



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELECTRICA**

**“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMBUSTIBLE D-2  
EN LOS MOTORES CATERPILLAR MODELO C4.4 DIT PARA REDUCIR  
COSTOS DE MANTENIMIENTO DE INYECTORES Y AUMENTAR  
DISPONIBILIDAD DE LA UNIDAD CAT 420F – MINA TINTAYA – CUSCO”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

**Almonacid Laureano Antonio Manuel**

**ASESOR:**

**Mg. Ing. Julca Verástegui Luis**

**Línea de investigación:**

**Sistemas y planes de mantenimiento**

**Trujillo – Perú**

**2016**

## **PÁGINA DEL JURADO**

El jurado evaluador del trabajo de investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico que ha presentado el bachiller en mención, acuerda aprobar por unanimidad y recomiendan la publicación y difusión del mismo para el conocimiento de la comunidad académica.

Ing. Eduardo Fausto Azabache Vásquez

**PRESIDENTE**

Ing. Javier León Lescano

**SECRETARIO**

Ing. Luis Julca Verastegui

**VOCAL**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

- A Dios quien supo guiarme por el buen camino y permitir llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.
- A mis padres Miguelina Laureano, Lucio Almonacid, que con su ejemplo y enseñanzas me demostraron; que todo lo que nos proponemos se puede lograr con mucho esfuerzo, empeño, sacrificio y dedicación. Gracias por el apoyo incondicional, moralmente, anímicamente y sabios consejos.
- A mis superiores y compañeros de trabajo, por compartir sus experiencias para poder lograr mejora continua laboral.
- A mi alma mater, Universidad César Vallejo.

El Autor

## AGRADECIMIENTO

- A Dios, ya que siempre ha estado conmigo al momento de tomar decisiones que hasta ahora han sido significativas en mi vida diaria.
  
- A mis asesores: Mg. Ing. Julca Verástegui Luis y Ing. León Lescano Javier por sus consejos metodológicos para mejorar la estructura en mi trabajo de tesis.  
|
  
- A todos mis profesores que me acompañaron a lo largo de mi carrera estudiantil, por brindar sus conocimientos y depositar su confianza para poder mejorar cada día en el campo laboral.
  
- A todas las personas que me apoyaron constantemente, que forman parte de mi vida día a día.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Almonacid Laureano Antonio Manuel con DNI N° 10383587, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es verás y auténtica y que ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y bibliografía que constan al final de la tesis. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

A efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de grados y títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presentan en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por la cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

---

**Almonacid Laureano Manuel A**

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada *“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMBUSTIBLE D-2 EN LOS MOTORES CATERPILLAR MODELO C4.4 DIT PARA REDUCIR COSTOS DE MANTENIMIENTO DE INYECTORES Y AUMENTAR DISPONIBILIDAD DE LA UNIDAD CAT 420F – MINA TINTAYA – CUSCO”*, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

El Autor

## INDICE

Acta de sustentación .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Declaración de Autenticidad .....	v
Presentación .....	vi
Índice .....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
I. INTRODUCCION .....	10
1.1. Realidad problemática .....	10
1.2. Formulación del problema .....	28
1.3. Hipótesis.....	29
1.4. Objetivos.....	29
II. MARCO METODOLOGICO.....	30
2.1 Variables .....	30
2.2 Operacionalización de variables .....	31
2.3 Metodologías.....	31
2.4 Tipos de estudio.....	32
2.5 Diseño .....	32
2.6 Población y muestra .....	32
2.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
2.8 Método de análisis de datos.....	42
III. RESULTADOS.....	45
IV. DISCUSION .....	58
V. CONCLUSIONES .....	62
VI. RECOMENDACIONES .....	62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	63
ANEXOS .....	64

## RESUMEN

El presente informe de investigación titulado *Mejoramiento del sistema de tratamiento combustible D-2 en los motores Caterpillar modelo C4.4 DIT para reducir costos de mantenimiento de inyectores y aumentar disponibilidad de la unidad CAT 420F – mina Tintaya – Cusco*, se desarrolló con el propósito de seleccionar un nuevo filtro de combustible con una mayor eficiencia y así lograr aumentar la vida útil de los inyectores y en consecuencia aumentar la disponibilidad de la unidad vehicular en la cual está instalado el motor antes mencionado.

Al desarrollarse el trabajo de investigación se tuvo en cuenta la metodología de trabajo experimental pues se estudió a una unidad y se midieron parámetros directamente en los inyectores y en el motor, haciendo uso de una interface tecnológica que monitorea los sensores como el caudal y presión de inyección a los cilindros del motor, además de los registros de horas de funcionamiento y de parada detallados por el personal de la unidad de mantenimiento de estas unidades.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis que si existe influencia significativa de la mejora en el sistema de tratamiento de combustible con la instalación de un nuevo filtro de alta eficiencia (99.9%) sobre la disminución de los costos de mantenimiento, ya que se reducen en un 24.7% logrando un ahorro de .S/10,338.34 nuevos soles y en la disponibilidad de la unidad aumentándola hasta un 98.18%.

Palabras clave: inyector, retroexcavadora, filtro de combustible.

## ABSTRACT

This research report entitled Improving fuel system treatment D-2 in Caterpillar C4.4 DIT engine model to reduce maintenance costs and increase availability injectors CAT 420F unit - Tintaya mine - Cusco, was developed with the purpose selecting a new fuel filter with greater efficiency and achieve increase the life of the nozzles and thus increase the availability of the vehicular united in which the aforementioned engine is installed.

When the research work developed took into account the methodology of experimental work it was studied a unit and parameters were measured directly on the injectors and engine, using a technology interface that monitors the sensors and the flow rate and pressure injection to the engine cylinders, plus records operating hours and shut down by the unit staff maintenance of these units.

The results confirm the hypothesis that if there is significant influence of the improvement in the treatment system fuel by installing a new high efficiency filter (99.9%) on the reduction of maintenance costs, as are reduced 24.7% achieving savings .S / .10338.34 Nuevos soles and the availability of the unit increasing it up to 98.18%.

Keywords: injector, backhoe, fuel filter

## I. INTRODUCCION

Los motores de combustión interna en la actualidad, brindan más potencia, tienen mejor respuesta y mayor economía de combustible. Pero también son más susceptibles al desgaste y al daño, debido a las altas presiones de inyección utilizadas actualmente (18000 PSI) y la presencia de contaminantes en el combustible actúa como proyectiles en la punta del inyector y también erosionando componentes del sistema de inyección de combustible. Comparando con el motor convencional 3054C DIT y el motor en estudio C4.4 DIT los dos Caterpillar de estructura básica igual, es decir de las mismas características en aplicación, cilindrada 4.4 L. y desplazamiento. Tienen potencia neta y presiones diferentes. 85.8 HP- 100HP respectivamente al igual que sus presiones de inyección 5075 psi – 18000 psi. [Sistema de información Caterpillar 10/09/2006 USA]

Este planteamiento practico nos demuestra que la calidad de combustible puede seguir siendo la misma pero lo que ha incrementado el desgaste de los inyectores y componentes del sistema de inyección del motor, es el cambio de presiones y por lo tanto la velocidad de las impurezas dentro del funcionamiento del motor.

La contaminación de combustible es una preocupación en todos los motores diésel. Esto es más importante ahora, ya que los fabricantes diseñan motores diésel más económicos y que no dañan el medio ambiente. El aumento del control de emisiones y del ahorro del consumo de combustible requiere presiones de inyección más altas y tolerancias mayores entre los componentes. Para obtener altas velocidades se exige tener componentes de precisión que obligan a controlar al máximo el desgaste y la abrasión de los elementos componentes del dispositivo de inyección. [Departamento de investigación Bosh corporation]

Los sistemas de inyección diésel actuales son electrónicos más eficientes pero a la vez más susceptibles al deterioro con las impurezas, los motores de tecnología avanzada utilizan conductos muy reducidos a comparación de los anteriores por lo que se hace necesario proteger el sistema de combustible D2.

El yacimiento mineral Tintaya, ubicado en la provincia de Espinar en el Cusco, es un depósito de cobre tipo skarn que consiste de rocas sedimentarias cretáceas invadidas por minerales portadores de cobre Cu. Es así que la compañía no solo lleva adelante una operación minera de primera calidad con irrestricto respeto del medioambiente, sino que también brinda apoyo decidido a la mejora permanente de las comunidades del entorno de yacimiento promoviendo el desarrollo sostenible y el fortalecimiento de capacidades. Las reservas minerales probadas y probables incluyen 10 millones de toneladas con 1% de sulfuros y óxidos acopiados para su tratamiento durante el tiempo

restante de vida de la mina. Este estimado se basa en un modelo de bloques de recursos que se construyó dentro de los límites ecológicos y tomando en cuenta datos históricos de ensayos que comprenden aproximadamente 651 mil metros cuadrados de perforación diamantina y de circulación inversa, que en su mayor parte está vinculado a sulfuros y asociados a minerales oxidados. Estos dos tipos requieren de procesos productivos diferentes, pero en ambos casos el punto de partida es el mismo: la extracción de material desde la mina a tajo abierto que en forma de rocas, es transportado en camiones a la planta de chancado, para continuar allí el proceso productivo.

La duración o vida útil nominal de un inyector establecida por el fabricante Caterpillar es de 4000 horas, llegando a trabajar un promedio de 3800 horas en EEUU, en el Perú, de acuerdo a los reportes de la unidad de mantenimiento de Minera Tintaya, para los mismos componentes considerando las mismas condiciones de trabajo, están alcanzando una vida útil promedio de 2200 horas de trabajo. Esto se demostró con la evaluación realizada en algunas unidades retroexcavadoras 420F, con el equipamiento adecuado de la unidad de mantenimiento, que dispone del escáner (ET), que se utiliza para monitorear el funcionamiento del motor de la unidad, siendo los reportes de los tiempos de operación de la unidad mostrados en la tabla N°A1 en los anexos, en la cual se aprecia que el tiempo total mensual al cansado fue de 1850 horas, correspondiente a una disponibilidad del 83.73% de la unidad retroexcavadora 420F con un motor Caterpillar Modelo C4.4 DIT.

Los motores diésel que cuentan con el sistema riel común (comon riel) están siendo utilizados actualmente y se dañan rápidamente por la presencia de impurezas, dañan sensores válvulas del inyector, válvulas relief y otros componentes de precisión, ésto acelera el cambio más frecuente de sus componentes elevando el costo de mantenimiento de los motores. En general los problemas de funcionamiento por el empleo del diésel D2 contaminado son entre los más importante que disminuye la vida útil de componentes del sistema de inyección y puntualmente el inyector, de tal forma que ocasiona la parada inesperada de la unidad, afectando así la disponibilidad en este caso específico la retroexcavadora 420F Caterpillar.

La presente investigación se realizó con el propósito de mejorar el sistema de inyección y en consecuencia el sistema de filtrado de inyección de combustible al aumentar la vida útil de los inyectores del motor Caterpillar modelo C4.4 DIT de la unidad retroexcavadora 420F, donde el objeto de estudio fue el sistema de inyección del motor, puntualmente el inyector, con lo cual se analizó su funcionamiento, desgaste, duración, y eficiencia, para lo cual el inyector materia de investigación no fue necesario desmontarlo del motor, ya que se monitoreó con un software de

interface denominado ELECTRONIC TECHNIAN, el cual nos mostró información como el tiempo de instalación o funcionamiento, la presión de inyección y el volumen de suministro de cada inyector para cada cilindro.

El deterioro de la bomba de inyección y de los inyectores, se debe puntualmente por la presencia de impurezas en el combustible que en el Perú se utiliza actualmente y esto fue demostrado por el estudio realizado por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el Instituto de investigación de física en el año 2009, realizado por Andrés Valderrama Flores (Perú, 2009) sobre el *Desgaste en los sistemas de inyección diésel por efecto del elevado contenido de azufre en el petróleo diésel 2*, donde se concluyó que estos problemas no se presentan en países con control más estricto de la calidad de combustible, y que las picaduras y erosión en los asientos de las válvulas poppets se han producido por el empleo de combustible diesel D2, con elevado contenido de azufre (4735 PPM) y los sistemas de inyección con control electrónico sólo permiten el empleo de combustible con 500 PPM de azufre. Además concluye que los pulverizadores de los inyectores y los asientos de las válvulas poppets del motor Caterpillar 3412 HEUI, poseen niveles de desgaste superiores al límite máximo permisible, originado por el elevado contenido de azufre en el D2, sustentando sus resultados en que el efecto directo del elevado contenido de azufre en el D2, se manifiesta en el contenido elevado de plomo (Pb) y fierro (Fe), en los vestigios de erosión en los asientos de la válvula Poppets, del inyector; en el desgaste de los pulverizadores de los inyectores y en la presencia de picaduras en el asiento de la válvula Poppets, con los pulverizadores desgastados de los inyectores, se incrementa el consumo de combustible, disminuye la potencia y se incrementa el nivel de emisiones de hollín en los gases de escape.

En la investigación realizada en la Universidad Nacional de Ingeniería por Karim Lidia Poma Flores (Lima, 2004), sobre el *Desarrollo y aplicación de la medida del flujo de cantidad de movimiento de un Chorro de combustible diesel D2*, se concluyó que se ha estudiado el flujo interno en el interior de los orificios. Para ello se ha empleado la medida de  $f_{CdM}$ , la cual, a la postre, se ha mostrado como una interesante herramienta para este tipo de estudios, ya que, mediante ésta y la medida de flujo másico se puede estimar la velocidad y área efectiva, parámetros que, junto a los coeficientes dimensionales derivados de ellos, son de inestimable ayuda a la hora de analizar los fenómenos que tienen lugar en el interior de los orificios de inyección. Se ha realizado un estudio sobre toberas convergentes cada una con un diámetro de orificio diferente, y por lo tanto diferente relación longitud-diámetro y debido a la ausencia de cavitación, la cual hubiera enmascarado los resultados, se ha podido analizar la aparición y nivel de desarrollo de la turbulencia según varía el número de Reynolds, además de la influencia que sobre ésta tiene la diferente relación  $L/D$  de cada

tobera. Así, se ha podido comprobar cómo para altos números de Reynolds el flujo a la salida del orificio se encuentra en régimen turbulento completo.

En la Universidad de Bogotá, Colombia, 2001, José Ramón Pérez Prado, realizó el *Estudio de la influencia del contenido de agua sobre la calidad de un combustible tipo diésel D2*, en el que estudió el efecto que sobre la calidad de un gasóleo de automoción (clase A) produce el contacto del mismo con distintos porcentajes de agua, y la posible influencia que en dicha calidad tenga no sólo el contacto con el agua sino también el tiempo transcurrido durante su almacenamiento en condiciones ambientales. Los resultados obtenidos para los distintos parámetros estudiados se recogen con las muestras de gasóleo combustible a partir de las cuales se han realizado las mezclas debido a la variabilidad estacional de alguna de las propiedades inherentes a su calidad, así como la legislación en vigor en el momento en que se ha procedido a la realización de los ensayos conducentes a la obtención de los resultados expuestos.

