. Éstos en conjunto con el sistema de desplazamiento y de giro del equipo comprenden los movimientos que puede ejecutar el operador desde la</p>	<pre> graph TD A[S. HIDRÁULICO DE IMPLEMENTOS] --> B[S. HIDRÁULICO BOOM] A --> C[S. HIDRÁULICO STICK] A --> D[S. HIDRÁULICO DE BALDE] A --> E[CILINDROS] </pre>

cabina para cumplir la función en los diferentes frentes de obra.²³

ESPECIFICACIONES

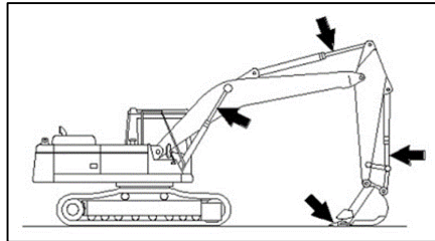
Cylinder Operating Speed (seconds)			
Item		New	Rebuild
Boom	Extensión	3.4 ± 0.5	4.0 ⁽¹⁾
	Retracción	2.6 ± 0.5	3.3 ⁽¹⁾
Stick	Extensión	3.4 ± 0.5	4.0 ⁽¹⁾
	Retracción	2.8 ± 0.5	3.5 ⁽¹⁾
Bucket	Extensión	4.4 ± 0.5	5.0 ⁽¹⁾
	Retracción	2.5 ± 0.5	3.2 ⁽¹⁾



5.4.1 Definición de frontera sistema hidráulico de implementos. Comprende los diferentes cilindros de los implementos (2 cilindros del boom, 1 cilindro del stick y un cilindro del balde) y las válvulas de reducción de derivación del boom y del stick al igual que las mangueras y tubos de las líneas de flujo.

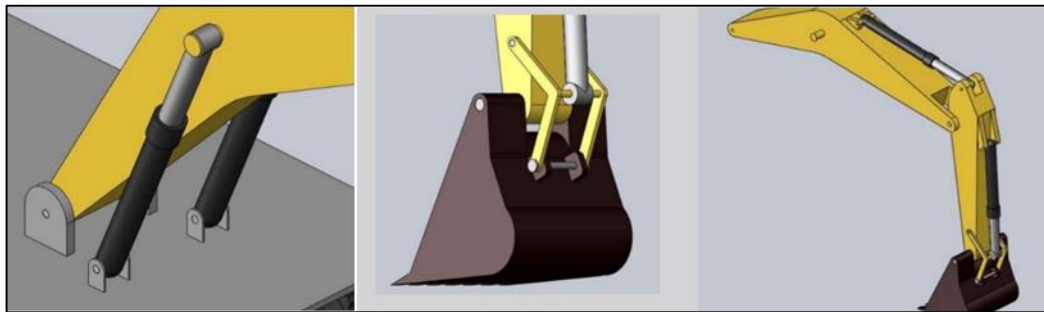
²³ CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

Figura 25. Sistema hidráulico de implementos.



Fuente: CARDONA, Jaime. Los tipos de sistemas hidráulicos. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://cursossequipopesadojaimecardona.blogspot.com.co>

Figura 26. Elementos del sistema hidráulico de implementos.



Fuente: PÉREZ, Mario Y GUTIÉRREZ, Albert. Excavadora Caterpillar 330CL. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: https://es.slideshare.net/its_bertis15/excavadora-caterpillar-330-cl-idm?qid=c7e9cc5b-9224-4c3d-b029-3cf49d2bee92&v=&b=&from_search=1

5.4.2 Especificaciones del sistema hidráulico de implementos.

Tabla 17. Dimensiones de implementos.

Cylinder Operating Speed (seconds)			
Item		New	Rebuild
Boom	Extension	3.4 ± 0.5	4.0 ⁽¹⁾
	Retraction	2.6 ± 0.5	3.3 ⁽¹⁾
Stick	Extension	3.4 ± 0.5	4.0 ⁽¹⁾
	Retraction	2.8 ± 0.5	3.5 ⁽¹⁾
Bucket	Extension	4.4 ± 0.5	5.0 ⁽¹⁾
	Retraction	2.5 ± 0.5	3.2 ⁽¹⁾

Corrimiento del cilindro (cucharón vacío)			
Artículo	Nueva	Reconstruir	Límite de servicio
Cilindro de la pluma	6,0 mm (0,24 pulg) o menos	12,0 mm (0,47 pulg) o menos	24,0 mm (0,94 pulg) o menos
Cilindro del brazo	10,0 mm (0,39 pulg) o menos	15,0 mm (0,59 pulg) o menos	25,0 mm (0,98 pulg) o menos
Cilindro del cucharón	10,0 mm (0,39 pulg) o menos	15,0 mm (0,59 pulg) o menos	25,0 mm (0,98 pulg) o menos

Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.4.3 Componentes sistema hidráulico de implementos.

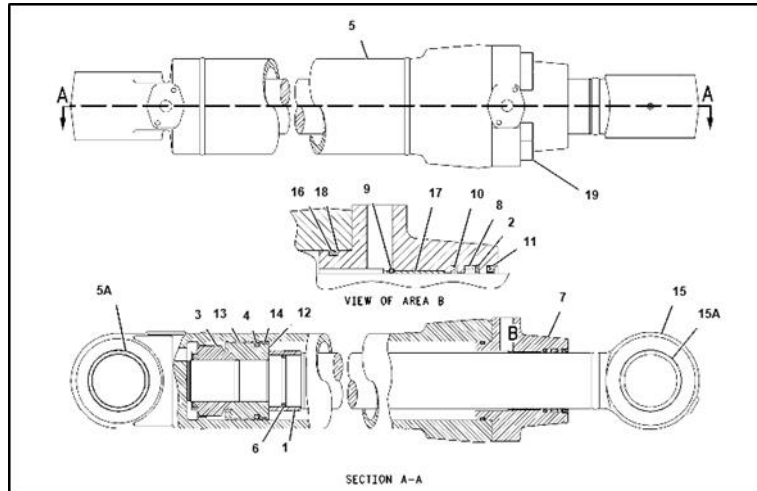
5.4.3.1 Cilindros del Boom. La operación de elevación del boom en alta velocidad es ejecutada cuando el aceite entregado desde la bomba de mando y la bomba de mínima se suministra al extremo de la cabeza de los cilindros del boom. Las válvulas de control I y II del boom operan durante el accionamiento a alta velocidad.

La operación de elevación del boom a baja velocidad es ejecutada cuando el aceite es entregado solamente desde la bomba de mínima al extremo de la cabeza de los cilindros. Durante una operación a baja velocidad solamente opera la válvula de control I del boom. Las válvulas de control I y II del boom se encuentran en la válvula de control principal.

Cuando el joystick para el boom es movido a la posición máxima de elevación, el aceite piloto fluye desde de la válvula de control piloto dividiéndose en dos partes, una parte fluye a la válvula de control I del boom y la restante a la válvula de control II del boom. Una porción del aceite que fluye a la válvula de control II del boom también fluye a la válvula de reducción de presión para prioridad del boom. Durante una operación combinada de elevación del boom y de contracción del stick, el aceite piloto fluye a la válvula de reducción de presión para prioridad del boom causando que el circuito del boom reciba flujo de aceite prioritario. Esto permite que el boom se eleve a alta velocidad.

En la operación de descenso del boom solamente opera la válvula de control I del Boom. En la operación el flujo de aceite desde la válvula piloto del boom se divide en tres líneas, una parte a la válvula de control I del boom, otra parte a la válvula de regeneración del boom y la tercera a la válvula reductora de derivación.

Figura 27. Partes de cilindro Boom.



Fuente: CATERPILLAR INC. Identificación de piezas. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

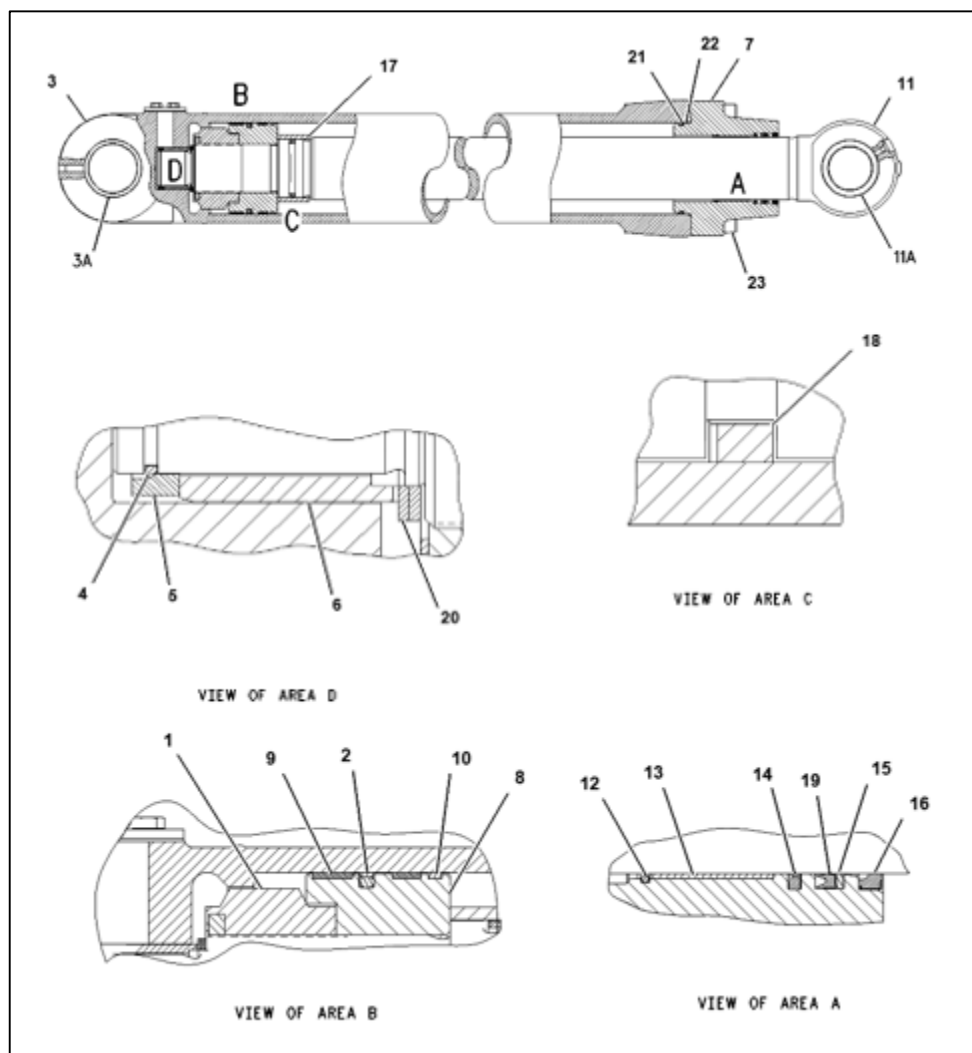
5.4.3.2 Válvula de regeneración del Boom. El circuito hidráulico del Boom contiene un circuito de regeneración. Este circuito de regeneración permite que el aceite de retorno desde el extremo de la cabeza de los cilindros de la pluma se suministre al extremo del vástago de los cilindros del boom durante la operación de bajada del Boom.

