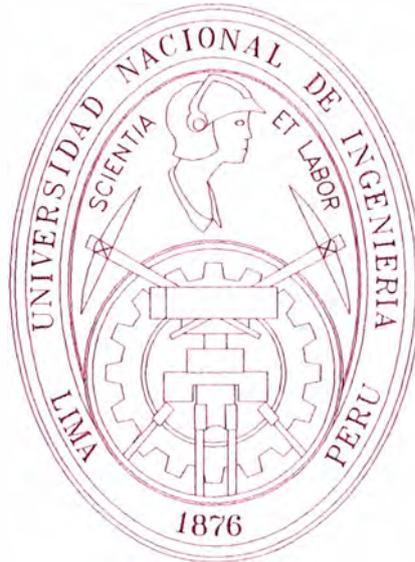


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DIESEL QUE  
OPERA CON UN SISTEMA BI-COMBUSTIBLE**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**LUIS ARTEMIO PATRICIO GAMBOA**

**PROMOCION 1995-II**

**LIMA-PERU**

**2010**

*Dedicado a mi esposa Mariella, por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, por ser tal y como es,...*

I

IV

VI

1

4

4

8

9

9

9

0

0

1

1

2

## INDICE

INDICE	I
LISTA DE TABLAS	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
PRÓLOGO	1
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Justificación	8
1.3. Objetivos	9
1.3.1. Objetivo General	9
1.3.2 Objetivo Especifico	9
1.4. Alcance	10
1.5. Limitaciones	10
CAPITULO II: FUNDAMENTO TEORICO	11
2.1. Características y propiedades del Gas Natural	11
2.1.1. Poder calorífico de combustibles gaseosos	12
2.1.2. Relación Aire – Combustible	14
2.2. Características y propiedades del Petróleo Diesel	18
2.2.1. Petróleo Crudo	18
2.2.2. Combustible Diesel	22

2.3. Calculo de la equivalencia del poder calorífico entre el gas natural y el petróleo diesel	30
<b>CAPITULO III: CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL GRUPO ELECTRÓGENO CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA DE 540 kW</b>	<b>32</b>
3.1. Características del motor	32
3.2. Sistema de lubricación	35
3.2.1 Flujo de aceite en el motor Caterpillar, modelo 3412	37
3.3. Sistema de Enfriamiento	40
3.3.1 Conjuntos funcionales que conforman el Sistema	43
3.4. Sistema de Admisión y Escape	45
3.4.1 Conjuntos funcionales que conforman el Sistema	47
3.5. Sistema de Combustible	49
3.6. Sistema de Regulación de ingreso de combustible	52
<b>CAPITULO IV: CARACTERISITICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA BI-COMBUSTIBLE DEL MOTOR DIESEL</b>	<b>59</b>
4.1. Generalidades	59
4.2. Componentes del Tren de Suministro de Gas	61
4.3. Sistema, Medición y Control de Variables en Proceso	66
4.3.1 Variables Monitoreadas en el Motor	66
4.3.2 Panel de Control de Gas	68
<b>CAPITULO V: ANALISIS TÉCNICO - ECONOMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA BI-COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIESEL</b>	<b>76</b>
5.1. Rendimiento del motor Caterpillar 3412 DITA de 540kW en modo de operación 100% Diesel	77
5.2. Rendimiento del Motor Caterpillar 3412 DITA de 540 kW en modo de operación bi-combustible	78

5.3. Cálculo de beneficio económico	80
5.3.1 Costo de implementación del kit bi-combustible en el motor	80
5.3.2 Costo del consumo de Diesel en función a la carga en modo de operación bi-combustible	84
5.3.3 Tiempo de Retorno de la Inversión (Pay – back)	89
5.3.4 Proyección del ahorro con el sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor de 16.000 horas con una carga promedio de 300 kW.	90
5.3.5 Beneficio Ambiental	94
<b>CAPITULO VI: DESEMPEÑO DE LOS MOTORES CATERPILLAR, MODELO     3412 DITA CON SISTEMA BI-COMBUSTIBLE</b>	100
6.1 Informe de técnico de Análisis de Falla MOD – 3412 - 533.	102
6.2 Informe de técnico de Análisis de Falla MOD – 3412 - 524.	109
6.3 Informe de técnico de Análisis de Falla MOD – 3412 - 502.	115
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	123
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	127
<b>ANEXOS</b>	
1. Cómo tomar una buena muestra de aceite	
2. Entendiendo sus Resultados del Análisis de Aceites S.O.S	
3. Listado de Tareas de Mantenimiento Preventivo para motores con sistema bi-combustible	

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Composición del gas natural de Camisea.	15
Tabla N° 2.2: Aire teórico requerido por diferentes gases combustibles para su combustión completa (aire estequiométrico).	16
Tabla N° 2.3: Poder calorífico inferior del gas combustible.	16
Tabla N° 2.4: Composición del Gas Natural de Gathering Station.	17
Tabla N° 2.5: Especificaciones del Diesel N° 1, Diesel N°2 S-350 y Diesel N°2 S-50	24
Tabla N° 3.1: Especificaciones de Motor Caterpillar , Modelo 3412 DITA	33
Tabla N° 3.2 : Parámetros de operación de Motor Caterpillar 3412 DITA	34
Tabla N° 5.1: Parámetros de Operación – 100% Diesel	77
Tabla N° 5.2: Regulador Primario de la Válvula de Potencia – 2 Vueltas	78
Tabla N° 5.3: Regulador Primario de la Válvula de Potencia – 3 Vueltas	79
Tabla N° 5.4 : Consumo de Combustible Diesel	84
Tabla N° 5.5 : Proyección del ahorro con el sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor	92
Tabla N° 5.6 : Normas y Procedimientos ASTM – Análisis de Aceites Usados (Laboratorio de Capahuari Sur – Pluspetrol)	95
Tabla N° 5.7 : Resultado de Análisis de Aceites Usados	96

Tabla N° 5.8 : Intervalos de Mantenimiento cuando el motor opera bajo el modo 100% Diesel (en un ciclo de vida de motor de 16.000 horas)	98
Tabla N° 5.9 : Intervalos de Mantenimiento cuando el motor opera bajo el modo bi-combustible (en un ciclo de vida de motor de 16.000 horas)	99
Tabla N° 6.1 : Análisis de Aceite lubricante del motor MOD-3412-502	120

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1:	Lote 1AB	5
Fig. 1.2:	Equipos Caterpillar de Generación Instalados en el Lote 1AB – Junio 2.000	6
Fig. 2.1:	Estructura molecular de los combustibles Parafínicos.	12
Fig. 2.2:	Valor del Poder Calorífico Inferior del Metano.	13
Fig. 3.1:	Esquema de flujo de aceite en un motor	36
Fig. 3.2 :	Esquema de flujo de aceite en un motor 3412	37
Fig. 3.3:	Lubricación del Turbocompresor	39
Fig. 3.4:	Esquema de flujo de refrigerante en un motor	41
Fig. 3.5:	Componentes del sistema de enfriamiento de un motor 3412	42
Fig. 3.6:	Esquema del Sistema de Admisión y Escape	45
Fig. 3.7:	Sistema de Admisión y Escape de un motor 3412	46
Fig. 3.8:	Esquema del flujo de aire y gases en un motor 3412	47
Fig. 3.9:	Esquema del flujo de combustible en un motor 3412	50
Fig. 3.10:	Componentes del sistema de combustible de un motor 3412	51
Fig. 3.11	Sistema de Regulación de Ingreso de Diesel	54
Fig. 3.12:	Señales de Paro en el Generador	57
Fig. 3.13:	Diagrama Eléctrico del Sistema Shutdown del Grupo Electrógeno	58

Fig. 4.1:	Vista General del Sistema Bi-combustible del motor	64
Fig. 4.2:	Componentes del Tren de Suministro de Gas	65
Fig. 4.3:	Panel de Control de Gas de sistema bi-combustible	71
Fig. 4.4:	Tipo de Paneles de Control de Gas	73
Fig. 5.1:	Señal Control al Gobernador vs. kW.	85
Fig. 5.2:	Consumo de Diesel vs. kW.	86
Fig. 5.3:	Consumo Específico de Diesel vs. KW	86
Fig. 5.4:	% de Reemplazo de Diesel vs. KW.	87
Fig. 5.5:	Proyección del ahorro con el sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor	93
Fig. 5.6:	Desgaste de Hierro (ppm)	97
Fig. 5.7:	Desgaste de Plomo (ppm)	97
Fig. 5.8:	Desgaste de Cobre (ppm)	97
Fig. 6.1:	Fallas de motores Caterpillar, modelo 3412 DITA, atribuidos al uso del sistema bi-combustible	101
Fig. 6.2:	Corona de pistón de cilindro 08, presenta fundición por alta temperatura en la cámara de combustión	106
Fig. 6.3:	Faldón de pistón de cilindro 08, presenta ralladuras longitudinales, debido a rozamiento con su cilindro por alta temperatura en la cámara de combustión	106
Fig. 6.4:	Cilindro 08, presenta ralladuras longitudinales, debido a rozamiento con su pistón por alta temperatura en la cámara de combustión	107
Fig. 6.5:	Válvula de escape del cilindro 08, presenta perforación de la cabeza debido a la alta temperatura de la cámara de combustión	107