La presente investigación nos permitió reducir los costos de mantenimiento no sólo de los inyectores sino del motor en general porque del sistema de combustible depende el rendimiento óptimo del motor y la vida útil de los componentes del mismo y al mismo tiempo aumentar la disponibilidad de la retroexcavadora 420F. Los niveles altos de azufre, agua e impurezas, dificultan la buena combustión y por lo mismo aumentan las emisiones de partículas emisión de gases al medio ambiente, agravando el problema contemporáneo de conservación de medio ambiente y principalmente en lo que a salud humana se refiere. Así como el cumplimiento de las normas internacionales como la ASTM D975 que estipula que el contenido de partes de partículas y azufre en el combustible sea inferior a 500 ppm, lo cual nos permitió colaborar en la disminución de la contaminación ambiental por estos tipos de motores. Así mismo el presente trabajo de tesis permitió establecer los criterios para proteger a los componentes del sistema de combustible de los motores diésel en general, con lo cual estaremos disminuyendo los costos de mantenimiento y operación, sentando un precedente para ser tomado en cuenta por los fabricantes, consumidores y expendedores de combustible. En consecuencia esta investigación permitió corroborar de manera experimental las afirmaciones científicas acerca del daño de las impurezas y el sulfuro en los inyectores.

En la empresa BOUBY SAC en la MINA TINTAYA, se realiza el mantenimiento preventivo de motores a combustión interna Diésel, el cual se ejecuta cada 250 horas de operación, demorando, en promedio, 3 a 4 horas por unidad. En este caso, el mantenimiento consta en cambio de elementos de una sola vida útil, como son los filtros de combustible y aceite, sin embargo, también se realiza el mantenimiento correctivo de los inyectores, cuando éstos han alcanzado un nivel de desgaste

importante que en la mayoría de los casos produce la reducción de la potencia entregada por los motores, y en otros, el deterioro del motor, pues ya no puede desarrollar la potencia necesaria para su operación eficiente. Estos fenómenos conllevan a tener resultados bajos en cuanto a la disponibilidad de los motores y terminan en paradas inesperadas de la unidad retroexcavadora 420F.

El sistema de combustible a baja presión que actúa en la bomba de transferencia de combustible mostrada en la figura N°1.1 extrae combustible del tanque de combustible a través del separador de 20 micrones de agua, en el que el agua del combustible se precipita en la parte inferior de la caja del separador. La bomba de transferencia de combustible envía el combustible a baja presión 400 a 500 kPa (58 a 72,52 psi) al filtro de combustible. Desde el filtro de combustible, el combustible circula por la tubería de suministro pasando a la bomba inyectora. Esta, recibe el movimiento desde el motor generalmente a través de un accionamiento como la distribución, de forma tal que gira sincronizada con él, y a la mitad de revoluciones en el motor.

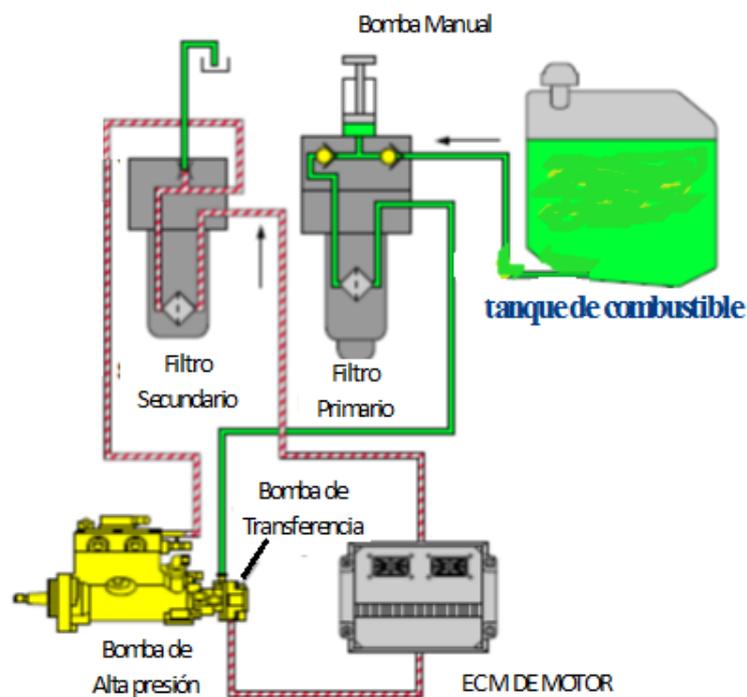


Figura N°1.1 Circuito de combustible de un motor térmico

Para el Sistema de Combustible de alta presión, la bomba de alta presión envía combustible por la tubería de combustible de alta presión, como se muestra en la figura N°1.2, la cual la transporta al múltiple de combustible de alta presión, el combustible está a una presión de 10152,7 a 18855 psi. Un sensor de presión vigila la presión deseada en el múltiple de combustible de alta presión, cada

inyector dispone continuamente de combustible de alta presión y la computadora determina el tiempo correcto para activar el inyector unitario.

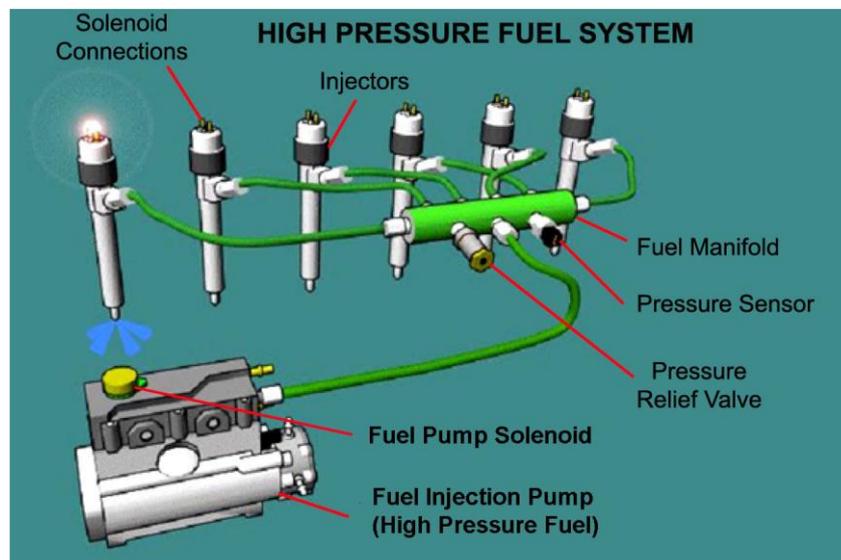


Figura N°1.2 Sistema de combustible en alta presión

Los inyectores son componentes de sistema hermético, pues cada inyector envía la cantidad correcta de combustible a alta presión en el momento adecuado a los cilindros individuales a través de las boquillas de inyección. Esta acción controla la velocidad (rpm) del motor por medio del ajuste del regulador o posición del acelerador y por la información de todos los sensores que intervienen en el funcionamiento del motor, como lo podemos apreciar en la figura N°1.3. Estos inyectores se encuentran constantemente alimentados de combustible a alta presión, que esta aproximadamente entre 10000 y 18000 PSI, para ser utilizados en la combustión en el momento y tiempo adecuado para el buen funcionamiento del motor.

De acuerdo al fabricante estos inyectores no son posibles de repararlos, y por tanto no distribuyen accesorios para darle mantenimiento y/o repararlos, es decir son de una sola vida. Cuando llega a su límite de uso o vida útil es recomendable cambiarlos para no afectar al motor, ya que cuando se continua utilizando el mismo inyector el motor puede seguir operando pero su eficiencia es mucho menor y además se está dañando los cilindros del motor por haber exceso de combustible en la cámara de combustión creando más carbón, aumentando la vibración, y las emisiones al medio ambiente.

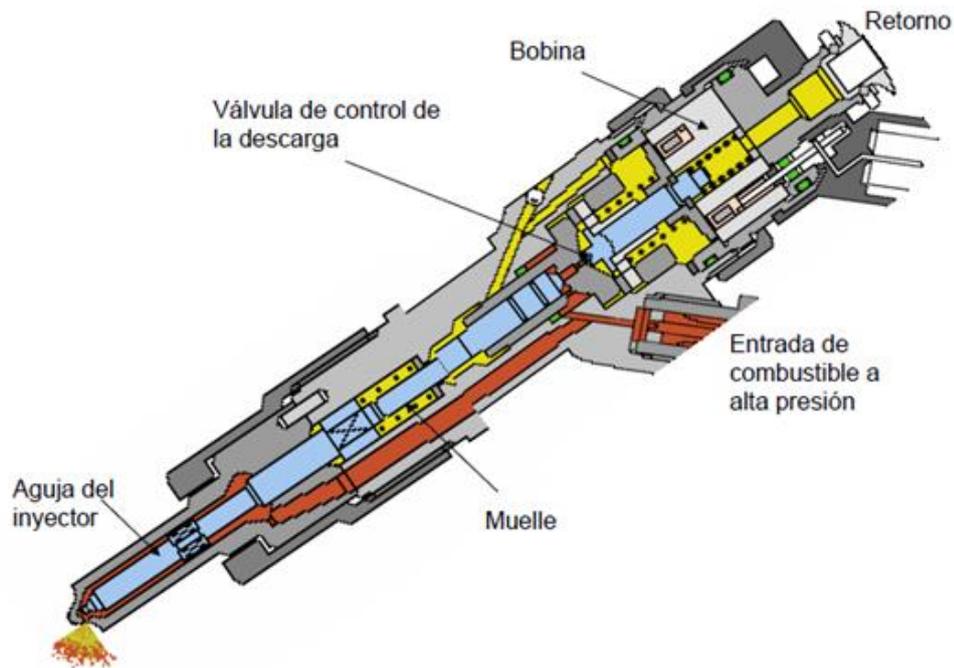


Figura N°1.3: Corte de un inyector del modelo de motor C4.4 DTI

El programa Caterpillar Electronic Technician, es una herramienta de servicio diseñada para trabajar en una computadora personal (PC) en el entorno de Windows. Con esta herramienta de servicio, se puede mostrar el estado de un grupo de parámetros (temperaturas, presiones, etc.) simultáneamente, permite ver y borrar códigos de diagnóstico, y muestra la configuración actual de un Módulo de control Electrónico (ECM). Esta herramienta de servicio puede realizar éstas y otras tareas, tales como: mostrar el estado de los parámetros de funcionamiento, ver y borrar diagnósticos, ver eventos en que han ocurrido irregularidades y fueron grabadas por el ECM, ver y cambiar la configuración del ECM, realizar pruebas de diagnóstico, realizar calibraciones y ver información de resúmenes de historial y reportes personalizados. La herramienta de servicio está diseñada para comunicarse con las computadoras del motor de la máquina y su control electrónico (ECM) a través del enlace de datos de comunicación (data link); permitiendo obtener datos, analizarlos y luego diagnosticar problemas actuales y potenciales. El programa Electronic Technician, trabaja dentro de un programa llamado Service Technician Workbench (STW) (banco de trabajo de servicio técnico).

El ECM que se muestra en la figura N°1.4, funciona como un gobernador y una computadora para el sistema de combustible, que recibe señales de los sensores con el fin de controlar el tiempo y la velocidad del motor. El sistema electrónico consiste en la ECM, los sensores del motor, y las entradas de la máquina principal. El módulo de personalidad es el software para el ordenador que

contiene los mapas de funcionamiento. Los mapas que operan definen las siguientes características del motor: potencia del motor, curvas de par, la velocidad del motor (rpm), el ruido del motor, el humo y las emisiones. El ECM tiene un excelente historial de fiabilidad. El software programable contiene toda la información de ajuste de combustible y la información que determina el rendimiento del motor.

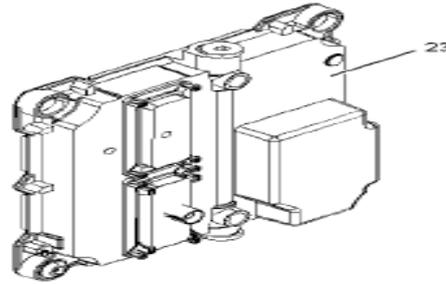


Figura N°1.4 ECM módulo de control de funcionamiento de motor

El filtro de combustible diésel tiene la función de proteger el sistema de inyección en los vehículos que usan combustible diésel D2. Los filtros diésel eliminan las impurezas presentes en el combustible que pueden proceder de diferentes fuentes como contaminación durante la producción, el transporte, el almacenamiento, las reparaciones, etc., entrada de las partículas a través del sistema de ventilación del depósito de combustible, contaminación con las impurezas y la oxidación presentes en el depósito o en los conductos de combustible, condensación de agua en el depósito de combustible debido a las variaciones de temperatura. Estos contaminantes pueden obstruir los sistemas de inyección, provocando que el motor no funcione bien y se dañe. Los módulos de filtración diésel desempeñan también otras funciones según los requerimientos específicos de cada aplicación como calentamiento de combustible, regulación de la presión, cebado, detección del nivel del agua, etc. Los filtros de combustible están diseñados para cumplir con estrictos requisitos de rendimiento y proteger el sistema de combustible y por consiguiente el motor. Los componentes del sistema simplemente duran más si se utiliza el filtro correcto para eliminar contaminantes perjudiciales del sistema de combustible, tal como se muestra en la figura N°1.5.

La prueba de la relación beta es una manera exacta y objetiva para comparar el rendimiento de los filtros de líquido. Esta prueba evalúa la capacidad del filtro para eliminar partículas de ciertos tamaños de la corriente del fluido, identificando así cuan eficiente es el filtro en remover partículas

contaminantes de tamaños específicos, esta prueba se realiza aplicando un procedimiento estándar. La relación Beta se establece contando el número de partículas de un tamaño específico que entran al filtro, y luego dividiéndolo por el número de partículas del mismo tamaño que salen del filtro, para lo cual se puede usar la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{\text{Partículas corriente arriba}}{\text{Partículas corriente abajo}} \dots\dots\dots (1.1)$$

La siguiente ecuación nos ayudará a relacionar la relación beta con la eficiencia del filtrado Ef:

$$Ef = \left( \frac{\beta-1}{\beta} \right) \times 100 \dots\dots\dots(1.2)$$

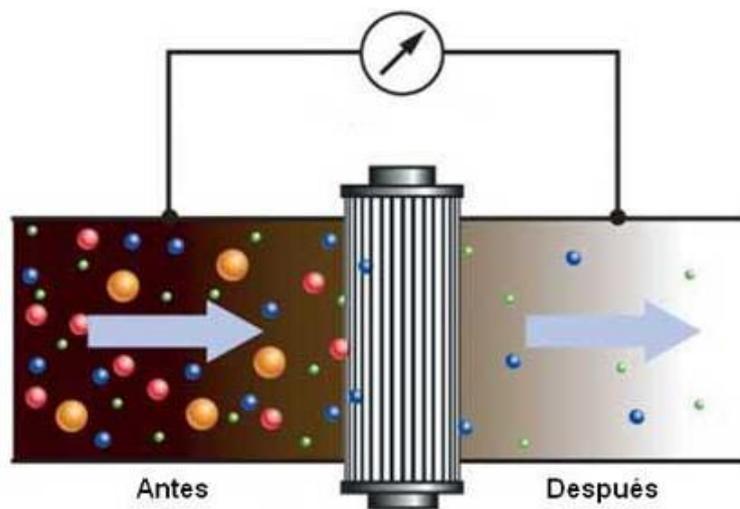


Figura N°1.5: Funcionamiento práctico del filtro de combustible

La evaluación de los inyectores convencionalmente se realiza en los bancos de prueba en el cual se evalúa el caudal de inyección en un tiempo determinado con una simulación de inyección a una velocidad de trabajo, y esto se realiza individualmente con el resultado de volumen de combustible en una probeta por inyector.