La válvula de reducción de la derivación de la pluma está ubicada en el circuito del boom entre la válvula de control principal y los cilindros de la pluma. Cuando el joystick de la pluma está en la posición neutral, la válvula de reducción de derivación detiene la fuga de aceite desde el extremo de la cabeza de los cilindros de la pluma. Detener la fuga de aceite evita la derivación del boom.

Cuando se mueve el joystick para realizar la operación de descenso del boom, el aceite piloto no se envía desde la válvula de control piloto al puerto de la válvula de reducción de derivación n del boom.

5.4.3.3 Cilindro del Stick. Cuando se realiza una operación independiente en el sistema hidráulico del stick (Sin operar ningún otro circuito hidráulico), las válvulas de control I y II del stick son accionadas para los movimientos de extensión o contracción del stick. El aceite entregado por la bomba mínima y de mando se combinan y fluyen al cilindro del stick a través de diferentes líneas y válvulas.

Figura 28. Partes de cilindro STICK.



Fuente: CATERPILLAR INC. Identificación de piezas. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.4.3.4 Válvula de regeneración del stick. El circuito hidráulico del stick contiene un circuito de regeneración. Este circuito de regeneración permite que el aceite de retorno proveniente del extremo del vástago del cilindro se suministre al extremo del cabezal del cilindro durante la operación de contracción del Stick.

Cuando el joystick de la palanca se mueve a la posición de contracción del stick, el flujo de aceite piloto de la válvula de control piloto (stick y swing) fluye a través de la línea piloto hacia la válvula de regeneración de barra generando que se desplace hacia abajo. El aceite de retorno del extremo del vástago del cilindro fluye a través de las ranuras de estrangulamiento en la válvula de regeneración para verificar la válvula de retención. La válvula de retención se abre y el aceite de retorno fluye hacia el tanque hidráulico.

El aceite de retorno del extremo del vástago del cilindro de la barra se combina con el suministro de aceite desde la bomba de mínima y la bomba de accionamiento. Este flujo de aceite combinado ahora fluye hacia el extremo de la cabeza del cilindro de la barra.

5.4.3.5 Válvula de descarga del stick. La válvula de descarga del vástago funciona junto con la válvula de regeneración del vástago para aliviar la alta presión en el extremo del cabezal del cilindro del vástago durante la operación de contracción del stick.

Cuando el joystick de la palanca se mueve a la posición de contracción del stick, el flujo de aceite piloto de la válvula de control piloto (stick y swing) fluye a través de la línea piloto a la válvula de regeneración del vástago. El aceite de retorno del extremo del vástago del cilindro fluye a través de las ranuras de estrangulamiento en la válvula de regeneración del stick para verificar la válvula de retención.

La válvula de retención se abre permitiendo el flujo del aceite de retorno. El aceite de retorno del extremo del vástago del cilindro de la barra se combina con el suministro de aceite desde la bomba de mínima y la bomba de accionamiento. Este flujo de aceite combinado fluye hacia el extremo de la cabeza del cilindro de la barra.

Debido al volumen de aceite que se fuerza en el extremo del cabezal del cilindro de la varilla durante el ciclo de regeneración en la operación de contracción del stick, la presión del aceite en el cabezal del cilindro del vástago aumenta. El aceite a alta presión actúa en el extremo de la válvula de descarga del stick. Cuando la fuerza del aceite a alta presión llega a ser mayor que la fuerza del resorte interno de la válvula, la válvula de descarga de la palanca se desplaza hacia abajo.

5.4.3.6 Válvula de reducción de derivación de stick. La válvula de reducción de la deriva del palo se coloca en el circuito del palillo entre la válvula de control principal y el cilindro del palillo. Cuando el joystick para la palanca está en la posición NEUTRAL.

La válvula de reducción de la derivación del stick detiene la fuga de aceite desde el extremo de la varilla del cilindro de la barra. Detener la fuga de aceite evita la derivación del vástago.

5.4.3.7 Cilindro de balde. El circuito hidráulico del balde es suministrado únicamente por la Bomba de mínima.

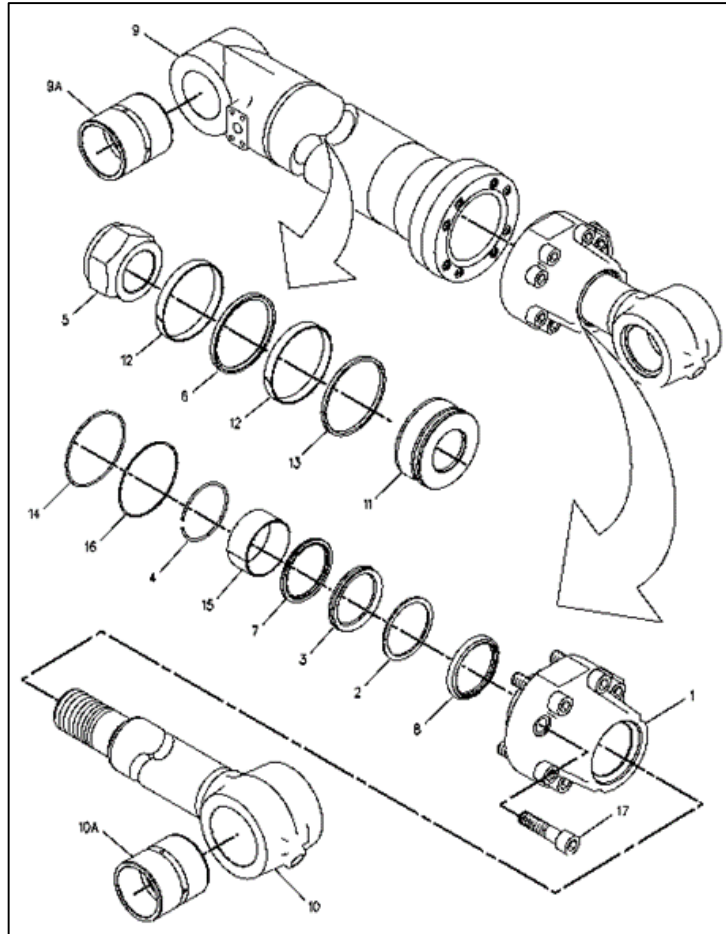
El suministro de aceite desde la bomba loca fluye por la válvula de control principal a través del paso de derivación central hacia la válvula de control del balde. El

suministro de aceite desde la bomba de accionamiento fluye a través del paso de derivación central en la válvula de control principal.

Cuando la palanca de control de activación hidráulica está en la posición desbloqueada, la entrega de aceite desde la bomba piloto fluye a través del colector de aceite piloto a la válvula de control piloto del boom y del balde. Cuando el joystick del balde se mueve para la operación de cierre del balde, el aceite piloto fluye a través de la válvula de control piloto del boom y del balde a la válvula de control del cucharón del balde. La presión del aceite piloto acciona la válvula de control del balde. Una parte del aceite piloto en la válvula de control del balde fluye a través de la válvula de control piloto del boom y del balde hacia el tanque hidráulico.

Como el carrete en la válvula de control del cucharón está completamente desplazado, el paso de derivación central está bloqueado. Ninguna parte del suministro de aceite de la bomba de mínima fluye al orificio de control de flujo negativo y no se crea presión negativa de control de flujo en el paso de derivación central. Como no se envía presión negativa de control de flujo a través de la línea de control de flujo negativo al regulador de la bomba de mínima, el regulador de la bomba de mínima mueve la placa oscilante de la bomba hacia la posición máxima de ángulo.

Figura 29. Partes del cilindro baldes.



Fuente: CATERPILLAR INC. Identificación de piezas. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

La tasa de flujo de salida de la bomba de mínima aumenta y fluye a través del conducto del alimentador, la válvula de retención de carga y la válvula de control del balde al extremo del cilindro del balde.

Dado que la entrega de aceite para el circuito hidráulico del balde es suministrada solo por la bomba de mínima, la presión de control negativo en el pasaje de

derivación central es alta. La bomba de accionamiento permanece en la posición desescalada.

El aceite de retorno del extremo del cilindro del balde fluye a través de la válvula de control del balde, el conducto de retorno al tanque hidráulico. El orificio de la válvula de control del balde restringe el aceite de retorno desde el extremo de la varilla del cilindro del balde.

La operación de apertura del balde es similar a la operación de cierre del balde. Cuando el joystick para el balde se mueve a la posición para la operación de abrir balde, el flujo de aceite piloto desde la válvula de control piloto del balde fluye hasta la válvula de control del balde. El carrete en la válvula de control del balde se desplaza contra la fuerza del resorte interno. La entrega de aceite desde la bomba de mínima fluye al extremo del vástago del cilindro del balde.

Cuando el joystick del cucharón está en la posición neutral, los resortes internos de la válvula mantienen el carrete en la válvula de control del balde en la posición neutral. El flujo de aceite desde el extremo de la cabeza y el extremo del vástago del cilindro del cucharón está bloqueado.

5.4.4 Análisis de falla y efectos Sistema Hidráulico de Implementos.

Tabla 18. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del Sistema hidráulico de implementos.

