



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
Facultad de Tecnología  
Carrera de Mecánica Automotriz

## INFORME DE PASANTIA

# Sistema de Combustible Common Rail en Motores Diésel Caterpillar

Realizado en Finning Bolivia S.A.

Trabajo de conclusión  
para la obtención del grado de  
Técnico Superior en Mecánica Automotriz

Presentado por:  
**Ricardo Andrés Fernández Villarroel**

Dirigido por:  
**Dr. Ing. Ramiro Peralta Uría**

La Paz, Bolivia - Agosto de 2015



Informe de Pasantía sustentado ante el cuerpo docente de la carrera de Mecánica Automotriz de la Facultad de Tecnología en la Universidad Mayor de San Andrés, como requisito necesario para la obtención del grado de

## **Técnico Superior en Mecánica Automotriz**

Los Derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo pertenecen a la Universidad Mayor de San Andrés, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**Ricardo Andrés Fernández Villarroel**

Dirigido por:

**Dr. Ing. Ramiro Willy Peralta Uría**

Tribunal Examinador:

**MSc. Ing. Carlos Eduardo Andrade Mallea**

**Lic. Juan Marcelo Illanes Dorado**

**Ing. Juan Félix Quispe Medrano**

Director de Carrera:

**Ing. Cedric Rúa Rodríguez**

**La Paz, Bolivia - Agosto 2015**



## Agradecimientos y Dedicatoria

A mi Madre, a mi Hermano, a mi Esposa, a todos mis Docentes y a todo el personal de Finning Bolivia, mil gracias por el apoyo y paciencia, gracias por la experiencia y conocimientos transmitidos, es un honor y privilegio haber sido alumno de la UMSA y compañero de trabajo en Finning.

Así como este Informe de Pasantía, la carrera en general y muchas de mis acciones, que valen la pena destacar, se las dedico a mi mamá, quien con muchísimo sacrificio y cariño me impulsó y me sigue impulsando en varios aspectos de mi vida a caminar con honor, disciplina, honestidad, respeto, humildad, entrega y amor.



## Resumen

En el campo de maquinaria pesada a nivel mundial se utiliza cada vez más y con mayor frecuencia el sistema de inyección de combustible Common Rail para motores, puesto que este es uno de los sistemas de mayor eficiencia, además de cumplir con normas internacionales de consumo de combustible y de emisiones de gases de escape. Sin embargo, así como es uno de los sistemas de mayor eficiencia en relación al consumo de combustible, potencia efectiva y bajas emisiones de gases contaminantes, es uno de los sistemas que mayor cuidado requiere, puesto que las tolerancias de diseño de los componentes internos del sistema son mínimas, llegando a un máximo de tolerancia de cinco micrones entre los componentes móviles de la bomba de alta presión e inyectores.

Este Informe de Pasantía surge de la necesidad de realizar un análisis de las principales causas de falla del sistema para sugerir metodologías que ayuden a mantener en buen estado los componentes del sistema de combustible.

En el Capítulo 2 se presenta a Finning Bolivia S.A. empresa en la que se realizó la Práctica de pasantía.

En el Capítulo 3 se hace referencia a la metodología de trabajo de Finning, la cual ayuda a comprender que una estricta disciplina en el ámbito laboral, institucional o particular ayuda a obtener mejores resultados de forma eficiente y segura con el máximo de rendimiento posible.

En el Capítulo 4 se realiza una descripción del funcionamiento del sistema de inyección de combustible tipo Common Rail.

En el Capítulo 5 se presenta el análisis de los trabajos realizados durante la pasantía, enfocados al sistema Common Rail y se plantean sugerencias para el cuidado del mismo.

En el Capítulo 6 se muestran las conclusiones a las que se llega después de analizar los motivos que originan fallas en este sistema de combustible.

Finalmente, el Capítulo 7 presenta recomendaciones y consideraciones a tomar en cuenta en el uso y cuidado de este sistema de combustible y del combustible como fuente de energía.



## Abstract

In the field of heavy equipment worldwide is used more the system of fuel injection Common Rail for engines, since this is one of the systems more efficient, in addition to meeting international standards of consumption fuel and exhaust gas emissions. However, as it is one of the systems efficiencies related to fuel consumption, effective power and low emissions of polluting gases, is one of the systems that greater care required, since the design tolerances of the components inside the system are minimal, reaching a maximum of five micron tolerance between moving components of the high pressure pump and injectors.

Internship Report arises from the need to conduct an analysis of the major causes of failure of the system to suggest methodologies that help to keep in good condition the fuel system components.

Chapter 2 presents a Finning Bolivia SA company in which the practice was conducted internship.

In Chapter 3, reference to the working methodology of Finning is made, which helps to understand that a strict discipline in the workplace, institutional or private aid to better outcomes efficiently and safely with the maximum possible performance.

In Chapter 4 a description of the operation of the fuel injection system Common Rail is made.

In Chapter 5 the analysis of the work done during the internship, focused on the Common Rail system and suggestions for the care of the same pose is presented.

In Chapter 6, the conclusions that can be reached after analyzing the reasons which cause failures in this fuel system.

Finally, Chapter 7 presents recommendations and considerations to take into account the use and care of the fuel system and fuel as an energy source.



# Índice de contenido

Agradecimientos y Dedicatoria	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de contenido	vi
Índice de Ilustraciones	viii
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Introducción</b>	<b>01</b>
1.1 Objetivos	01
1.1.1 Objetivo General	01
1.1.2 Objetivos específicos	01
1.2 Alcances	01
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Descripción Finning</b>	<b>02</b>
2.1 Finning El Alto – La Paz	03
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Experiencia en Finning</b>	<b>04</b>
3.1 Características adicionales	04
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Sistema de combustible Common Rail</b>	<b>06</b>
4.1 Funcionamiento	06
4.2 Sistema de Baja Presión	07
4.3 Sistema de Alta Presión	08
4.4 Sistema de Combustible	13



<b>Capítulo 5</b>	
<b>Estadísticas de trabajo</b>	<b>19</b>
5.1 Estadísticas de trabajo	19
5.2 Propuestas de mantenimiento	23
5.2.1 Almacenamiento	24
5.2.2 Mantenimiento	24
<b>Capítulo 6</b>	
<b>Conclusiones</b>	<b>26</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	
<b>Bibliografía</b>	<b>29</b>
<b>Cibergrafía</b>	<b>29</b>
<b>Anexos</b>	<b>30</b>
A Informes de trabajos realizados en Finning Bolivia sucursal La Paz	



## Índice de Ilustraciones

Fotografía N°1	Sucursal Finning Bolivia – La Paz	03
Ilustración N°1	Sistema CAT de combustible de baja presión	07
Ilustración N°2	Sistema CAT de combustible de alta presión	08
Ilustración N°3	Bomba de inyección de combustible	10
Ilustración N°4	Inyector electrónico de alta presión	11
Ilustración N°5	Componentes internos y el flujo de combustible en un inyector de Riel Común (common rail).	12
Ilustración N°6	Esquema del suministro de combustible de Riel Común (common rail).	13
Ilustración N°7	Ubicación y componentes externos de la bomba de inyección de Riel Común (common rail).	13
Ilustración N°8	Ubicación y componentes externos del sistema de inyección de Riel Común (common rail).	14
Ilustración N°9	Ubicación de filtros sistema de inyección	15
Ilustración N°10	Filtro primario y secundario del sistema de inyección	16
Ilustración N°11	Descripción y ubicación y componentes externos de la distribución del Riel Común (common rail)	17
Ilustración N°12	Válvula de alivio del sistema de alta presión de combustible	18
Ilustración N°13	Cuadro de descripción de trabajos realizados en Finning Bolivia S.A.	20
Ilustración N°14	Tabla de número de trabajos realizados por sistema de combustible	21
Ilustración N°15	Gráfica del número de trabajos realizados por sistema de combustible	21
Ilustración N°16	Gráfica de Porcentaje de Sistemas de Combustible en trabajos realizados	22
Ilustración N°17	Tabla de Trabajos realizados según Sistemas de Combustible Common Rail	22
Ilustración N°18	Gráfica de Número de Trabajos Realizados vs Tipo de Trabajo	23
Ilustración N°19	Gráfica de Porcentaje de Tipos de Trabajos Realizados	23
Ilustración N°20	Dimensión de un cabello humano en micrones ampliado 2000 veces	26
Ilustración N°21	Pesos específicos y densidades del combustible	27





# Capítulo 1

## Introducción

En el presente informe de pasantía se presenta un análisis del sistema Common rail en motores de la serie C6.6 y C6.4 de la marca Caterpillar; se dará inicio con un repaso teórico de la tecnología de este tipo de sistema de inyección, principalmente del funcionamiento del sistema de combustible, para luego analizar las principales razones de falla en dicho sistema, contrastando la información con los informes de trabajo realizados en Finning Bolivia SA.

### 1.1 Objetivos

#### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente informe es analizar y determinar los principales y más frecuentes motivos de falla en el sistema de combustible Common Rail.

#### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Adquisición de información técnica especializada y pertinente a los Motores de Encendido por Compresión con sistema de inyección Common Rail.
- Recopilación de trabajos realizados durante la pasantía y análisis de los sistemas de combustible de los diferentes equipos intervenidos.
- Proponer metodologías de prácticas de mantenimiento para disminuir la ocurrencia de las fallas que se originan en el sistema de combustible planteado.

### 1.2 Alcances

Los equipos Caterpillar con inyección de combustible tipo sistema Common Rail, en la actualidad se encuentran operando alrededor de todo el territorio nacional, bajo todas las condiciones climáticas y geográficas, lo cual no ha sido un impedimento para que día a día sean más y más los equipos impulsados por este sistema de combustible. Por tanto, este informe de pasantía será un buen aporte para los estudiantes que desearan conocer y entender mejor este moderno sistema.



## Capítulo 2

# Descripción Finning

Finning es una empresa fundada en 1928 por Earl B. Finning, Finning International Inc. es uno de los mayores distribuidores Caterpillar en mundo, que ofrece las líneas de productos y servicios CAT a la industria de la construcción, forestal, minería, movimiento de materiales, petróleo, motores y generadores de energía. Con sede en Vancouver, Canadá, supervisa las operaciones de Finning Canadá, Finning Reino Unido, y Finning Sudamérica, con más de 11.000 empleados en los tres continentes.

La transición desde una exitosa empresa familiar a la moderna compañía internacional que es Finning hoy día, comenzó en los años 80, a través de la consolidación de su posición en el oeste de Canadá y la adquisición de Bowmaker Plant Ltd. y Caledonia Tractor & Equipment Ltd. en el Reino Unido. Diez años más tarde, la compañía compró el distribuidor Caterpillar en Chile, y en 1997, el distribuidor del Reino Unido, para convertirse el único representante CAT en ese país. El crecimiento ha continuado con el nuevo milenio, con la compra de Hewden Stuart., líder en el alquiler de pequeños y grandes equipos y maquinaria en el Reino Unido, y las adquisiciones en Sudamérica de los distribuidores Caterpillar de Argentina, Bolivia y Uruguay.