La inyección de combustible es un sistema de alimentación de motores de combustión interna, que reemplaza al carburador en los motores de explosión, que es el que usan prácticamente todos los automóviles europeos desde 1990, debido a la obligación de reducir las emisiones contaminantes y para que sea posible y duradero el uso del catalizador a través de un ajuste óptimo del factor lambda. El sistema de alimentación de combustible y formación de la mezcla complementa en los motores Otto al sistema de Encendido del motor, que es el que se encarga de desencadenar la combustión de la mezcla aire/combustible. Este sistema es utilizado, obligatoriamente, en el ciclo del diésel desde siempre, puesto que el combustible tiene que ser inyectado dentro de la cámara en el momento de la combustión (aunque no siempre la cámara está sobre la cabeza del pistón). En un principio se usaba inyección mecánica pero actualmente la inyección electrónica es común incluso en motores diésel. Los sistemas de inyección se dividen en: Inyección multipunto y mono punto: Para ahorrar costos a veces se utilizaba un solo inyector para todos los cilindros, o sea, mono punto, en vez de uno por cada cilindro, o multipunto. Actualmente, y debido a las normas de anticontaminación existentes en la gran mayoría de los países, la inyección mono punto ha caído en desuso. Directa e indirecta. En los motores de gasolina es indirecta si se pulveriza el combustible en el colector o múltiple de admisión en vez de dentro de la cámara de combustión, o sea en el cilindro. En los diésel, en cambio, se denomina indirecta si se inyecta dentro de una precámara que se encuentra conectada a la cámara de combustión o cámara principal que usualmente en las inyecciones directas se encuentran dentro de las cabezas de los pistones.

Gracias a la electrónica de hoy en día, son indiscutibles las ventajas de la inyección electrónica. Es importante aclarar que en el presente todos los Calculadores Electrónicos de Inyección (mayormente conocidos como ECU "Engine Control Unit" o ECM "Engine Control Module") también manejan la parte del encendido del motor en el proceso de la combustión. Aparte de tener un mapa de inyección para todas las circunstancias de carga y régimen del motor, este sistema permite algunas técnicas como el corte del encendido en aceleración (para evitar que el motor se revolucione excesivamente), y el corte de la inyección al detener el vehículo con el motor, o desacelerar, para aumentar la retención, evitar el gasto innecesario de combustible y principalmente evitar la contaminación.

En los motores diésel el combustible debe estar más pulverizado porque se tiene que mezclar en un lapso menor y para que la combustión del mismo sea completa. En un motor de gasolina el combustible tiene toda la carrera de admisión y la de compresión para mezclarse; en cambio en un diésel, durante las carreras de admisión y compresión sólo hay aire en el cilindro. Cuando se llega al final de la compresión, el aire ha sido comprimido y por tanto tiene unas elevadas presión y

temperatura, las que permiten que al inyectar el combustible éste pueda inflamarse. Debido a las altas presiones reinantes en la cámara de combustión se han diseñado entre otros sistemas, el [Common-Rail](#) y el elemento [bomba-inyector](#) a fin de obtener mejores resultados en términos de rendimiento, economía de combustible y anticontaminación.

[[https://es.wikipedia.org/wiki/Inyecci%C3%B3n\\_de\\_combustible](https://es.wikipedia.org/wiki/Inyecci%C3%B3n_de_combustible)]

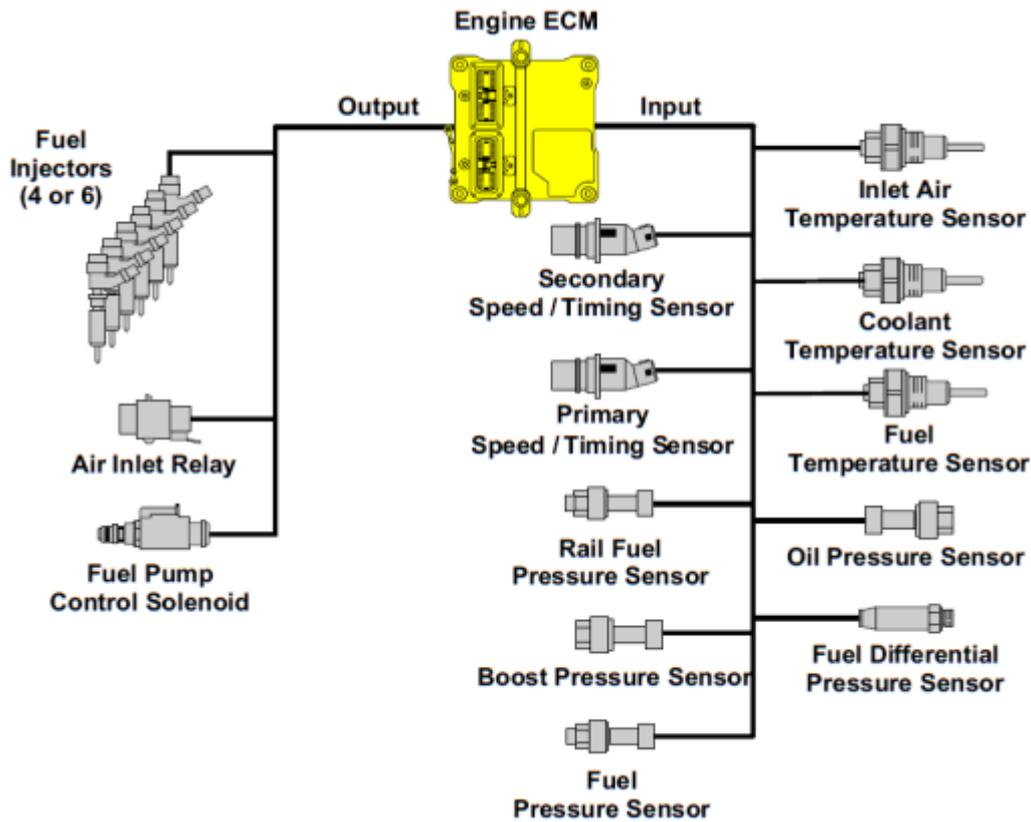


Figura N°1.6: Unidad de control de motor o ECM "Engine Control Module".

Los componentes de los sistemas de inyección diesel están fabricados bajo las más rigurosas tolerancias de mecanización y por eso alcanzan las más elevadas presiones de inyección, logrando mayor desempeño con mínimo consumo de combustible y bajos niveles de contaminación ambiental. El combustible diesel completamente limpio, garantiza que no se obstruyan los micros orificios de las toberas, que al mantenerse limpios dichos orificios de inyección se garantiza que la pulverización del combustible sea lo más eficiente y completa. De allí que la calidad y el período de cambio de los filtros son de extrema importancia para la durabilidad y eficiencia del sistema de inyección.

[[www.inyecciondiesel.cl/web/documentos/Sistemas\\_de\\_Inyección\\_Diesel.pdf](http://www.inyecciondiesel.cl/web/documentos/Sistemas_de_Inyección_Diesel.pdf)].



Figura N°1.7: Filtro doble de combustible diesel.

La función del filtro de combustible diesel es la de proteger el sistema de inyección en los vehículos diésel. Los filtros diésel eliminan las impurezas presentes en el combustible que pueden proceder de diferentes fuentes como contaminación durante la producción, el transporte, el almacenamiento, las reparaciones, etc., entrada de las partículas a través del sistema de ventilación del depósito de combustible, contaminación con las impurezas y la oxidación presentes en el depósito o en los conductos de combustible, condensación de agua en el depósito de combustible debido a las variaciones de temperatura. Estos contaminantes pueden obstruir los sistemas de inyección, provocando que el motor no funcione bien y se dañe. Los módulos de filtración diésel desempeñan también otras funciones según los requerimientos específicos de cada aplicación: calentamiento de combustible, regulación de la presión, cebado, detección del nivel del agua, etc. [<http://www.fram-europe.com/es/productos/filtros-de-diesel.html>].



Figura N°1.8: Corte de un filtro convencional de combustible diesel.

Para el sistema common rail y unit pump, los filtros diesel soportan mayores presiones de inyección y poseen componentes mecánicos de precisión, a diferencia de los filtros convencionales como el que se muestra en la figura N°1.8, lo que les da una alta capacidad de absorción de impurezas y separación de contaminantes hecha por una capa doble de material filtrante, tiene además una máxima separación de agua a causa de la construcción del elemento de filtro radial en “V” lo cual le da un excelente desempeño al motor, el cual se observa en la figura N°1.9.

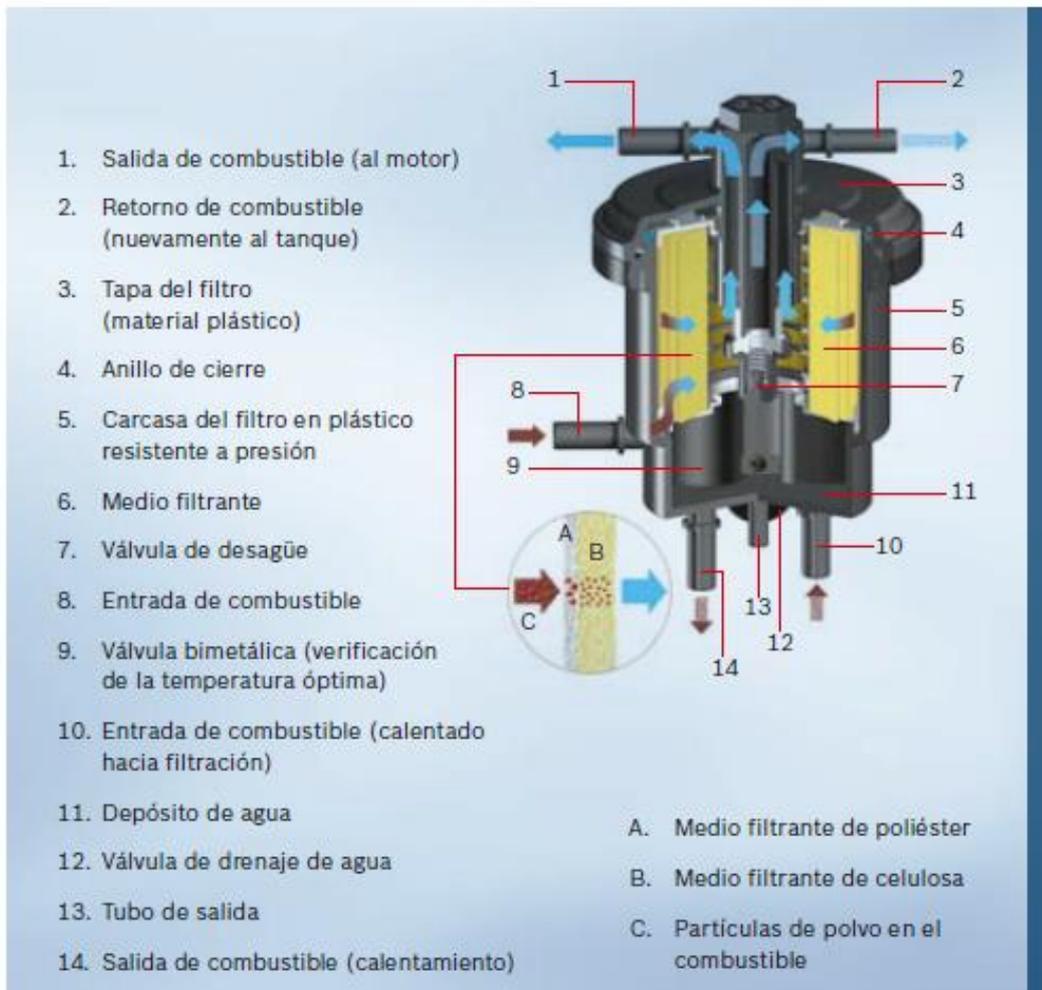


Figura N°1.9: Corte de un filtro avanzado de combustible diesel.

El mantenimiento consiste en asegurarse que los recursos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan, (Moubray, 2000), y se entiende como la actividad humana que garantiza la existencia de un servicio dentro de una calidad esperada. Cualquier clase de trabajo hecho en sistemas, subsistemas, equipos, máquinas entre otros, para que estos continúen o regresen a proporcionar el servicio con calidad esperada, son trabajos de mantenimiento, pues están ejecutados con este fin. El mantenimiento se define como un conjunto de normas y técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible. El mantenimiento ha sufrido transformaciones con el desarrollo tecnológico; a los inicios era visto como actividades correctivas para solucionar fallas. Las actividades de mantenimiento eran realizadas por los operarios de las máquinas; con el desarrollo de las máquinas se organiza los departamentos de mantenimiento no solo con el fin de solucionar fallas sino de prevenirlas, actuar antes que se produzca la falla en esta

etapa se tiene ya personal dedicado a estudiar en qué período se produce las fallas con el fin de prevenirlas y garantizar eficiencia para evitar el aumento de los costos por averías. Actualmente el mantenimiento busca aumentar la confiabilidad en la producción; aparece el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento proactivo, la gestión de mantenimiento asistido por computador y el mantenimiento basado en la confiabilidad, por lo que los objetivos del mantenimiento los podemos resumir en garantizar el funcionamiento regular de los equipos, evitar el envejecimiento prematuro de los equipos que forman parte de la empresa y conseguir ambos objetivos a un costo razonable.

La misión del mantenimiento es implementar y mejorar en forma continua la estrategia de mantenimiento para asegurar el máximo beneficio a nuestros clientes mediante prácticas innovadoras, económicas y seguras.

Al inicio de todo proceso de mejoramiento, ya sea a nivel de individuos o de las organizaciones, exige, como primera etapa, que se adquiera conciencia de la realidad y posteriormente, que se definan los objetivos a alcanzar y los medios para ello. Entre tanto, una vez iniciado el proceso, es necesario monitorear el progreso alcanzado, a través de observaciones y comparaciones, a lo largo del tiempo, de parámetros que definan claramente el nivel de calidad del desempeño organizacional, constatando, sin subjetivismo, si se ha mejorado o no respecto a la situación inicial. En lo que se refiere a la actividad de mantenimiento en una empresa, la necesidad de un procedimiento de este tipo es mucho más reconocida. Este indicador de la gestión del mantenimiento, es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas o percepción de los clientes en cuanto a costo, calidad y plazos. Tradicionalmente los indicadores se han visto reactivamente, o sea, utilizándolos para mirar hacia atrás con vistas a planear el futuro, sin embargo se ha venido provocando un cambio en este sentido, encaminado a utilizar los indicadores con una visión proactiva, o sea, para tomar decisiones hacia el futuro, manejándolos.