- Fig. 6.6: Alabes de turbina de turbocompresor (lado derecho) con presencia de impacto por partículas que se desprendieron de las coronas de los pistones fallados por alta temperatura 108
- Fig. 6.7: Presencia de aceite en el caracol de la turbina de compresor (lado derecho) debido a fractura de eje motriz 108
- Fig. 6.8: Corona de pistón de cilindro 9, presenta erosión producto de la alta temperatura en la cámara de combustión 111
- Fig. 6.9: Cabezas de pistón presentan incrustaciones de partículas provenientes de los pistones que fallaron a través del sistema de admisión 111
- Fig. 6.10: Coronas de pistones 10 y 12 con incrustaciones de partículas provenientes los pistones fallados a través del sistema de admisión 112
- Fig. 6.11: Válvula de escape de cilindros 9 y 10 presentan erosión y perforación debido a la alta temperatura en sus respectivas cámaras de combustión 113
- Fig. 6.12: Cilindro 5 presenta incrustación de ceniza alrededor de la cámara de combustión, así como ralladuras longitudinales a lo largo de la carrera del pistón 116
- Fig. 6.13: Presencia de manchas de oxido y ralladuras sensibles al tacto en los cilindros 6 y 8 117
- Fig. 6.14: Coloración de la parte inferior de la corona del pistón 10, debido a recalentamiento en la cámara de combustión (en las mismas condiciones salieron los otros pistones del motor) 117
- Fig. 6.15: Presencia de ceniza producto de la deficiente combustión, en las cabezas de válvula del cilindro 8 118

- Fig. 6.16: Presencia de coloración en el vástago de la válvula de escape del cilindro 8 118
- Fig. 6.17: Presencia de caliche y ceniza producto de la deficiente combustión, en las cabezas de válvula del cilindro 7 119
- Fig. 6.18: Formación de sarro en la válvula de admisión del cilindro 2 119

## PROLOGO

El presente informe busca explicar, de una manera sencilla y práctica, los beneficios obtenidos al realizar la conversión de un motor diesel para que este trabaje con el sistema bi-combustible, de tal forma ,que se pueda reemplazar en el proceso de combustión una cantidad o porcentaje de combustible diesel por su equivalente térmico en Gas Natural, sin que esto le genere al motor una pérdida de eficiencia y rendimiento.

Este proyecto tiene su origen, en la decisión de la Compañía Pluspetrol Norte S.A, de reducir sus costo operativos en la energía eléctrica (US\$ / kW-h) mediante la reducción del consumo de combustible diesel en sus Plantas o Centrales de Generación Eléctrica, y el aprovechamiento del Gas Natural asociado de cabeza de pozo como combustible alternativo para la Generación de Electricidad. Este Gas Natural era arrojado al medio ambiente o quemado en los incineradores (flare´s) ubicados en las plantas de producción.

El informe se inicia con una introducción, donde se menciona y describen los antecedentes, justificaciones, objetivos, alcances y limitaciones del proyecto realizado; así como una breve descripción de la compañía que implementó este sistema bi-combustible en sus Grupos Electrógenos, como una forma de solución a una problemática energética.

En el Capítulo II, se presentan las definiciones, la composición y las características físicas y energéticas del Gas Natural que se tiene en la planta de producción de Garhering Station, el mismo que es utilizado en los Grupos Electrógenos cuando trabajan en el modo bi-combustible, también se hace mención a las especificaciones que debe tener el combustible diesel.

En el Capítulo III, se hace mención a las características técnicas del motor Caterpillar, modelo 3412 DITA y de los sistemas que lo conforman, poniendo mayor énfasis en el Sistema de Control de Ingreso de Combustible, que es la parte que controla no sólo la operación de motor, si no también, su interacción con panel de control del sistema bi-combustible.

En el Capítulo IV, se ven las características principales del kit de conversión del sistema bi-combustible, sus componentes (equipos, sensores y actuadores), sus parámetros de calibración y el correcto funcionamiento que estos realizan en cada una de las etapas de su proceso de operación.

En el Capítulo V, se realiza un análisis técnico – económico de la implementación de estos sistemas bi-combustible en los motores Diesel. Se evalúan el comportamiento de sus parámetros de operación y su rendimiento a diferentes cargas y modos (100% Diesel y bi-combustible). También se indica el detalle de los costos involucrados en la conversión (equipos, instrumentos, mano de obra y otros), el monto de la inversión y el tiempo de la recuperación del mismo; así como la proyección del ahorro que se tendría con el uso de este sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor (16.000 horas)

En el Capítulo VI, se hace mención de algunas experiencias prácticas del uso del sistema bi-combustible que contribuyeron a la mejorar las prácticas del mantenimiento de este modo de operación.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, la bibliografía y anexos utilizada en el desarrollo de este informe.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Antecedentes

La compañía Pluspetrol Norte S.A., es titular del contrato de licencia para la exploración y explotación de hidrocarburos en el campo petrolero denominado Lote 1AB, ubicado en la selva Nor-Oriental del departamento de Loreto – Perú, frontera con el Ecuador.

El Lote 1AB se encuentra dividido operativamente en 4 grandes áreas de producción (ver Fig. 1.1):

Área de Andoas: Incluye campamento Andoas, Gathering Station, Capahuari Sur, Capahuari Norte y Tambo.

Área de Jibarito: Incluye campamento Jibarito, Jibaro y Dorissa.

Área de Shiviyaçu: Incluye campamento Shiviyaçu, Tnte. López, Huayuri, Forestal y Carmen.

Área de San Jacinto: Incluye campamento San Jacinto y Bartra.

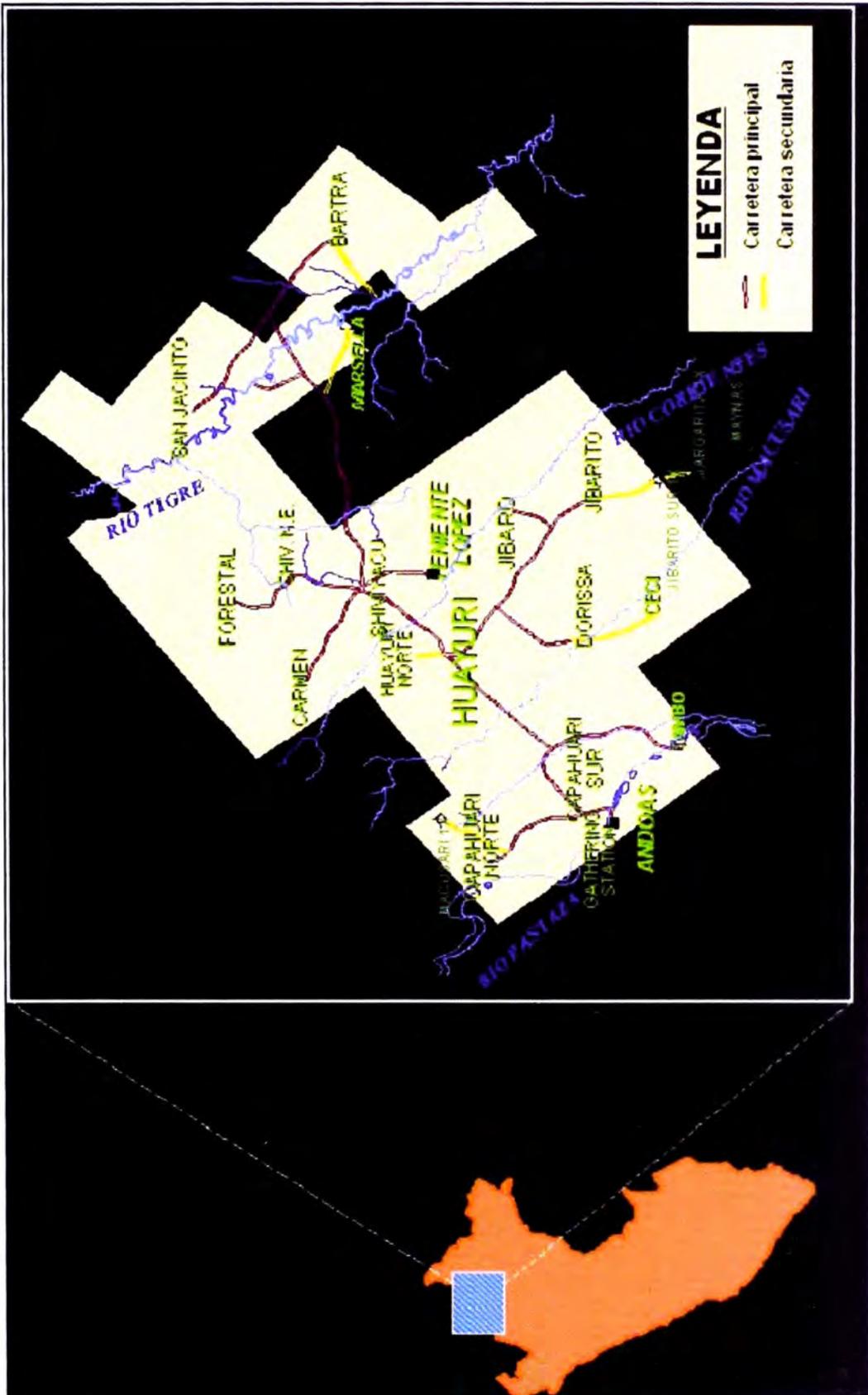


Fig. 1.1: Lote 1AB

Fig. 1.2: Equipos Caterpillar de Generación Instalados en el Lote 1AB – Junio 2.000

MODELO CAT	AREA ANDOAS				AREA JIBARITO		AREA SHIVIYACU					AREA SAN JACINTO	TOTAL
	Andoas	Gathering Station	Capahuari Norte	Capahuari Sur Y Tambo	Jibaro y Jibarito	Dorissa	Shiviyacu	Forestal	Huayuri	Teniente Lopez	Carmen	San Jacinto	
D3408		4						2	1				7
D3412	1		5	3	5	6	14	6	6		1	6	53
D3508			1			1							2
D3512			3		5	3	1	3	1				16
D379							1		1	2		2	6
D398	2		1		3	2	5		2				15
E.P.T			1		1	1	2		1				6
G379						1							1
G398						1	1		2				4
G399							4						4
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>28</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>114</b>

Cuando Pluspetrol asume la administración del Lote 1AB en Junio del año 2 000, la generación eléctrica tenía las siguientes características:

- Se tenían 114 grupos electrógenos medianos (0,4 a 1,2 MW c/u) instalados en las locaciones de los pozos y las plantas de generación (ver Fig. 1.2). Casi todos ellos utilizaban el petróleo diesel como combustible
- El combustible diesel representaba el 85% de los costos de la generación eléctrica.
- La mayor parte del gas producido era quemado en los incineradores (flare´s).
- La máxima demanda de potencia (37,42 MW) era aproximadamente la mitad de la potencia instalada (75,22 MW), lo cual se debía al sistema de generación satelital utilizado en la mayoría de pozos de producción.