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F1	Subir el Boom continuamente y controladamente según la solicitud del operador	FF1	El boom no sube	MF1	Sistema sin aceite hidráulico por fuga en el tanque o en las líneas hidráulicas	Maquina inoperativa.
F1	Subir el Boom continuamente y controladamente según la solicitud del operador	FF1	El boom no sube	MF2	Linea hidráulica entre válvula de control de boom al cilindro obstruidas o desconectadas	
F1	Subir el Boom continuamente y controladamente según la solicitud del operador	FF1	El boom no sube	MF3	Válvula de control del boom con daño interno por sobre presión	
F1	Subir el Boom continuamente y controladamente según la solicitud del operador	FF2	El boom sube fraccionadamente cuando el mando solicita subir continuamente	MF1	Sello del pistón del cilindro de boom deteriorado por vida de uso	Maquina opera con baja eficiencia
F1	Subir el Boom	FF2	El boom sube fraccionadamente	MF2	Sell del pistón del cilindro del	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	continuar y controladamente según la solicitud del operador		cuando el mando solicita subir continuamente		boom deteriorado por temperaturas elevadas	
F1	Subir el Boom continuamente y controladamente según la solicitud del operador	FF3	El boom sube arbitrariamente y no proporcional al movimiento de la palanca de mando	MF1	Válvula piloto de boom descalibrada por tiempo de uso	
F2	Bajar el Boom de manera continua y controlada	FF1	El boom no baja	MF1	Válvula de reducción del boom no permite el paso de aceite por contaminación interna	Maquina inoperativa
F2	Bajar el Boom de manera continua y controlada	FF2	El boom baja fraccionadamente ante una solicitud de movimiento continuo	MF1	Fuga Interna del cilindro del boom por sello del pistón deteriorado	Maquina opera con baja eficiencia
F2	Bajar el Boom de manera continua y controlada	FF3	El boom baja abruptamente	MF1	Mangueras de retorno rotas por sobre presión	
F2	Bajar el Boom de manera continua y controlada	FF3	El boom baja abruptamente	MF2	Mangueras de retorno del boom rotas por deterioro	Maquina inoperativa
F2	Bajar el Boom de manera continua y controlada	FF3	El boom baja abruptamente	MF3	Válvulas cheque averiadas por uso	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F3	Elevar Boom en un tiempo menor a 4 segundos bajo condiciones de prueba CAT	FF1	El boom se tarda más de 4 segundos en subir en condiciones de prueba CAT	MF1	Baja presión por válvula de alivio principal descalibrada	Maquina opera con baja eficiencia
F4	Bajar Boom en un tiempo menor a 3,3 segundos bajo condiciones de prueba CAT	FF1	El boom se tarda más de 3,3 segundos en bajar en condiciones de prueba CAT	MF1	Válvula de reducción del boom con falla en carretes o resorte interno	
F5	Detener y Soportar el boom en cualquier posición	FF1	El boom no se sostiene en cualquier posición	MF1	Válvula principal de elevación con daño interno	Maquina inoperativa
F6	Permitir máximo 24 mm de corrimiento del cilindro del boom bajo condiciones de prueba CAT	FF1	Bajo condiciones de prueba CAT, el cilindro tiene un corrimiento mayor a 24 mm	MF1	Válvula de reducción del boom obstruida	Maquina opera con baja eficiencia
F6	Permitir máximo 24 mm de corrimiento del cilindro del boom bajo condiciones de prueba	FF1	Bajo condiciones de prueba CAT, el cilindro tiene un corrimiento mayor a 24 mm	MF2	Cilindros de levante de boom con fugas internas	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	CAT					
F6	Permitir máximo 24 mm de corrimiento del cilindro del boom bajo condiciones de prueba CAT	FF1	Bajo condiciones de prueba CAT, el cilindro tiene un corrimiento mayor a 24 mm	MF3	Válvula de alivio principal descalibrada	
F7	Extender el stick continuamente y de manera controlada según el mando del operador	FF1	El stick no extiende	MF1	Válvula de control de stick con daño en resorte interno	Maquina inoperativa
F7	Extender el stick continuamente y de manera controlada según el mando del operador	FF2	El stick extiende fraccionadamente cuando el mando solicita extensión continua	MF1	Sellos y empaques de cilindro del stick con fuga	Maquina opera con baja eficiencia
F7	Extender el stick continuamente y de manera controlada según el mando del operador	FF3	El stick extiende arbitrariamente o no proporcional al movimiento de la palanca de mando	MF1	Válvula de reducción de derivación del stick averiada	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F7	Extender el stick continuamente y de manera controlada según el mando del operador	FF3	El stick extiende arbitrariamente o no proporcional al movimiento de la palanca de mando	MF2	Cilindro stick con fuga interna	
F8	Extender el stick en un tiempo menor a 4 segundos bajo condiciones de prueba CAT	FF1	El stick extiende en un tiempo mayor a 4 seg bajo condiciones de pruebas CAT	MF1	Válvula principal de stick con daño interno en el carrete y/o resorte interno	
F9	Contraer el stick de manera controlada	FF1	El stick contrae de manera abrupta	MF1	Baja presión por degradación del aceite	
F10	Contraer el stick en un tiempo menor a 3,5 segundos bajo condiciones de prueba CAT	FF1	El stick contrae en un tiempo mayor a 3,5 seg bajo condiciones de pruebas CAT	MF1	Cilindro stick presenta fugas externas	
F10	Contraer el stick en un tiempo menor a 3,5 segundos bajo condiciones de prueba CAT	FF1	El stick contrae en un tiempo mayor a 3,5 seg bajo condiciones de pruebas CAT	MF2	Cilindro stick presenta fugas internas	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F11	No generar ruido en la operación	FF1	Operación de implementos genera ruido excesivo	MF1	Válvulas principales de implementos con daños internos	El operador detecta el ruido y detiene el equipo para revisión y evitar falla mayor
F11	No generar ruido en la operación	FF1	Operación de implementos genera ruido excesivo	MF2	Baja lubricación de cilindros por bajo nivel de aceite hidráulico	
F11	No generar ruido en la operación	FF1	Operación de implementos genera ruido excesivo	MF3	Cilindros con Fuga de aceite externa	
F12	Abrir y cerrar el balde	FF1	El balde no abre y no cierra	MF1	Válvula de control del balde no cambia de posición por daño interno	Maquina inoperativa
F13	Abrir el balde en un tiempo menor a 5 segundos bajo condiciones de prueba CAT	FF1	El balde abre en un tiempo mayor a 5 seg bajo condiciones de prueba CAT	MF1	Válvula de control del balde no mantiene su posición por daño en resorte o carrete interno	Maquina opera con baja eficiencia
F14	Cerrar el balde en un tiempo menor a 3,2 segundos bajo condiciones de prueba CAT	FF1	El balde cierra en un tiempo mayor a 3,2 seg bajo condiciones de prueba CAT	MF1	Válvula de control del balde no mantiene su posición por daño en resorte o carrete interno	

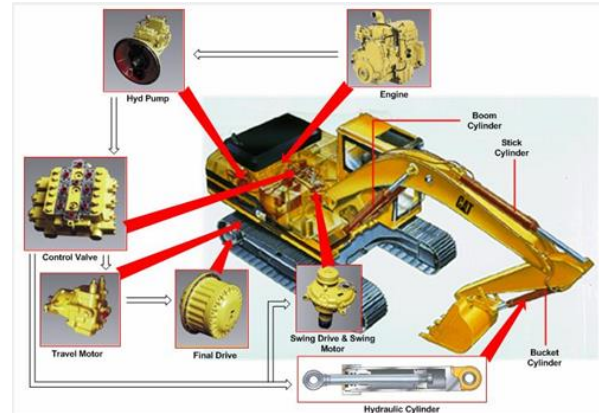
5.5 SISTEMA HIDRÁULICO DE DESPLAZAMIENTO Y GIRO

Tabla 19. Descripción del sistema hidráulico de desplazamiento y giro.

GENERALIDADES	COMPONENTES
<p>Los sistemas hidráulicos para giro y desplazamiento permiten al equipo movimientos atrás, el flujo de aceite atreves de la bomba permiten la rotación de los motores de desplazamiento los cuales transmiten el torque generado a los mandos finales</p> <p>Existe en cabina la opción de seleccionar de velocidad alta (Conejo) o de velocidad baja (tortuga) de desplazamiento. Durante el desplazamiento sobre una superficie plana o durante un descenso gradual de una pendiente, la velocidad de desplazamiento se establece en la posición de alta velocidad para lograr una mayor movilidad.</p> <p>la función principal del sistema de giro es girar la super estructura superior del equipo hacia la derecha y hacia la izquierda 360° .</p>	<pre> graph TD subgraph Desplazamiento S1[S. HIDRÁULICO DE DESPLAZAMIENTO] V1[VÁLVULA PILOTO DESPLAZAMIENTO] M1[MOTOR DESPLAZAMIENTO] F1[FRENO PARQUEO DESPLAZAMIENTO] V2[VÁLVULA CAMBIO DESPLAZAMIENTO] V3[VÁLVULA CONTRAPESO DESPLAZAMIENTO] M2[MANDO FINAL] D1[DISTRIBUIDOR DE ACEITE HIDRÁULICO - SWIVEL] end subgraph Giro S2[S. HIDRÁULICO DE GIRO] M3[MOTOR DE GIRO] V4[VÁLVULA PILOTO] V5[VÁLVULA ALIVIO GIRO] S3[SWING DRIVE] end </pre>

ESPECIFICACIONES

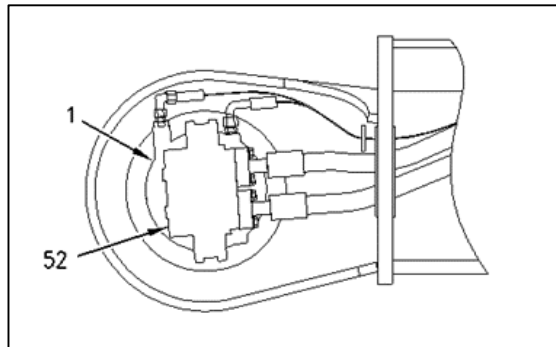
Cycle Times (seconds)	
Function	New ⁽¹⁾
Forward travel HIGH (Left) (3 revolutions)	22.5 ⁽³⁾
Reverse travel HIGH (Left) (3 revolutions)	
Forward travel LOW (Left) (3 revolutions)	34.5 ⁽³⁾
Reverse travel LOW (Left) (3 revolutions)	
Forward travel HIGH (Right) (3 revolutions)	22.5 ⁽³⁾
Reverse travel HIGH (Right) (3 revolutions)	
Forward travel LOW (Right) (3 revolutions)	34.5 ⁽³⁾
Reverse travel LOW (Right) (3 revolutions)	



5.5.1 Sistema hidráulico de desplazamiento. El flujo de aceite desde la bomba idler pasa a través de la articulación giratoria (swivel) al motor de desplazamiento derecho y el flujo desde la bomba de accionamiento drive llega al motor de desplazamiento izquierdo después de pasar a través del swivel. El flujo causa la rotación de los motores de desplazamiento los cuales transmiten el torque generado a los mandos finales, allí la velocidad rotacional de los motores es reducida por el engranaje de reducción incrementando el torque y la fuerza rotacional de la cadena a través del sproket.

Existe en cabina la opción de seleccionar de velocidad alta (Conejo) o de velocidad baja (tortuga) de desplazamiento. Durante el desplazamiento sobre una superficie plana o durante un descenso gradual de una pendiente, la velocidad de desplazamiento se establece en la posición de alta velocidad para lograr una mayor movilidad.

Figura 30. Motor de desplazamiento.

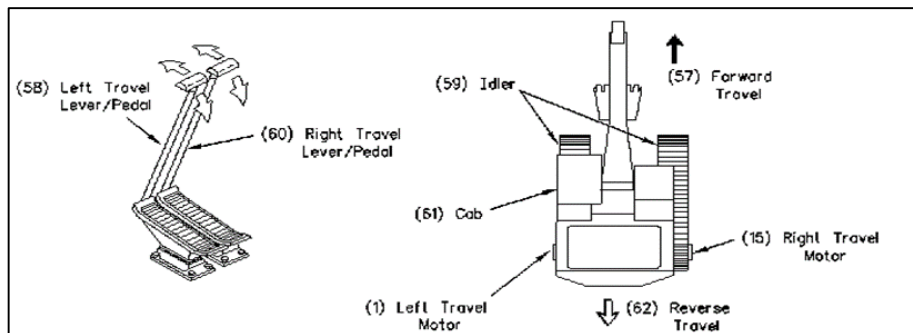


(1) Motor de desplazamiento izquierdo

(52) Válvula de freno de desplazamiento

Fuente: CATERPILLAR INC. Identificación de piezas. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

Figura 31. Accionamiento de palancas de mando de desplazamiento- ubicación normal del equipo.