La mantenibilidad; es definida por la ISO/DIS 14224, como la capacidad (o probabilidad si hablamos en términos estadísticos), bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado, donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados. Esto quiere decir, que si un componente tiene un 95% de Mantenibilidad en una hora, entonces habrá 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora. La ecuación que permite calcular la disponibilidad de un activo se muestra a continuación:

$$M(t) = 1 - (-t/MTTR) \dots\dots\dots(1.3)$$

Dónde:

M (t):            Mantenibilidad.

t                :    Tiempo que se espera reparar el activo.

MTTR:            Tiempo medio de reparación.

Tiempo Total de Paradas: es la suma del tiempo total de paradas programadas y paradas no programadas (imprevistas) del equipo.

$$TP = TPPM+TPNPM+TPNPO+TPE \dots\dots\dots (1.4)$$

Donde

TP:                Tiempo total de parada.

TPPM:            Tiempo Parada Programada mantenimiento.

TPNPM:           Tiempo Parada No Programada Mantenimiento.

TPNPO:           Tiempo Parada No Programada operaciones.

TPE:                Tiempo Parada Externa.

Tiempo Total de Operación: tiempo que el activo está produciendo activamente un producto o proveyendo un servicio. Es el tiempo real de ejecución. El tiempo de operación se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$TO = TTD-(TPPM+TPNPM+TPNPO+TPE) \dots\dots\dots (1.5)$$

Dónde:

TO:                Tiempo de operación.

TTD:                Tiempo total disponible.

TPPM:            Tiempo Parada Programada de mantenimiento.

TPNPM:            Tiempo Parada No Programada

TPNPO: Tiempo Parada No Programada de Operaciones.

TPE: Tiempo Parada Externa.

Confiabilidad; Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

$$R(t) = e(-t / MTBF) \dots\dots\dots (1.6)$$

Dónde:

R (t): Confiabilidad en [%]

t: Tiempo que se espera que el activo no falle (hrs).

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

Tiempo promedio entre falla: mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado de estudio.

$$MTBF = ( HROP / \sum NTFALLAS) \dots\dots\dots (1.7)$$

Dónde:

HROP: Horas de operación en total.

$\sum$ NTFALLAS: Número total de fallas detectadas.

Análisis de la Confiabilidad; La ejecución de un análisis de la confiabilidad en un producto o un sistema, debe incluir muchos tipos de exámenes para determinar cuan confiable es el producto o sistema que pretende analizarse. Una vez realizados los análisis, es posible prever los efectos de los cambios y de las correcciones del diseño para mejorar la confiabilidad. Los diversos estudios del producto se relacionan, vinculan y examinan conjuntamente, para poder determinar la confiabilidad del mismo bajo todas las perspectivas posibles, determinando posibles problemas y poder sugerir correcciones, cambios y/o mejoras en productos o elementos.

Disponibilidad; Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un

determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

La disponibilidad de un activo o máquina en este caso, podemos obtenerla de la siguiente manera:

$$D = ( MTBF / (MTBF + MTTR) ) * 100 \dots\dots\dots (1.8)$$

Dónde:

MTBF: tiempo medio entre fallas.

MTTR: tiempo medio para reparación.

Estos tiempos se determinan mediante las siguientes expresiones:

$$MTBF = (ht / p) \dots\dots\dots (1.9)$$

$$MTTR = (hp / p) \dots\dots\dots (1.10)$$

ht: Horas trabajadas o de marcha durante el periodo de evaluación.

p: Número de paros durante el período de evolución.

hp: Horas de paro durante el período de evaluación.

En su composición del combustible podemos encontrar cetano, azufre, agua, aromáticos, sedimentos etc. Cuando se sale del valor permisible es donde afecta la calidad y conlleva al mal funcionamiento del inyector. De acuerdo a normas establecidas por la ministerio de energía y minas (NTP) para los combustibles en el Perú para el uso del diésel D2 en las maquinas Caterpillar, se detallan en la tabla A2 de los anexos, así como las cantidades permisibles que deben contener el combustible Diesel D2 para no dañar los inyectores, los cuales son mostrados en la tabla A3 de los anexos.

En Estados Unidos (EE.UU.), el combustible Diésel Bajo en Azufre(LSD) contiene un máximo de azufre de 0,05% (500 ppm). El combustible Ultra Bajo en Azufre (ULSD) contiene un máximo de azufre de 0,0015% (15 ppm) por eso se le llama también "Combustible diésel destilado". [ASTM D975 Especificación | estándar para aceites combustible diésel].

En Europa, el combustible diésel de uso común tiene un contenido máximo de azufre del 0,005% (50 ppm), siendo el combustible ULSD que contiene un máximo de azufre de 0,0010% (10 ppm), y

normalmente se denomina "libre de azufre". [Norma europea EN 590 norma europea para automóviles].

El azufre es un componente natural de los combustibles diésel. El alto contenido de azufre en el combustible se puede reducirse mediante el uso de tecnologías de refinado. Los niveles de azufre en el combustible afectan la durabilidad de los componentes del motor y también afectan las emisiones de escape del motor. En condiciones de operación del sistema de inyección diésel forma anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) y sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) que contribuyen al desgaste corrosivo de las piezas del sistema de inyección diésel. Es conocido y comprobado que a temperatura alta el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y sobre todo el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) corroen los metales en la fase gaseosa y con temperatura baja, en presencia de vapores de agua, los  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$  que se forman, provocan la corrosión por ácido. La existencia de  $\text{SO}_3$  sube bruscamente el punto de rocío del vapor de agua y con esto intensifica el proceso de formación del ácido sulfúrico y acelera el desgaste de los pistones, válvulas, bujías de incandescencia y los émbolos de la bomba de inyección diésel.

La contaminación de combustible es y seguirá siendo una preocupación en todos los motores diésel. Esto es más importante ahora, ya que los fabricantes diseñan motores diésel más económicos y que no dañan el medio ambiente. El aumento del control de emisiones y del ahorro del consumo de combustible requiere presiones de inyección más altas y tolerancias mayores entre los componentes. Para obtener altas velocidades se exige tener componentes de precisión que obligan a controlar al máximo el desgaste y la abrasión. Los motores actuales brindan más potencia, tienen mejor respuesta y mayor economía de combustible que nunca. También son más susceptibles al desgaste y al daño, por razón de los contaminantes en el sistema de combustible. Cualquier contaminante puede causar daños al sistema de combustible, incluyendo partículas, calor, agua y burbujas de aire. Estos contaminantes, sea que actúen individualmente o en combinación, pueden disminuir la potencia del motor, acelerar el desgaste de los componentes y finalmente llevar a una falla catastrófica del motor. (Sistema de información CATERPILLAR 2003).

### **1.1. Problema de investigación.**

¿Cómo influye una mejora en el tratamiento del combustible diésel 2 sobre los costos de mantenimiento de los inyectores de los motores diésel MODELO C4.4 DIT y la disponibilidad de las retroexcavadoras CAT 420F que opera en la mina Tintaya - Cusco?

### **1.2. Hipótesis**

El tratamiento adecuado del combustible D2 en los motores Caterpillar modelo C4.4 DIT, al mejorar el sistema de filtrado de admisión de combustible influyen significativamente sobre la reducción del costo de mantenimiento de los inyectores y aumentan la disponibilidad de la retroexcavadora 420F para las condiciones de operación en la mina Tintaya- Cusco.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la influencia de la mejora del sistema de tratamiento de combustible D-2 en los motores caterpillar modelo C4.4 DIT sobre los costos de mantenimiento de inyectores y la disponibilidad de la unidad CAT 420F – mina Tintaya – Cusco.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Medir los volúmenes de inyección cada 250 horas usando el escáner con software especializado de monitoreo con filtros convencionales proporcionadas por el fabricante.
- b) Medir los volúmenes de inyección cada 250 horas usando el escáner con software especializado de monitoreo con filtros avanzados proporcionadas por el fabricante.
- c) Medir los tiempos de operación y de parada no programada de la unidad retroexcavadora CAT 420F usando ambos filtros.
- d) Determinar los costos de mantenimiento de los inyectores en el motor modelo Caterpillar C4.4 DIT usando filtros convencionales proporcionadas por el fabricante.
- e) Determinar los costos de mantenimiento de los inyectores en el motor modelo Caterpillar C4.4 DIT usando filtros convencionales proporcionadas por el fabricante.
- f) Comparar los costos de mantenimiento de los inyectores en el motor modelo Caterpillar C4.4 DIT.
- g) Comparar la disponibilidad de la unidad retroexcavadora CAT 420F.

## II. MARCO METODOLOGICO

### 2.1 Variables

#### 2.1.1 Variables independientes: cualitativa.

Sistema de tratamiento de combustible.

Indicador: Filtro de combustible:

Convencional.

Codificado o avanzado.

#### 2.1.2 Variables dependientes: cuantitativas

Costos de mantenimiento de inyectores del motor Cat modelo C4.4 DTI.

Disponibilidad de la unidad retroexcavadora 420F.

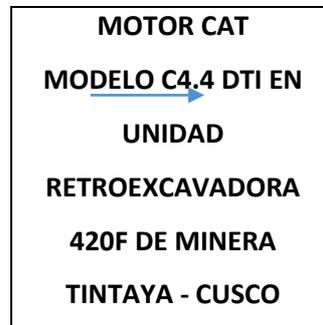
### VARIABLES DEL PROCESO

#### Variables

##### Independientes:

→ **FILTROS** →

- Convencional
- Codificado



#### Variables

##### dependientes:

Disponibilidad  
de la unidad

Costos de  
mantenimiento

## 2.2 Operacionalización de variables.

Las variables de la investigación son descritas en el cuadro siguiente:

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Sistema de tratamiento de combustible	Conjunto de Dispositivos de protección del sistema.	Se definirá mediante una mejora en el sistema de filtrado.	Filtro de combustible convencional y codificado o avanzado Con tamaño de malla en micras	Cualitativa - nominal.
Costos de mantenimiento de inyectores	Gastos realizados para mantener los inyectores en eficiente estado de funcionamiento	Se medirá en función a los inyectores que serán reemplazados al evaluar su vida útil o duración.	Costos (S/.) de los inyectores reemplazados por estar desgastados (mililitros)	Cuantitativa de tasa
Disponibilidad de la unidad retroexcavadora 420F	Es la capacidad de un activo o máquina para entrar en operatividad.	Número de horas de funcionamiento eficiente de la unidad.	$D = ( \frac{MTBF}{MTBF+MTT} ) * 100$	Cuantitativa de razón.

## 2.3 Metodología.

Se utilizará el método experimental, pues se midieron las horas de servicio de la unidad y el costo de los inyectores reemplazados al presentar desgaste o deterioro de su vida útil.

## **2.4 Tipo de estudio.**

Es un estudio aplicado y exploratorio, debido a que se aplicó a un motor de una unidad en particular y se exploró la influencia de una mejora del sistema de tratamiento de combustible sobre los costos de mantenimiento de los inyectores del motor C4.4 DTI y disponibilidad de la unidad retroexcavadora 420F.

## **2.5 Diseño de Investigación.**

Es un diseño experimental del tipo experimental puro, ya que se realizaron las mediciones directamente en el motor C4.4 DTI y en la unidad retroexcavadora 420F.

## **2.6 Población y muestra:**

### **2.6.1 Población:**

Motores de la marca Caterpillar del modelo C4.4DIT que operan en la Mina Tintaya-Cuzco.

### **2.6.2 Muestra:**

Motores de combustión interna Diesel Caterpillar modelo C4.4DIT de cuatro retroexcavadoras de la marca Caterpillar 420F haciendo trabajos de movimiento de tierra en superficie.

### **2.6.3 Unidad de análisis.**

#### **Motor diésel C4.4 – Caterpillar**

- Modelo: C4.4 DIT
- Potencia: 100 HP
- Rpm: 2200
- Torque: 237.49 LB.FT
- Consumo de diésel 5.93 GLH

El motor Diesel C4.4 DTI, materia de nuestro estudio tiene un Módulo de Control Electrónico (ECM) que en esta tesis le estaremos mencionando como (ECM), este computador nos ayudara a validar información necesaria para

nuestro estudio, este módulo recibe señales eléctricas de toda la máquina lo procesa de acuerdo a parámetros ya establecidos por el fabricante y determina los valores de cómo debe funcionar el motor. De la misma forma controlando la bomba de inyección de combustible en suministro de combustible adecuado para cada unidad de tiempo para cada uno de los inyectores unitarios materia de nuestro análisis.

## 2.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### 2.7.1 Técnicas

Tabla N°2.1: Técnicas de recolección de datos

Técnica	Instrumento a utilizar	Objeto a evaluar	Objetivo
Medición de desgaste de inyector	PC portátil con Software de análisis	Motor de combustión interna Diésel	Determinar si la cantidad de combustible es estable
Monitoreo de frecuencia de operación	Partes de trabajo del operario de la maquina	Retroexcavadora designada de la mina Tintaya	Determinar la cantidad de horas de operación
Observaciones	Técnicas visuales	Procesos de mantenimiento y operación de térmicos	Determinar los procedimientos, tiempos; técnicas y herramientas que se utilizan
Lecturas	Hojas de observaciones, resúmenes	Registros de datos, diagramas de procesos	Determinar los parámetros y costos de fallas, de mantenimiento y operación

### 2.7.2 Instrumentos de recolección de datos:

- El STW es un paquete de programas diseñados para asistir la evaluación del motor, siendo los requerimientos mínimos para la versión 2015 del Electronic Technician,

IBM PC compatible con Pentium 266Mhz procesador, 64 MB o RAM, 1000 MB disponible en el disco duro, CD-ROM- DVD, 3.5" 1.44 MB disk, Monitor display VGA (1080x800), Microsoft & 63720 Windows NT 4.0, Core i4 Windows 9x o superior, Microsoft & 63720 internet Explorer 5.0 o superior.

En la figura N°2.1, se muestra la ventana gráfica del software en un computador, de la cual la empresa minera cuenta con las licencias correspondientes.