Además, se tenían las siguientes limitaciones a futuro:

- El Gobierno prohibiría que el gas se quemara directamente al medio ambiente como se venía haciendo en los incineradores (flare´s), y asimismo realizaría un control más estricto en cuanto a las emisiones de NOx
- Atender el incremento futuro de demanda de energía con generación satelital, significaría que en algún momento se tenía que comprar petróleo diesel a Petroperú. La Refinería "Topping Plant" ubicado en el campamento de Shiviayacu, trabajaba casi al límite de su capacidad, y su producción de petróleo diesel apenas cubría el consumo de la operación en el Lote.

Ante esta situación se plantearon las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo afrontar el incremento futuro de la demanda de energía?
- ¿Cómo adecuarse a las reglamentaciones del Gobierno?

- ¿Cómo disminuir los costos de generación?

Una de las alternativas que se analizaron para encontrar respuestas a las interrogantes, fue:

1. En el corto plazo, la utilización de nuevas tecnologías como los sistemas bi-combustible, de tal forma que se pudiese reemplazar un % de combustible diesel por su equivalente energético en gas natural, en los Grupos Electrógenos.
2. En el mediano plazo, implementar la generación eléctrica a través del uso de turbinas a gas natural en las bases de producción de Jibarito (turbina de 5 MW), Forestal (turbina de 2 MW), Shiviyaçu (1 MW) y Capahuari Sur (Turbina de 1 MW).
3. Reubicar los Grupos Electrógenos satélites ubicados en las cabezas de los pozos de producción a minicentrales eléctricas, de tal forma de aprovechar al máximo la potencia instalada que actualmente se tiene.

## **1.2. Justificación**

Dentro del proceso de extracción de petróleo crudo, uno de los fluidos que se extraen del pozo junto con el petróleo es el gas natural asociado de cabeza de pozo (también llamado gas natural de cabeza de pozo), este tipo de gas natural tiene un costo "cero" para la compañía Pluspetrol, debido a que no puede sacarlo del Lote 1AB para su comercialización ni mucho menos almacenarlo, por esa razón, lo que

les quedaba era quemarlo en las chimeneas o incineradores (flare's) ubicados en todas las plantas o baterías de producción en el Lote.

### **1.3. Objetivos**

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

Describir de una manera sencilla y practica, el proceso de implementación de un sistema bi-combustible en un motor diesel, y como este influye en su operación durante su ciclo de vida.

Establecer los beneficios técnico – económico que se obtendrían al implementar el uso del sistema bi-combustible

Desarrollar las mejores practicas de mantenimiento que permitan sacar el máximo provecho al uso del sistema bi-combustible en los motores diesel

#### **1.3.2 Objetivo Especifico**

Determinar la razón por la que motor diesel 3412 DITA con sistema bi-combustible, solo puede reemplazar técnicamente el 35% de su consumo de petróleo diesel, cuando utiliza en el gas natural de la planta de producción de Gathering Stación.

Determinar de los beneficios a obtener, si se utiliza el sistema bi-combustible en un motor diesel durante un ciclo de vida (16.000 horas) y en que tiempo se recuperaría toda la inversión.

Adecuar para los motores que operan con el sistema bi-combustible, los actuales listados de tareas y periodos de mantenimiento preventivo que tiene la empresa para sus motores que operan en modo 100% Diesel.

#### **1.4. Alcance**

El análisis de la implementación del sistema bi-combustible, lo realizaremos en un Grupo Electrónico, de la Marca Caterpillar, Modelo D3412 DITA, ubicado en la mini central eléctrica de planta de producción de Gathering Station; el cual tiene 82 horas de operación de un ciclo de vida previsto de 16.000 horas.

Para el cálculo de tiempo de retorno de la inversión del kit bi-combustible y su montaje en el motor, no se considera los costos relacionados al grupo electrónico, ni su montaje en la mini central eléctrica, tampoco el costo del tendido y conexión de los cables de potencia y de control del grupo electrónico al cuarto de mando (MCC) debido a que estas conexiones son necesarias para poner en línea el Grupo Electrónico en modo diesel; muy al margen de si se implementa o no el uso del sistema bi-combustible

Para la proyección de los beneficios del uso de este sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor, si considera los costos relacionados a la reparación mayor del Grupo Electrónico (Mano de Obra, Repuestos) y el Kit bi-combustible, muy adicional al ahorro obtenido por la reducción del consumo del combustible diesel.

#### **1.5. Limitaciones**

Según los proveedores de estos sistemas bi-combustible, estos equipos pueden llegar a reemplazar hasta un 70% de diesel por su equivalente energético en gas natural (95% en metano, mínimo) en un motor diesel; en nuestro caso, y debido a la calidad del gas natural que se dispone en la planta de producción de Gathering Station y del Lote en general, sólo se pudo reemplazar hasta un 35% a 300 kW.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTO TEORICO

#### 2.1. Características y propiedades del Gas Natural

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos, compuesta principalmente por el metano ( $\text{CH}_4$ ), el cual es el primer miembro de la familia de los alcanos, que en condiciones atmosféricas se presenta en forma gaseosa. Es un gas incoloro e inodoro, y se encuentra generalmente en la misma formación geológica que el petróleo crudo, pero también puede ser encontrado solo <sup>(2)</sup>.

Los principales hidrocarburos contenidos en el petróleo crudo y gas natural, pertenecen a tres diferentes familias o grupos, de acuerdo a su estructura molecular:

Parafínicos

Naftenos

Aromáticos

Nosotros revisaremos sólo los parafínicos, ya que la mayoría de gases usados en motores pertenecen a este grupo.

La serie parafínica (ver Fig. 2.1) comienza con el gas más simple en su grupo, el metano ( $\text{CH}_4$ ). Sólo los primeros 4 gases de los parafínicos están en estado gaseoso a temperatura y presión estándares. Los parafínicos más complejos pueden pasar del estado líquido al gaseoso con aplicación de calor.

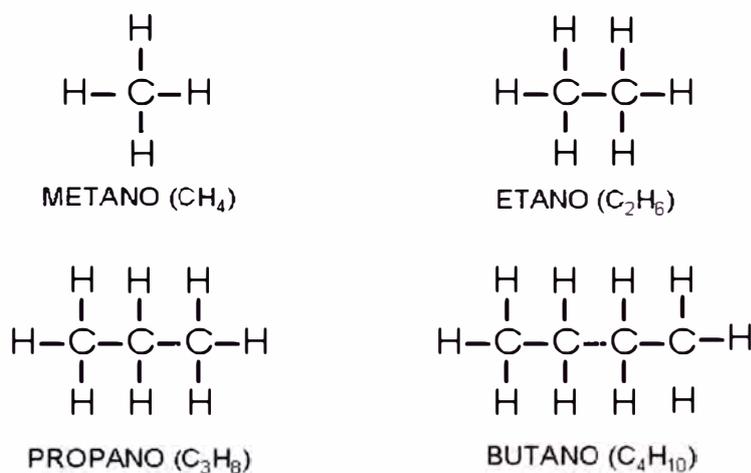
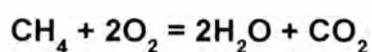


Fig. 2.1: Estructura molecular de los combustibles Parafínicos.

### 2.1.1. Poder calorífico de combustibles gaseosos

El poder calorífico de un combustible gaseoso, generado durante la combustión, es medido en  $\text{kJ/m}^3$  ( ó  $\text{BTU/pe}^3$  ). Este poder calorífico es determinado quemando completamente una cantidad de gas y midiendo la energía producida, y se denomina poder calorífico superior (P.c.s.).

Realizando la ecuación para la combustión estequiométrica del metano ( $\text{CH}_4$ , que es el constituyente principal del gas natural), tenemos:



El metano se combina con el oxígeno y forma agua y dióxido de carbono. Para diferentes gases, la cantidad de agua producida en la combustión variará. En el interior de la cámara de combustión del motor, esta agua está en estado vapor. En la carrera de escape, este vapor sale del motor, llevando el calor absorbido al cambiar de líquido a gas.

La energía absorbida para cambiar del estado líquido a gas del agua, es llamado "Calor latente de vaporización" (C.l.v.), el cual no es aprovechado por el motor.

La energía útil para nosotros, es el que el motor pueda convertir en energía mecánica. Luego podemos restar el calor latente de vaporización de la energía total del combustible (P.c.s. – C.l.v.) y conseguir el poder calorífico inferior (P.c.i.) del gas, que es la energía útil del mismo.

En la Fig. 2.2 podemos ver el valor real para el metano. Se puede notar que la pérdida de calor es 10% del calor total disponible.