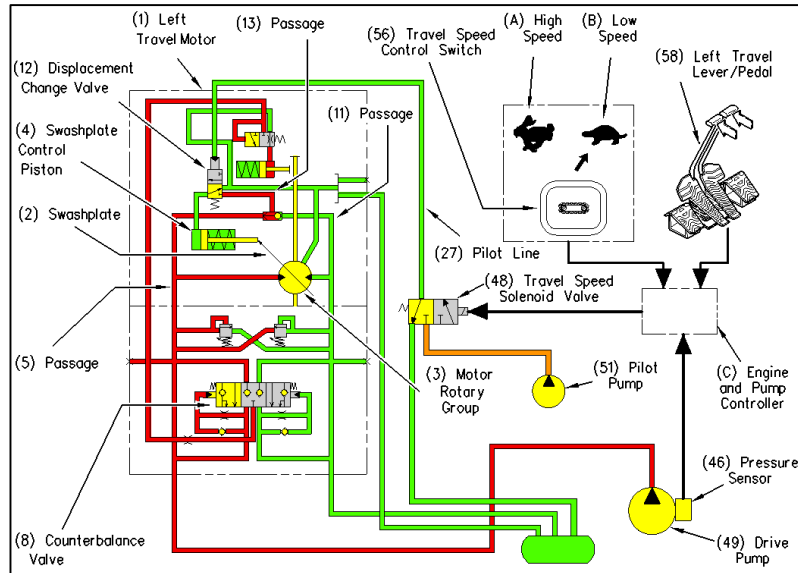


Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

El movimiento hacia adelante o en reversa es relativo a la posición de la estructura inferior, se define como posición normal cuando las ruedas guías se encuentran al frente de la cabina del operador y los mandos finales en la parte trasera de la cabina, en esta posición la operación de desplazamiento hacia adelante se logra accionando las palancas o pedales hacia adelante y la reversa accionándolas hacía el operador. Cuando se gira la cabina 180°, el movimiento se invierte.

Para el movimiento de alta o de baja velocidad, el sensor de presión de las bombas principales y el sensor de accionamiento de los pedales envían una señal al controlador de la bomba y del motor.

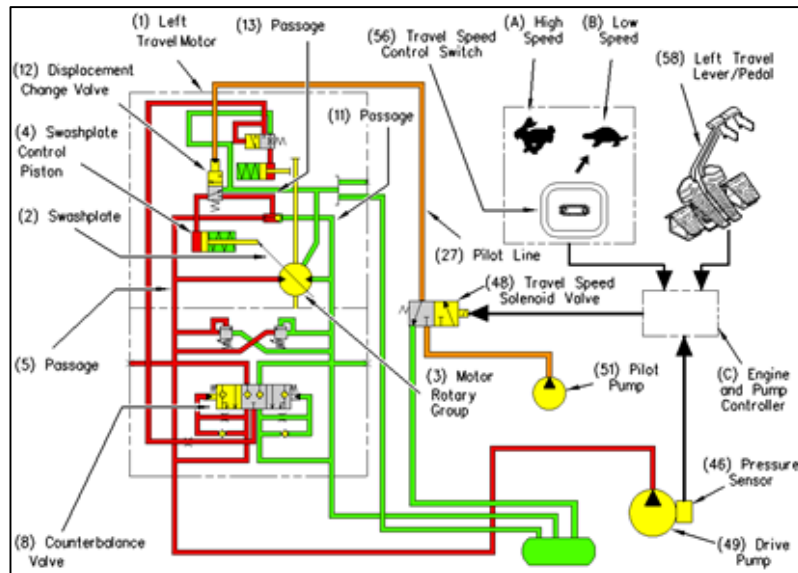
Figura 32. Flujo hidráulico en velocidad de desplazamiento bajo.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

Cuando la velocidad de desplazamiento se selecciona en rango bajo, el controlador no energiza la válvula solenoide de velocidad de desplazamiento, generando que la placa oscilante al interior del motor de giro se encuentre en su máxima posición de desplazamiento. Lo anterior implica que una rotación del grupo rotativo del motor desplaza una mayor cantidad de flujo de aceite por lo cual la velocidad de rotación del motor disminuye.

Figura 33. Flujo hidráulico en velocidad de desplazamiento alta.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

En la selección de velocidad de desplazamiento en rango alto, la válvula solenoide de velocidad de desplazamiento es energizada por el controlador de la bomba y del motor, esto direcciona el flujo de aceite desde las bombas principales al pistón de control de la placa oscilante generando que ésta encuentre su mínima posición de desplazamiento. Bajo esta condición, una rotación del grupo rotativo del motor desplaza una menor cantidad de flujo de aceite; la velocidad rotacional del motor aumenta y así mismo la velocidad de desplazamiento del equipo.

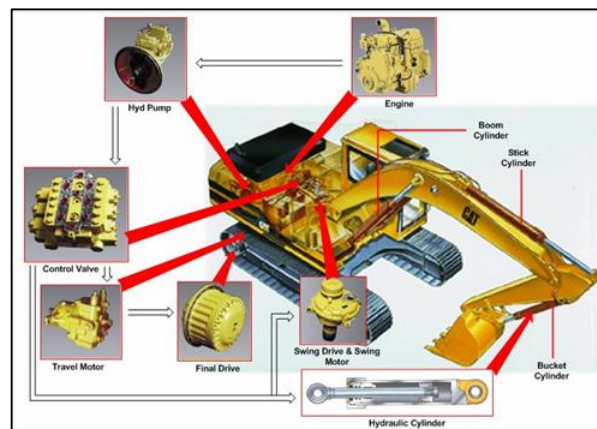
Sin embargo, aun cuando ésta seleccionado la velocidad alta de desplazamiento, sí los sensores de las bombas principales detectan una carga elevada producida por un aumento en la carga de las bombas, envían una señal al controlador de la bomba y del motor el cual des – energiza la válvula solenoide de velocidad para que automáticamente la velocidad pase a rango bajo (Cambio automático de

velocidad de desplazamiento) y así tener un buen rendimiento y un mejor control de la tracción.

5.5.1.1 Definición de fronteras sistema hidráulico de desplazamiento. El sistema hidráulico de desplazamiento comprende la válvula de control de desplazamiento, válvula de contrapeso de desplazamiento, los motores de desplazamiento, swivel, mandos finales, válvula piloto de desplazamiento y válvula de control de desplazamiento recto.

5.5.1.2 Definición de funciones del sistema hidráulico de desplazamiento. La función principal del sistema hidráulico de desplazamiento es permitir el movimiento de traslación del equipo, soportado en sus dos orugas. El sistema debe permitir movimientos hacia adelante y hacia atrás de las dos orugas simultáneamente o de cada una de forma independiente.

Figura 34. Fronteras del sistema hidráulico de desplazamiento.



Fuente: HIDAYAT, Rachmad. Main Components Hydraulic Excavator. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://rahmadhidayat009.blogspot.com.co/p/component.html>

5.5.1.3 Especificaciones del sistema hidráulico de desplazamiento.

Tabla 20. Dimensiones de desplazamiento.

Cycle Times (seconds)	
Function	New ⁽¹⁾
Forward travel HIGH (Left) (3 revolutions)	22.5 ⁽³⁾
Reverse travel HIGH (Left) (3 revolutions)	
Forward travel LOW (Left) (3 revolutions)	34.5 ⁽³⁾
Reverse travel LOW (Left) (3 revolutions)	
Forward travel HIGH (Right) (3 revolutions)	22.5 ⁽³⁾
Reverse travel HIGH (Right) (3 revolutions)	
Forward travel LOW (Right) (3 revolutions)	34.5 ⁽³⁾
Reverse travel LOW (Right) (3 revolutions)	

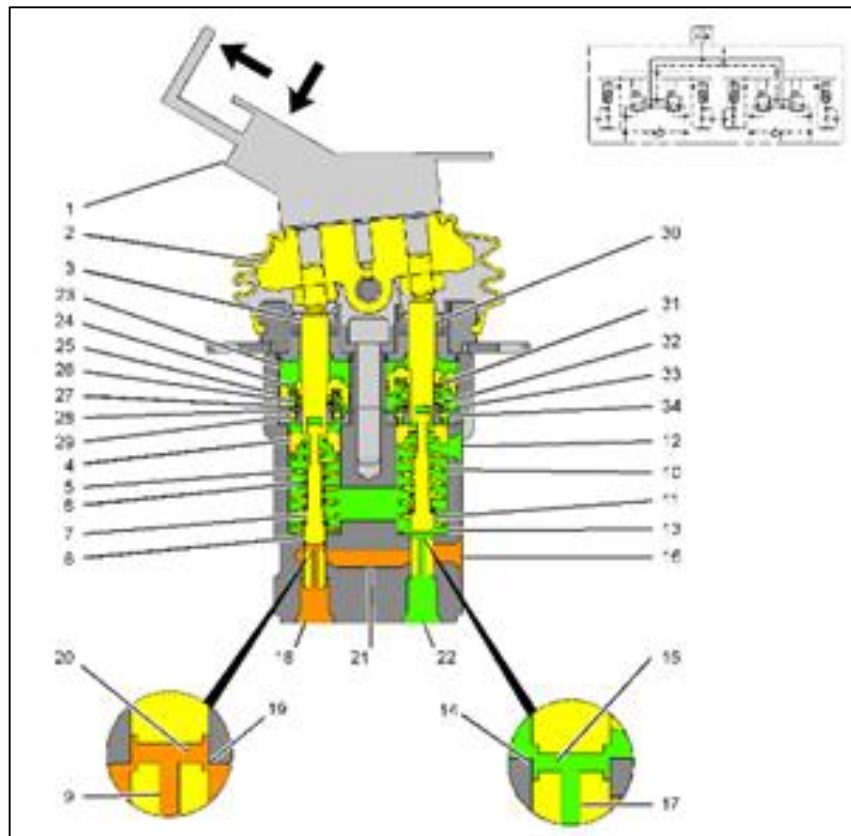
Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.5.1.4 Componentes del sistema hidráulico de desplazamiento.

1. Válvula piloto de desplazamiento: ésta válvula permite el paso de aceite piloto hacia las válvulas de control principal de desplazamiento en la operación hacia adelante o hacia atrás. Por medio del movimiento de la palanca/pedal de

desplazamiento en cabina, se mueven los carretes de la válvula y permite el flujo del aceite piloto y del aceite de retorno al tanque hidráulico. Los resortes de la válvula retornan los carretes a su posición neutra de acuerdo a la solicitud del operador.

Figura 35. Válvula piloto de desplazamiento.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

Una función de amortiguación está integrada en la válvula de control del piloto de desplazamiento que permite que la velocidad de funcionamiento de la palanca de desplazamiento / pedal se corresponda con el movimiento del pie del operador. La

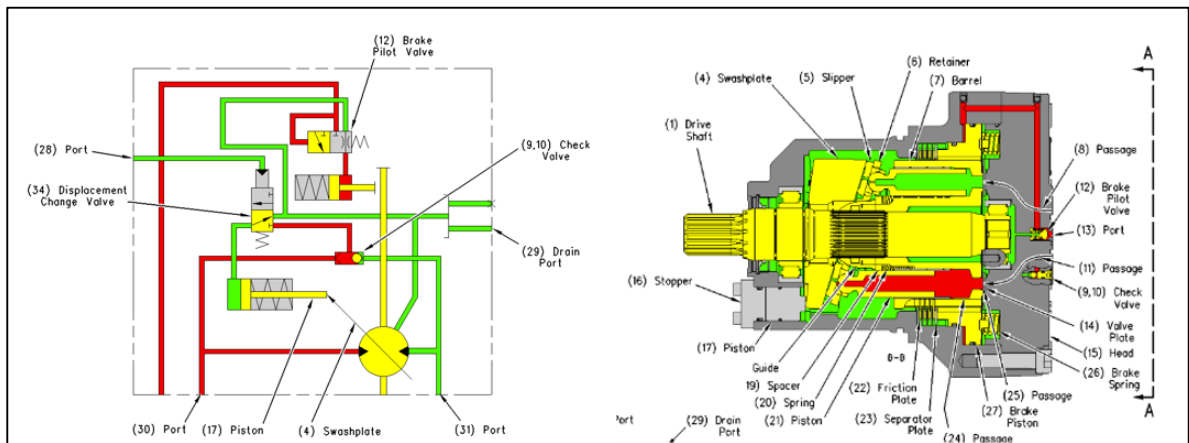
función de amortiguación también evita la vibración que se produce cuando se suelta la palanca de desplazamiento / pedal.