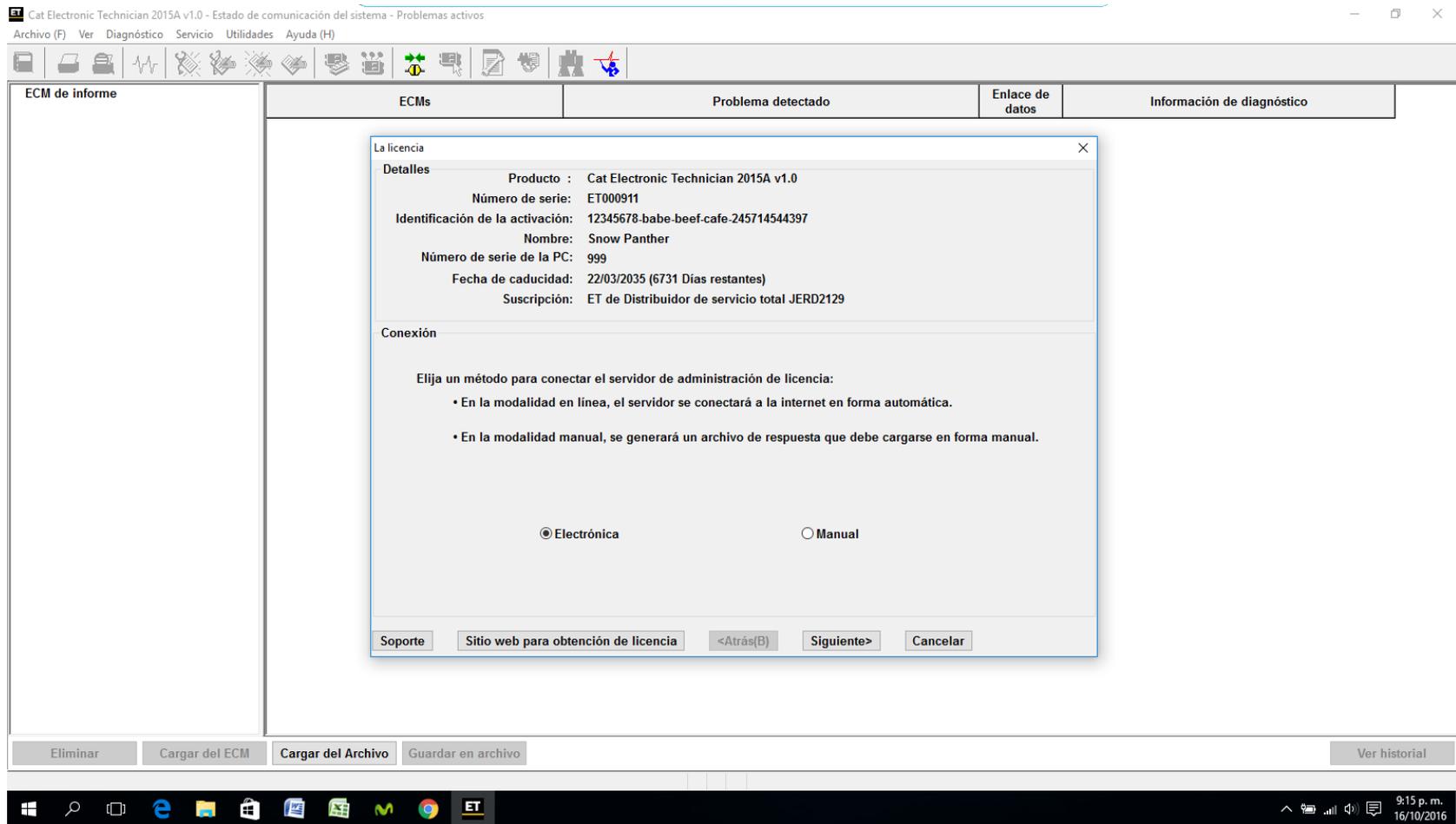


Figura N° 2.1: Ventana gráfica del software Electronic Technician.

➤ **Herramientas utilizadas para análisis con computadora.**



Figura N°2.2: Adaptador para computador

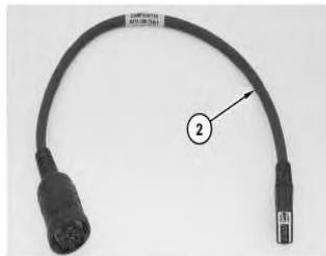


Figura N°2.3: Cable data link



Figura N°2.4 :Extensión serial

Tabla N°2.1: Grupo Adaptador de Comunicaciones.

<b>Número de pieza</b>	<b>Descripción</b>	<b>CANT.</b>
317-7485	Adaptador de comunicaciones 3 (CA3)	1
327-8981	Conjunto de manguera CA3/enlace de datos	1
353-5083	Conjunto de manguera CA3/PC	1

➤ **Hojas de registro de datos recopilados:**

Tabla N°2.2: Protocolo de registro de datos de las horas de funcionamiento y mantenimiento de la unidad

<b>CONTROL DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS</b>											
EQUIPO	RETROEXCAVADORA										
	420F										
Fecha	Equipo	Descripción	Horometro	Hora inicial	Hora final	Tiempo X tarea	Detención	MP	MC	MPD	Personal
				Arranques	0.00						
Fecha:					Fecha:						
Horometro Inicial:					Horometro Final:						
EQUIPO	Horas Totales / proyectadas	Horas totales de equipo	Horas en detenciones		Horas en Standby	Detenciones	MTBS	MTTR	Indice de Disponibilidad		Disponibilidad fisica

Criterios de evaluación de nuestras tareas							
Las tareas predictivas o basadas en la condición, implican constatar si algo está fallando.							
Las tareas preventivas normalmente implican restaurar items o reemplazar componentes a intervalos fijos.							
El mantenimiento correctivo significa reparar items cuando se descubre que están fallando o cuando han fallado							

Tabla N°2.3: Protocolo de pruebas de mediciones de los volúmenes de inyección de cada inyector con filtro convencional.

<b>Protocolo de pruebas en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CONVENCIONAL</b>							
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Número de prueba</b>	<b>VOLUMEN DE COMBUSTIBLE SUMINISTRADO A 1204 RPM EN mm3</b>					
		<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750 HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>E11</i>						
	<i>E12</i>						
	<i>E13</i>						
<i>Cilindro 02</i>	<i>E21</i>						
	<i>E22</i>						
	<i>E23</i>						
<i>Cilindro 03</i>	<i>E31</i>						
	<i>E32</i>						
	<i>E33</i>						
<i>Cilindro 04</i>	<i>E41</i>						
	<i>E42</i>						
	<i>E43</i>						

Tabla N°2.4: Protocolo de pruebas de mediciones de los volúmenes de inyección de cada inyector con filtro codificado.

<b>Protocolo de pruebas en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CODIFICADO</b>							
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Número de prueba</b>	<b>VOLUMEN DE COMBUSTIBLE SUMINISTRADO A 1204 RPM EN mm3</b>					
		<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>E11</i>						
	<i>E12</i>						
	<i>E13</i>						
<i>Cilindro 02</i>	<i>E21</i>						
	<i>E22</i>						
	<i>E23</i>						
<i>Cilindro 03</i>	<i>E31</i>						
	<i>E32</i>						
	<i>E33</i>						
<i>Cilindro 04</i>	<i>E41</i>						
	<i>E42</i>						
	<i>E43</i>						

Tabla N°2.5: Protocolo para registro de costos de mantenimiento por reposición de inyectores en el motor CAT C4.4 DTI con filtro convencional.

<b>Inyectores defectuosos en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CONVENCIONAL</b>						
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Inyector a reemplazar a 1204 RPM</b>					
	<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>						
<i>Cilindro 02</i>						
<i>Cilindro 03</i>						
<i>Cilindro 04</i>						
<i>Inyector defectuoso</i>						
<i>Costo por inyector</i>						
<i>Costo total</i>						

Tabla N°2.6: Protocolo para registro de costos de mantenimiento por reposición de inyectores en el motor CAT C4.4 DTI con filtro codificado.

<b>Inyectores defectuosos en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CODIFICADO</b>						
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Inyector a reemplazar a 1204 RPM</b>					
	<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>						
<i>Cilindro 02</i>						
<i>Cilindro 03</i>						
<i>Cilindro 04</i>						
<i>Inyector defectuoso</i>						
<i>Costo por inyector</i>						
<i>Costo total</i>						

## 2.8 Métodos de análisis de datos.

Se utilizará los métodos estadísticos de los análisis descriptivos para determinar los valores de los resultados de las variables dependientes.

- La evaluación de los tiempos en horas se midió directamente en campo obteniendo los datos de los registros elaborados por el personal de la unidad de mantenimiento mecánico de minera Tintaya, los cuales se procesaron usando las ecuaciones de la disponibilidad de activos o unidades mostradas en el capítulo I del presente informe, por lo cual el resultado obtenido es considerado como promedio de la disponibilidad de las 4 unidades evaluadas, sin embargo solamente se evaluó a una unidad por la similitud fuerte entre la forma y el número de horas de operación.
- Para las mediciones de los volúmenes de combustible suministrados a cada inyector de cada cilindro, se tomaron tres mediciones o pruebas por cilindro y por inyector, en la misma unidad retroexcavadora CAT 420F, obteniendo el promedio simple y varianza aceptable de los datos recopilados en las tablas 2.4 y 2.5, con la ayuda de un software diseñado para este tipo de pruebas, no se desmontaron los inyectores, se realizó con el procedimiento de corte de cilindro que nos arrojó la cantidad de combustible que inyecta cada inyector y se realizó su evaluación del estado del inyector comparándolo con la especificación de duración del fabricante. Estos valores obtenidos en la evaluación se usaron para realizar una comparación con los de fábrica y básicamente compararlo con la dosificación de los inyectores nuevos.



Figura N°2.5: Codificación del inyector por el fabricante para su evaluación.

Cuando los volúmenes de combustible suministrados por el inyector superan el valor mínimo definido por el fabricante, han sufrido un desgaste de los componentes de precisión del inyector, motivo por el cual el caudal inyectado supera el valor mínimo permisible, originado un aumento en el consumo de combustible y disminución de presiones de inyección, por lo cual se le considera un inyector deficiente para ser reemplazado.

Tabla N°2.8: Valores de suministro de combustible de inyectores código 2645A703 para motor CAT C4.4 DTI definidos por el fabricante

<b>Horas de funcionamiento</b>	<b>Volumen mínimo en mm<sup>3</sup></b>
500	18.600
1000	18.625
1500	18.770
2000	18.850

### III. RESULTADOS.

#### 3.1 Selección del filtro avanzado para mejorar el sistema de filtrado.

Se realizaron las pruebas en el mismo motor considerando la instalación del filtro convencional o de eficiencia estándar con la cual vino el motor original y luego se instaló el filtro de alta eficiencia codificado, siendo el criterio de selección la eficiencia beta máxima alcanzable, mostrada en la ecuación N°1 y N°2, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante, que se muestran para ambos filtros en las figuras N° 3.1 y figura N°3.2, respectivamente, obtenidas del catálogo del fabricante.

<b>Details</b>	
<b>Product Attributes</b>	
Outer Diameter:	3.39 Inches (86 MM)
Thread Size:	M12 x 1.5
Length:	5.63 Inches
(143 MM)	
Efficiency 50%:	4 Micron
Efficiency Beta 75:	4 Micron
Efficiency Test Std:	ISO 4548-12
Style:	Spin-On
Media Type:	Cellulose

Figura N°3.1: Especificaciones técnicas del filtro convencional original del motor modelo Caterpillar C4.4 DTI [Donaldson DYNAMIC].

El código del filtro convencional es 2998229 de marca Caterpillar modelo P502504, filtro de combustible FUEL FILTER, SPIN-ON, que en sus pruebas de eficiencia alcanza un valor límite del 75%, ensayados bajo la norma ISO 4548-12.

Para seleccionar el filtro a reemplazar usamos el criterio de la eficiencia beta, lo cual después de buscar en el catálogo del fabricante se seleccionó el filtro de alta eficiencia, denominado codificado o avanzado por las propiedades y características más sofisticadas que presenta.

La eficiencia de cada filtro se calculó, por el fabricante, usando las expresiones mostradas a continuación:

$$\beta = \frac{\text{Partículas corriente arriba}}{\text{Partículas corriente abajo}} \dots\dots\dots(1.11)$$

La siguiente ecuación nos ayudará a relacionar la relación beta con la eficiencia del filtrado Ef:

$$Ef = \left(\frac{\beta-1}{\beta}\right) x 100 \dots\dots\dots(1.12)$$

$$0.75 = \left(\frac{\beta-1}{\beta}\right) x 100 \dots\dots\dots(1.13)$$

$$0.75 = \left(\frac{\beta - 1}{\beta}\right) x 100$$

$$\beta = 4$$

Para el filtro convencional se alcanzó una eficiencia del 75% con lo cual el coeficiente beta  $\beta$  llega a ser igual a 4, es decir que el filtro en su máxima capacidad deja pasar la cuarta parte de la cantidad de partículas extrañas contaminantes que ingresan al sistema de combustible.

Para seleccionar el nuevo filtró se buscó un filtro con el criterio de máxima eficiencia, estableciendo el caso de que las partículas que el filtro deja pasar corresponderían a la décima parte de las partículas contaminantes que ingresan al sistema de combustible, es decir,  $\beta = 10$ , que reemplazando en la ecuación N°02, obtenemos:

$$Ef = \left(\frac{\beta-1}{\beta}\right) x 100 \dots\dots\dots(1.14)$$

$$Ef = \left(\frac{10-1}{10}\right) x 100 \dots\dots\dots(1.15)$$

$$Ef = 90$$

Del catálogo del fabricante, seleccionamos el filtro de lata eficiencia codificado con una eficiencia del 99.9%, cuyas especificaciones técnicas se describen a continuación en la figura N°3.2.

El código del filtro seleccionado es DBF5782, filtro de combustible FUEL FILTER, SPIN-ON SECONDARY DONALDSON BLUE, que en sus pruebas de eficiencia alcanza un valor límite del 99.9%, ensayados bajo la norma ISO 4548-12.

## Details

### Product Attributes

Outer Diameter: (118 MM)	4.65 Inches
Thread Size:	2 1/4-12 UN
Length: (264 MM)	10.39 Inches
Gasket OD: (119 MM)	4.69 Inches
Gasket ID: (102 MM)	4.02 Inches
Efficiency 99.9%:	4 Micron
Efficiency Test Std:	SAE J1985, J1905
Type:	Secondary
Style:	Spin-On
Brand:	Donaldson BLUE®
Media Brand:	Synteq XP™
Media Type:	Composite

Figura N°3.2: Especificaciones técnicas del filtro de alta eficiencia del motor modelo Caterpillar C4.4 DTI [Donaldson DYNAMIC].



Figura N°3.3: Filtro DBF-5782

### **3.2 Mediciones de los volúmenes de inyección de combustible en cada inyector del motor**

#### **CAT C4.4 DTI:**

Se realizaron las pruebas usando el software de interface en la unidad de análisis tomando en cuenta las horas de funcionamiento de acuerdo al registro de horas de parada registradas por la unidad de mantenimiento en la unidad de muestra retroexcavadora 420F.

De acuerdo al programa de mantenimiento de la unidad, las mediciones se realizaron cada 250 horas de funcionamiento, para lo cual se contó con el apoyo del personal técnico de la minera Tintaya.

Usando el protocolo de la tabla N°2.4 se procedió a la recopilación de datos en cada inyector de cada cilindro, tomando mediciones cada 250 horas en tres pruebas realizadas en períodos de tiempo de 20 minutos entre parada y arranque y funcionamiento estable del motor con la unidad a una velocidad de rotación del motor de 1200 rpm, de acuerdo a especificaciones de la norma del ensayo o prueba del motor.

Tabla N°3.1: Mediciones de los volúmenes de inyección de cada inyector con filtro convencional.