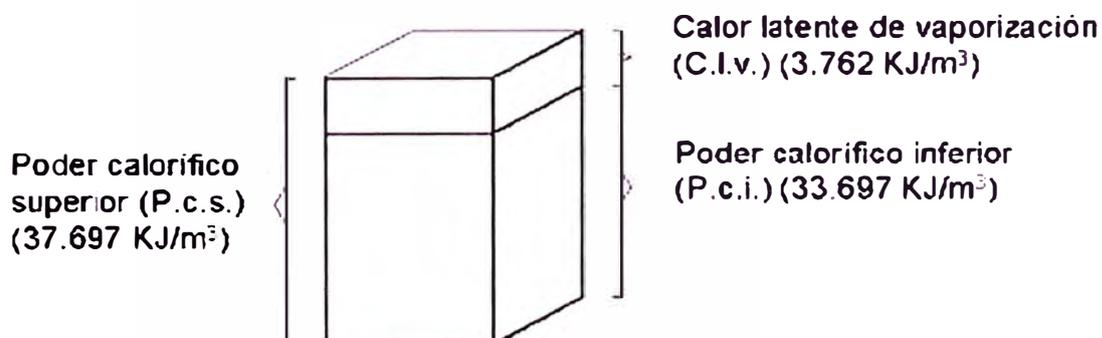
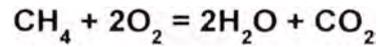


Fig. 2.2: Valor del Poder Calorífico Inferior del Metano.

Ahora veremos la ecuación de la combustión para el metano, para determinar la cantidad mínima de aire requerido para la combustión completa:



El número de moléculas en la ecuación, representa los volúmenes de metano y oxígeno requeridos. Esto es, 1 m<sup>3</sup> de metano requiere 2 m<sup>3</sup> de oxígeno.

Ahora, para calcular la cantidad de aire, debemos indicar que aproximadamente el 21% del aire en volumen es Oxígeno, entonces, los 2 m<sup>3</sup> de oxígeno representa 9,53 m<sup>3</sup> de aire:

### 2.1.2. Relación Aire - Combustible

La mayoría de gases son mezclas de diferentes gases, y cada mezcla requiere una única cantidad mínima de aire (relación aire-combustible) para su combustión completa. Para determinar la cantidad de aire requerido para quemar 1 m<sup>3</sup> de mezcla, es necesario un análisis cromatográfico del gas. Para el ejemplo, utilizaremos el análisis por volumen del gas natural que proviene de Camisea, cuya composición incluye variedad de hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano, por sobre el 90%, y en proporciones menores etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de gases inertes como dióxido de carbono y nitrógeno, indicado en la Tabla N° 2.1.

Las Impurezas son, el helio, oxígeno, vapor de agua.

Tabla N° 2.1: Composición del gas natural de Camisea.

Componente	Fórmula química	Composición (%)
Metano	$CH_4$	95,08
Etano	$C_2H_6$	2,14
Propano	$C_3H_8$	0,29
Iso-Butano	$C_4H_{10}$	0,11
Iso-Pentano	$C_5H_{12}$	0,04
Hexano	$C_6H_{14}$	0,01
Nitrógeno	$N_2$	1,94
Dióxido de Carbono	$CO_2$	0,39

(Fuente: [http://www.osinerg.gob.pe:8888/SPH/html/gas\\_natural/cultura\\_gas\\_natural/prevencion\\_datos\\_utiles/prevencion\\_composicion\\_gas.htm](http://www.osinerg.gob.pe:8888/SPH/html/gas_natural/cultura_gas_natural/prevencion_datos_utiles/prevencion_composicion_gas.htm)).

El aire requerido para quemar 1 m<sup>3</sup> de este gas se calcula utilizando la Tabla N° 2.2 adjunta, multiplicando la cantidad de aire para cada gas, por el porcentaje en volumen de dicho gas en la mezcla. Luego, se necesita 9,541 m<sup>3</sup> de aire para quemar 1 m<sup>3</sup> de esta mezcla de gases.

Usando la Tabla N° 2,3, calculamos el poder calorífico inferior del gas de Camisea, multiplicando el porcentaje en volumen de cada componente por su respectivo poder calorífico inferior. La suma total corresponde al poder calorífico inferior de nuestro gas, es decir, 34.001 kJ/m<sup>3</sup>

Tabla N° 2.2: Aire teórico requerido por diferentes gases combustibles para su combustión completa (aire estequiométrico).

Componente	Fórmula química	Composición (%)	Gas Solo (m <sup>3</sup> )	Mezcla (m <sup>3</sup> )
Metano	$CH_4$	95,08	9,53	9,061
Etano	$C_2H_6$	2,14	16,67	0,357
Propano	$C_3H_8$	0,29	23,82	0,069
Iso-Butano	$C_4H_{10}$	0,11	30,97	0,034
Iso-Pentano	$C_5H_{12}$	0,04	38,11	0,015
Hexano	$C_6H_{14}$	0,01	45,23	0,005
Nitrógeno	$N_2$	1,94	0	0
Dióxido de Carbono	$CO_2$	0,39	0	0
				9,541

Tabla N° 2.3: Poder calorífico inferior del gas combustible.

Componente	Fórmula química	Composición (%)	Gas Solo (kJ/m <sup>3</sup> )	Mezcla (kJ/m <sup>3</sup> )
Metano	$CH_4$	95,08	33.934	32.264
Etano	$C_2H_6$	2,14	60.753	1.300
Propano	$C_3H_8$	0,29	87.647	254
Iso-Butano	$C_4H_{10}$	0,11	115.510	127
Iso-Pentano	$C_5H_{12}$	0,04	138.157	55
Hexano	$C_6H_{14}$	0,01	164.076	16
Nitrógeno	$N_2$	1,94	0	0
Dióxido de Carbono	$CO_2$	0,39	0	0
				34.017

El poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible para el gas natural de Camisea, se calcula dividiendo el poder calorífico inferior del combustible entre el volumen total de la mezcla aire-combustible:

$$34.017 / (1 + 9,541) = 3.227 \text{ kJ/m}^3$$

Ahora, procederemos a calcular el valor del poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible utilizando el gas natural que se tiene en la planta de producción de Gathering Station (ver Tabla N° 2.4), con el cual funcionará el Grupo Electrónico convertido al sistema bi-combustible.

Tabla N° 2.4: Composición del Gas Natural de Gathering Station.

Componente	Fórmula química	Composición (%)	Gas Solo (m3)	Mezcla (m3)	Gas Solo (Kj/m3)	Mezcla (kJ/m3)
Metano	$CH_4$	63,23	9,53	6,02	33.934	21.459
Etano	$C_2H_6$	7,63	16,67	1,27	60.753	4.640
Propano	$C_3H_8$	6,49	23,82	1,54	87.647	5.692
Iso-Butano	$C_4H_{10}$	3,45	30,97	1,06	115.510	3.987
Iso-Pentano	$C_5H_{12}$	1,25	38,11	0,47	138.157	1.727
Hexano	$C_6H_{14}$	0,15	45,23	0,06	164.076	248
Nitrógeno	$N_2$	4,24	0	0	0	0
Dióxido de Carbono	$CO_2$	13,52	0	0	0	0
				10,46		37.753

(Fuente: Reporte de Análisis Cromatográfico de Gas Natural del Laboratorio de Capahuari Sur – Pluspetrol)

Estandar Utilizado : Manufacturado por PRAXAIR, contenido 0,519m<sup>3</sup> @ 2.000 psig  
Los resultados de la composición molar están expresados en base a gas seco

El poder calorífico inferior de la mezcla aire-combustible del gas natural de Gathering Station es:

$$37.753/(1 + 10.463) = 3.293 \text{ kJ/m}^3$$

## **2.2. Características y propiedades del Petróleo Diesel**

### **2.2.1. Petróleo Crudo**

El petróleo es un líquido oleoso bituminoso (color oscuro) de origen natural compuesto por diferentes sustancias orgánicas (es una mezcla de hidrocarburos, aunque también suelen contener unos pocos compuestos de azufre y de oxígeno). Es, como el carbón, un combustible fósil. También recibe los nombres de petróleo crudo, crudo petrolífero o simplemente "crudo". Aunque se trata de un líquido aceitoso de color oscuro, es considerado una roca sedimentaria.

El petróleo se forma a partir de restos de pequeños organismos marinos que viven en cantidades enormes en mares cálidos y poco profundos. Si al morir estos organismos son rápidamente enterrados por sedimentos, fermentarán. Pasados millones de años, bajo la presión de nuevas capas de sedimentos, los restos orgánicos se transformarán en petróleo. El proceso comenzó hace muchos millones de años, cuando surgieron los organismos vivos en grandes cantidades, y continúa hasta el presente.

Se encuentra en grandes cantidades bajo la superficie terrestre, en los estratos superiores de la corteza terrestre. Esto se debe a que el petróleo tiende a escapar a zonas más altas en las que soporte menos presión. En este viaje, con frecuencia el petróleo se queda atrapado entre una capa impermeable, formando un depósito en el que los fluidos se segregan dependiendo de su densidad (el petróleo se suele encontrar por debajo de una atmósfera de gas y flotando en el agua). En otras ocasiones consigue alcanzar la superficie. Cuando ocurre esto el petróleo se volatiliza dejando un residuo de asfalto y betún. No es de extrañar, por tanto, que

fuese conocido ya por las antiguas civilizaciones. Los egipcios utilizaban el betún para impermeabilizar los barcos y para embalsamar las momias. Sin embargo, tan sólo desde finales del siglo XIX viene utilizándose a gran escala como combustible.

#### **a). Composición química del Petróleo**

En una mezcla muy compleja de composición variable, de hidrocarburos de muchos puntos de ebullición y estados sólido, líquido y gaseoso, que se disuelven unos en otros para formar una solución de viscosidad variable.

Contiene:

- Hidrocarburos saturados o parafinas.
- Hidrocarburos etilénicos u olefinas.
- Hidrocarburos acetilénicos.
- Hidrocarburos cíclicos nafténicos.
- Hidrocarburos bencénicos o nafténicos aromáticos.
- Compuestos oxigenados (derivados de hidrocarburos etilénicos, por oxidación y polimerización)
- Compuestos sulfurados (tiofeno, etc.)
- Compuestos nitrogenados cíclicos (piridina, etc)

En el petróleo natural, además de hidrocarburos, existen nitrógeno, azufre, oxígeno, colessterina, productos derivados de la clorofila y de las heminas (porfirinas) y, como elementos, trazas, vanadio, níquel, cobalto y molibdeno.