2. Motor de desplazamiento: se puede dividir en los siguientes tres grupos de acuerdo a la imagen 37:

- Grupo rotativo: Árbol de transmisión (1), sipper (5), retenedor (6), barrel (7), guía (18), espaciador (19), resorte (20) y pistón (21).
- Freno de estacionamiento: Válvula piloto de freno (12), placas de fricción (22), placas separadoras (23), resorte de freno (26) y pistón de freno (27).
- Válvula de cambio de desplazamiento: Válvula de retención (9), válvula de retención (10), pistón (17) y válvula de cambio de desplazamiento (34).

El flujo de la entrega de aceite desde la bomba depende de la dirección de viaje.

Figura 36. Esquema parcial del motor de desplazamiento.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

3. Freno de desplazamiento: se encuentra al interior del motor de desplazamiento, cuando el aceite entregado por la bomba fluye al motor, libera el freno de desplazamiento y permite que el motor comience a girar. Sin suministro de aceite, el motor se detiene y el freno de desplazamiento vuelve a engranar.

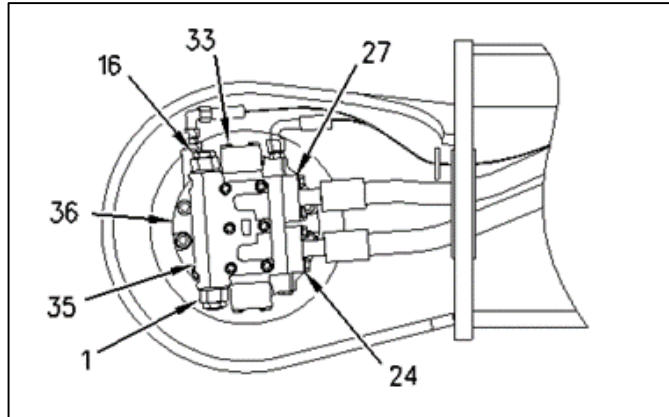
La válvula de freno de desplazamiento es activada por el flujo de aceite y por medio del resorte interno vuelve a bloquear el movimiento cuando la presión de aceite disminuye.

4. Válvula de cambio de desplazamiento: controla el flujo de aceite a presión hacia el cilindro interno del motor de desplazamiento que incrementa o disminuye el ángulo de la placa oscilante que regula la velocidad del motor. Cuando el ángulo aumenta, el desplazamiento del motor hidráulico aumenta. En el caso que se selecciona la velocidad de desplazamiento baja en el interruptor en cabina, el ángulo de la placa oscilante aumentara disminuyendo la velocidad de desplazamiento.

5. Válvula de contrapeso de desplazamiento: está compuesta por la válvula de contrapeso y dos válvulas de alivio de cruce. La válvula completa se encuentra atornillada al motor de desplazamiento y tiene las siguientes funciones:

- Evita una carga de choque cuando se detiene el desplazamiento
- Evita una sobre velocidad cuando el desplazamiento se realiza en una pendiente
- Evita cavitación
- Dirige una porción del aceite al freno de desplazamiento para liberarlo.

Figura 37. Válvula de contrapeso de desplazamiento.



Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

6. Válvula de control de desplazamiento recto: las siguientes acciones ocurren cuando la válvula de control de desplazamiento recto está activada:

- El interruptor de presión para el desplazamiento a la izquierda y el interruptor de presión para el desplazamiento a la derecha están encendidos.
- El interruptor de presión de implemento / giro está encendido.
- La bomba de mínima suministra aceite al circuito de desplazamiento izquierdo y al circuito de desplazamiento derecho para impulsar ambos motores en paralelo.
- El circuito de giro y los circuitos del implemento reciben aceite de la bomba de mando. Cuando la máquina está en movimiento, el circuito de giro y los circuitos del implemento no requieren una gran cantidad de flujo de aceite. El circuito de giro y los circuitos de implementos funcionan a velocidades lo suficientemente bajas para un funcionamiento estable de la máquina. El resto del aceite se comparte con el circuito de desplazamiento derecho y el circuito de desplazamiento izquierdo.

7. Mando final: reduce la rotación del motor de desplazamiento. El eje del motor de giro esta acoplado por ranura al engranaje central del mando final.

El mando final consiste en dos etapas, la primera es las tres etapas de la reducción de engranajes planetarios de reducción y la segunda es el grupo de salida.

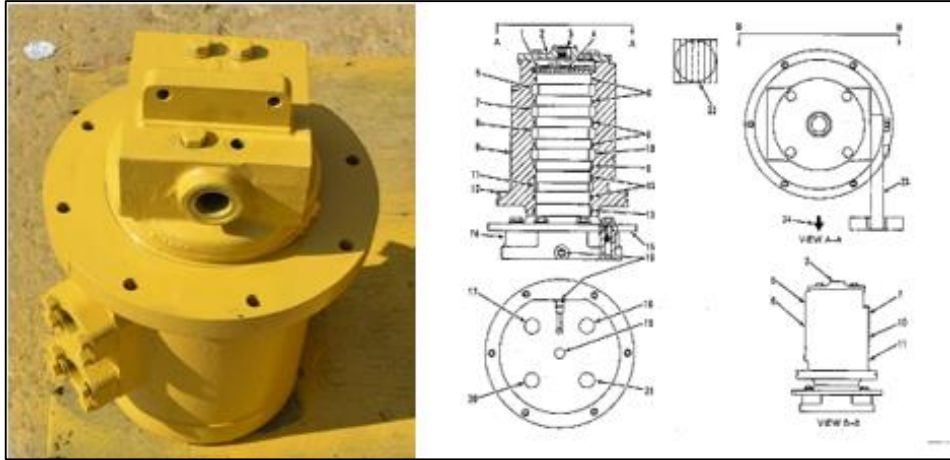
Figura 38. Mando final.



Fuente: ALBOR, Fabio. Mando final. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://tucaterpillar.blogspot.com.co/>

8. Swivel: o articulación giratoria cumple dos funciones: suministra aceite de la bomba en la estructura superior a los motores de desplazamiento en la estructura inferior. La estructura superior gira con respecto a la inferior que no gira. El swivel también devuelve el aceite de los motores de desplazamiento en la estructura inferior al tanque hidráulico en la estructura superior.

Figura 39. Swivel.

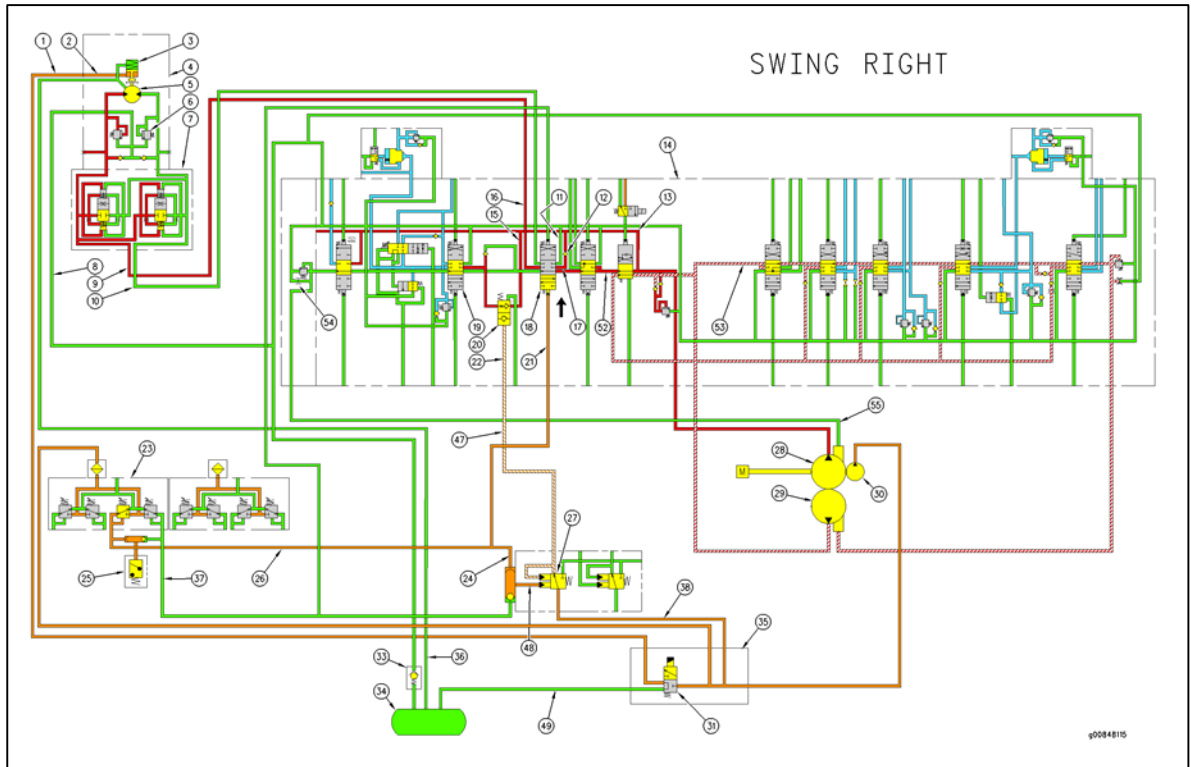


CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.5.2 Sistema Hidráulico de Giro. El aceite para el circuito hidráulico de giro es suministrado únicamente por la bomba de accionamiento. Cuando el mando de giro es movido desde la posición neutral, el freno de parqueo de giro es liberado generando que el grupo rotativo del motor comience a girar. El motor de giro está montado en la parte superior del mando final de giro el cual, a su vez, se encuentra instalado en la superestructura superior de la máquina. EL mando de giro reduce la velocidad del motor en dos etapas y transmite el movimiento haciendo girar la superestructura superior.

El aceite entregado por la bomba de mando fluye a través de la válvula de control principal a la válvula de control de giro. Cuando la palanca de activación hidráulica está en la posición desbloqueada, el aceite de la bomba piloto fluye al múltiple piloto, a la válvula solenoide de freno de giro y la válvula de control piloto de giro.

Figura 40. Esquema operación giro a la derecha.



- (28) Bomba de mando
- (23) Válvula piloto de Giro
- (18) Válvula de control de Giro
- (54) Control de Flujo Negativo
- (30) Bomba Piloto
- (4) Motor de Giro
- (5) Grupo rotativo de motor de Giro
- (3) Freno de Parqueo de Giro

CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

Cuando el mando de giro se acciona para girar a la derecha, el interruptor de giro detecta el incremento en la presión de aceite piloto enviando una señal al

controlador de la bomba y del motor. El controlador energiza el solenoide de freno de giro que cambia de posición y permite el paso del flujo de aceite piloto hasta el freno de giro liberándolo para habilitar la operación de giro.