<b>Pruebas en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CONVENCIONAL</b>							
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Número de prueba</b>	<b>VOLUMEN DE COMBUSTIBLE SUMINISTRADO A 1204 RPM EN mm3</b>					
		<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>E11</i>	<i>18.5410</i>	18.6520	18.7480	18.9200	18.9600	19.0500
	<i>E12</i>	<i>18.5610</i>	18.6538	18.7466	18.9322	18.9879	19.1178
	<i>E13</i>	<i>18.5710</i>	18.6560	18.7460	18.9400	18.9780	19.1420
<i>Cilindro 02</i>	<i>E21</i>	<i>18.5400</i>	18.6420	18.7310	18.9150	18.9740	19.1025
	<i>E22</i>	<i>18.5510</i>	18.6438	18.7365	18.9220	18.9777	19.1075
	<i>E23</i>	<i>18.562</i>	18.645	18.7332	18.931	18.9791	19.1005
<i>Cilindro 03</i>	<i>E31</i>	<i>18.546</i>	18.6475	18.7251	18.9025	18.9821	19.1162
	<i>E32</i>	<i>18.5570</i>	18.6498	18.7426	18.9281	18.9838	19.1137
	<i>E33</i>	<i>18.5540</i>	18.6525	18.7615	18.9475	18.9850	19.1152
<i>Cilindro 04</i>	<i>E41</i>	<i>18.5563</i>	18.6412	18.7348	18.9250	18.9542	19.1054
	<i>E42</i>	<i>18.5520</i>	18.6448	18.7375	18.9230	18.9787	19.1086
	<i>E43</i>	<i>18.5521</i>	18.6389	18.7385	18.921	18.9725	19.1098

Tabla N°3.2: Mediciones de los volúmenes de inyección de cada inyector con filtro avanzado o codificado.

<b>Pruebas en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CODIFICADO</b>							
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Número de prueba</b>	<b>VOLUMEN DE COMBUSTIBLE SUMINISTRADO A 1204 RPM EN mm3</b>					
		<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>E11</i>	18.5505	18.5428	18.5624	18.5480	18.5486	18.7425
	<i>E12</i>	18.5510	18.5548	18.5566	18.5603	18.5696	18.7553
	<i>E13</i>	18.5605	18.5612	18.5488	18.5805	18.5824	18.7636
<i>Cilindro 02</i>	<i>E21</i>	18.545	18.589	18.5425	18.564	18.5764	18.7525
	<i>E22</i>	18.5540	18.5577	18.5596	18.5631	18.5724	18.7581
	<i>E23</i>	18.565	18.5562	18.5624	18.5678	18.5742	18.756
<i>Cilindro 03</i>	<i>E31</i>	18.5562	18.542	18.5425	18.5462	18.5842	18.7456
	<i>E32</i>	18.5570	18.5607	18.5626	18.5663	18.5756	18.7613
	<i>E33</i>	18.5524	18.5825	18.5732	18.5632	18.5692	18.7825
<i>Cilindro 04</i>	<i>E41</i>	18.5495	18.5632	18.5554	18.5610	18.5864	18.7765
	<i>E42</i>	18.5530	18.5568	18.5586	18.5623	18.5716	18.7573
	<i>E43</i>	18.5505	18.5464	18.5565	18.562	18.5625	18.7425

### Pruebas en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CONVENCIONAL

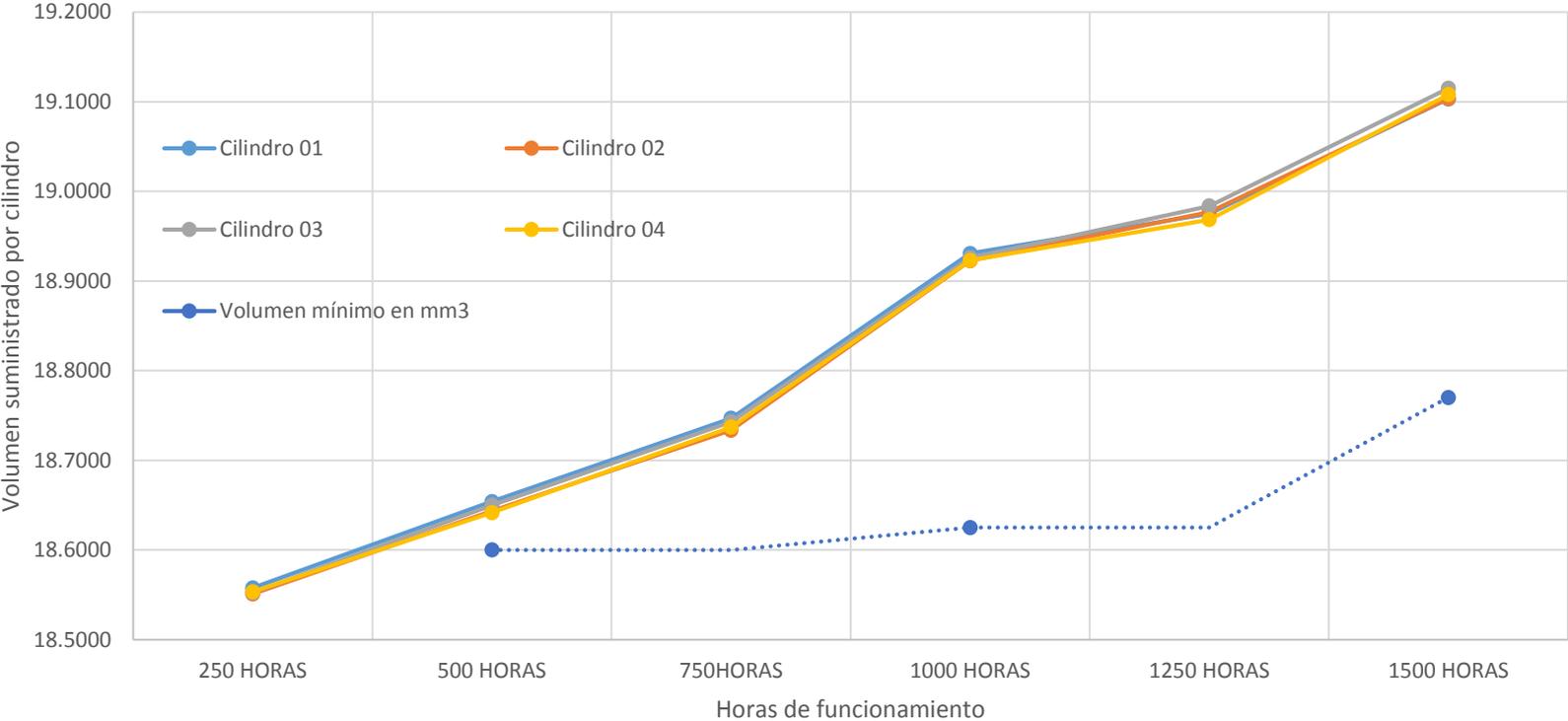


Figura N°3.4 :Volúmenes de inyección promedio de cada inyector con filtro convencional.

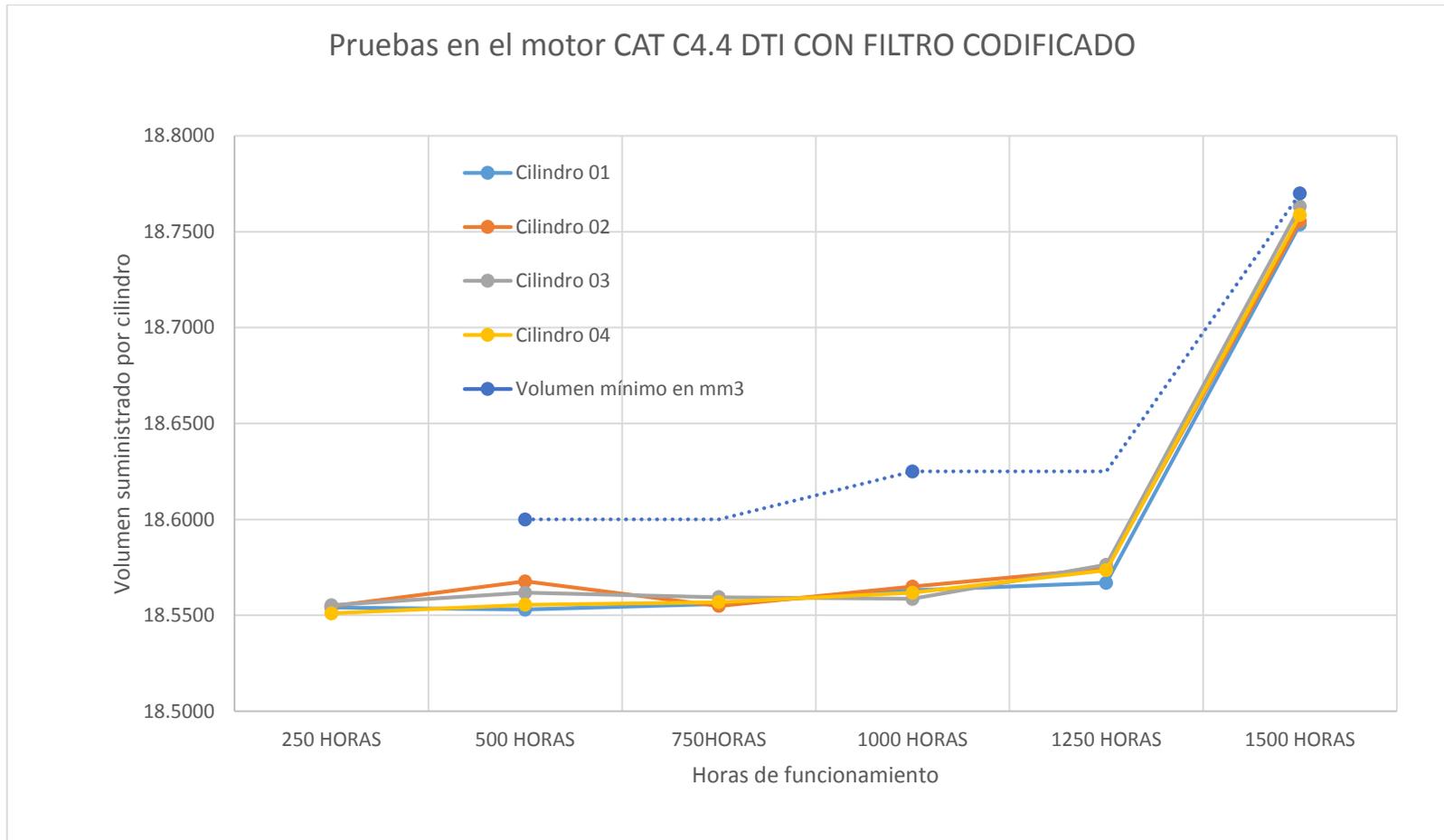


Figura N°3.5: Volúmenes de inyección promedio de cada inyector con filtro codificado.

Tabla N°3.3 Registro de costos de mantenimiento por reposición de inyectores en el motor CAT C4.4 DTI con filtro convencional.

<b>Inyectores defectuosos en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CONVENCIONAL</b>						
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Inyector a reemplazar a 1204 RPM</b>					
	<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750 HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>NO</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
<i>Cilindro 02</i>	<i>NO</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
<i>Cilindro 03</i>	<i>NO</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
<i>Cilindro 04</i>	<i>NO</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
<i>Inyector defectuoso</i>	0	4	4	4	4	4
<i>Costo por inyector</i>	S/. 2,618.80					
<i>Costo total (S/.)</i>	10475.2					

Tabla N°3.4 Registro de costos de mantenimiento por reposición de inyectores en el motor CAT C4.4 DTI con filtro codificado.

<b>Inyectores defectuosos en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CODIFICADO</b>						
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Inyector a reemplazar a 1204 RPM</b>					
	<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750 HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>
<i>Cilindro 02</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>
<i>Cilindro 03</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>
<i>Cilindro 04</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>
<i>Inyector defectuoso</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Costo por inyector</i>	S/. 2,618.80					
<i>Costo total</i>	0					

### 3.3 Mediciones de los tiempos de operación, de parada no programada y cálculo de la disponibilidad de la unidad retroexcavadora CAT 420F usando ambos filtros:

Para las mediciones de los tiempos de operación y calcular la disponibilidad de la unidad retroexcavadora CAT 420F, se tuvieron en cuenta solamente aquellas paradas no programadas por fallas o deficiencias debido al sistema de tratamiento de combustible como son los filtros y defectos en la potencia de accionamiento de la unidad por pérdida de potencia, asociados a un aumento de consumo de combustible o paradas del motor, al fallar su arranque o encendido por defectos o alarmas del sistema de inyección.

La disponibilidad se obtuvo aplicando la ecuación N° 8;

$$D = ( MTBF / MTBF + MTTR ) * 100 \dots\dots\dots (1.16)$$

Dónde:

MTBF: tiempo medio entre fallas.

MTTR: tiempo medio para reparación.

Estos tiempos se determinaron mediante las ecuaciones N°9 y N°10:

$$MTBF = ( ht / p ) \dots\dots\dots(1.17)$$

$$MTTR = ( hp / p ) \dots\dots\dots(1.18)$$

ht: Horas trabajadas o de marcha durante el periodo de evaluación.

p: Número de paros durante el período de evolución.

hp: Horas de paro durante el período de evaluación.



Tabla N°3.6 Registro de horas de mantenimiento y parada de la unidad retroexcavadora CAT420F con filtro codificado.