Actualmente Finning international Inc. es representante y socios con "Caterpillar". Esta empresa proporciona servicio en equipos, a empresas en todo el mundo, en rubros tales como la minería, construcción, energía, forestales y manejo de materiales para las industrias. Proporciona estas soluciones a través de opciones de: venta, alquiler y financiamiento de los productos que ofrece la empresa.

### **VISIÓN FINNING**

“Proporcionamos servicios incomparables que nos hagan merecedores de la lealtad de nuestros Clientes y seremos el mejor socio global de Caterpillar.”

### **MISIÓN FINNING**

“El mejor equipo humano, las mejores soluciones, los mejores resultados.”

Comprometida con el desarrollo del Cono Sur y consolidando su presencia en la Región a través de la adquisición de los distribuidores CAT de Argentina, Bolivia y Uruguay, cuenta con sus Oficinas Regionales en Santiago de Chile, proyectándose como una realidad concreta en la unión de cuatro países en un equipo, una única vocación de excelencia en servicio, una sola orientación hacia el cliente, habiendo llegado a tener más de 90 instalaciones, considerando sucursales, oficinas y centros de distribución, entre otros recintos.



## 2.1 Finning El Alto – La Paz

En nuestro país, como en todos los que existen sucursales, se encarga de arrendamiento, venta y prestación de servicio calificado y especializado en soporte técnico de maquinaria Caterpillar enfocados a los sectores de construcción y generación de energía. Concretamente en La Paz se halla ubicada en la ciudad de El Alto en la Carretera a Oruro Km 4, con teléfono central 591-2-2810071, bajo la Dirección de Carlos Carrasco, Gerente de Operaciones para Bolivia.



Fotografía N°1 Sucursal Finning Bolivia – La Paz  
Fuente: [finning.com.bo](http://finning.com.bo)



## Capítulo 3

# Experiencia en Finning

En el caso particular y solicitando por conducto regular en el mes de julio de 2008, a través de la Dirección de carrera de Mecánica Automotriz, se realizó la pasantía en esta empresa. Previa a la aceptación se realizaron una serie de exámenes psicológicos, psicotécnicos y de conocimiento en mecánica, a fines del mes de septiembre de ese año la Jefatura de Servicios de Finning Bolivia – Sucursal La Paz, aprobó mi ingreso al programa Trainee de Finning.

Los conocimientos reforzados y los nuevos adquiridos se pusieron en práctica una vez terminado el Programa Trainee, y es cuando los miembros del Programa pasamos a ser dependientes del Área de Servicios de La Paz para desenvolver la actividad de ayudantes de mecánicos en el taller de Finning en El Alto hasta mayo de 2009, mes en el que se efectuó el contrato formalmente como Mecánico C en planilla de Finning Bolivia S.A.

Cada tarea asignada, bajo total responsabilidad de evaluación reparación, desarmado y/o armado, desinstalación y/o instalación, conclusión y recomendación se da por concluida con un informe final presentado al inmediato superior, en este caso, al Supervisor de Servicios. Los informes presentados de los trabajos encomendados se adjuntan en los Anexos como respaldo para este informe de pasantía, cabe aclarar que se comprenden solamente informes de la gestión 2009 y 2010.

Este informe de pasantía pretende analizar el uso de un sistema de combustible específico el cual fue diseñado para aumentar la eficiencia de los motores Caterpillar bajo cierto estándar muy particular con respecto a la limpieza del combustible que debería ser utilizado debido a las tolerancias microscópicas

### 3.1 Características adicionales

Un tema en particular que llamó mi atención fue la metodología y los conceptos que Finning trata de convertir en costumbres de vida para realizar tareas cotidianas de forma más segura.

Una de estas metodologías son las “Reglas de Vida” que comprenden diez criterios los cuales se siguen para realizar de nuestro trabajo y actividades dentro y fuera de Finning, esta metodología fue desarrollada por el departamento de Prevención de Riesgos y Gestión Sustentable Finning.

- 01.- La intervención u operación de equipos debe ser realizada solo por personal calificado y autorizado.



- 02.- Analizar y controlar todos los riesgos antes y durante cada trabajo, o por cambios en las condiciones de este. (Usar formularios: ART, AST u otros).
- 03.- Nunca ingresar o estar en el trabajo bajo la influencia de alcohol o drogas. No auto-med icarse o modificar dosis recetadas por un médico.
- 04.- Cumplir con los procedimientos de bloqueo en equipos, tableros eléctricos u otros.
- 05.- Nunca ubicarse en el área ciega de visual de un equipo operativo o ingresar a un área no autorizada.
- 06.- Usar siempre equipos y herramientas en buen estado, de marca registrada o certificada y nunca anular los dispositivos de seguridad.
- 07.- Reportar todos los incidentes y cumplir con las medidas correctivas comprometidas.
- 08.- Usar siempre arnés de seguridad en trabajos de altura.
- 09.- Nunca ubicarse bajo cargas suspendidas o usar equipos de levante fuera de su criterio de diseño.
- 10.- No ordenar o imponer a un empleado que realice actividades fuera de normas o sin haber controlado todos los riesgos.

Como se observa con facilidad algunos de estos criterios se pueden incluso aplicar a situaciones en casa, por ejemplo:

- La regla 4: Colocar dispositivos de aislamiento en tomas de corriente en inmuebles donde habiten o exista presencia de niños pequeños que pudieran introducir sus dedos en los orificios de las tomas de corriente y resultar electrocutados.
- La regla 8: Utilizar arnés para reparar el tejado o techo de alguna construcción para evitar la caída desde alturas considerables o no tan altas pero con gran posibilidad de daño físico por el tipo de la superficie de impacto.

Obviamente la mayoría de estos criterios son aplicables a las actividades relacionadas al campo industrial y en todo tipo de taller, incluso dentro de un taller universitario.



## Capítulo 4

# Sistema de combustible Common Rail

El sistema de inyección common-rail o riel común, es un sistema electrónico de inyección de combustible para motores diésel de inyección directa en el que el combustible es aspirado directamente del depósito a una bomba de alta presión y ésta a su vez lo envía a un conducto común para todos los inyectores y por alta presión al cilindro.

Este sistema fue desarrollado por el grupo industrial italiano Fiat Group, en el Centro Ricerche Fiat en colaboración con Magneti Marelli, filial del grupo especializada en componentes automovilísticos y electrónicos. La industrialización la llevó a cabo Bosch. El primer vehículo del mundo en equipar este sistema fue el Alfa Romeo 156 con motor JTD en 1997. En 1998 recibió el Premio "Paul Pietsch Preis" para Bosch y Fiat por el sistema Common Rail como innovación técnica para el futuro.

### 4.1 Funcionamiento

La idea esencial que rige el diseño es lograr una pulverización mucho mayor que la obtenida en los sistemas de bomba inyectora anteriores, para optimizar el proceso de inflamación espontánea de la mezcla que se forma en la cámara al inyectar el diésel, principio básico del ciclo de Encendido por Compresión (motor Diésel). Para ello se recurre a hacer unos orificios mucho más pequeños, dispuestos radialmente en la punta del inyector (tobera), compensando esta pequeña sección de paso con una presión mucho mayor.

Es esencialmente igual a la inyección multipunto de un motor de gasolina, en la que también hay un conducto común para todos los inyectores, con la diferencia de que en los motores diésel se trabaja a una presión mucho más alta.

El combustible almacenado en el depósito a baja presión es aspirado por una bomba de transferencia accionada eléctricamente y enviado a una segunda bomba, en este caso, de alta presión que inyecta el combustible a presiones que pueden variar desde unos 30 MPa (4350 PSI) hasta entre 150 MPa (21750 PSI) y 200 MPa (29000 PSI) al cilindro, según las condiciones de funcionamiento.

La bomba de transferencia puede ir montada en la propia bomba de alta presión, accionada por el mecanismo de distribución y sobre todo en el interior del depósito de combustible. El conducto común es una tubería o "rampa" de la que parte una ramificación de tuberías para cada inyector de cada cilindro.

La principal ventaja de este sistema es que nos permite controlar electrónicamente el suministro de combustible permitiendo así realizar hasta 5 pre-inyecciones antes de la inyección principal, con lo que se consigue preparar la mezcla para una óptima combustión. Esto genera un nivel sonoro mucho más bajo y un mejor rendimiento del motor.

## 4.2 Sistema de Baja Presión

Los sistemas de combustible common rail incluyen un circuito de baja presión de combustible y un circuito de alta presión de combustible.

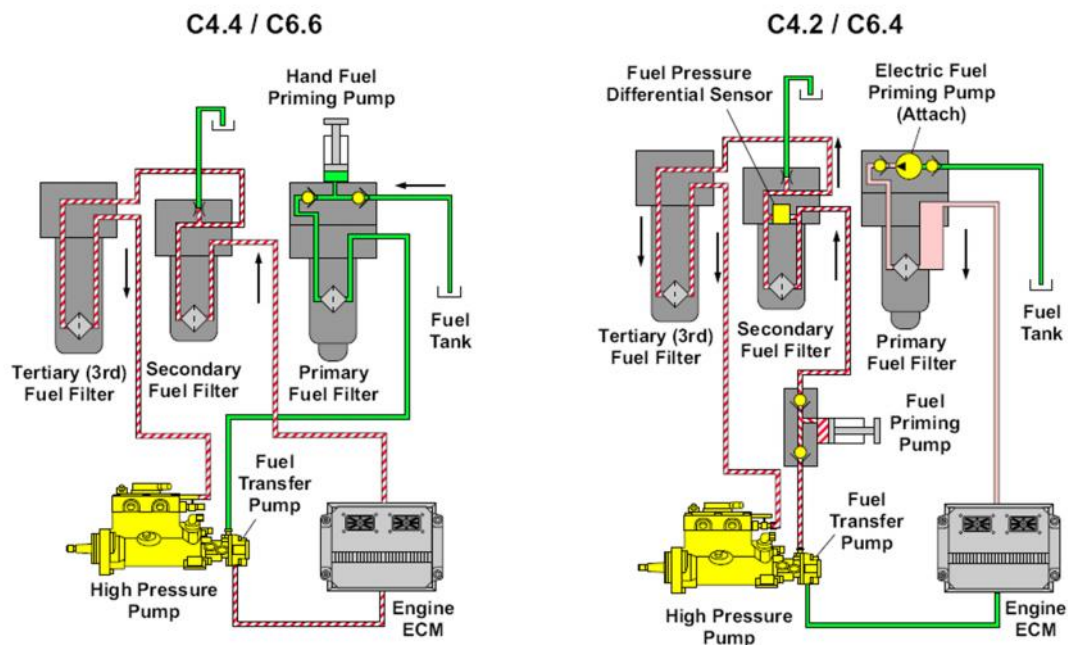


Ilustración N°1 Sistema CAT de combustible de baja presión  
Fuente: sis.cat.com

El esquema arriba presentado, muestra el circuito de baja presión de combustible, que suministra combustible filtrado a la bomba de alta presión en forma constante.

El circuito de baja presión, también es utilizado para enfriar el ECM del motor. El circuito de baja presión consiste de los siguientes componentes principales, que se encargan de suministrar una presión de combustible aproximadamente de 296 – 400 KPa (43 – 58 PSI) a la bomba de alta presión de combustible.