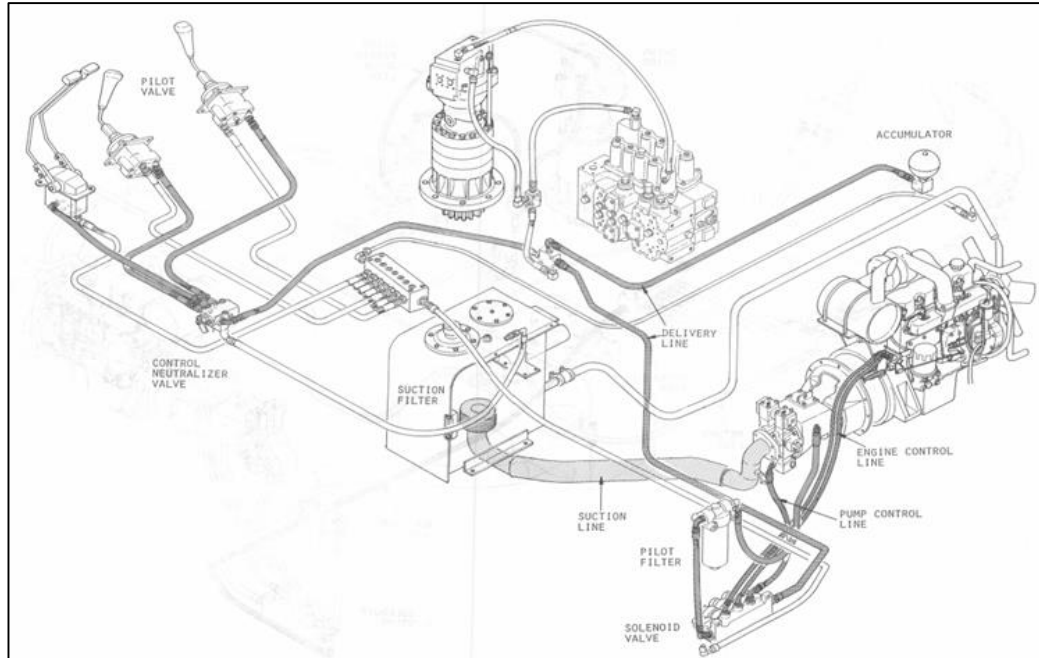
El aceite piloto fluye de la válvula de control piloto de giro a la válvula de control de giro en el banco de válvulas principal generando que se desplace todo el carrete. Con la configuración de paso de la válvula de control de giro generada por el aceite piloto, no se genera presión de flujo negativo ya que el paso queda cerrado, así pues no llega señal de flujo negativo al regulador de la bomba de mando y el plato interno de la bomba se desplaza a su máxima posición incrementando la presión, el aceite de la bomba de mando pasa a través de la válvula de giro y llega al motor de giro generando la rotación del grupo de giro.

Cuando solamente se activa la operación de giro, las válvulas de control que reciben el flujo de la bomba mínima están en posición neutral, la presión de control de flujo negativo no está bloqueada y la bomba mínima permanece libre.

El giro a la derecha se produce cuando la válvula de control de giro se desplaza hacia abajo, generando el flujo cruzado de aceite.

5.5.2.1 Definición de fronteras del sistema hidráulico de giro. Comprende la válvula piloto de giro ubicada en el múltiple piloto, la válvula de control de giro ubicada en la válvula de control principal, el motor de giro y el mando de giro.

Figura 41. Fronteras del sistema hidráulico de giro.



CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.5.2.2 Definición de funciones del sistema hidráulico de giro. La función principal es girar la super estructura superior del equipo hacia la derecha y hacia la izquierda 360° y liberar el freno de giro.

5.5.2.3 Especificaciones del sistema hidráulico de giro.

Tabla 21. Dimensiones de giro.

Ciclo (Segundos)	
Function	New ⁽¹⁾
Swing LEFT (180°)	4.9 ⁽³⁾

Swing RIGHT (180°)	
Overswing LEFT	
Overswing RIGHT	1300 mm (51.2 inch) ⁽³⁾

Fuente: CATERPILLAR INC. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

5.5.3 Análisis de modo de fallas y efectos del sistema hidráulico de desplazamiento y giro.

Tabla 22. Función, falla funcional, modos de falla y descripción de efectos del sistema hidráulico de desplazamiento y de giro.

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F1	Generar la rotación de los motores de desplazamiento	FF1	Los motores de desplazamiento no giran	MF1	La válvula de control piloto de desplazamiento no acciona el flujo de aceite por daño en los carretes internos	El operador reporta la novedad y no puede operar el equipo
F1	Generar la rotación de los motores de desplazamiento	FF1	Los motores de desplazamiento no giran	MF2	Los motores de desplazamiento no giran por falla en los pistones internos	
F1	Generar la rotación de los motores de desplazamiento	FF1	Los motores de desplazamiento no giran	MF3	Los motores de desplazamiento no reciben presión por	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
					bajo nivel de aceite	
F1	Generar la rotación de los motores de desplazamiento	FF1	Los motores de desplazamiento no giran	MF4	Válvula de control principal no transmite flujo al motor por falta de aceite hidráulico	
F2	Transmitir el torque de los motores de desplazamiento a los mandos finales	FF1	Los mandos finales no reciben el torque del motor de desplazamiento	MF1	El motor de desplazamiento no gira	Equipo no operativo
F2	Transmitir el torque de los motores de desplazamiento a los mandos finales	FF1	Los mandos finales no reciben el torque del motor de desplazamiento	MF2	Desgaste en las ranuras del eje por falta de lubricación	Equipo opera con baja eficiencia y se aumenta el daño en el componente
F3	Permitir el flujo de aceite desde la parte superior de la estructura a la parte inferior y viceversa	FF1	El aceite no fluye de la estructura inferior a la superior, ni retorna al tanque hidráulico	MF1	Swivel averiado	Equipo sin operación de desplazamiento
F4	Regular la velocidad de desplazamiento de acuerdo a la carga de la máquina	FF1	La velocidad de desplazamiento no se regula	MF1	Válvula de cambio de desplazamiento no permite flujo de aceite por obstrucción de sus ductos	Maquina opera con baja eficiencia, la velocidad queda a cargo del operador y puede generar daños mayores al equipo
F4	Regular la velocidad de desplazamiento de acuerdo a la carga de la máquina	FF1	La velocidad de desplazamiento no se regula	MF2	Daño interno en el piston y plato oscilante del motor de desplazamiento	
F4	Regular la velocidad de desplazamiento de acuerdo a la carga	FF1	La velocidad de desplazamiento no se regula	MF3	Los interruptores de presión de desplazamiento	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
	de la máquina				no envían señal al controlador por circuito abierto	
F5	Permitir el movimiento independiente de cada motor de desplazamiento	FF1	Los dos motores de desplazamiento giran paralelamente siempre	MF1	Falla en la válvula de desplazamiento recto produce que los motores siempre actúen paralelamente	Operación del equipo restringido, solo desplazamiento lineal
F6	Liberar el freno de desplazamiento	FF1	Freno de desplazamiento activo en operación de traslación	MF1	El freno de desplazamiento no libera el motor por no recibir señal de presión de aceite	Equipo sin operación de desplazamiento = No operativo
F6	Liberar el freno de desplazamiento	FF1	Freno de desplazamiento activo en operación de traslación	MF2	El freno de motor no detiene el giro por deformación en su resorte interno	Freno de giro inoperativo, condición insegura. La máquina opera pero se debe reportar para corrección
F7	Liberar el freno de giro	FF1	Freno de giro no se desactiva en operación de giro	MF1	Interruptores de presión no envían la señal de activación al controlador	Equipo sin operación de giro = Equipo No operativo
F7	Liberar el freno de giro	FF1	Freno de giro no se desactiva en operación de giro	MF2	Solenoide de freno de giro dañado	
F8	Girar la super estructura hacia la derecha / izquierda	FF1	La superestructura no gira en ningún sentido	MF1	Bomba de mando no genera flujo hidráulico por daño interno	

Cód. F	Función	Cód. FF	Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción de Efectos
F8	Girar la super estructura hacia la derecha / Izquierda	FF1	La superestructura no gira en ningún sentido	MF2	El flujo de aceite no pasa por la válvula principal de giro por obstrucción de líneas hidráulicas	
F8	Girar la super estructura hacia la derecha / Izquierda	FF2	La super estructura no gira a la derecha	MF1	La válvula piloto de giro no cambia de posición por daño interno	Equipo con operación restringida, puede operar según solicitud. Se debe detener para revisión y corrección para evitar fallas mayores
F8	Girar la super estructura hacia la derecha / Izquierda	FF3	La super estructura no gira a la izquierda	MF1	La válvula piloto de giro no cambia de posición para cruzar el flujo de aceite	
F9	Girar 180° en un tiempo menor a 4,9 seg	FF1	Giro de 180° en tiempo mayor a 4,9 eg	MF1	Obstrucción en las líneas por contaminación	

6. DEFINICIÓN DE TAREAS Y PERIODICIDAD

6.1 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO PILOTO.

Tabla 23. Hoja de decisión del sistema hidráulico piloto.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
										H4	H5	S4			
F	FF	MF	H	S	E	O									
F1	FF1	MF1	S	N	N	S	S						Probar válvula de alivio piloto	500	Técnico I
F1	FF1	MF2	S	N	N	S	N	S					Comprobar y ajustar válvula de alivio piloto	500	Técnico I
F2	FF1	MF1	S	S	N	S	N	N	N				Cambiar en la falla		Técnico II
F2	FF1	MF2	N	N	N	S	N	S					Revisar y limpiar contacto sensores piloto	500	Técnico III
F3	FF1	MF1	S	S	N	S	N	S					Revisar y verificar solenoide de activación hidráulica	250	Técnico II
F3	FF2	MF1	N	N	N	S	N	S					Escanear y revisar programación módulo	500	Técnico II
F3	FF2	MF2	S	S	N	S	S						Realizar prueba y calibrar válvula piloto de alivio	500	Técnico I
F3	FF2	MF3	N	N	S	S	S						Revisar fugas en múltiple piloto y líneas piloto	Diario	Operador
F3	FF2	MF4	S	N	N	S	S						Revisar activación y reportar ruidos extraños en cuerpo de bombas - Verificar indicadores de presión	Diario	Operador

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
										H4	H5	S4			
F	FF	MF	H	S	E	O									
F3	FF2	MF5	S	N	N	S	N	S				Verificar y cargar acumulador piloto	500	Técnico II	
F4	FF1	MF1	N	N	N	S	N	S				Revisión y calibración válvulas piloto	500	Técnico I	
F4	FF1	MF2	N	N	N	S	S					Revisión y prueba de flujo Bomba Piloto	1000	Técnico I	
F4	FF1	MF3	N	N	S	S	S					Revisar niveles y fugas de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador	
F5	FF1	MF1	N	N	N	S	S					Revisar conexión y continuidad interruptores de presión piloto a controlador	1000	Técnico II	
F5	FF1	MF2	S	N	N	S	N	N	N			Cambiar o reparar controlador de Bomba y de Motor según diagnostico		Técnico I	
F6	FF1	MF1	S	N	N	N	N	N	N			Cambiar Solenoide desplazamiento recto a Falla		Técnico II	
F6	FF2	MF1	S	S	N	S	N	S				Revisar y calibrar válvula piloto de desplazamiento	500	Técnico II	
F7	FF1	MF1	S	N	N	S	S					Inspección visual manguera conexión filtro piloto y múltiple piloto	Diario	32043424 34	
F7	FF1	MF2	S	S	N	S	S	N	N			Verificar activación y desactivación correcta del solenoide simulando señal de activación	500	Técnico III	
F7	FF1	MF1	S	S	N	S	S					Escanear módulo para detectar fallas de señales o voltajes bajos en sensores	250	Técnico II	