CONTROL DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS											
EQUIPO RETROEXCAVADORA 420F											
Fecha	Equipo	Descripción	Horometro	Hora inicial	Hora final	Tiempo X tarea	Detención?	MP	MC	MPD	Personal
25-May	420 F	PM 500 HRS, CAMBIO DE INYECTORES E INSTALACIÓN DE FILTRO DE ALTA EFICIENCIA	4,656.90	08:00:00 a.m.	12:15:00 a.m.	16.25	SI	1			
10-Jun	421 F	PM 750 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	4,901.00	09:55:00 a.m.	01:12:00 p.m.	3.28	SI	1			
27-Jun	422 F	PM 1000 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	5,154.80	02:05:00 p.m.	09:14:00 p.m.	7.15	SI	1			
14-Jul	423 F	PM 1250 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	5,410.10	08:00:00 a.m.	10:12:00 a.m.	2.20	si	1			
31-Jul	424 F	PM 1500 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	5,670.00	08:40:00 p.m.	11:45:00 p.m.	3.08	si	1			
09-Ago	425 F	CAMBIO DE FILTRO POR SATURACIÓN, EVALUCACIÓN	5,802.70	10:32:00 a.m.	01:23:00 p.m.	2.85	si		1		
17-Ago	426 F	PM 1750 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	5,921.00	03:17:00 p.m.	06:03:00 p.m.	2.77	SI	1			
03-Set	427 F	PM 2000 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	6,169.50	07:45:00 a.m.	06:10:00 p.m.	10.42	SI	1			
20-Set	428 F	PM 250 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	6,423.20	04:20:00 p.m.	06:30:00 p.m.	2.17	SI	1			
25-Set	429 F	EQUIPO NO ARRANCA (FALLA SISTEMA DE INYECCIÓN)	6,503.40	07:15:00 a.m.	07:45:00 a.m.	0.50	SI		1		
06-Oct	430 F	PM 500 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	6,674.50	01:30:00 p.m.	04:45:00 p.m.	3.25	SI	1			
14-Oct	431 F	TOMA DE MUESTRA DE COMBUSTIBLE PARA ANÁLISIS EN LABORATORIO	6,794.00	09:25:00 a.m.	09:35:00 a.m.	0.17	SI			1	
23-Oct	432 F	PM 750 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	6,927.00	11:08:00 a.m.	01:45:00 p.m.	2.62	SI	1			
09-Nov	433 F	PM 1000 HRS, EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	7,177.00	08:30:00 a.m.	02:40:00 p.m.	6.17	SI	1			
				Arranques	0.00	46.62	13.00	77%	15%	8%	

Fecha: 25-May  
Horometro Inicial: 4656.9

Fecha: 09-Nov  
Horometro Final: 7177

EQUIPO	Horas Totales / proyectadas	Horas totales de equipo	Horas en detenciones	Horas en Standby	Detenciones	MTBS	MTTR	Indice de Disponibilidad	Disponibilidad física
420E	3380.0	2520.1	46.62	813.3	13.00	193.85	3.59	98.18%	98.62%

#### IV. DISCUSION DE RESULTADOS.

- Los volúmenes de suministro de combustible que se muestran en la tabla N°3.1, supera los 19 mm<sup>3</sup> con el motor Caterpillar C4.4 DTI, usando el filtro convencional, son coherentes con la relación existente entre la influencia del sistema de filtrado de combustible de baja eficiencia, pues el filtro instalado alcanzó un 75% de eficiencia, con lo cual las partículas extrañas contaminantes ingresaron en mayor cantidad a la bomba de inyección y en consecuencia a los inyectores, desgastándolos muy pronto, apenas a las 250 horas de funcionamiento, tal como se muestra en los reportes de horas de parada por fallas en el sistema de inyección del motor de la unidad, que se registraron y se muestran en la tabla N°3.5, que aun realizando tareas de limpieza de los filtros y conservando los inyectores hasta las 500 horas seguía aumentando el desgaste de los mismos, teniendo que recurrir a su cambio inmediato, sin alcanzar la vida útil nominal de aproximadamente 2000 horas de funcionamiento.
- En la figura N°3.3, se puede apreciar como los valores de suministro de combustible superan el valor mínimo permisible por el fabricante, que es 18 mm<sup>3</sup> por lo tanto se recomienda su reemplazo ante el desgaste prematuro de los inyectores que en los cuatro cilindros simultáneamente ocurrió esta falla, que por el orden de medición del desgaste en micras no era notable el deterioro de los inyectores a simple vista pero ya se registraban fallas en el sistema de inyección y parada de la máquina. Se ha graficado como los inyectores se desgastan de manera directamente proporcional o en relación directa con el tiempo de funcionamiento, no se reemplazaron para observar el aumento creciente y acelerado del desgaste en los inyectores, tal como se parecía en las pendientes del volumen suministrado en función del tiempo transcurrido de funcionamiento, sin embargo la diferencia entre el volumen admisible y el volumen real suministrado es más amplia a partir de las mil horas de funcionamiento de la unidad.
- Para el motor con el filtro seleccionado de mayor eficiencia o llamado filtro codificado, se observa que el desgaste de los inyectores es menor, comparado con los resultados del filtro convencional, tal como se aprecian en la tabla N°3.2, pues ya a partir de las 250 horas de funcionamiento puede notarse la influencia significativa de esta mejora en el tratamiento del combustible en el sistema de filtrado, al utilizar un filtro con una eficiencia del 99.9%, dejando pasar menos de la décima parte de partículas contaminantes que ingresan al sistema de inyección de combustible.

- En la figura N°3.4, puede apreciarse que a partir de las 1500 horas de funcionamiento de la unidad el desgaste de los inyectores es más creciente, lo cual lo observamos en el aumento del volumen de combustible suministrado por los inyectores, sin embargo aún pueden seguir operando pues no alcanzan el valor mínimo permisible de volumen a suministra definido por el fabricante. Recién a partir de las 2000 horas se reporta fallas en el sistema de inyección, lo cual lo asociamos a una pérdida de presión de inyección y pérdida de potencia en la unidad, pues al haber un aumento en el flujo de combustible suministrado e inyectado, se presenta una caída de presión de inyección que incluso originaría el apagado del motor de la unidad.
- En la tabla N°3.5, se observa que las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo son más frecuentes y en mayor número, relacionadas al sistema de inyección o sistema de filtrado, que se inspeccionaron en esta unidad, registrando horas de parada por mantenimiento de 69.93 horas, lo cual hace que la disponibilidad se vea afectada, alcanzado un valor de 96.92% de la unidad, donde se cambiaron los inyectores y el sistema de filtrado reemplazándolo por el filtro de alta eficiencia.
- En la tabla N°3.6, para el motor con filtro de alta eficiencia, el número de paros disminuye así como las horas de parada no programada, con lo cual se ve una mejora en la disponibilidad de la unidad que alcanza un valor de 98.18%, aumentando en comparación con el motor funcionando con el filtro convencional.
- Respecto a los costos de mantenimiento de los inyectores, abordamos solamente los costos por reposición de los inyectores ya que los demás gastos de mantenimiento no se pudieron recopilar de fuente confiables, sin embargo al verse reducidas las actividades de mantenimiento por fallas en el sistema de inyección se ven reducidos estos costos de mano de obra, herramientas e insumos necesarios para estas actividades, con lo cual según las tabla N° 3.3 y N°3.4, los costos se ven reducidos, en el caso del motor con filtro de alta eficiencia, pues ya no se invierte en reemplazo de los cuatro inyectores que aproximadamente con el filtro convencional durarían solamente unas 500 horas en el límite de vida útil, con lo cual deberíamos haber reemplazado cuatro veces los cuatro inyectores para un periodo de operación de la unidad de 2000 horas de funcionamiento con lo cual gastaríamos un totalde S/.10475.20 nuevos soles por cuatro veces de reemplazos sería un total de S./41900.80 nuevos soles, lo cual correspondería a un ahorro o disminución de los costos de mantenimiento, sin considerar que las actividades de reparación disminuyeron a 46 horas en solamente 13 actividades, lo cual nos arrojaría un costo menor que para la unidad con filtro convencional.

- Los costos de los filtros convencional y de alta eficiencia o codificado, según el proveedor son de S/.94.88 nuevos soles y de S/.231.74 nuevos soles respectivamente, que hacen un aumento en el costo del sistema de filtrado de combustible de S/.136.87 nuevos soles, que comparado con el gasto en inyectores hasta las 2000 horas de funcionamiento, tendríamos un ahorro de S/.10338.34 nuevos soles, que comparándolos con el gasto que se venía haciendo por reemplazo de inyectores, asumiendo un cambio de inyectores a las 2000 horas, que equivale a un 24.7% de ahorro en los gastos de mantenimiento.
- Existen de otras fuentes de la unidad de mantenimiento, evidencia del desgaste prematuro por presencia de suciedad e impurezas en el combustible utilizado, en que se muestra el corte de un inyector nuevo al que se hizo un examen interno, y observamos que los bordes alrededor del orificio son agudos y bien definidos, como se aprecia en la figura N°4.1 y Además se muestra cómo el material abrasivo en el combustible erosionó los bordes alrededor de los orificios del inyector. El inyector de esta figura 4.2 estuvo en operación por cerca de 3.500 horas. En casos severos, este tipo de daño ocurrirá en menor tiempo.

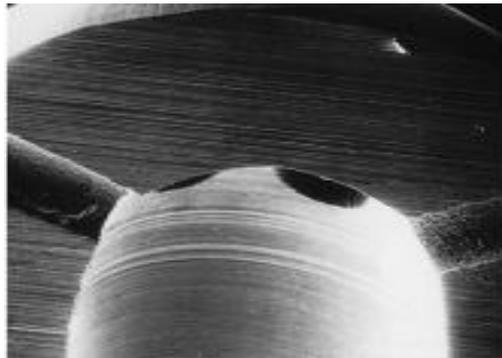


Figura N°4.1: Corte de un inyector de combustible nuevo.



Figura N°4.2: Corte de un inyector con mantenimiento inadecuado del filtro de combustible

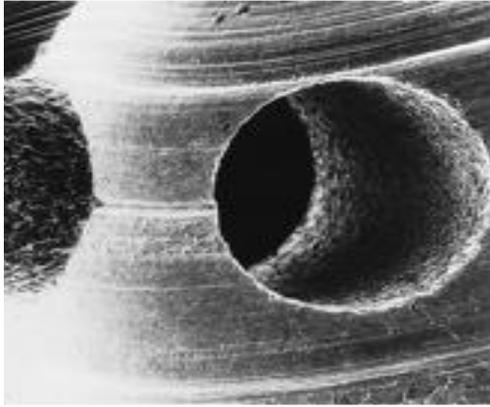


Figura N°4.3: Corte de un inyector usado, con mantenimiento adecuado.

- En el Perú, se emplea D2 con excesivo contenido de azufre (hasta 9.700 PPM), cuando lo permitido es 350 PPM, sedimentos y agua por encima de lo 0.05% de lo permitido, que origina el desgaste prematuro de los componentes del sistema de inyección diésel (válvula impelente, embolo buzo, válvula de dosificación, tobera y su asiento). Durante el proceso combustión en el motor diésel se forman ácidos sulfúricos que provoca desgaste en los inyectores (Investigación de Física, Universidad Nacional Mayor de San Marcos 19/11/2009).

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 Conclusiones:

- El filtro que mejora el sistema de tratamiento de combustible en el sistema de filtrado es el filtro DBF5782, filtro de combustible FUEL FILTER, SPIN-ON SECONDARY DONALDSON BLUE, que en sus pruebas de eficiencia alcanza un valor límite del 99.9%, ensayados bajo la norma ISO 4548-12.
- Los volúmenes de combustible suministrados en el motor Caterpillar modelo DTI, con el filtro convencional superan los valores mínimos permisibles antes de las 500 horas de funcionamiento de la unidad retroexcavadora CAT 420F.
- Los volúmenes de combustible suministrados en el motor Caterpillar modelo DTI, con el filtro de alta eficiencia no superan los valores mínimos permisibles antes de las 1500 horas de funcionamiento de la unidad retroexcavadora CAT 420F.
- Los costos de mantenimiento de los inyectores se reducen en un 24.7% de ahorro en los gastos de mantenimiento, que corresponden a un monto de .S/.10338.34 nuevos soles, cada 5 meses de trabajo de operación de la unidad, comparándolos con el gasto que se venía haciendo por reemplazo de inyectores, asumiendo un cambio de inyectores a las 2000 horas de operación.
- La disponibilidad de la unidad se ve aumentada a un valor de 98.18%, usando un motor con filtro de alta eficiencia, comparada con la unidad usando motor con filtro convencional que llega a un valor de 96.92% de disponibilidad, es decir se aumenta en un 1.26%, lo cual es significativo para las 3020 horas proyectadas de funcionamiento.

### 5.2 Recomendaciones

- Considerar los costos de mantenimiento de la mano de obra, herramientas e insumos por cada actividad de reparación por cada 250 horas de funcionamiento.
- Investigar el efecto del cambio de inyectores en el motor.
- Evaluar las fallas en el sistema de admisión de aire con selección de filtros adecuados de más alta eficiencia.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

### 6.1 Libros

Bomba de inyección diésel. Heywood, J., "Internal Combustion Engine Fundamentals", editorial McGraw Hill, pp. 491- 562, Singapore (1988).

Bosch, "Manual de la Técnica del Automóvil"-2da. Edición, editorial Reverté, pp. 380- 393, Barcelona (1989).

Copyright 1993 2015. Caterpillar Inc. Todos los derechos reservados. Red privada para licenciados del SIS.

Organización y planificación de Sistemas de mantenimiento. Luis Martínez R.-Centro de Altos Estudios Gerenciales – Instituto Superior de Investigación y Desarrollo. Caracas 2007.

Universidad Carlos III de Madrid. Área de Ingeniería Mecánica- Mantenimiento Industrial. M°.Belén Muñoz Abella.

Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control, Duffua, Raouf, Dixon. México.

Publicación Técnica Octel. Núm 6, Combustibles, motores y medio ambiente, Octubre 1989.

Programa PNUD/Banco Mundial de Asistencia para la Gestión del Sector de la Energía (ESMAP), Armonización de las Especificaciones de los Combustibles En América Latina y el Caribe, Enero 1998.

Norma Técnica Peruana NTP 321.003 2001, Petróleo y Derivados, 2daEdición.

### 6.2 Páginas web

Mantenimiento, Reliability y Confiabilidad – RCM, [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com)  
(consulta: 12/05/2016)

Tipos de Mantenimiento,  
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/tipos.asp>(consulta:  
18/05/2016)

[www.franquiciapemex.com/productos/cuatrdies.html](http://www.franquiciapemex.com/productos/cuatrdies.html)

[cifras/2000/junio/TABLAS/TABLA9.HTM](http://cifras/2000/junio/TABLAS/TABLA9.HTM)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Inyecci%C3%B3n\\_de\\_combustible](https://es.wikipedia.org/wiki/Inyecci%C3%B3n_de_combustible)

<http://www.fram-europe.com/es/productos/filtros-de-diesel.html>

**ANEXOS**

Tabla A1: Reporte de control de planeamiento de BOUBY SAC mina Tintaya Cusco  
para la unidad 420F

Tiempo neto de operación y proyectado de motor C4.4 de retroexcavadora 420F						
2 de enero entro a Mantto	Tiempo neto diario promedio de operación, h/d	Días del mes	Tiempo mensual neto de operación, h/mes	Tiempo diario promedio proyectado de operación, h/d	Tiempo mensual proyectado de operación, h/mes	
ene-15	8.70	31.00	269.7	10.00	310	
feb-15	8.30	28.00	232.4	10.00	280	
mar-15	8.50	31.00	263.5	10.00	310	
abr-15	8.15	30.00	244.5	10.00	300	
may-15	8.35	31.00	258.85	10.00	310	
jun-15	8.20	30.00	246	10.00	300	
jul-15	8.50	4.00	34	10.00	40	
			<b>1548.95</b>		<b>1850</b>	
	Disponibilidad en el período			<b>83.73%</b>		
4 julio entro a Mantto					3.5	Tiempo de reparación

Tabla N°A2: Norma establecida por la ministerio de energía y minas (NTP) para los combustibles en el Perú.