- Filtro primario de combustible (10 a 20 micrones).
- Filtro secundario de combustible (2 micrones).
- Filtro terciario de combustible (2 micrones) (instalado en algunas aplicaciones)
- Tanque de combustible.
- Líneas de suministro y retorno de los diferentes componentes del circuito de baja presión.



- La bomba de transferencia; la cual absorbe combustible del tanque y envía el combustible hacia la bomba de alta presión a través del filtro secundario. La bomba de transferencia incluye dos orificios que se encargan de controlar la presión en el circuito de baja presión.
- La bomba de cebado (eléctrica o manual) es usada para evacuar el aire en el sistema. Al ser removido el aire, el sistema se llena de combustible.

En los motores C4.4/C6.6 la bomba de transferencia absorbe combustible a través de la bomba de cebado y el filtro primario y envía combustible a través del ECM, filtro secundario y terciario hacia la bomba de alta presión.

En los motores C4.2/C6.4 la bomba de transferencia absorbe combustible desde el tanque a través del filtro primario y el ECM y lo envía a través de la bomba de cebado. Desde la bomba de cebado el combustible fluye a través del filtro secundario y filtro terciario hacia la bomba de alta presión.

NOTA.- En el motor C4.2 el ECM no es enfriado por el combustible.

### 4.3 Sistema de Alta Presión

El circuito de alta presión, suministra combustible a alta presión desde la bomba de alta presión a través de un múltiple o riel común (common rail) y luego a los inyectores electrónicos. La bomba de alta presión de combustible suministra combustible a presiones que pueden alcanzar los 160 MPa (23.200 PSI) en los motores C4.4/C6.6 y de 130 MPa (18,855 PSI) para los motores C4.2/C6.4.

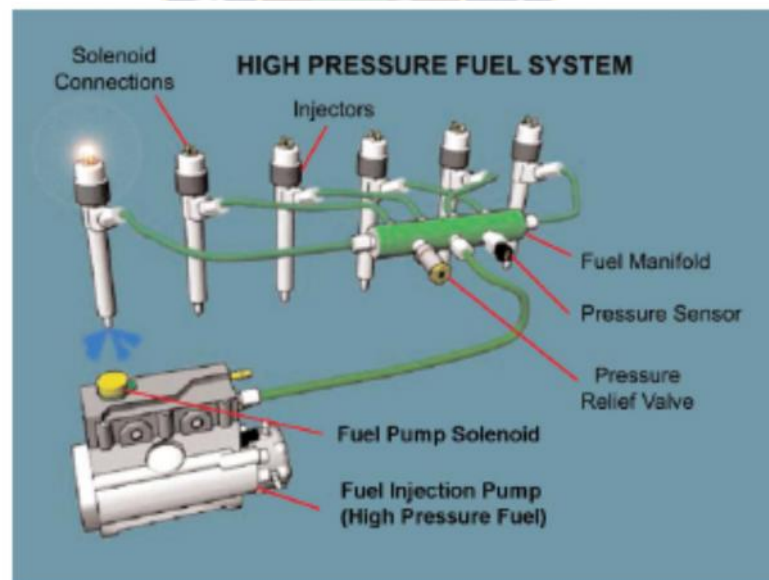


Ilustración N°2 Sistema CAT de combustible de alta presión  
Fuente: sis.cat.com

Un solenoide montado en la bomba de alta presión, controla la presión de salida de la bomba de alta presión, esto lo realiza permitiendo que parte de la presión excesiva retorne al tanque.





Una pequeña cantidad de combustible fluye y retorna a través de cada inyector a la bomba de transferencia para ayudar mantener baja la temperatura de los inyectores.

La alta presión de combustible desde la bomba de alta presión ingresa al riel común (common rail) por el conector de entrada. El múltiple común distribuye el combustible a alta presión uniformemente entre las cuatro o seis cañerías de suministro de acero a los inyectores.

Las cañerías de acero de alta presión pasan a través de la tapa de balancines para conectarse con los inyectores individuales.

Los inyectores electrónicos, inyectan el combustible en la cámara de combustión, basado en un sistema de señal de tipo encendido/apagado (ON/OFF) la cual está controlado por el ECM del motor.

Debido a un proceso de fabricación único (unido a alta presión) en las cañerías del circuito de alta presión combustible, estas deben ser reemplazadas siempre que presenten alguna fisura /dobladura o sean removidas.

NOTA.- Al remover o presentar una fisura una cañería de alta presión, puede crear problemas en las uniones de las cañerías y su capacidad de retención o sellado, lo cual puede hacer que la cañería falle.

Fallas en las cañerías de alta presión puede ocasionar un incendio en la máquina, daños a las personas e incluso la muerte. Ordene piezas de cañerías originales Caterpillar siempre que deba remover o reemplazar inyectores o la bomba de alta presión.

NUNCA trate de eliminar el aire de las cañerías de los inyectores, aflojándolos al momento de dar arranque, recuerde que la presión del riel de combustible puede alcanzar los 23000 PSI, esto puede poner en riesgo su integridad física. Utilice siempre el cebador eléctrico o manual.

Un sensor de presión es usado en el múltiple común o (riel común) para detectar una presión mayor de 160 MPa (23,200 PSI) un código de diagnóstico puede ser generado por el ECM de motor, y pone al motor en el estado de "*Limp Home Mode*" el cual limita las revoluciones del motor a 1300 rpm y limita la presión de refuerzo (boost) y la sincronización de la inyección. Los códigos de diagnóstico por alta presión de combustible deben ser borrados usando el "ET" antes que el ECM retorne al motor a su potencia normal. Detenga y arranque el motor a través de ciclos con la llave de contacto, esto "NO" reseteará la condición de *Limp Home*. El estado de la presión del riel común puede ser monitoreado con el ET.

NOTA.- En el motor C4.4 y C6.4 si la presión en el riel común llega a una diferencia es de 6000 KPa (870 PSI) con la presión deseada, el motor se puede de-ratear en un 100% (esto no es modo de *Limp Home*).

Una válvula de alivio es usada para proteger el sistema de alta presión de combustible de algún pico de presión. La válvula de alivio se abre en forma constante a una presión de 160 MPa (23,200 PSI) y soporta un pico de presión de 190 MPa (27,560 PSI). El



combustible pasa de la válvula de alivio al retorno a tanque de combustible. Si la válvula de alivio no se llegara a abrir, el motor se de-ratea y el ECM envía un código de error. La causa de alta presión debe ser corregida. Para poder limpiar este tipo de código será necesario el uso del ET y solicitar un Password a fábrica para que el motor retorne a sus niveles normales de potencia.

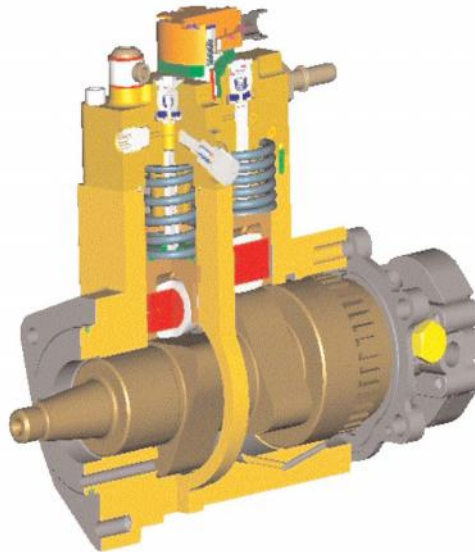


Ilustración N°3 Bomba de inyección de combustible  
Fuente: sis.cat.com

La bomba de inyección de combustible, combina una bomba de alta presión con la bomba de transferencia en una sola unidad. La bomba de alta presión incluye de dos a tres lóbulos por cada leva en el eje de levas de la bomba (dependiendo si el motor es 4 o 6 cilindros) los cuales usan un par de pistones que son los encargados de bombear el combustible a alta presión hacia el riel común. El desplazamiento de los pistones (o elementos bombeantes) es lineal. Los inyectores solo utilizan parte de este combustible suministrado por la bomba. La bomba de alta presión tiene de un solenoide controlado por el ECM de motor que se encargan de controlar la presión en la riel común; los solenoides permiten que el exceso de flujo (presión) se derive hacia el tanque, lo cual contribuye a la refrigeración del sistema.

NOTA.- Normalmente la bomba de alta presión y los solenoides no tiene reparación disponible como repuesto.

La bomba de alta presión es lubricada por el combustible, En la carcasa de la bomba va instalado el sensor secundario de velocidad, el cual determina la velocidad y tiempo del motor. El ECM compara las lecturas de los sensores de velocidad primario (en el volante de inercia) y del sensor de velocidad secundario (bomba de alta presión) y determina la posición del eje de levas del motor en relación a las RPM del motor.

Si el ECM no recibe señal del sensor de velocidad secundario el motor no arranca; sin embargo si el sensor de velocidad secundario o el cableado fallara mientras el motor está

funcionando; el ECM no apagará el motor, el ECM se basará en la última información que le llega desde el sensor de velocidad primario (del último arranque).

Las condiciones (status) de los sensores de velocidad pueden ser monitoreadas con el ET.

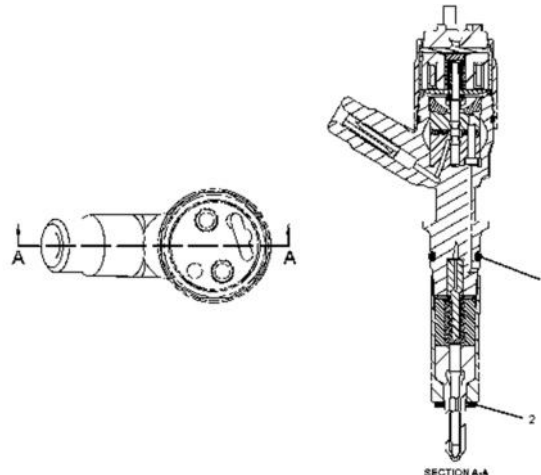


Ilustración N°4 Inyector electrónico de alta presión  
Fuente: sis.cat.com

En la ilustración arriba mostrada se puede ver un inyector electrónico de alta presión; cuando reemplace uno; debe tomar en cuenta el reemplazar las siguientes partes:

- El tubo del inyector
- El sello o-ring
- La arandela de cobre (que sella contra el alojamiento del inyector)
- El perno de sujeción del inyector
- El protector de goma que sella contra la tapa de balancines y la cañería de suministro
- La empaquetadura de la tapa de balancines
- Los pernos de la tapa de balancines (para los motores C4.2 y C6.4)

Cuando remueva la cañería del inyector y/o reutilice un inyector, siempre tape los conductos y líneas inmediatamente para evitar la contaminación; al instalar, ajuste las líneas con la mano y luego al torque adecuado. (No sobre ajuste los pernos, utilice las especificaciones de fábrica para cada caso)

Los números de serie y de confirmación de los inyectores electrónicos son utilizados para que el ECM reconozca el número Etrim de cada uno de los inyectores y *afine* (perfeccione) el funcionamiento del motor, además de monitorear la vida de cada uno de los inyectores. Los números Etrim y software vienen en un CD con cada inyector nuevo y deben ser cargados con el ET al momento de reemplazarlos.