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
F8	FF2	MF1	S	N	N	N	N	N	N				Cambiar Solenoide desplazamiento recto a Falla		
F9	FF1	MF1	N	N	S	S	S						Revisar niveles y fugas de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador
F9	FF1	MF2	N	N	S	S	S						Revisar en preinspección y cambiar	Diario	Operador
F9	FF1	MF3	S	N	N	S	N	S					Cambiar Sellos y empaquetadura Bomba piloto	2000	Técnico I
F9	FF1	MF4	S	N	N	S	N	S					Revisar y calibrar válvula de alivio piloto	1000	Técnico I
F9	FF1	MF1	N	N	S	S	S						Inspección visual líneas piloto	Diario	Operador
F9	FF1	MF2	N	S	S	S	N	S					Verificación (estado) y Ajuste (torque) de acoples mangueras s. piloto	250	Técnico III
F9	FF1	MF3	N	N	S	S	S						Revisar mangueras piloto en contacto o con posibilidad de contacto con otras piezas	Diario	Operador
F10	FF1	MF1	N	N	N	S	S						Tomar muestra de aceite hidráulico para análisis en laboratorio	1000	Técnico Lubricador
F10	FF1	MF2	S	N	S	N	N	S					Cambiar sellos y empaques bomba piloto	5000	Técnico II
F10	FF1	MF3	N	N	S	S	N	S					Verificación (estado) y Ajuste (torque) componentes sistema piloto	500	Técnico III

6.2 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO PRINCIPAL

Tabla 24. Hoja de decisión del sistema hidráulico principal.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
F1	FF1	MF1	N	N	N	S	S						Revisar Nivel de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador
F1	FF1	MF2	S	N	N	S	S						Muestreo aceite hidráulico para análisis en laboratorio	1000	Técnico Lubricador
F1	FF1	MF3	N	N	N	S	N	S					Cambiar empaquetaduras y sellos bombas principales	5000	Técnico II
F1	FF1	MF4	N	S	N	S	N	S					Realizar limpieza verificación de integridad y lavado mangueras sistema principal	2000	Técnico II
F1	FF1	MF5	N	S	N	S	S						Revisar Mangueras principales conexión en banco de válvulas principal y en implementos	Diario	Operador
F1	FF2	MF1	S	S	N	S	N	S					Revisar conexiones adecuadas entre la válvula de control principal y los periféricos	250	Técnico II
F2	FF1	MF1	S	S	N	S	S						Muestreo aceite hidráulico para análisis en laboratorio	1000	Técnico Lubricador

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
F2	FF1	MF2	N	S	N	S	S						Revisar Mangueras principales conexión en banco de válvulas principal y en implementos	250	Técnico II
F2	FF1	MF3	N	N	S	S	N	S					Ajustar y cambiar sellos y retenedores válvula de control principal	2000	Técnico I
F2	FF1	MF4	S	S	N	S	S						Limpieza y lavado válvulas de control principal	2000	Técnico I
F2	FF1	MF5	N	N	S	S	N	S					Ajuste con torque adecuado de acoples de líneas hidráulicas con implementos y componentes	1000	Técnico III
F3	FF1	MF1	N	N	N	S	N	S					Revisión balanceo y alineación eje motor -acople y eje bomba hidráulica	2000	Proveedor Externo
F3	FF1	MF2	S	N	N	S	S						Análisis de aceite en laboratorio para control de elementos de desgaste	1000	Técnico Lubricador
F3	FF2	MF1	N	N	S	S	S						Revisar nivel tanque hidráulico y existencia de fugas	Diario	Operador
F4	FF1	MF1	N	N	N	S	S						Lectura de códigos de falla que identifiquen mal funcionamiento del circuito eléctrico	250	Técnico II
F4	FF2	MF1	N	N	N	S	N	N	N				Cambiar o reparar modulo según diagnóstico		Técnico II

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
F5	FF1	MF1	S	S	N	S	S						Limpieza mangueras y ductos sistema principal	2000	Técnico III
F5	FF1	MF2	N	N	S	S	S						Revisión y corrección fugas líneas de retorno	Diario	Técnico III
F5	FF2	MF1	S	S	N	S	S						Limpieza y lavado válvulas de control principal	2000	Técnico II
F6	FF1	MF1	N	N	N	S	S						Revisar Nivel de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador
F6	FF1	MF2	N	S	N	S	S						Revisar Mangueras principales conexión en banco de válvulas principal y en implementos	Diario	Operador
F7	FF1	MF1	N	N	N	S	N	S					Medir caudal y revisar ruidos extraños en bombas principales	500	Técnico I
F7	FF1	MF2	N	N	N	S	N	S					Medir caudal y revisar ruidos extraños en bombas principales	500	Técnico I
F7	FF1	MF3	S	N	N	S	S						Revisar Mangueras principales conexión en banco de válvulas principal y en implementos	Diario	Técnico II
F8	FF1	MF1	N	N	N	S	N	S					Medir caudal y revisar ruidos extraños en bombas principales	500	Técnico I
F8	FF1	MF2	N	N	N	S	N	S					Medir caudal y revisar ruidos extraños en bombas	500	Técnico I

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por				
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
																	principales		
F8	FF1	MF3	S	N	N	S	S										Muestreo aceite hidráulico para análisis en laboratorio	1000	Técnico Lubricador
F9	FF1	MF1	S	N	N	S	N	N	N								Cambiar Válvulas de control de flujo negativo falla		Técnico II
F10	FF1	MF2	N	N	N	S	N	S									Pruebas y calibración válvula de alivio principal	1000	Técnico I

6.3 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE IMPLEMENTOS.

Tabla 25. Hoja de decisión del sistema hidráulico de implementos

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por						
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3				N1	N2	N3	H4	H5	S4
F1	FF1	MF1	N	N	N	S	S												Revisar Nivel de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador
F1	FF1	MF2	S	S	N	S	S												Limpieza mangueras y ductos sistema principal	2000	Técnico III
F1	FF1	MF3	S	N	N	S	N	S											Revisar y calibrar válvula de alivio principal	500	Técnico I
F1	FF2	MF1	S	N	N	S	N	S											Empaquetar cilindros del boom	10000	Técnico II
F1	FF2	MF2	S	N	N	S	S												Revisar temperaturas de operación y funcionamiento sistema refrigeración	Diario	Operador
F1	FF3	MF1	S	N	N	S	N	S											Realizar pruebas de ajuste y calibración a válvula piloto del boom	1000	Técnico II
F2	FF1	MF1	S	N	N	S	S												Muestreo de aceite y análisis laboratorio	1000	Técnico Lubricador
F2	FF2	MF1	S	N	N	S	N	S											Empaquetar cilindros del boom	10000	Técnico I
F2	FF3	MF1	S	S	S	S	S												Escaner y seguimiento tendencia presión aceite en circuitos	Mensual	Técnico II
F2	FF3	MF2	N	N	S	S	S												Revisión mangueras de retorno boom y	Diario	Operador

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
										H4	H5	S4			
F	FF	MF	H	S	E	O									
												reportar para corrección			
F2	FF3	MF3	S	N	N	S	N	N	N			Cambio de válvulas cheque a falla			Técnico II
F3	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Revisar y calibrar válvula de alivio principal	500		Técnico II
F4	FF1	MF1	S	N	N	S	S					Realizar pruebas y ajustes válvula reducción boom	1000		Técnico II
F5	FF1	MF1	S	S	N	S	S					Limpieza y lavado válvulas de control principal	2000		Técnico II
F6	FF1	MF1	S	S	N	S	S					Limpieza y lavado válvulas de control principal	2000		Técnico II
F6	FF1	MF2	S	N	N	S	N	S				Empaquetar cilindros del boom	10000		Técnico I
F6	FF1	MF3	S	N	N	S	N	S				Revisar y calibrar válvula de alivio	500		Técnico I
F7	FF1	MF1	S	N	N	S	S					Realizar pruebas y ajustes sistema hidráulico del stick	1000		Técnico I
F7	FF2	MF1	N	N	S	S	N	S				Empaquetar cilindros del stick	10000		Técnico I
F7	FF3	MF1	S	N	N	S	S					Realizar pruebas y ajustes válvula reducción del stick	1000		Técnico I
F7	FF3	MF2	S	N	N	S	N	S				Empaquetar cilindros del boom	10000		Técnico I
F8	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Revisar y calibrar válvula de alivio principal	500		Técnico I
F9	FF1	MF1	S	N	N	S	S					Muestreo de aceite y análisis laboratorio	1000		Tecnico Lubricador
F10	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Empaquetar cilindro del stick	10000		Técnico I

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (hr)	A realizarse por
										H4	H5	S4			
F	FF	MF	H	S	E	O									
F10	FF1	MF2	S	N	N	S	N	S				Empaquetar cilindro del stick	10000	Técnico I	
F11	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Pruebas y ajustes funcionamiento válvula de control principal	5000	Técnico I	
F11	FF1	MF2	N	N	N	S	S					Revisar Nivel de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador	
F11	FF1	MF3	S	N	N	S	N	S				Empaquetar cilindros	10000	Técnico I	
F12	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Cambiar sellos y empaques de válvulas en válvula de control principal	2000	Técnico I	
F13	FF1	MF1	S	S	N	S	N	S				Realizar pruebas y ajustes a válvulas de alivio piloto y principal	500	Técnico I	
F14	FF1	MF1	S	S	N	S	N	S				Realizar pruebas y ajustes a válvulas de alivio piloto y principal	500	Técnico I	

6.4 HOJA DE DECISIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE DESPLAZAMIENTO Y GIRO

Tabla 26. Hoja de decisión del sistema hidráulico de desplazamiento y giro.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
										H4	H5	S4			
F	FF	MF	H	S	E	O									
F1	FF1	MF1	S	N	N	S	S					Realizar pruebas y ajuste de válvula de control piloto de desplazamiento	500	Técnico II	
F1	FF1	MF2	S	N	N	S	N	S				Realizar pruebas y ajustes a motores de desplazamiento	1000	Técnico I	
F1	FF1	MF3	N	N	N	S	S					Revisar Nivel de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador	
F1	FF1	MF4	N	N	N	S	S					Revisar Nivel de aceite en tanque hidráulico	Diario	Operador	
F2	FF1	MF1	N	N	N	S	N	S				Realizar pruebas y ajustes a motores de desplazamiento	1000	Técnico I	
F2	FF1	MF2	S	S	N	S	S					Muestra de aceite y análisis en laboratorio	1000	Técnico Lubricador	
F3	FF1	MF1	N	N	N	S	S					Revisión ductos, pruebas y ajustes de swivel	1000	Técnico I	
F4	FF1	MF1	S	S	N	S	S					Limpieza mangueras y ductos sistema principal	2000	Técnico III	
F4	FF1	MF2	S	N	N	S	S					Muestra de aceite y análisis en laboratorio	1000	Técnico Lubricador	
F4	FF1	MF3	S	N	N	S	S					Escanear y evaluar códigos de falla de señales eléctricas	500	Técnico II	
F5	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Realizar pruebas y ajuste válvulas de desplazamiento recto	2000	Técnico I	
F6	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Realizar pruebas y ajustes a bombas principales	2000	Técnico I	