Como consecuencia de los compuestos orgánicos nombrados, el petróleo presenta polarización rotatoria, lo cual revela claramente que se trata de un compuesto de origen orgánico, formado a partir de restos animales y vegetales.

La composición química del petróleo es muy variable, hasta el punto de que los cuatro tipos fundamentales de hidrocarburos: parafinas (hidrocarburos saturados), olefinas (hidrocarburos insaturados), naftenos (hidrocarburos cíclicos saturados o cicloalcanos), e hidrocarburos aromáticos, no solamente son diferentes de un yacimiento a otro, sino también las diversas sustancias que es preciso eliminar más o menos completamente: gas, azufre (que junto con el sulfhídrico, mercaptanos y tioalcoholes pueden alcanzar un 3%), agua más o menos salada, compuestos oxigenados y nitrogenados, indicios o vestigios de metales etc.

Un análisis en el laboratorio proporciona primeramente indicaciones sobre la cantidad y calidad de los productos acabados que se pueden extraer del petróleo crudo:

- alta tensión de vapor, revela la presencia de gas.
- alta densidad y viscosidad, indican una reducida proporción de gasolina o un contenido importante de betún o parafina.

En promedio, el petróleo crudo está compuesto, en su mayoría, por los siguientes elementos:

Carbón 83 - 87%

Hidrógeno 11 - 14%

Oxígeno 0 - 1,5%

Sulfuro 0,1 - 3,0%

Nitrógeno 0,1 - 0,5%

## **b). Clasificación del Petróleo**

La clasificación se basa en la clase de hidrocarburos que predominan en el petróleo crudo:

- **Petróleo de base parafínica**

- Predominan los hidrocarburos saturados o parafínicos
- Por destilación producen abundante parafina y poco asfalto.
- Son los que proporcionan mayores porcentajes de nafta y aceite lubricante.
- Son muy fluidos, de colores claros y bajo peso específico (aproximadamente, 0,85 kg./lt).

- **Petróleo de base asfáltica o nafténica**

- Predominan los hidrocarburos etilénicos y diétilínicos, cíclicos ciclánicos (llamados naftenos), y bencénicos o aromáticos.
- Son muy viscosos, de coloración oscura y mayor peso específico (aproximadamente 0,950 kg/lt)
- Por destilación producen un abundante residuo de asfalto.

- **Petróleo de base mixta**

- De composición de bases intermedias, formados por toda clase de hidrocarburos: Saturados, no saturados (etilénicos y acetilénicos) y cíclicos (ciclánicos o naftenos y bencénicos o aromáticos).

- La mayoría de los yacimientos mundiales son de este tipo.

### 2.2.2. Combustible Diesel

El combustible diesel, la gasolina, el gas licuado y muchos otros componentes, se obtienen del petróleo crudo. Aún cuando los compuestos o componentes del petróleo crudo varían ampliamente de depósito a depósito, los constituyentes finales son relativamente fijos; el porcentaje de carbono varía generalmente de 83 a 87%, el de hidrógeno de 11 a 14%.

Los combustibles derivados del petróleo consisten primordialmente en parafina (alcanos), del tipo  $C_nH_{2n}$ , olefinas y diolefinas de los tipos  $C_nH_{2n}$  y  $C_nH_{2n-2}$  y aromáticos  $C_nH_{2n-6}$  y  $C_nH_{2n-12}$ . Los hidrocarburos de la serie olefínica diolefínica y acetilénica se encuentran ausentes o en proporciones despreciables, excepto cuando se crean debido a la descomposición térmica u otros procesos de refinación.

Los compuestos de vanadio y níquel tienen baja volatilidad y no se destilan con las fracciones ligeras.

En los combustibles diesel, los componentes más valiosos son los n-alcanos que poseen una temperatura de auto inflamación más baja, en comparación con los isómeros, además, ésta disminuye con el aumento de las dimensiones de la molécula.

Por eso, en calidad de combustibles diesel se emplean las fracciones más pesadas del petróleo.

El combustible diesel representa en si un líquido transparente y oleaginoso, color marrón claro, con masa específica desde 0,80 hasta 0,86 g/cm<sup>3</sup> y constituye fundamentalmente un producto de destilación directa del petróleo. Sin embargo, se emplean también a la par en gran escala, mezclas de productos de destilación directa y de craqueo catalítico con un poder calorífico superior a la gasolina; antiguamente, era uno de los sobrantes de la destilación para obtener gasolina, razón por la cual se le consideraba como combustible de clase inferior, siendo en realidad más bien lo contrario. Un moderno motor diesel es más sensible a la mala calidad del combustible que uno de encendido por chispa lo es a la clase de gasolina empleada. El combustible diesel no sólo es un producto refinado, sino que ha de estar excelentemente filtrado, pues las menores impurezas físicas perturban el funcionamiento del equipo de inyección, construido con tolerancias del orden de milésimas de mm (micras).

El número de átomos de carbono, en los hidrocarburos del petróleo diesel llega a 30, formada mayormente por cadenas parafínicas y anillos nafténicos, asestando en menor proporción los aromáticos y las olefinas. En la Tabla N° 2.5 demuestran las especificaciones del combustible diesel según Norma Técnica Peruana.

Tabla N° 2.5: Especificaciones del Diesel N° 1, Diesel N°2 S-350 y Diesel N°2 S-50

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES						MÉTODOS DE ENSAYO		
	DIESEL N°1		DIESEL N°2 (D2S-350)		DIESEL N°2 (D2S-50)		ASTM	ISO	NTP
	Min	Max	Min	Max	Min	Max			
<b>VOLATILIDAD</b>									
Destilación									
% Vol Recuperado a 250 °C				65		65	D 86 04	3405	321 023
% Vol Recuperado a 350 °C			80		80				
90% recuperado, °C		288							
95% recuperado, °C			360		360				
Punto de inflamación Pensky Martens, °C			55		55		D 93 02a	2719	321 024
Punto de inflamación Tag Copa Cerrada, °C	38						D 56 02a		321 105
Densidad a 15°C, Kg/m³			820	845	820	845	D 1298 99	3675	
							D 4052 02		
<b>FLUIDEZ</b>									
Viscosidad Cinemática a 40°C, cSt (2)	1,3	2,4	2,0	4,5	2,0	4,5	D 445 04	3104	321 031
Punto de Escurrimento, °C		-12					D 97 04	3016	
Punto de Niebla, °C (A)							D 2500 02 e1	3015	
<b>COMPOSICION</b>									
Número de Cetano (B)	40		51		51		D 613 03b	5165	
Índice de Cetano	40		46		46		D 4737 03 D 976 04a	4264	
Cenizas, % masa		0,010		0,010		0,010	D 482 03	6245	
Residuo de Carbón Ramsbottom, 10% fondos, % masa (C)		0,15					D 524 03 D 189 01	4262 6615	
Residuo de Carbón Conradson, 10% fondos, % masa				0,3		0,3	D 4530 03 D 189 01	10370 6615	
Aromáticos, % Vol				35		35	D 1319 03	3837	
Azufre total, mg / Kg (1)		1500					D 129 00 D 2622 03 D 4294 03 D 5453 03a D 4045 04 D 1266 98 (03)	14596 8754	
				350			D 5453 03a D 2622 03 D 4294 03 D 1266 98 (03)	14596 8754 4260	
						50	D 5453 03a D 2622 03 D 1266 98 (03)	14596 4260	
<b>CORROSIVIDAD</b>									
Corrosión a la lámina de Cobre, 3h, 50 °C, Nº		3		1		1	D 130 04	2160	321 021
Estabilidad a la Oxidación, mg / 100ml				25		25	D 2274 03a	12205	
Acidez Total, mg KOH/g				0,08		0,08	D 974 01 e1	6618	
<b>CONTAMINANTES</b>									
Agua y Sedimentos, % Vol		0,05		0,05		0,05	D 1796.97 (02) D 2709.96 (01)	3734	321 029
Material Particulado, mg/L				24		24	D 6217 98 (03)		
<b>LUBRICIDAD</b>									
Lubricidad, diámetro rasgado de uso corregido, HFRR a 60 °C, mm (3)				0,46		0,46	D 6079 02	12156	
<b>OTROS</b>									
Contenido de FAME, % Vol (D)				5		No detectable	(E)		

(A) Cuando el cliente requiera se determinará el Punto de Niebla (B) En caso de no contar con el equipo del Método de Ensayo D 613 (Número de Cetano), se calculará el Índice de Cetano (D) FAME = Fatty Acid Methyl Esters (E) Método de ensayo EN 14078 (C) En caso de no contar con el equipo, se calculará esta propiedad utilizando el Apéndice X1 del Método de Ensayo ASTM D524 03, que relaciona el ensayo de Carbón Conradson (Método de Ensayo ASTM D189 01) con el Carbón Ramsbottom

(Fuente: Norma Técnica Peruana – NTP : 321.003-2005 “PETRÓLEO Y DERIVADOS. Diesel. Especificaciones”)

(1) Los sistemas de combustibles y los componentes de los motores Caterpillar pueden operar con combustibles con un alto contenido de azufre. Sin embargo, el nivel de azufre del combustible afecta la emisión de partículas en el escape.

Los combustibles con un alto contenido de azufre aumentan también el riesgo de corrosión de los componentes internos. Niveles de azufre en el combustible superiores al 1.0% pueden acortar significativamente los intervalos de cambio de aceite.