Los motores C4.4 y C6.6 tienen un sistema automático de auto calibración, esto ocurre cada 125 horas (aproximadamente), por el cual el ECM, de-ratea el *desgaste* que habría sufrido el inyector para mantener el rendimiento adecuado del motor en temas de potencia, consumo y emisiones.

Hay un pequeño ruido perceptible durante el proceso de auto calibración, que dura unos segundos. Esto no afecta al desempeño del motor.

Si ninguno de los inyectores entrara en tolerancia; el ECM emitirá un código de diagnóstico: la verificación del sistema de combustible con el ET, puede ser usado para realizar un *ajuste manual* del Etrim si fuese necesario.

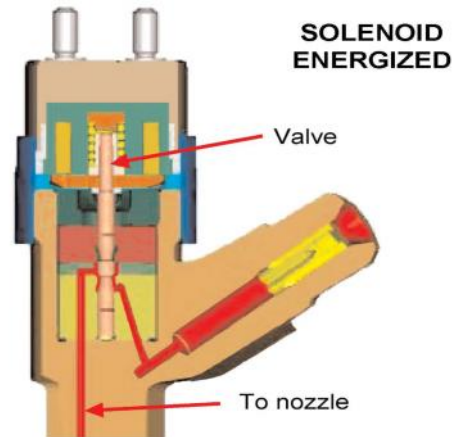


Ilustración N°5 Componentes internos y el flujo de combustible en un inyector de riel común (common rail).

Fuente: sis.cat.com

Cuando el ECM energiza el solenoide (comienzo de inyección) la válvula se levanta de su asiento, permitiendo que pase el combustible a alta presión desde el riel común (common rail) hacia el interior del inyector, levantando la aguja de la tobera

Cuando el solenoide del inyector es des-energizado por el ECM, la válvula bloquea el paso de combustible desde el riel común (Fin de inyección).

El combustible que se queda atrapado luego de desenergizar el solenoide, retorna al tanque por la galería de retorno que está en la culata.

## 4.4 Sistema de Combustible

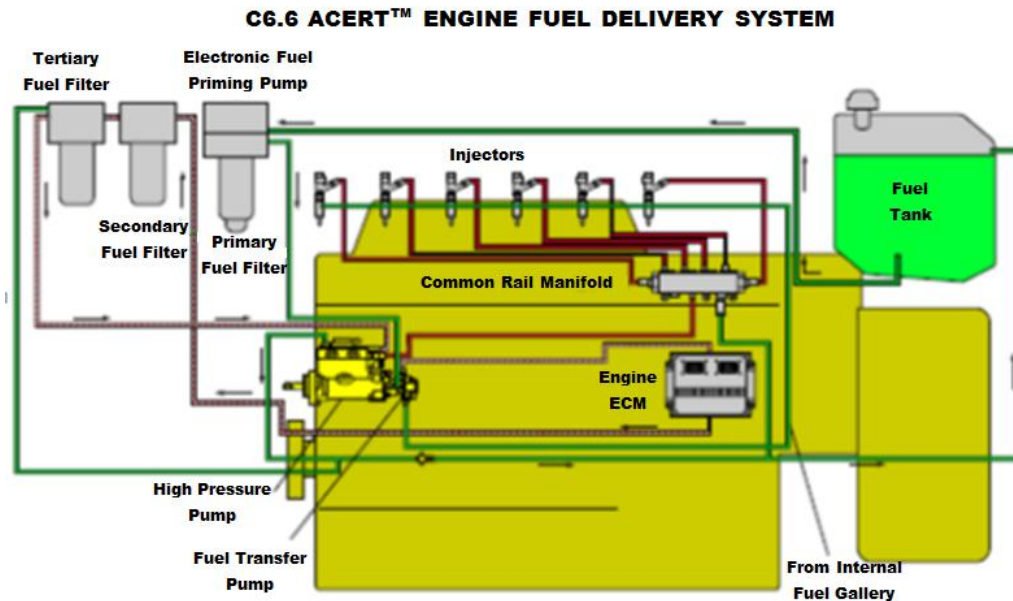


Ilustración N°6 Esquema del suministro de combustible de riel común (common rail).  
Fuente: sis.cat.com

Esta ilustración muestra los componentes y flujo del sistema de combustible de un motor de riel común. Como previamente se describió, el sistema de baja presión suministra combustible limpio a una presión de 43 a 58 PSI, el circuito de alta presión suministra combustible a alta presión para todos los inyectores electrónicos a través del riel común.

La bomba de transferencia succiona combustible desde el tanque a través del bombín de cebado y el filtro primario y envía el combustible a través del ECM; entonces pasa a los filtros secundario y terciario hacia la bomba de alta presión, la válvula check permite que el exceso de combustible retorne al tanque, sin pasar por el circuito de baja presión.

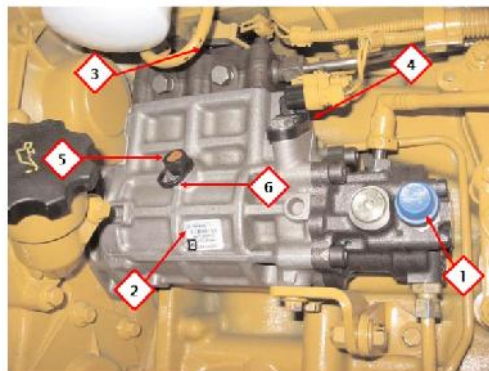


Ilustración N°7 Ubicación y componentes externos de la bomba de inyección de riel común (common rail).  
Fuente: sis.cat.com

La bomba de inyección (alta presión) está montada e impulsada por un engranaje en la parte trasera de la tapa frontal de sincronización en el lado izquierdo del motor; la bomba de transferencia (1) está montada en la parte trasera de la bomba de alta presión.

La bomba de alta presión (2) y el solenoide (3) de la bomba no son reparables; la bomba de transferencia y el solenoide de velocidad y tiempo secundario (4) son los únicos componentes suministrados como repuestos separados de la bomba.

La bomba de inyección debe estar sincronizada con el motor, por lo cual para desmontar la bomba debe colocarla primero en punto (sincronizada) y luego debe bloquear (o fijar) la misma antes de removerla. Para bloquear la bomba afloje el seguro (o pin) de traba (5) y deslice la arandela (6) hasta que el seguro pase por el área mayor de la arandela, y ajuste el seguro a un torque adecuado para fijar la bomba.

La bomba debe estar sincronizada por dos razones:

- El bombeo (embolada) de la bomba debe estar sincronizado con el momento de la inyección.
- El sensor de velocidad y tiempo secundario debe estar sincronizado con el motor.

NOTA.- Cuando remueva la bomba se requiere de una herramienta especial para asegurarse que el eje de la bomba está en la posición correcta (en relación al motor).

La siguiente ilustración muestra el lado izquierdo del motor C6.6 de un tractor de cadenas D6N. El filtro primario de combustible, consiste en una base (1), el elemento de filtro primario (2) y el separador de agua (3). El agua a alta presión puede causar fallas prematuras en los inyectores de combustible debido a la corrosión e inadecuada lubricación entre componentes. El agua debe ser drenada del separador diariamente usando la válvula de drenaje (4) en la base del filtro.

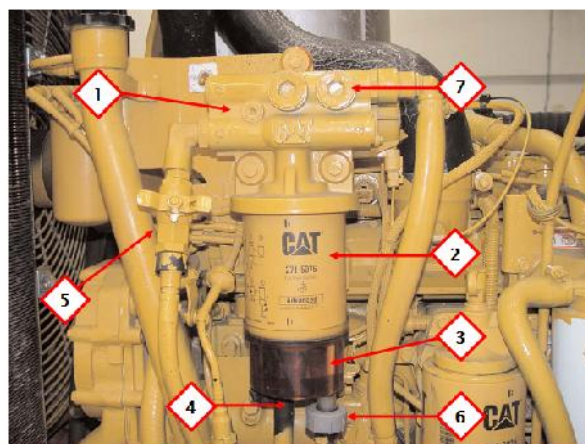


Ilustración N°8 Ubicación y componentes externos del sistema de inyección de riel común (common rail).

Fuente: sis.cat.com

Una válvula de corte del suministro de combustible (5) puede ser instalada en la línea que llega al filtro primario. Esta válvula cortara el flujo de combustible desde el tanque.

Algunos motores C4.4 y C6.6 están equipados con un sensor de agua (6), que envían una señal al ECM de motor cuando existe presencia de agua en *la tasa* del separador. El ECM monitorea primero la salida de este sensor. Cuando ocurre que este circuito está abierto el ECM enciende una luz de advertencia y emite un mensaje de evento en la pantalla de monitoreo la cabina del operador.

La válvula *check* de retorno al tanque (7) puede verse entre el filtro y la válvula de corte de suministro hacia el filtro primario.

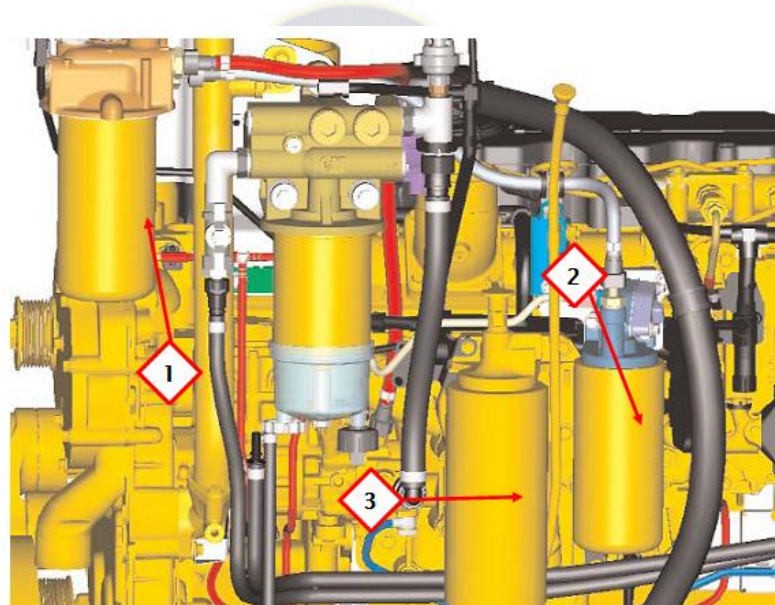


Ilustración N°9 Ubicación de filtros sistema de inyección  
Fuente: sis.cat.com

Esta imagen, muestra el lado derecho del motor C6.6 de un tractor de cadenas D6N.

El filtro secundario (1) es de 2 micrones de capacidad. El flujo de combustible desde de la bomba de transferencia fluye a través del ECM y luego ingresa al filtro secundario. El filtro de seguridad (2) es el tercer filtro en el sistema de combustible de los motores C4.4 y C6.6. El filtro de seguridad o terciario es igual al filtro secundario y filtra a 2 micrones; todo el combustible en el circuito de alta presión debe pasar por los filtros secundario y terciario.

En la imagen también se puede ver el filtro de aceite del motor (3).