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a Falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
										H4	H5	S4			
F	FF	MF	H	S	E	O									
F6	FF1	MF2	S	S	N	S	S					Revisar operación y activación de freno de giro	Diario	Técnico I	
F7	FF1	MF1	S	N	N	S	S					Escanear y evaluar códigos de falla de señales eléctricas	500	Técnico II	
F7	FF1	MF2	S	N	N	S	N	N	N			Cambiar solenoide de freno de giro a la falla			
F8	FF1	MF1	S	N	N	S	N	S				Realizar pruebas y ajustes a bombas principales	2000	Técnico I	
F8	FF1	MF2	N	N	N	S	S					Revisión mangueras y conexiones	Diario	Operador	
F8	FF2	MF1	S	N	N	S	S					Revisar prueba de flujo y presión de válvula piloto	500	Técnico II	
F8	FF3	MF1	S	N	N	S	S					Revisar prueba de flujo y presión de válvula piloto	500	Técnico II	
F9	FF1	MF1	S	N	S	S	N	S				Cambiar empaquetaduras y sellos de motores y mandos finales	10000	Técnico I	

6.5 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO RCM

A partir del análisis anterior a cada subsistema se realiza el consolidado para la propuesta de tareas de mantenimiento y frecuencias, según se muestra en la tabla 27, esto permite mejorar la confiabilidad de las excavadoras CAT 330C y minimizar las detenciones por fallas mayores.

Tabla 27. Programa de Mantenimiento RCM

Actividad	(hr)	A realizarse por
Revisar y verificar solenoide de activación hidráulica	250	Técnico II
Escanear módulo para detectar fallas de señales o voltajes bajos en sensores		Técnico II
Revisar conexiones adecuadas entre la válvula de control principal y los periféricos		Técnico II
Revisar Mangueras principales conexión en banco de válvulas principal y en implementos		Técnico II
Lectura de códigos de falla que identifiquen mal funcionamiento del circuito eléctrico		Técnico II
Verificación (estado) y Ajuste (torque) de acoples mangueras s. piloto		Técnico III
Probar válvula de alivio piloto	500	Técnico I
Comprobar y ajustar válvula de alivio piloto		Técnico I
Realizar prueba y calibrar válvula piloto de alivio		Técnico I
Revisión y calibración válvulas piloto		Técnico I
Medir caudal y revisar ruidos extraños en bombas principales		Técnico I
Revisar y calibrar válvula de alivio principal		Técnico I
Revisar y calibrar válvula de alivio		Técnico I
Realizar pruebas y ajustes a válvulas de alivio piloto y principal		Técnico I
Escanear y revisar programación módulo		Técnico II
Verificar y cargar acumulador piloto		Técnico II
Revisar y calibrar válvula piloto de desplazamiento		Técnico II
Escáner y seguimiento tendencia presión aceite en circuitos		Técnico II
Revisar y calibrar válvula de alivio principal		Técnico II
Realizar pruebas y ajuste de válvula de control piloto de desplazamiento		Técnico II
Escanear y evaluar códigos de falla de señales eléctricas		Técnico II
Revisar prueba de flujo y presión de válvula piloto		Técnico II
Revisar y limpiar contacto sensores piloto		Técnico III

Actividad	(hr)	A realizarse por
Verificar activación y desactivación correcta del solenoide simulando señal de activación		Técnico III
Verificación (estado) y Ajuste (torque) componentes sistema piloto		Técnico III
Revisión y prueba de flujo Bomba Piloto	1000	Técnico I
Revisar y calibrar válvula de alivio piloto		Técnico I
Pruebas y calibración válvula de alivio principal		Técnico I
Realizar pruebas y ajustes sistema hidráulico del stick		Técnico I
Realizar pruebas y ajustes válvula reducción del stick		Técnico I
Realizar pruebas y ajustes a motores de desplazamiento		Técnico I
Revisión ductos, pruebas y ajustes de swivel		Técnico I
Revisar conexión y continuidad interruptores de presión piloto a controlador		Técnico II
Realizar pruebas de ajuste y calibración a válvula piloto del boom		Técnico II
Realizar pruebas y ajustes válvula reducción boom		Técnico II
Ajuste con torque adecuado de acoples de líneas hidráulicas con implementos y componentes		Técnico III
Muestreo de aceite y análisis laboratorio		Técnico Lubricador
Tomar muestra de aceite hidráulico para análisis en laboratorio		Técnico Lubricador
Muestreo aceite hidráulico para análisis en laboratorio		Técnico Lubricador
Análisis de aceite en laboratorio para control de elementos de desgaste		Técnico Lubricador
Muestreo de aceite y análisis laboratorio		Técnico Lubricador
Muestra de aceite y análisis en laboratorio		Técnico Lubricador
Revisión balanceo y alineación eje motor -acople y eje bomba hidráulica	2000	Proveedor Externo
Cambiar Sellos y empaquetadura Bomba piloto		Técnico I
Ajustar y cambiar sellos y retenedores válvula de control principal		Técnico I
Limpieza y lavado válvulas de control principal		Técnico I
Cambiar sellos y empaques de válvulas en válvula de control principal		Técnico I
Realizar pruebas y ajuste válvulas de desplazamiento recto		Técnico I
Realizar pruebas y ajustes a bombas principales		Técnico I
Realizar limpieza verificación de integridad y lavado mangueras sistema principal		Técnico II
Limpieza y lavado válvulas de control principal		Técnico II
Limpieza mangueras y ductos sistema principal		Técnico III
Limpieza y lavado válvulas de control principal		Técnico II
Limpieza mangueras y ductos sistema principal	Técnico III	
Pruebas y ajustes funcionamiento válvula de control principal	5000	Técnico I
Cambiar sellos y empaques bomba piloto		Técnico II
Cambiar empaquetaduras y sellos bombas principales		Técnico II
Empaquetar cilindros del boom		Técnico I

Actividad	(hr)	A realizarse por
Empaquetar cilindros del stick		Técnico I
Empaquetar cilindro del stick		Técnico I
Cambiar empaquetaduras y sellos de motores y mandos finales		Técnico I
Empaquetar cilindros del boom		Técnico II

7. CONCLUSIONES

Al verificar la información arrojada por el sistema Infomante, el cual maneja los registros de los equipos de la empresa Mincivil S.A.; se identifican 592 equipos de línea amarilla activos y distribuidos en los diferentes proyectos de la compañía. Esta información fue la base para la identificación de los equipos críticos teniendo en cuenta; inicialmente la cantidad de equipos por referencia – modelo.

La marca Caterpillar con el 66% del total de los equipos, genera el enfoque para el análisis hacia su cantidad de órdenes de trabajo (OT) abiertas en el sistema dentro del periodo en análisis. Una vez realizado el análisis de Pareto para los cinco equipos principales, se obtienen 754 fallos por temas de sistema hidráulico siendo la Excavadora CAT 330C la que tiene el 22% del total con 8.1 OT/Equipo.

Como parte del análisis de la información se listaron los equipos por consumo de aceite hidráulico, esta verificación arrojó como resultado que las Excavadoras CAT 330C Y 336C, tienen el 64% del total de consumo de aceites de los equipos Pareto. Al comparar esta información con los costos por OT de equipos, se obtuvo que en promedio por mantenimiento de sistema hidráulico de equipo Excavadora 330C es de \$8.610.182; mientras la intervención promedio a un equipo Dumper articulado es el 26% de este costo. Al listar todos los Paretos analizados, arroja como equipo crítico para evaluación la Excavadora 330C.

A través del sistema SISCAT se identifican los componentes del sistema hidráulico para la excavadora CAT 330 C, obteniendo como resultado cinco subsistemas que constituyen el Sistema Hidráulico Principal.

Al recopilar la información de subsistemas se identificaron 53 funciones principales con sus fallas funcionales y modos de fallo, lo que permite conocer la descripción de los efectos en el equipo y la identificación del mismo de manera rápida y preventiva.

Se identifican 102 tareas para prevención de fallos del sistema hidráulico, con actividades en tiempos diarios, 250, 500, 1000 y 2000 horas de operación; de acuerdo a su técnica se señala el responsable de la ejecución. Este listado permite obtener un lenguaje técnico y de manejo general para el registro de fallos en el sistema y permite de esta manera el seguimiento de fallos de equipos para sus mantenimientos correctivos programados y preventivos.

Finalmente se proponen 62 tareas como parte de la propuesta de mantenimiento con las frecuencias, lo que permite mejorar la confiabilidad del equipo y minimizar los costos por fallos de sistema hidráulico.

BIBLIOGRAFÍA

AEROMARINE SPAIN. El mantenimiento de un sistema hidráulico. [En línea]. Madrid: La compañía. [Consultado el: 20 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://aeromarinesoftware.wordpress.com/2015/02/05/el-mantenimiento-de-un-sistema-hidraulico/>

AGUILAR, José; TORRES, Rocío y MAGAÑA, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. [En línea]. En: IMIQ, Tecnología, Ciencia, Educación, 2010, vol. 25, no. 1, pp. 15-26. ISSN: 0186-6036. [Consultado el: 23 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>

ALBOR, Fabio. Mando final. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://tucaterpillar.blogspot.com.co/>

ALCARRAZ, Frank. Maquinaria pesada – Excavadora. [En línea]. [Consultado el: 25 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/263387612/Excavadoras-caracteristicas-y-funcionamiento>

CARDONA, Jaime. Los tipos de sistemas hidráulicos. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en:

<http://cursosequipopesadojaimecardona.blogspot.com.co/2016/04/los-tipos-de-sistemas-hidraulicos.html>

CATERPILLAR INC. Excavadora hidráulica 330CL. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2002, 24 p.

_____. Identificación de piezas. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

_____. Información de productos. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: http://www.finning.com/en_CA/products/rental/equipment/excavators/small-excavators/18371806.html

_____. Información del sistema RENR5434. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://sis.cat.com/>

_____. Metrics (KPI's) to assets process performance. Peoria, EE.UU.: La compañía, 2007, 47 p.

HIDAYAT, Rachmad. Main Components Hydraulic Excavator. [En línea]. [Consultado el: 28 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://rahmadhidayat009.blogspot.com.co/p/component.html>

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. pp. 2-3. ISBN 09539603-2-3.

NIETO, Steven. Historia del Mantenimiento. [En línea]. 2009. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com.co/2009/05/historia-del-mantenimiento.html>

ORTEGA, Kevin. La maquinaria en las minas. [En línea]. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://motorenminas.blogspot.com.co/2014/08/maquinaria-en-la-mineria.html>

ORTÍZ PLATA, Daniel. Memorias de clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. 2016.

PATIÑO, Carlos y BETANCOURT, Yamid. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de COCA COLA FEMSA. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. 138 p. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/153886.pdf>