Características	Especificaciones						Métodos de Ensayo		
	Diesel N°1		Diesel N°2		Diesel N°3		ASTM	ISO	Norma Técnica Peruana
	Min	Máx.	Min.	Máx.	Min	Máx.			
- Densidad a 15°C, kg/m <sup>3</sup>	Reportar		Reportar		Reportar		D 1298:99	3675	
- Destilación, °C (a 760 mm Hg)							D 86:99a	3405:88	PNTP 321.023
90% recuperado a		288	282	360	282	360			PNTP 321.024
- Punto de Inflamación Pinsky Martens, °C	38		52		52		D 93:99b	2719:88	PNTP 321.031
- Viscosidad Cinemática a 40°C, cSt	1,3	2,4	1,7	4,1	1,9	4,1		3104:94	PNTP
- Punto de Escurrecimiento, °C(1)		-12		+4		+4		3016:94	
<b>COMPOSICIÓN</b>									

- Número de Cetano (2)	40		45		50			5165:98	
- Índice de Cetano	40		40		45		D 4737:96a D 976:95 (3)	4264:95	PNTTP 321.130
- Cenizas, % masa		0,01		0,01		0,01		6245:93	
- Residuos Carbón Ramsbottom 10% Fondos, % masa (4)		0,15		0,35		0,35	D 482:05 D 521:97, D 189:97	426293, 6645:93	
<b>CORROSIVIDAD</b>									
Corrosión Lámina de Cobre 3h. 50°C, N°		3		3		3	D 129:95 D 2622:98	8754:92	PNTTP 321.021
Azufre Total % Masa		0,3		0,5		0,05			
<b>CONTAMINANTES</b>									
Aguay Sedimentos % Vol.		0,05		0,05		0,05	D 1796:97 D 2700:06	3734:97	PNTTP 321.030
(1) Cuando el cliente lo requiere, se determinará el Punto de Niebla o Enturbiamiento por el Método de Ensayo ASTM D 2500-98a.									
(2) En caso de no contar con el equipo del Método de Ensayo ASTM D 613-95 (Número de Cetano), se calculará el Índice de Cetano con el Método de Ensayo ASTM D 4737:96a.									
(3) Solamente para combustibles Diesel de rango de número de Cetano entre 56,5 a 60,0 se utilizará el método ASTM D 976 para calcular el índice de Cetano.									

Tabla A3: Componentes del combustible para no dañar los inyectores (CATERPILLAR)

<b>DIESEL 2</b>	<b>CANTIDAD PERMISIBLE</b>	<b>EXCESO U DEFICIENCIA</b>
<b>Cetano</b>	Numero de cetano 45 son aceptables	El cambio de número menor a 38 tiene efecto en el rendimiento del motor
<b>Azufre</b>	0,05 % (500 PMM)	El exceso por encima de los 600 PPM
<b>Viscosidad</b>	Se recomienda Viscosidad cinemática encima de 1,9cst	Si es menor que 1,9 puede sufrir daños los inyectores
<b>Agua y sedimentos</b>	0.05	Cuando es mayor a 0.05 % es relevante en el funcionamiento

Tabla A4: Cuadros de parámetros que arroja la evaluación que se realiza con el software

C4.4 420 (C4E05686)

Parámetro	Valor
Identificación del equipo	NOT PROGRAMMED
Número de serie del motor	C4E05686
Número de pieza del ECM	3317540-00
Número de serie del ECM	18186227MN
Número de pieza del grupo del software	3358256-00
Fecha de publicación del grupo del software	JUN08
Descripción del grupo del software	C4.4-CCR-A4E2

2

**Control de máquina 420F**

Parámetro	Valor
Identificación de producto	PRA00412
Número de pieza del ECM	3045691-01
Número de serie del ECM	20986365MT
Número de pieza del grupo del software	3330356V00
Fecha de publicación del grupo del software	SEP2008
Descripción del grupo del software	BHL 420eT3
Códigos de diagnóstico activos presentes	No

3

**Palanca de cambios**

Parámetro	Valor
No de pieza del módulo de personalidad	159-7602-0
Fecha emisión del módulo de personalidad	JAN98
Descripción del módulo de personalidad	Electronic Shift Control

Descripción	Valor	Unidad	Mínimo	Máximo	ECM
Velocidad del motor	2159	Rpm	719	2266	C4.4 420 (C4E05686)
Velocidad deseada del motor	2159	Rpm	730	2237	C4.4 420 (C4E05686)
Temperatura del refrigerante del motor	133	° F	93	133	C4.4 420 (C4E05686)
Temperatura del aire de admisión	116	° F	78	116	C4.4 420 (C4E05686)
Presión de aceite del motor	66	Psi	54	68	C4.4 420 (C4E05686)
Presión de múltiple de entrada	17.2	Psi	-0.1	17.4	C4.4 420 (C4E05686)
Voltaje de la batería	14.0	V	14.0	14.0	C4.4 420 (C4E05686)
Presión del riel de combustible	13543	Psi	6994	13814	C4.4 420 (C4E05686)

Tabla A5: Resultados de pruebas motor Diésel nuevo

Esta prueba en dinamómetro es presentada en el control de calidad realizada por el fabricante al momento de entregar el motor para ser instalado a una determinada aplicación que es definida por el mismo. Nos ayudara a establecer parámetros de funcionamiento y tener claro en que indicadores tenemos que basarnos para demostrar nuestro proyecto.

- Realizada 6/27/2016 [C4E16866]
- (C4E16866)Motor
- (C5S01710)Maquina
- Número de serie: C6E41593
- Fecha de fabricación 11oct2011
- Arreglo 2421327

**INDUSTRIAL ENGINE PERFORMANCE DATA**  
**[C6E41593]**

**JUNE 27, 2015**

(C6E41593)-ENGINE (C5S01710)-MACHINE

For Help Desk Phone Numbers [Click here](#)

Performance Number: P2540A

Change Level: 00 ▾

<b>Sales Model:</b> C6.6 DIT	<b>Combustion:</b> DI	<b>Aspr:</b> T
<b>Engine Power:</b> 156 HP	<b>Speed:</b> 2,200 RPM	<b>After Cooler:</b> AA
<b>Manifold Type:</b>	<b>Governor Type:</b>	<b>After Cooler Temp(F):</b> 131
<b>Turbo Quantity:</b>	<b>Engine App:</b> IN	<b>Turbo Arrangement:</b>
<b>Application Type:</b> INDUSTRIAL	<b>Engine Rating:</b> IN	<b>Strategy:</b>
<b>Rating Type:</b>	<b>Certification:</b> EPA TIER 3 -	

**General Performance Data 1**

ENGINE SPEED RPM	ENGINE POWER BHP	ENGINE TORQUE LB.FT	ENGINE BMEP PSI	FUEL BSFC LB/BHP-HR	FUEL RATE GPH	INTAKE MFLD P IN-HG	INTAKE AIR FLOW CFM	EXH STACK TEMP DEG F	EXH GAS FLOW CFM
2,200	156	373.21	139.73	0.39	8.61	37.11	400.82	856.22	883.93

**General Performance Data 2**

ENGINE SPEED RPM	ENGINE POWER BHP	COMPRESS OUT TEMP DEG F	CHARGE AIRFLOW LB/MIN
2,200	156	275.9	29.12
2,000	160	270.5	26.41
1,800	164	268.16	23.85
1,600	153	262.4	21.12
1,400	134	251.6	17.99
1,200	108	204.08	12.54
1,000	78	159.98	8.55
800	51	121.28	5.75

**Engine Heat Rejection Data**

ENGINE SPEED RPM	ENGINE POWER BHP	REJ TO JW BTU/MN	REJ TO ATMOS BTU/MN	REJ TO EXHAUST BTU/MN	FROM AFT CLR BTU/MN
2,200	156	3,935.4	1,126.0	6,068.0	1,024.8
2,000	160	3,901.3	955.4	5,857.6	896.8
1,800	164	3,918.3	1,046.4	5,732.5	793.9
1,600	153	3,690.9	949.7	5,283.2	673.9
1,400	134	3,605.6	892.9	4,868.1	531.7
1,200	108	3,440.6	722.2	3,668.1	226.3
1,000	78	2,894.7	324.2	2,417.0	68.2
800	51	1,996.1	1,996.1	1,273.9	11.4

**EMISSIONS DATA**

EPA TIER 3 - \*\*\*\*\* J1

No notes were found for this certification...

REFERENCE EXHAUST STACK DIAMETER	0 IN
WET EXHAUST MASS	1,807.8 LB/HR
WET EXHAUST FLOW (– STACK TEMP)	--
WET EXHAUST FLOW RATE ( 32 DEG F AND 29.98 IN HG )	--
DRY EXHAUST FLOW RATE ( 32 DEG F AND 29.98 IN HG )	--
FUEL FLOW RATE	--

**RATED SPEED "Potential site variation"**

TOTAL NOX (AS NO2) LB/HR	TOTAL CO LB/HR	TOTAL HC LB/HR	PART MATTER LB/HR
0.01	.0000	.0000	.0000

The powers listed above and all the Powers displayed are Corrected Powers

**Identification Reference and Notes**

<b>Engine Arrangement:</b>		<b>Lube Oil Press @ Rated Spd(PSI):</b>	65.1
<b>Effective Serial No:</b>		<b>Piston Speed @ Rated Eng SPD(FT/Min):</b>	--
<b>Primary Engine Test Spec:</b>		<b>Max Operating Altitude(FT):</b>	9,842.5
<b>Performance Parm Ref:</b>		<b>PEEC Elect Control Module Ref</b>	
<b>Performance Data Ref:</b>	P2540A	<b>PEEC Personality Cont Mod Ref</b>	
<b>Aux Coolant Pump Perf Ref:</b>			
<b>Cooling System Perf Ref:</b>		<b>Turbocharger Model</b>	
<b>Certification Ref:</b>	EPA TIER 3	<b>Fuel Injector</b>	
<b>Certification Year:</b>		<b>Timing-Static (DEG):</b>	--
<b>Compression Ratio:</b>	16.2	<b>Timing-Static Advance (DEG):</b>	--
<b>Combustion System:</b>	DI	<b>Timing-Static (MM):</b>	--
<b>Aftercooler Temperature (F):</b>	131	<b>Unit Injector Timing (MM):</b>	--
<b>Crankcase Blowby Rate(CFH):</b>	--	<b>Torque Rise (percent)</b>	35.0
<b>Fuel Rate (Rated RPM) No Load(Gal/HR):</b>	--	<b>Peak Torque Speed RPM</b>	1400
<b>Lube Oil Press @ Low Idle Spd(PSI):</b>	45.0	<b>Peak Torque (LB.FT):</b>	503.8

**Reference Number: P2540A** EPA TIER 3 J1

**Parameters Reference:** J1

---

Caterpillar Confidential: **Green**  
Content Owner: Commercial Processes Division  
Web Master(s): [PSG Web Based Systems Support](#)  
Current Date: 6/27/2015, 11:54:31 AM  
© Caterpillar Inc. 2015 All Rights Reserved.  
[Data Privacy Statement](#)

Tabla A6: Valores promedio de volumen de combustible suministrado en motor con filtro convencional

<b>Pruebas en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CONVENCIONAL</b>							
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Número de prueba</b>	<b>VOLUMEN DE COMBUSTIBLE SUMINISTRADO A 1204 RPM EN mm3</b>					
		<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750 HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>E11</i>	<i>18.5410</i>	18.6520	18.7480	18.9200	18.9600	19.0500
	<i>E12</i>	<i>18.5610</i>	18.6538	18.7466	18.9322	18.9879	19.1178
	<i>E13</i>	<i>18.5710</i>	18.6560	18.7460	18.9400	18.9780	19.1420
	<i>Promedio</i>	<i>18.5577</i>	<i>18.6539</i>	<i>18.7469</i>	<i>18.9307</i>	<i>18.9753</i>	<i>19.1033</i>
<i>Cilindro 02</i>	<i>E21</i>	<i>18.5400</i>	18.6420	18.7310	18.9150	18.9740	19.1025
	<i>E22</i>	<i>18.5510</i>	18.6438	18.7365	18.9220	18.9777	19.1075
	<i>E23</i>	<i>18.562</i>	18.645	18.7332	18.931	18.9791	19.1005
	<i>Promedio</i>	<i>18.5510</i>	<i>18.6436</i>	<i>18.7336</i>	<i>18.9227</i>	<i>18.9769</i>	<i>19.1035</i>
<i>Cilindro 03</i>	<i>E31</i>	<i>18.546</i>	18.6475	18.7251	18.9025	18.9821	19.1162
	<i>E32</i>	<i>18.5570</i>	18.6498	18.7426	18.9281	18.9838	19.1137
	<i>E33</i>	<i>18.5540</i>	18.6525	18.7615	18.9475	18.9850	19.1152
	<i>Promedio</i>	<i>18.5523</i>	<i>18.6499</i>	<i>18.7431</i>	<i>18.9260</i>	<i>18.9836</i>	<i>19.1150</i>
<i>Cilindro 04</i>	<i>E41</i>	<i>18.5563</i>	18.6412	18.7348	18.9250	18.9542	19.1054
	<i>E42</i>	<i>18.5520</i>	18.6448	18.7375	18.9230	18.9787	19.1086
	<i>E43</i>	<i>18.5521</i>	18.6389	18.7385	18.921	18.9725	19.1098
	<i>Promedio</i>	<i>18.5535</i>	<i>18.6416</i>	<i>18.7369</i>	<i>18.9230</i>	<i>18.9685</i>	<i>19.1079</i>

}

Tabla A7: Valores promedio de volumen de combustible suministrado en motor con filtro codificado

<b>Pruebas en el motor CAT C4.4 DTI CON FILTRO CODIFICADO</b>							
<b>CILINDROS DE INYECCION</b>	<b>Número de prueba</b>	<b>VOLUMEN DE COMBUSTIBLE SUMINISTRADO A 1204 RPM EN mm3</b>					
		<b>250 HORAS</b>	<b>500 HORAS</b>	<b>750HORAS</b>	<b>1000 HORAS</b>	<b>1250 HORAS</b>	<b>1500 HORAS</b>
<i>Cilindro 01</i>	<i>E11</i>	18.5505	18.5428	18.5624	18.5480	18.5486	18.7425
	<i>E12</i>	18.5510	18.5548	18.5566	18.5603	18.5696	18.7553
	<i>E13</i>	18.5605	18.5612	18.5488	18.5805	18.5824	18.7636
	<i>Promedio</i>	18.5540	18.5529	18.5559	18.5629	18.5669	18.7538
<i>Cilindro 02</i>	<i>E21</i>	18.545	18.589	18.5425	18.564	18.5764	18.7525
	<i>E22</i>	18.5540	18.5577	18.5596	18.5631	18.5724	18.7581
	<i>E23</i>	18.565	18.5562	18.5624	18.5678	18.5742	18.756
	<i>Promedio</i>	18.5547	18.5676	18.5548	18.5650	18.5743	18.7555
<i>Cilindro 03</i>	<i>E31</i>	18.5562	18.542	18.5425	18.5462	18.5842	18.7456
	<i>E32</i>	18.5570	18.5607	18.5626	18.5663	18.5756	18.7613
	<i>E33</i>	18.5524	18.5825	18.5732	18.5632	18.5692	18.7825
	<i>Promedio</i>	18.5552	18.5617	18.5594	18.5586	18.5763	18.7631
<i>Cilindro 04</i>	<i>E41</i>	18.5495	18.5632	18.5554	18.5610	18.5864	18.7765
	<i>E42</i>	18.5530	18.5568	18.5586	18.5623	18.5716	18.7573
	<i>E43</i>	18.5505	18.5464	18.5565	18.562	18.5625	18.7425
	<i>Promedio</i>	18.5510	18.5555	18.5568	18.5618	18.5735	18.7588