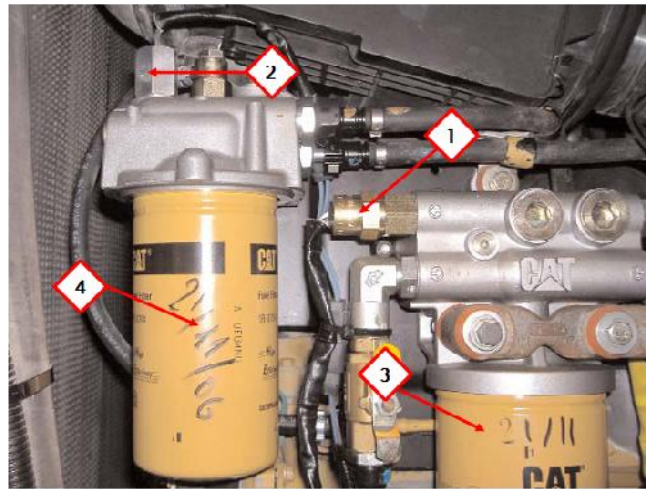


Ilustración N°10 Filtro primario y secundario del sistema de inyección  
Fuente: sis.cat.com

NOTA.- La frecuencia de mantenimiento del filtro terciario, es diferente al resto de los filtros primario y secundario. Por ello para realizar el mantenimiento es necesario revisar el manual apropiado de O & M (Operación y Mantenimiento).

Algunos motores C4.4 y C6.6 están equipados con un sensor de temperatura de combustible (1) y/o un switch (interruptor) de presión de combustible (2) en el filtro secundario; mostrado en esta ilustración.

El sensor de temperatura va montado en la base del filtro primario (3) el sensor de temperatura es parte del sistema de monitoreo. El monitorear la temperatura del combustible al ingreso al sistema de filtración ayuda a prevenir *falsos eventos* por filtro taponado debido a combustible congelado o muy viscoso.

El switch de presión en la base del filtro secundario monitorea la restricción a través de este filtro, el switch instalado en el filtro secundario es similar al instalado en el filtro primario. Si el filtro secundario llega a bloquearse, el switch de presión se abre y el ECM activa una luz de acción, indicando al operador que existe un evento de filtro taponado.

Cuando reemplace un filtro de combustible en un motor C4.4 o C6.6 el sistema de combustible debe ser llenado con el bombín de cebado antes de dar contacto y hacer girar el motor. NO rellene un filtro con combustible antes de instalarlo; esto puede hacer que ingresen contaminantes y dañar el sistema.

Dependiendo como esté equipado el motor, el bombín de cebado puede ser manual o eléctrico.

Si tiene un sistema manual debe accionar aproximadamente 100 veces el bombín de cebado.

Si tiene un sistema eléctrico active el interruptor por 90 segundos aproximadamente para asegurarse que el sistema está lleno, recuerde que la línea de retorno se encargara de sacar el aire del sistema, no afloje ninguna cañería.



El múltiple de combustible o riel común (1) está montado detrás del múltiple de admisión de aire, en el lado izquierdo del motor. El combustible a alta presión ingresa a la riel común por el acople (2). El riel común distribuye el combustible a todas las cañerías de alta presión (3). Las cañerías de acero de alta presión pasan a través de la tapa de balancines y se conectan con los inyectores de combustible.

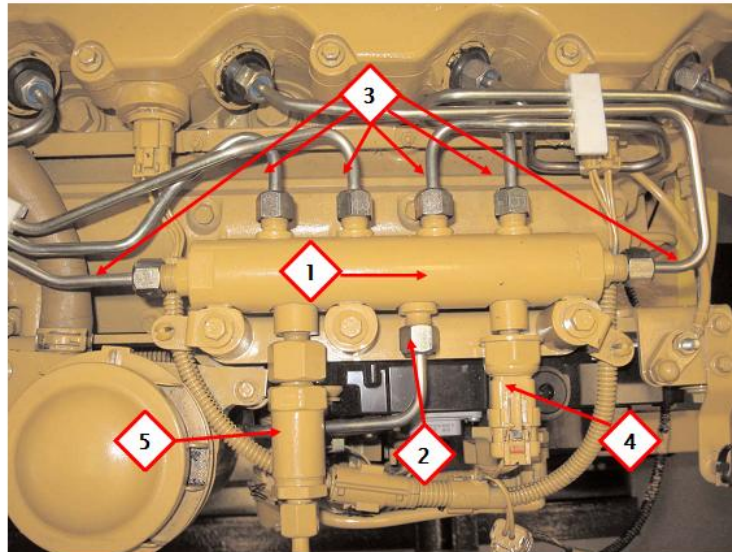


Ilustración N°11 Descripción y ubicación y componentes externos de la distribución del Riel Común (common rail).  
Fuente: sis.cat.com

Un sensor de presión (4) montado en el riel común, es utilizado para monitorear la presión en el interior del riel común.

El ECM toma la señal del sensor de presión del riel común y mantiene la presión óptima en el sistema de combustible dependiendo de la temperatura y carga del motor.

Una válvula de alivio (5) es utilizada para proteger el sistema de alta presión, de picos que pudieran producirse. La válvula de alivio comienza a abrirse a los 160 MPa (23,200 PSI) y soporta un pico de presión de 190 MPa (27,560 PSI). Este sensor no es reparable y de ser necesario, debe remplazarse junto al riel común y las demás partes asociadas.

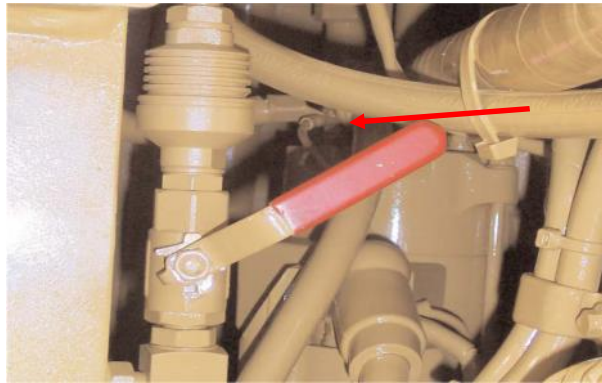


Ilustración N°12 Válvula de alivio del sistema de alta presión de combustible

Fuente: sis.cat.com

El motor C6.6 instalado en el cargador subterráneo R1300G II está equipado con un filtro (cedazo) magnético instalado en la línea entre el tanque y el filtro primario, para atrapar particular metálicas antes que ingresen al sistema.

NOTA.- Algunos motores C4.4 y C6.6 están equipados con enfriadores de combustible, los cuales van instalados entre la bomba de transferencia y el ECM de motor.



## Capítulo 5

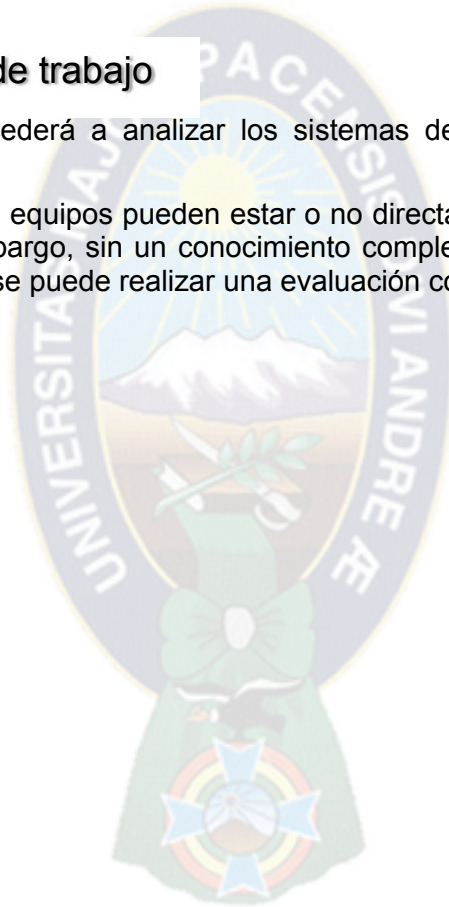
# Análisis de trabajo

Habiendo concluido la parte teórica, se expondrá el análisis de los trabajos realizados en Finning de diferentes equipos Caterpillar con diversos sistemas de combustible, pero manteniendo enfoque en el sistema Common Rail.

### 5.1 Estadísticas de trabajo

A continuación se procederá a analizar los sistemas de combustible de cada equipo intervenido.

Las intervenciones a los equipos pueden estar o no directamente relacionados al sistema de combustible, sin embargo, sin un conocimiento completo del funcionamiento de cada uno de los sistemas no se puede realizar una evaluación completa del equipo.