(2) Los valores de viscosidad de combustible que se indican se refieren al combustible tal como llega a las bombas de inyección de combustible. Si se usa un combustible de baja viscosidad, puede ser necesario enfriar el combustible para mantener una viscosidad adecuada en la bomba de inyección de combustible. Para combustibles de alta viscosidad puede necesitarse el uso de calentadores para reducir la viscosidad a niveles aceptables.

(3) La lubricidad del combustible debe considerarse cuando se usa combustible de bajo contenido de azufre. Para determinar la lubricidad del combustible, se usa la prueba ASTM D6708 de desgaste por carga de rozamiento (SBOCLE) o la prueba ASTM D6079 recíproca de alta frecuencia (HFRR).

#### **a). Factores que pueden influir en los requerimientos de las propiedades del combustible Diesel <sup>(3)</sup>**

##### **Número de cetano**

El número de cetano es una medida de la calidad de la ignición del combustible y tiene influencia en la uniformidad de la combustión. Los requerimientos de número de cetano dependen del diseño y tamaño del motor, la naturaleza de las variaciones

de velocidad y carga, de las condiciones atmosféricas y del arranque. El incremento del número de cetano por encima de los valores realmente requeridos por el motor no mejora significativamente su funcionamiento.

### **Índice de cetano**

Es una medida de la cualidad del encendido del combustible que indica la habilidad del encendido espontáneo bajo las condiciones de temperatura y presión de la cámara de combustión del motor.

### **Destilación**

Los requerimientos de volatilidad del combustible dependen del diseño y tamaño del motor, así como de la naturaleza de las variaciones de velocidad y carga, de las condiciones atmosféricas y del arranque. Para motores en servicios que involucran rápidas fluctuaciones de carga y velocidad como en la operación de ómnibuses y camiones, los combustibles más volátiles pueden proporcionar una mejor performance, especialmente con respecto al humo y olor. No obstante, la mejor economía de combustible generalmente se obtiene con los tipos de combustibles más pesados a causa de su mayor poder calorífico por litro.

### **Viscosidad**

Para algunos motores es ventajoso especificar una viscosidad mínima, debido a la pérdida de potencia originada por las fugas en la bomba de inyección e inyector. Por otra parte, la viscosidad máxima está limitada por consideraciones relacionadas con el diseño y tamaño del motor y las características del sistema de inyección.

### **Residuo de carbón**

El residuo de carbón da una medida de la tendencia a depositar carbón de un combustible al ser calentado en un bulbo bajo condiciones prescritas. Si bien no está directamente correlacionada con los depósitos en el motor, esta propiedad se considera una aproximación.

### **Azufre**

El efecto del contenido de azufre en el desgaste del motor y la formación de depósitos en su interior parece que varía considerablemente en importancia y depende en gran medida de las condiciones de operación. El azufre del combustible puede afectar el funcionamiento del sistema de control de emisiones.

### **Punto de inflamación**

El punto de inflamación especificado no está directamente relacionado con la performance del motor. Sin embargo, su importancia está relacionada con requisitos legales y precauciones de seguridad relacionadas con el manejo y almacenamiento del combustible y normalmente se especifica para satisfacer las regulaciones de seguridad y de prevención de incendios.

### **Cenizas**

Las sustancias que forman cenizas se pueden presentar en el combustible en dos formas:

(1) sólidos abrasivos y (2) jabones metálicos solubles. Los sólidos abrasivos contribuyen al desgaste del motor, bomba de combustible, pistones y anillos; así como a los depósitos en el motor. Los jabones metálicos solubles tienen poco

efecto en el desgaste pero pueden contribuir a la formación de depósitos en el motor.

### **Punto de escurrimiento**

El punto de escurrimiento es importante en relación a la menor temperatura que el combustible pueda alcanzar y aún estar suficientemente fluido para ser bombeado o transferido.

### **Corrosión del cobre**

Esta prueba sirve como una medida de las posibles dificultades con las piezas de cobre, latón y bronce del sistema de combustible.

### **Agua y sedimentos**

Cantidades apreciables de agua y sedimentos en los combustibles tienden a causar problemas en las facilidades del manejo del combustible y a su vez ocasionar averías en el sistema del combustible de un motor. Una acumulación de sedimentos en los tanques de almacenamiento y en los filtros, puede obstruir el flujo del combustible del tanque hacia la cámara de combustión. La presencia de agua en los combustibles destilados medios puede causar corrosión de tanques y equipos, si existe la presencia de detergentes, el agua puede causar emulsiones o mostrar una apariencia brumosa. También la presencia de agua fortalece el crecimiento de microorganismos en la interfase combustible-agua en los sistemas de combustibles.

### **Densidad**

La densidad es una prueba física fundamental que puede ser usada en conjunción con otras propiedades para caracterizar a los combustibles en productos ligeros y

pesados. Su determinación es necesaria para la conversión de volúmenes medidos a volúmenes a la temperatura estándar de 15 °C.

### **Acidez total**

La presencia de compuestos ácidos puede deberse a la presencia de ácidos orgánicos e inorgánicos, metales pesados y algunos componentes de los aditivos como agentes inhibidores y detergentes o como producto de degradación formados durante su uso o almacenamiento. Principalmente los productos de degradación contribuyen a un aumento en el número de acidez. Por más que los ácidos presentes pueden variar ampliamente por sus propiedades corrosivas, el número de acidez no puede ser usado para predecir la corrosividad del combustible en condiciones de servicio. No es conocida alguna correlación general entre el número de acidez y la tendencia a la corrosión del combustible sobre la superficie metálica.

### **Aromáticos**

Esta prueba es usada como un indicador del contenido de aromáticos en los combustibles diesel. El contenido de aromáticos es especificado para prevenir un incremento en el promedio de aromáticos presentes en los combustibles diesel de bajo contenido de azufre.

Niveles altos de contenido de aromáticos pueden tener un impacto negativo en las emisiones vehiculares.

### **Lubricidad**

La vida corta de los componentes del motor como la bomba de inyección y los inyectores, muchas veces han sido atribuidos a la carencia de lubricidad del

combustible, es por ello necesario evaluar la lubricidad con la finalidad de prevenir el desgaste en las piezas del sistema de inyección.

### **Estabilidad a la oxidación**

Esta prueba determina la estabilidad inherente del combustible a la formación de materia insoluble producto de su degradación. Sin embargo, esta prueba no proporciona una predicción de la cantidad de materia insoluble que se formará durante el almacenamiento para un determinado periodo. La cantidad de materia insoluble que se forma durante el almacenamiento está sujeta a condiciones variables de campo y a la composición del combustible.

### **2.3. Cálculo de la equivalencia del poder calorífico entre el gas natural y el combustible diesel <sup>(4)</sup>**

El gas natural, como otras formas de energía, está medido en MJ, kJ, kilocalorías, o Btu (unidad térmica británica).

Un pie cúbico de gas natural Standard tiene acerca de 1.000 Btu (1.054 kJ).

El gas natural extraído de los pozos de producción es medido en miles de pies cúbicos (Mcf). Sin embargo, en el nivel de usuario final, el gas está típicamente medido en términos del contenido de calor o Therms. Un Therm es una unidad de calor igual a 100.000 Btu (105.400 kJ) y es aproximadamente equivalente a 100 pies cúbicos estándar (scf) de gas natural (2,83219 m<sup>3</sup>)

Como el petróleo diesel es un combustible líquido, típicamente es medido en galones o litros, y el gas natural a las mismas condiciones ambientales normalmente está en una condición no líquida y es medida en pies cúbicos estándar (scf). Por lo que una comparación directa de unidades iguales no sería posible. Por consiguiente es necesario determinar una equivalencia térmica de gas natural para compararlo con el combustible diesel, o un " galón de equivalente del gas " (GEG).

Para determinar a un GEG, se asume lo siguiente:

**Btu de Diesel/ gln: 140.000 (combustible Diesel D- 2) ó 38,99 MJ/litro**

**Btu de Gas/ scf: 1.000 (gas estándar de calidad de la tubería) ó 37,22MJ/m<sup>3</sup>**

Dividiendo el Btu de Diesel por los Btu de Gas, se obtiene que 140 scf (1,4 therms) de gas natural genera el equivalente de energía de un galón de combustible Diesel D-2.

Con esta información, ahora es posible calcular el flujo de gas requerido para un motor con sistema bi-combustible.

Ejemplo : Cálculo de flujo de Gas para un Grupo Electrónico de 1,500 kWe.

Combustible quemado/full carga                      105 gln/h

% Gas aproximado                                              70%

$105 \text{ gln} \times 0,70 = 73,5 \text{ gln/h}$  (cantidad de gln de Diesel a reemplazar)

$73,5 \text{ gln/h} \times 140 \text{ scf/gln} = 10.290 \text{ scf/h}$

**CAPITULO III**  
**CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL GRUPO ELECTRÓGENO**  
**CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA DE 540 KW**

Desde el primer motor de cuatro tiempos, presentado por Nikolas Otto en 1876, durante la Exposición Universal de París, hasta los modernos motores actuales, se han producido multitud de cambios y mejoras en sus materiales, diseño y construcción. No obstante, el principio de funcionamiento continúa invariable desde los primeros tiempos: aspirar aire, comprimirlo, provocar una combustión y aprovechar la fuerza de los gases resultantes al expandirse.

En este capítulo describiremos las características técnicas<sup>(1)</sup>, descripción de sus sistemas de funcionamiento y especificaciones de un motor Caterpillar, modelo 3412 DITA.