TRABAJOS REALIZADOS

#	ACTIVIDAD REALIZADA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	# DE SERIE	MOTOR	SIS. DE COMBUSTIBLE	HORAS DEL EQUIPO
1	Mantenimiento de 2500 h.	D6R III	Tractor de Cadenas	GMT00202	C9	HEUI	3128
2	Mejora del Producto	140M	Motoniveladora	B9D01493	C7	HEUI	-----
3	Evaluación AT1 y AT2	140H	Motoniveladora	9TN01302	3306	New Scroll	10669
4	Mantenimiento de 250 h.	966H	Cargador Frontal de Ruedas	A6D01799	C11	EUI	291
5	Evaluación de Bomba Hidráulica	236	Minicargador	4YZ07035	3034	Zexel	3824
6	Evaluación por Derrateo	320C	Excavadora	FBA04351	3064	Zexel	2146
7	Reparación de Culata	950F	Cargador Frontal de Ruedas	2LM00367	3116	MUI	-----
8	Mantenimiento de 250 h.	320D	Excavadora	A8F00871	C6.4	Common Rail	332
9	Reemplazo de ECM	325L	Excavadora	7LJ00193	3116	MUI	-----
10	Mantenimiento de 1000 h.	416E	Retroexcavadora	CB04075	3054C	Delphi DP210	1051
11	Carta de Servicio PI0766	120M	Motoniveladora	B9C00391	C6.6	Common Rail	493
12	Carta de Servicio PI0772	120M	Motoniveladora	B9C00391	C6.6	Common Rail	493
13	Reemplazo de Bomba de Alta Presión e Inyectores	120M	Motoniveladora	B9C00391	C6.6	Common Rail	493
14	Evaluación de Estado del Equipo	D6R	Tractor de Cadenas	6MR00479	3306	New Scroll	6968
15	Evaluación por Ruidos Anormales	320C	Excavadora	FBA04447	3064	Zexel	3296
16	Evaluación por Consumo Excesivo de Aceite de Motor	330DL	Excavadora	JLP00922	C9	HEUI	2124
17	Evaluación de Motor	330DL	Excavadora	JLP00922	C9	HEUI	930
18	Pruebas de Funcionamiento Según Instrucción Especial	938H	Cargador Frontal de Ruedas	MJC00302	C6.6	Common Rail	14
19	Evaluación de Sistema Hidráulico	320L	Excavadora	3XK01128	3116	MUI	10560
20	Mejora del Sistema de Dirección Carta de Servicio PI10780	140M	Motoniveladora	B9D01148	C7	HEUI	3610
21	Mejora del Sistema de Dirección Carta de Servicio PI10780	140M	Motoniveladora	B9D01492	C7	HEUI	2749
22	Mejora del Sistema de Dirección Carta de Servicio PI10780	140M	Motoniveladora	B9D01493	C7	HEUI	2657
23	Mejora del Sistema de Dirección Carta de Servicio PI10780	140M	Motoniveladora	B9D01495	C7	HEUI	2877
24	Mejora del Sistema de Dirección Carta de Servicio PI10780	120M	Motoniveladora	B9C00164	C6.6	Common Rail	882
25	Mantenimiento de 500 h.	320DL	Excavadora	A8F00874	C6.4	Common Rail	576
26	Evaluación por Fuga en Implemetos	416E	Retroexcavadora	CB04453	3054C	Delphi DP210	261
27	Evaluación por Problema de Arranque	C9DI	Grupo Electrónico	MBD04825	C9	HEUI	4004
28	Evaluación de Transmisión	924G	Cargador Frontal de Ruedas	RBB00916	3056E	Rotativa	778
29	Evaluación de Transmisión por Sobre Calentamiento	D6R	Tractor de Cadenas	6MR00568	3306	New Scroll	18602
30	Evaluación de Sistema Hidráulico	320DL	Excavadora	A8F00874	C6.4	Common Rail	576
31	Evaluación AT2	320CL	Excavadora	RAW00650	3066	New Scroll	6000
32	Evaluación de Máquina Parada	938H	Cargador Frontal de Ruedas	JKM000407	C6.6	Common Rail	1373
33	Evaluación del Sistema de Frenos	740	Camión Articulado	B1P00747	C15	EUI	5920
34	Evaluación de Sistema Hidráulico	3126	Camion con Motor CAT	HEP16697	3126	HEUI	-----
35	Evaluación de Radiador	930H	Cargador Frontal de Ruedas	DHC01022	C6.6	Common Rail	60
36	Mantenimiento de 500 h.	320CL	Excavadora	EAG00773	3066	New Scroll	2122
37	Alistamiento del Equipo	416E	Retroexcavadora	CB06288	3054C	Delphi DP210	8
38	Calibración del Sistema Hidráulico	325BL	Excavadora	6DN00481	3116	MUI	-----
39	Arranque del Equipo	320DL	Excavadora	A8F00886	C6.4	Common Rail	1139
40	Instalación de Bomba de Combustible Zexel	320CL	Excavadora	PAB02721	3066	New Scroll	5343
41	Evaluación del Sistema de Combustible	120M	Motoniveladora	B9C00163	C6.6	Common Rail	2466
42	Evaluación y Calibración Hidráulica	330	Excavadora	5YM01767	3306	New Scroll	7004
43	Reemplazo de Bomba de Alta Presión e Inyectores	320DL	Excavadora	KGF00234	C6.4	Common Rail	4017
44	Mantenimiento de 750 h.	966G	Cargador Frontal de Ruedas	ANT00332	3176	EUI	4814
45	Calibración del Sistema Hidráulico	320BL	Excavadora	6CR00930	3066	New Scroll	13421
46	Calibración del Sistema Hidráulico	320BL	Excavadora	5GW00370	3066	New Scroll	21042
47	Reemplazo de Bomba de Alta Presión e Inyectores	120M	Motoniveladora	B9C00163	C6.6	Common Rail	1789
48	Reemplazo de Bomba de Alta Presión e Inyectores	120M	Motoniveladora	B9C00163	C6.6	Common Rail	1789

Ilustración N°13 Cuadro de descripción de trabajos realizados en Finning Bolivia S.A.  
Fuente: Elaboración propia



En la tabla se observan los trabajos realizados en equipos Caterpillar y lo más importante, el modelo de motor y el sistema de combustible. En base a la tabla anterior se realizó la siguiente tabla y los siguientes gráficos que muestran el número y el porcentaje de trabajos realizados según el tipo de combustible.

SISTEMAS DE COMBUSTIBLE	TOTAL
Common Rail	15
Delphi DP210	3
EUI	3
HEUI	10
New Scroll	9
MUI	4
Rotativa	1
ZEXEL	3

Ilustración N°14 Tabla de número de trabajos realizados por sistema de combustible  
 Fuente: Elaboración propia

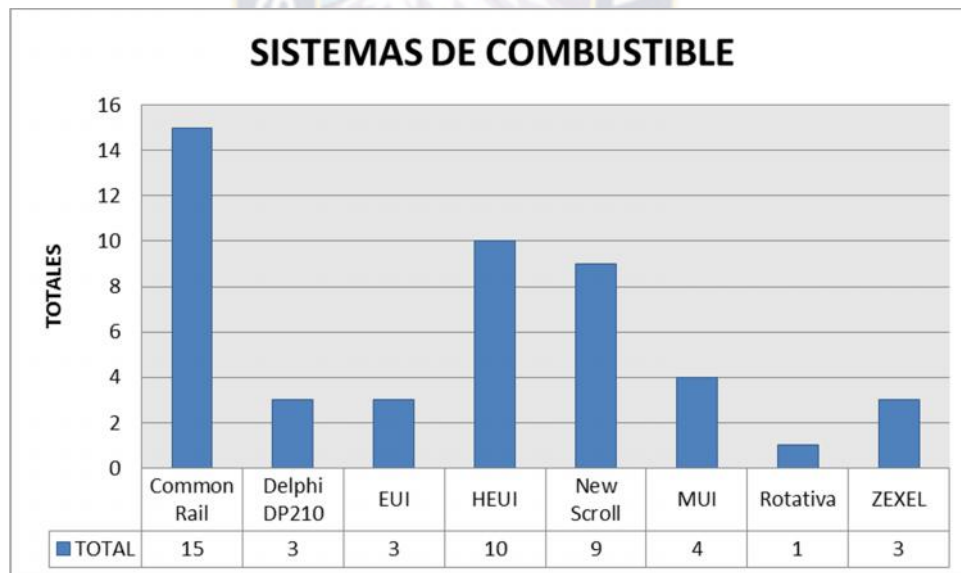


Ilustración N°15 Gráfica del número de trabajos realizados por sistema de combustible  
 Fuente: Elaboración propia

Una vez diferenciados los sistemas de combustible se discriminaron los tipos de trabajos, obteniendo la tabla y las gráficas que se muestran a continuación:



## PORCENTAJE DE SISTEMAS DE COMBUSTIBLE

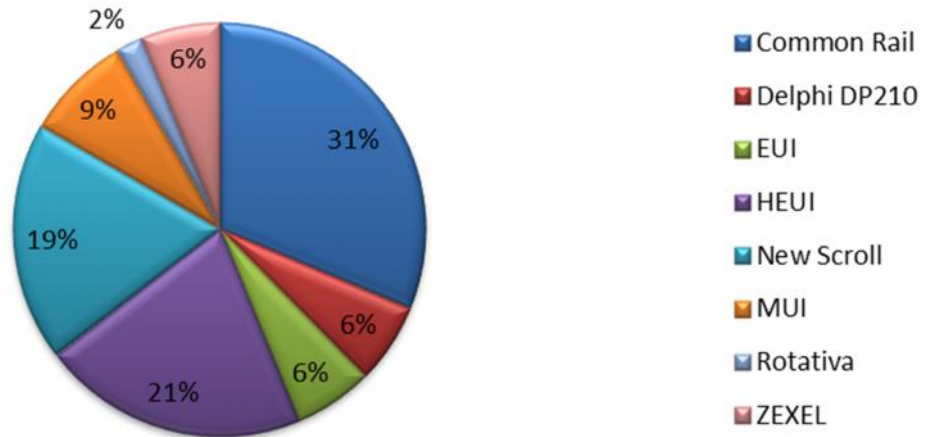


Ilustración N°16 Gráfica de porcentaje de sistemas de combustible en trabajos realizados  
 Fuente: Elaboración propia

TRABAJOS REALIZADOS EN SISTEMA COMMON RAIL	TOTAL
Cartas de Servicio	3
Evaluación de Sistema de Combustible	3
Evaluación de Sistema Hidráulico	1
Mantenimiento	2
Pruebas y Evaluaciones Generales	2
Reemplazo de Bomba de Alta Presión e Inyectores	4

Ilustración N°17 Tabla de trabajos realizados según sistemas de combustible common rail  
 Fuente: Elaboración propia

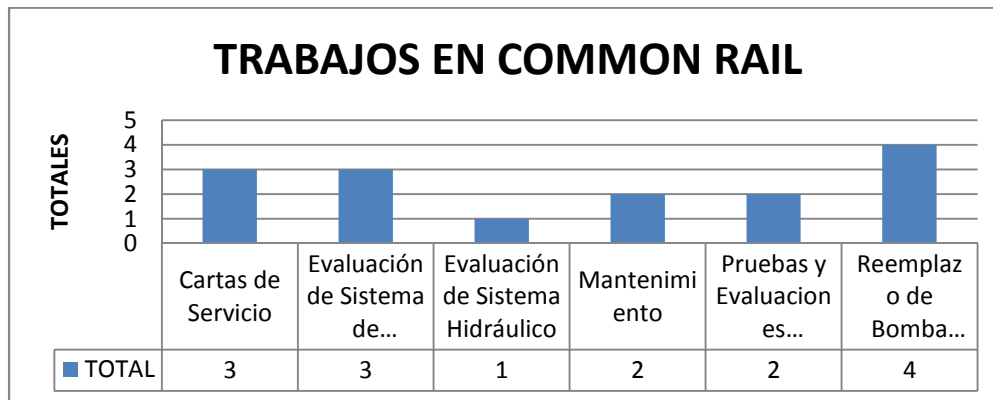


Ilustración N°18 Gráfica de Número de Trabajos Realizados vs Tipo de Trabajo  
 Fuente: Elaboración propia

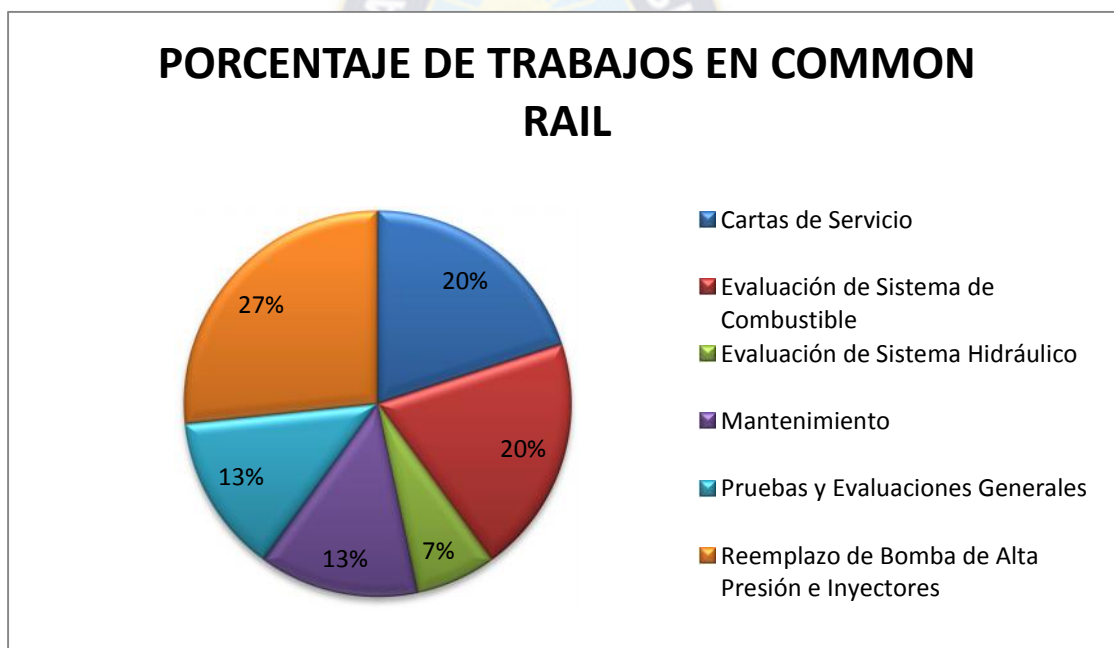


Ilustración N°19 Gráfica de Porcentaje de Tipos de Trabajos Realizados  
 Fuente: Elaboración propia

Además se puede apreciar con facilidad en las gráficas de porcentaje que el sistema de combustible common rail y los tipos trabajos realizados, la evaluación y reparación son los más altos, y esta situación me dio la pauta para realizar el presente informe de pasantía en dicho sistema.

## 5.2 PROPUESTAS DE MANTENIMIENTO

En este punto solo queda hacer algunas recomendaciones de mantenimiento para prevenir el desgaste prematuro de los componentes del sistema, lo cual puede significar



no solo una obvia pérdida de potencia del motor sino también en un elevado costo de económico a la hora de tener que reemplazar componentes dañados ya sea por desgaste prematuro por abrasión, corrosión u oxidación.

### 5.2.1 ALMACENAMIENTO

Sin el almacenamiento y manejo apropiado, aun el combustible más limpio se puede deteriorar o contaminar. Éstas son algunas recomendaciones que hay que tener en cuenta para mantener el sistema de combustible libre de sedimento, tierra y contaminantes del ambiente.

- Periódicamente drenar y lavar todos los tanques de almacenamiento de combustible, incluyendo los tanques de los vehículos de transporte y los tanques fijos. Esto eliminará los sedimentos que entran con la corriente de combustible.
- Mantener limpios los inyectores, las mangueras y todos los componentes relacionados.
- Si un inyector está sucio, limpiarlo completamente antes de usarlo.
- Mantener todas las mangueras, las empaquetaduras y los sellos del equipo de almacenamiento y transferencia de combustible.
- Usar filtros de tubería en todos los equipos de transferencia de combustible.
- Nunca transportar combustible en baldes, embudos u otros recipientes abiertos.
- Sólo adquirir combustible de una fuente confiable y de buena reputación. Para asegurarse de que está obteniendo un producto que mantiene siempre su alta calidad, exigir pruebas periódicas.

### 5.2.2 MANTENIMIENTO

Luchar contra la contaminación de combustible es una tarea de tiempo completo para todos, desde el operador de la máquina hasta los técnicos de mantenimiento. Esta lista de verificación debe ser parte de cualquier programa de inspección diaria:

- Repare inmediatamente cualquier fuga en la tubería de combustible. Si está saliendo combustible, pueden estar entrando los contaminantes.
- Nunca opere una máquina sin la tapa de combustible bien instalada.
- Si la tapa de combustible no sella correctamente, a causa de empaquetaduras deterioradas o de otro daño, reemplácela inmediatamente.
- Asegúrese de que las tuberías de los respiraderos del tanque de combustible estén abiertas y funcionen correctamente.
- No deje funcionar las máquinas hasta el punto de agotar el combustible del tanque. El hacerlo puede enviar los sedimentos del fondo del tanque al sistema de combustible.
- Alerta a los técnicos de servicio y mantenimiento si se presenta inexplicablemente una pérdida de potencia, humo de escape excesivo o





arranque difícil, especialmente cuando el motor está a temperatura de operación.

Cuando cambie filtros:

- Proteja al máximo su motor durante la filtración con los filtros de combustible de alta eficiencia, con filtrado de 2 micrones.
- Siga las recomendaciones programadas de cambio de filtros. Si ocurre un taponamiento prematuro del filtro, revise la calidad del combustible y otras fuentes de contaminación.
- Quite los filtros cuidadosamente y asegúrese de no enviar la suciedad y los escombros del compartimiento del motor a las aberturas.
- Mantenga los filtros en su empaque original hasta el momento de la instalación.
- Nunca llene manualmente un filtro nuevo. El hacer esto permite que parte del combustible llegue directamente al sistema sin pasar por el filtro.

Durante el servicio del motor:

- Limpie la suciedad, el polvo y otros escombros del compartimiento del motor antes de quitar los filtros y otros componentes del sistema de combustible.
- Use un lavador de alta presión para retirar el lodo, el polvo y toda la tierra del motor antes de desarmarlo para las reparaciones.
- Ajuste la tapa y los tapones de todas las aberturas durante las reparaciones, aun si sólo se necesita abrirlos por unos minutos.
- Limpie las piezas reutilizables con disolventes siguiendo los procedimientos apropiados de limpieza y secado.
- Nunca ponga los componentes en el suelo.
- Mantenga las piezas nuevas en su empaque original hasta que sea necesario.
- No reutilice los sellos. Reemplácelos.
- Realice la inspección de rutina de las conexiones de la tubería de combustible desde los tanques hasta la bomba.
- Mantenga la programación regular para el drenaje de los tanques de combustible de la máquina. Semanalmente, para condiciones severas de polvo, y cada tres meses para condiciones normales.

Está por demás recalcar que la limpieza y disciplina al momento de realizar un servicio a un equipo, sea de mantenimiento o de reparación son factores que contribuirán a ahorrar tiempo, esfuerzo y dinero tanto a propietarios como a técnicos que realicen cualquier tipo de trabajo mecánico.

## Capítulo 6

# Conclusiones

De la teoría se puede concluir que en definitiva el sistema common rail es un sistema de combustible bastante sencillo, por su reducido número de componentes y la simpleza en la teoría de funcionamiento. Por lo cual nos enfocaremos en los cuidados necesarios para mantener en condiciones óptimas de funcionamiento el sistema de combustible.

Hoy por hoy los motores diésel que funcionan con este tipo de sistema de combustible son los de mayor eficiencia y mayor potencia, entendamos por eficiencia el obtener la mayor potencia posible de un sistema con la menor fuente de energía requerida o combustible (menor costo de operación).

Esto es posible gracias a las elevadas presiones y múltiples inyecciones de combustible en cada ciclo de combustión en la cámara de combustión en los cilindros de motor. Como sabemos las elevadas presiones de combustible se logran con la bomba de combustible, la cual tiene entre sus componentes una tolerancia de interferencia no mayor a 2.5 micrones para minimizar fugas y consecuentemente reducción de rendimiento. La siguiente gráfica mostrará de forma ilustrativa el tamaño de un micrón.

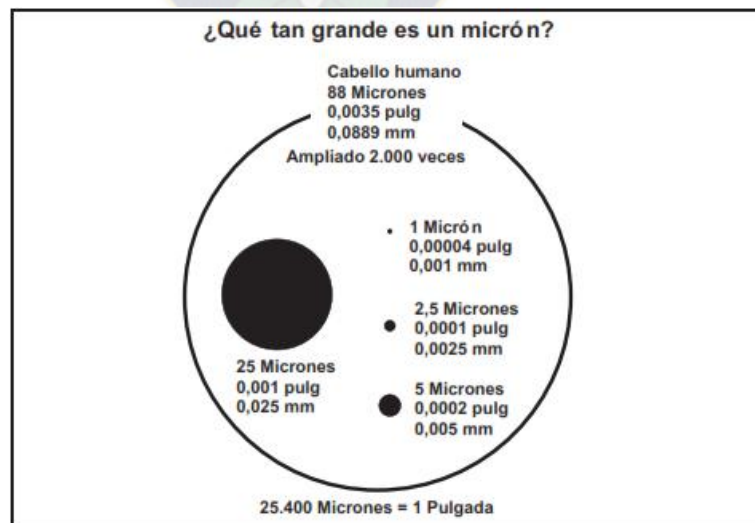


Ilustración N°20 Dimensión de un cabello humano en micrones ampliado 2000 veces  
Fuente: Manual de Control de Contaminación y Conservación de Combustible  
CATERPILLAR



Por esta razón es imperativo dar gran importancia a las causas de origen del desgaste prematuro de los componentes del sistema de combustible. Estas causas son la falta de lubricación o la contaminación del sistema. En el sistema de combustible Common Rail cada uno de los componentes se lubrica únicamente con el combustible que será inyectado en el cilindro del motor para su combustión, por esta razón la limpieza del combustible es un factor más que determinante en la vida útil y por ende en la eficiencia de los componentes y del sistema en general.

El combustible debe ser además de elegido con cuidado para que cumpla con ciertas especificaciones de calidad, también se debe ser cuidado en su almacenamiento y carga al tanque de combustible del equipo, hay que poner énfasis en realizar un mantenimiento preventivo, programado y cuidadoso del sistema.

Las propiedades que afectan la calidad de los combustibles son:

- Peso Específico (Cuanto mayor sea el peso específico, más pesado será el combustible y más energía o potencia por volumen para la utilización del motor)
- Escala API (Sirve para medir el peso específico del combustible, la escala es inversa al peso específico)

<b>Pesos Específicos y Densidades del Combustible</b>		
<b>Peso específico</b>		<b>Densidad</b>
<b>Grados API a 15°C (60°F)</b>	<b>Peso Específico a 15°C (60°F)</b>	<b>Libras por Galón</b>
35	.8498	7.076
36	.8448	7.034
37	.8398	6.993
38	.8348	6.951
39	.8299	6.910

Ilustración N°21 Pesos específicos y densidades del combustible (diésel)  
Fuente: Manual de Control de Contaminación y Conservación de Combustible  
CATERPILLAR

NOTA.- API se entiende como Instituto Americano del Petróleo por sus siglas en inglés (American Petroleum Institute).

- Viscosidad (La viscosidad es una medida de la resistencia a fluir de un líquido. Una viscosidad alta significa que el combustible es espeso y no fluye fácilmente).
- Punto de Enturbiamiento (Es aquella temperatura a la que aparece una nube o niebla en el combustible. El punto de enturbiamiento debe ser inferior a la temperatura mínima exterior para impedir el taponamiento de los filtros).
- Azufre (El azufre es un componente natural del petróleo crudo).



TABLA DEL PETRÓLEO CRUDO		
Características y Propiedades del Combustible	Combustibles que Pueden Alimentar el Sistema de Combustible	
Número o Índice del Cetano (D613 ASTM o Índice Calculado) (Motores PC)	Mínimo	35
(Motores DI)	Mínimo	40
% de Agua y Sedimentos por Volumen (D1796 ASTM)	Máximo	0.5%
Punto de Fluidez (D97 ASTM)	Mínimo	6°C (10°F) Por Debajo de la Temperatura Ambiente
Punto de Turbidez (D97 ASTM)		No Más Alto que la Temperatura Ambiente
<b>Sulfuro (D2788 o D3605 o D1552 ASTM)</b>	<b>Máximo</b>	<b>0.5% - Ajustar el Número Total Base (TBN) para un Mayor Contenido de Sulfuro</b>

Ilustración N°22 Tabla de características químicas demandadas para el petróleo crudo  
 Fuente: Manual de Control de Contaminación y Conservación de Combustible  
 CATERPILLAR

NOTA.- ASTM se entiende como Sociedad Americana para el Ensayo y Materiales por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials).