### **3.1. Características del motor**

Los motores Caterpillar, modelo 3412 DITA, son motores de combustión interna por compresión, de 1800 RPM, de cuatro tiempos, 12 cilindros en configuración "V", etc. (ver Tabla N° 3.1) <sup>(1)</sup>

Tabla N° 3.1: Especificaciones de Motor Caterpillar , Modelo 3412 DITA

<b>ESPECIFICACIONES DEL MOTOR 3412 DITA</b>	
Velocidad (RPM)	1800
Cilindros y Arreglo	12 cilindros en V - 65°
Relación de compresión	14,5 : 1
Combustión	Inyección Directa
Aspiración	Sobrealimentado con post-enfriador
Orden de encendido	1-4-9-8-5-2-11-10-3-6-7-12
Número de Culatas	2
Diámetro del cilindro	137,2 mm (5,40 in)
Carrera del pistón	152,4 mm (6,00 in)
Cilindrada	27 lts.
Sentido de Giro	Horario
Válvulas por cilindro	4
Luz de válvula de admisión	0,38 mm (0,15 in)
Luz de válvula de escape	0,76 mm (0,30 in)
Tipo de aceite	15W40
Capacidad de carter	32 gl.

Además, de acuerdo al fabricante, este motor cumple con los siguientes parámetros de operación (Tabla N° 3.2).

Tabla N° 3.2 : Parámetros de operación de Motor Caterpillar 3412 DITA

Descripción	Unidades	Nominal	Superior	Inferior
Potencia	HP	770	793	747
Velocidad	RPM	1800	1810	1790
Velocidad alta en vacío	RPM	1852	1872	1831
Velocidad baja en vacío	RPM	1200	1210	1190
Regulación estática de combustible en la bomba de inyección (Full Load)	In	0.26		
Regulación estática de combustible en la bomba de inyección (Full Torque)	In	0.26		
Consumo de combustible	GAL/HR	39.2	41.2	37.2
Presión del aire a la salida del turbocompresor	IN_HG	40.8	47.2	34.9
Temperatura de refrigerante a la entrada del motor	°F	192	197	186
Delta Temperatura del refrigerante (T. Salida - T. Entrada del motor)	°F	14	23	5
Presión de aceite	PSI	66	87	40
Presión de aceite en vacío	PSI	63	87	40
Presión de combustible	PSI	35	45	25
Presión de combustible a la entrada del motor	PSI		3	
Temperatura de combustible a la entrada del motor	°F	86	91	80
Presión de aire a la entrada del motor	IN_HG		31	26
Restricción del filtro de aire	IN_HG		1.18	
Temperatura de aire a la entrada del motor	°F		120	59
Densidad del combustible Diesel	°API		36	34

### 3.2. Sistema de lubricación

Como todo motor, existen una serie de piezas metálicas sometidas a fricción durante su funcionamiento. Esta fricción provocaría sobre ellas un calentamiento y desgaste prematuro. Para que esto no ocurra, se reduce el rozamiento mediante aceite de lubricación. El aceite de lubricación cumple la función de lubricar, limpiar, refrigerar y proteger del desgaste las piezas en movimiento y se distribuye a través de un sistema de conductos existentes en el interior del bloque motor.

En el caso de estos motores, el aceite de lubricación realiza el siguiente recorrido para llegar a las distintas partes en movimiento del motor.

El proceso consta en lo siguiente : Primero, cuando el motor está caliente, el aceite viene del carter (6) a través del sumidero y sus tuberías hacia la bomba de aceite (5) . La bomba de aceite envía el aceite a través de una tubería a un pasaje dentro del monoblock . El aceite luego va a través de la válvula de by-pass del enfriador de aceite (4), para entrar al enfriador de aceite (3). El aceite sale del enfriador de aceite para luego pasar luego a través del filtro de aceite (7), de allí el aceite pasará a través de la válvula de by-pass del filtro de aceite (2) y entrará a la galería de lubricación por el lado derecho del monoblock.

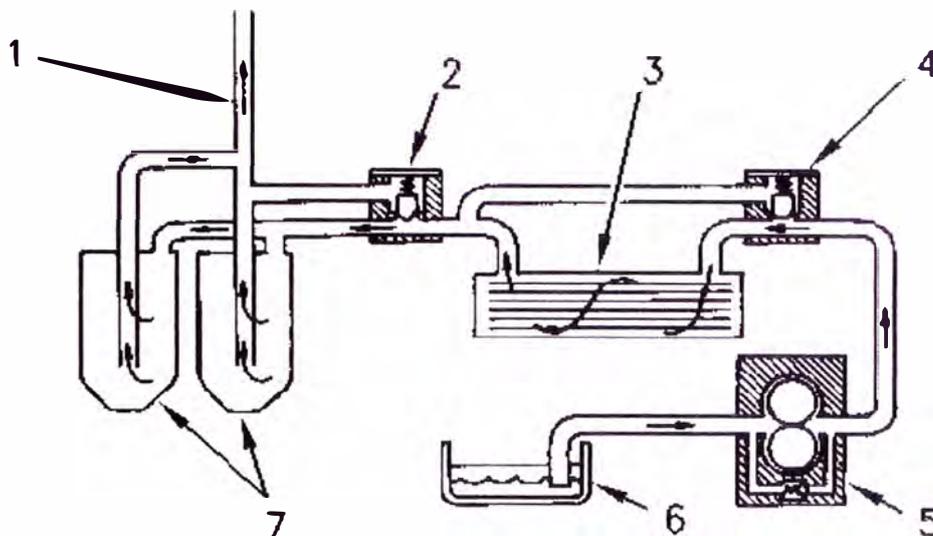


Fig. 3.1: Esquema de flujo de aceite en un motor

(1) Flujo hacia los ductos y galerías de lubricación en el monoblock, (2) Válvula de by-pass del filtro de aceite (3) Enfriador de aceite del motor (oil cooler). (4) Válvula de by-pass del enfriador de aceite. (5) Bomba de aceite (6) Cáster de aceite. (7) Filtros de aceite.

Segundo, cuando el motor está frío, el aceite frío, con alta viscosidad, causará restricción en el flujo de aceite a través del enfriador de aceite (3) y los filtros de aceite (7). Esta restricción causa una diferencia de presión en las válvulas de by-pass. Lo que originará que las válvulas de by-pass (2) y (4) se abran. Cuando las válvulas de by-pass estén abiertas, el flujo de aceite se dirige directamente a través de un pasaje en el cuerpo de la válvula a la galería de lubricación en el monoblock.

Cuando el aceite se calienta, la diferencia de presión en las válvulas de by-pass decrece. Esto causará que las válvulas de by-pass se cierren. Normalmente, el flujo de aceite debe pasar a través del enfriador de aceite (3) y el filtro de aceite (7).

Hay una válvula de by-pass en la bomba de aceite (5). Esta válvula de by-pass controla la presión de aceite de la bomba. Si la capacidad de la bomba de aceite excede la cantidad de aceite que se necesita para lubricar el sistema, la presión de aceite se incrementará por el excesivo aceite, esto causará que se abra la válvula de by-pass de la bomba. Esto dejará que el aceite que no se necesite, retorne a la succión de la bomba.

### 3.2.1 Flujo de aceite en el motor Caterpillar, modelo 3412

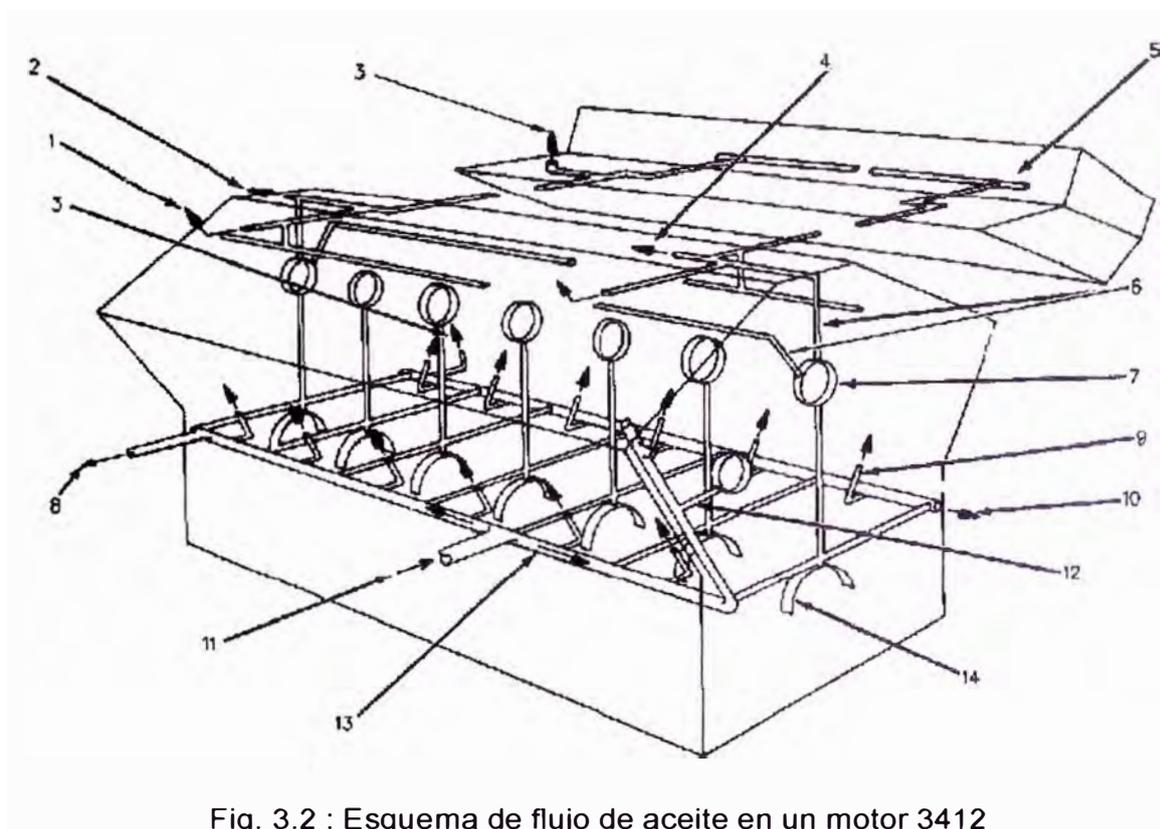


Fig. 3.2 : Esquema de flujo de aceite en un motor 3412

- (1) Flujo para el eje de balancines. (2) El pasaje taponado. (3) Tapón. (4) Flujo para la cuerpo de la bomba de la inyección, el gobernador y el control del aire /combustible. (5) Eje de balancines. (6) Flujo para los levantadores de válvulas. (7) Cojinetes del eje de levas. (8) Flujo para el turbocompresor. (9) Jet's de lubricación de pistón. (10) Flujo para los engranajes de control de avance automático. (11) La línea de suministro de aceite para la galería de lubricación en el monoblock. (12) Flujo para los engranajes de mando frontal. (13) Galería de lubricación en el monoblock. (14) Cojinetes de bancada.