- **Ácido Sulfúrico**  
 Azufre + Vapor de agua = Ácido sulfúrico  
 Para limitar la formación de ácido sulfúrico:
  1. Mantener la temperatura del motor por encima de 80°C evitando condensación.
  2. Usar un aceite con un Número de Base Total o TBN (por sus siglas en inglés Total Base Number) suficiente para contrarrestar los ácidos.
- Índice de Cetano (Un bajo índice de cetano produce una mala combustión, exceso de ruido y humo).
- Contaminación por Agua (Al cargar combustible al tanque o por condensación en el tanque de combustible).
- Contaminación por Sedimentos (Óxidos, incrustaciones, escorias de soldadura, polvo o cualquier otro residuo en el combustible).

Para finalizar espero que el presente trabajo impulse a otros estudiantes y profesionales a buscar posibles soluciones y mejoras a los problemas citados en este sistema de combustible diésel, que es uno de los más utilizados a nivel mundial.



## Bibliografía

- Manual de Operación y Mantenimiento CATERPILLAR
- Manual de Operación de Sistemas CATERPILLAR
- Manual de Pruebas y Ajustes CATERPILLAR
- Cartas de Servicio CATERPILLAR
- Instrucciones Especiales CATERPILLAR
- Manual de Motores ACERT
- Manual de Control de Contaminación y Conservación de Combustible CATERPILLAR

## Cibergrafía

- Sistema de Información de Servicio web CATERPILLAR: <https://sis.cat.com>

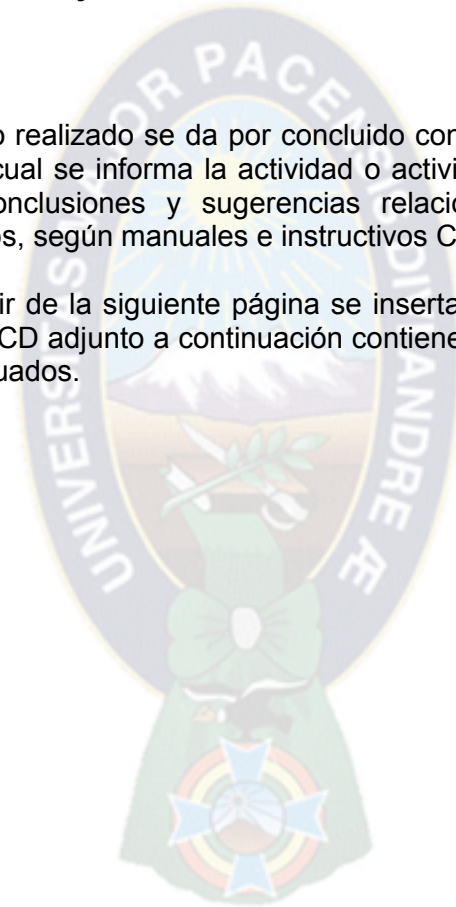


## Anexos

### A. Informes de trabajos realizados en Finning Bolivia sucursal La Paz

En Finning cada trabajo realizado se da por concluido con la presentación de un informe final del trabajo, en el cual se informa la actividad o actividades efectuadas, los posibles trabajos a realizar, conclusiones y sugerencias relacionadas al equipo, sistema o componente intervenidos, según manuales e instructivos Caterpillar.

A continuación y a partir de la siguiente página se inserta un informe tipo de uno de los trabajos realizados. El CD adjunto a continuación contiene en formato digital los Informes de los 48 trabajos efectuados.





# REPORTE DE TRABAJO

BP05587\_140H\_OAS\_JT-RF\_AT1-AT2\_28-10-09

**Sucursal:** LA PAZ **Fecha:** 4-11-09  
**Asunto:** Análisis Técnico 1 y 2 **Orden:** BP05587  
**Periodo:** 4° Semestre 2009  
**Elaborado por:** JUAN TINTAYA Y RICARDO FERNANDEZ

<b>Cliente:</b>	OAS	<b>W/O Relacionada:</b>	
<b>Modelo de Máquina:</b>	140H	<b>Componente:</b>	TRANSMISION
<b>S/N Máquina:</b>	9TN01302	<b>S/N Componente:</b>	4MY11486
<b>Arreglo de Máquina:</b>		<b>N/P Componente:</b>	144-2234
<b>Horas Máquina:</b>	10669.9	<b>Horas Componente:</b>	

## 1.- ANTECEDENTES

- Por instrucciones de Jefatura de Servicios se procedió al viaje a Camargo – Sucre para realizar los Análisis Técnico 1 y 2 de una moto-niveladora 140H.

## 2.- TRABAJOS REALIZADOS

- Se realizó el Análisis Técnico 1 con las siguientes consideraciones:
  - La máquina presenta daños considerables en el sistema de dirección (en parte mecánica e hidráulica) los tandems (izquierdo y derecho). Ruptura de piezas metálicas y mangueras.
  - También se encontraron fugas en turbo y empaquetadura de motor de arranque
  - Falta de mantenimiento en el engrase de todos los componentes móviles con lubricación con grasa.
  - Se adjunta formulario AT1.
- Se realizó el Análisis técnico 2 con las siguientes consideraciones:
  - Se tomaron datos necesarios para evaluar el estado de motor, encontrando todos los datos normales en contraste con los datos especificados por el fabricante.



- Del sistema de refrigeración todo se encuentra normal.
- Del sistema de carga solo se encontró una fuga en la empaquetadura del motor de arranque con la campana del volante de inercia del motor.
- De las pruebas y toma de presiones del sistema de transmisión se puede decir que existe daño interno en los componentes de los mandos finales y tandems de ambos lados de la máquina.
- Además se pudo advertir el mal estado de los frenos de servicio.
- En las pruebas de presión del sistema hidráulico se obtuvieron datos en el límite especificado por el fabricante, se recomienda su regulado.
- Se observaron fugas en el cilindro izquierdo de levante de la hoja, de desplazamiento lateral de la hoja y en los cilindros de la dirección.

### 3.- ANALISIS DE FLUIDOS

- Se tomaron muestras de los siguientes fluidos:
  - Aceite de motor
  - Aceite de transmisión
  - Aceite hidráulico
  - Aceite de tandem derecho
  - Aceite de tandem izquierdo

### 4.- RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

- De los análisis de aceites se puede observar:
  - Análisis de aceite de motor.- No se encuentra ninguna anomalía en los niveles de particulado, se puede seguir utilizando el aceite pero se recomienda muestreo de aceite en las próximas 100 hrs.
  - Análisis de aceite de transmisión.- Se encontró particulado de cobre y plomo, por lo que se recomienda diluido del aceite de transmisión, reemplazar los filtros y muestreo en siguientes 250 hrs.
  - Análisis de aceite hidráulico.- Se encontró una significativa presencia de sodio, se recomienda cambiar el aceite hidráulico y los filtros de aceite del sistema, además muestreo en las siguientes 250 hrs.
  - Análisis de aceite de tandem derecho.- Desgaste y contaminación de tierra, se recomienda reemplazar el aceite del tandem y limpiar el interior del mismo.



- Análisis de aceite de tandem izquierdo.- Desgaste y contaminación de tierra, se recomienda reemplazar el aceite del tandem y limpiar el interior del mismo.
- Como prioridad se recomienda reparar los tandems, los cuales (izquierdo y derecho) se encuentran dañados exterior e interiormente, así como reparar el sistema de dirección.
- NOTA.- Se adjunta listas de recomendación de repuestos, se recomienda reemplazar todos los componentes citados para mejor la eficiencia de la máquina.

## 5.- ANEXOS



Fotografías de la máquina con el tren de dirección delantero desmontado, con partes dobladas y rotas, también se observan todas las mangueras de dirección rotas.



Placa de identificación de la máquina y horómetro.



Tren delantero de dirección, mangueras de dirección rotas y piñón de sujeción y articulación de dirección roto. Además faltan faroles delanteros.



Todas las mangueras de dirección hacia los cilindros de dirección rotas.



Eje pivote de tren delantero roto y soportes de chasis doblados y dañados por golpe y sobrecarga.



Cilindros de dirección contaminados y con fugas de aceite, vástagos flectados.  
Articulación de dirección presenta pasadores rotos.



Cilindros de dirección con fugas y vástagos flectados.



Housing del tandem roto en unión de soldadura y doblado.



Soporte de eje de diferencial a tandem de ambos lados roto y doblado.



Soporte de eje de diferencial a tandem de ambos lados roto y doblado.



Tope de angulación del tandem roto en la parte del tandem y en el chasis doblado junto al chasis.



Cilindro de desplazamiento lateral de la hoja presenta fuga en los retenes.



Ruedas delanteras dobladas, neumáticos desgastados.



Articulaciones y puntos de engrase no engrasados o lubricados.



Filtros no recomendados



Turbo presenta fuga por línea de retorno



Uña de ripper central presenta desgaste excesivo.



Vidrio de cabina inferior delantero derecho clisado



Reflectorio trasero izquierdo roto.



Caja de herramientas abollada.



Neumáticos traseros presentan desgaste excesivo.



Líneas de aire de frenos doblas y rotas.



Filtro de aire primario obstruido por tierra.

El servicio fue realizado en:	TALLER:	CAMPO:	X
1.- ¿Fue realizada la comprobación de limpieza de la máquina, utilizando la tecnología de conteo de partículas mediante Laboratorio de Fluidos S.O.S. o Equipo portátil (PAMAS) en alguno de los siguientes casos? ::			
	SI	NO	N/A
	Cod. ISO final Obtenido:		





- Antes de la entrega de una <b>máquina nueva</b> , si la preparación de la máquina haya involucrado la invasión del sistema con especificaciones de limpieza de fábrica?			X	
- Antes de la entrega de la <b>reparación</b> de la máquina, si se intervino un sistema con especificaciones limpieza de fábrica – <b>Campo</b> ?			X	
- Antes de la entrega de la <b>reparación</b> de la máquina, si se intervino un sistema con especificaciones limpieza de fábrica – <b>Taller</b> ?			X	
<b>2.- En basado a la inspección previa (Pregunta Nro. 1.-), se tomaron las siguientes acciones? :</b>				
- Se filtró el aceite hasta que cumpla con las especificaciones de limpieza de fábrica Caterpillar?			X	
- Se realizó el cambio de aceite nuevo dializado que cumpla con especificaciones de limpieza de fabrica Caterpillar?			X	
- Se realizó el cambio de filtros nuevos con especificaciones de fabrica Caterpillar en el equipo?			X	
<b>3.- Los componentes que fueron evaluados, reparados y probados (de ser posible), fueron enviados al trabajo con especificaciones de limpieza de fabrica Caterpillar?</b>	X			