El flujo de aceite ingresa a la galería de lubricación (13) desde la caja de filtros a través de la válvula de by-pass (ver Fig. 3.2). Luego, fluye a las galerías a través de unos pasajes y ductos perforados en el monoblock. Estos pasajes se conectan con los alojamientos de cojinetes de bancada (14) y los alojamientos de cojinetes del eje de levas (7). Los cojinetes son lubricados por el aceite que viene de las galerías de lubricación. El aceite fluye desde los cojinetes de bancada al cigüeñal a través de unos agujeros perforados en sus puños de bancada, el cual se comunica con los puños de biela, Este aceite lubrica también los cojinetes de biela. Una pequeña cantidad de aceite fluye a través de los jet's de lubricación (9), al pin del pistón para enfriarlo.

El aceite fluye hacia los pasajes (5) y (6) a través de agujeros ubicados en los alojamientos de los cojinetes frontal y posterior del eje de levas. Este aceite lubrica los levantadores de válvulas y los ejes del balancín. Los agujeros en el eje del balancín permiten que el aceite lubrique los componentes del sistema del tren de válvulas ubicado en la culata del motor.

La bomba de inyección y el gobernador reciben aceite desde el pasaje (4) en el monoblock. El aceite para la operación hidráulica de gobernador electromecánico viene desde una pequeña bomba de engranaje ubicado entre el cuerpo de la bomba de inyección y el gobernador. La unidad de avance automático recibe aceite del cuerpo de la bomba de inyección a través de un pasaje ubicado en eje de levas de la bomba de inyección.

Los cojinetes de los engranajes de mando frontal del motor reciben aceite a través de un pasaje ubicado en el eje del engranaje de mando que está conectado al pasaje (12)

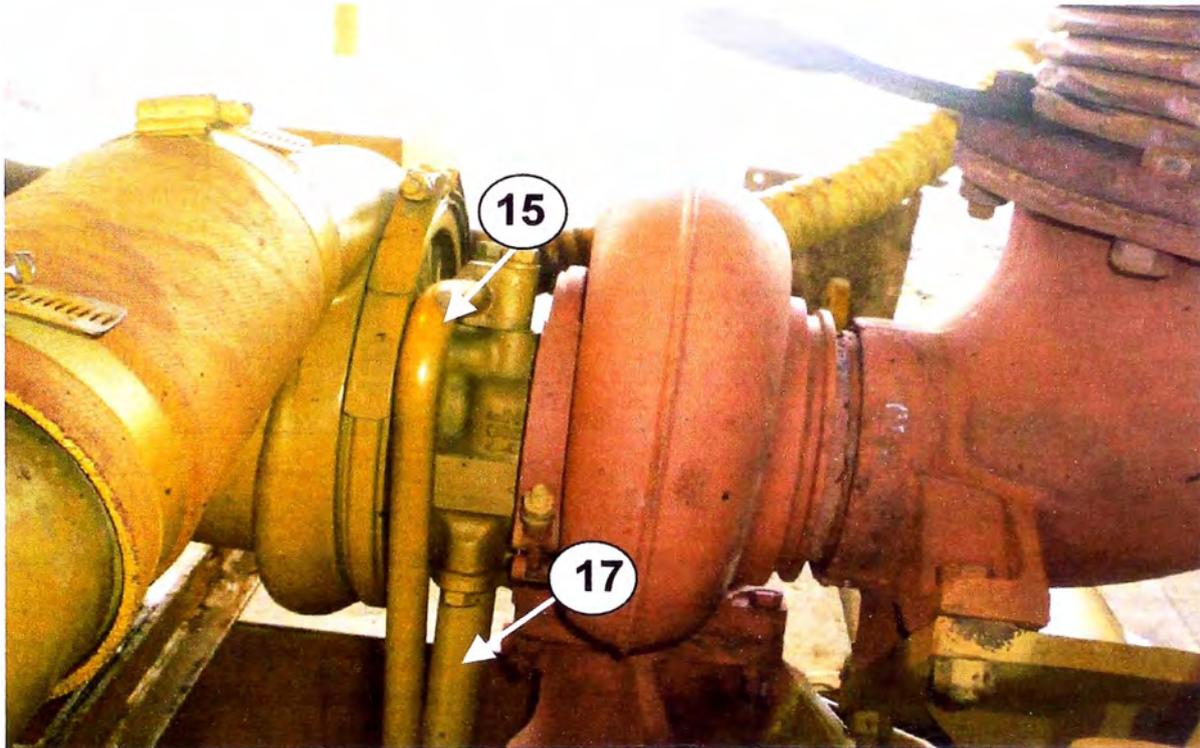


Fig. 3.3: Lubricación del Turbocompresor

(15) Línea de suministro de aceite al turbocompresor. (17) Línea de drenaje del turbocompresor.

La línea de suministro de aceite (15) surte de aceite a los cojinetes del eje del turbocompresor (ver Fig. 3.3). El flujo de aceite sale del turbocompresor a través de la línea de drenaje (17). El aceite luego fluye a la caja de la volante para llegar al Cárter después de que toda la lubricación es completada.

### 3.3 Sistema de Enfriamiento

Durante el funcionamiento del motor se produce una gran cantidad de calor que es necesario evacuar, con el fin de no comprometer la resistencia mecánica de las piezas, evitar la combustión del aceite de lubricación de las paredes del cilindro y fenómenos de detonación o autoencendido de la mezcla. Por ello, se hace necesaria la refrigeración forzada de elementos tales como la culata, las paredes de los cilindros y las válvulas. Como medio refrigerante, aunque se denominan sistemas de refrigeración por agua, se emplean líquidos refrigerantes. Estos líquidos, aparte de ejercer una acción de protección contra la corrosión, tienen un punto de congelación más bajo que el agua y, a la vez, un punto de ebullición más alto, con lo que poseen un margen de trabajo, que va desde varios grados centígrados bajo cero hasta más de 100 °C grados. Caterpillar, utiliza sistemas presurizados, lo que permite trabajar con temperaturas superiores sin que se produzca ebullición, para un mejor rendimiento térmico del motor.

En estos sistemas, el motor está provisto interiormente de galerías y conductos por los que circula el refrigerante, que permiten que se encuentre en contacto con el lado exterior de las paredes de los cilindros y la culata.

El proceso consta en lo siguiente : En operación normal, la bomba de agua (10) succiona el refrigerante del radiador (5) para hacerlo fluir por el enfriador de aceite del motor (7), las galerías internas en el monoblock, la culata y la caja de regulador de temperatura (3). Cuando el regulador de temperatura se abre, la mayor parte del refrigerante fluye al radiador (5) a través de la salida (4). El refrigerante transfiere el calor al medio ambiente conforme se va desplazando a través del radiador

(ver Fig. 3.4). Cuando el refrigerante llega al fondo del radiador, éste es succionado por la bomba de agua, iniciándose nuevamente el ciclo.

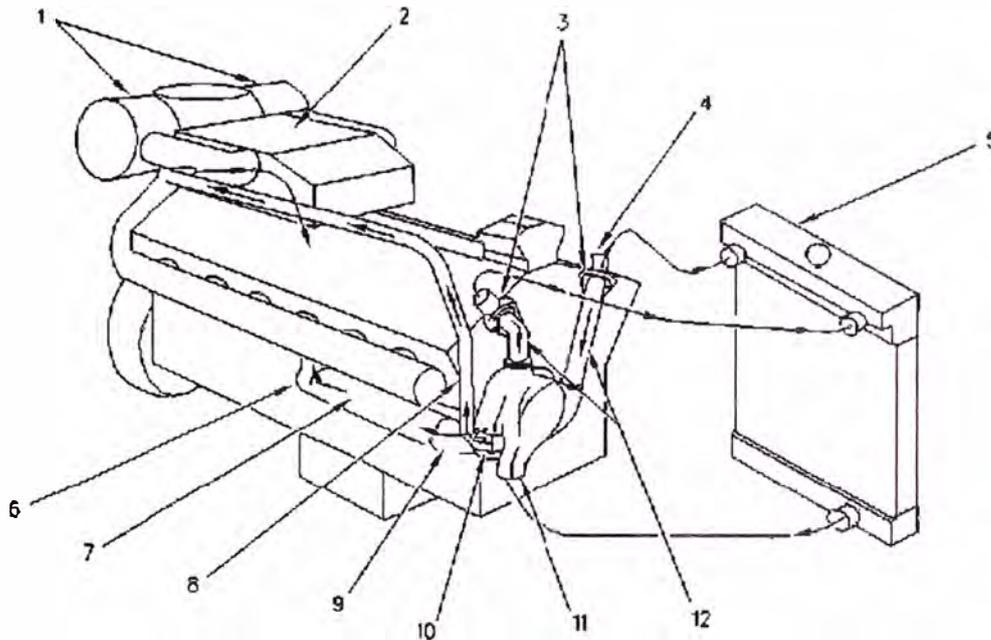


Fig. 3.4: Esquema de flujo de refrigerante en un motor

(1) Turbocompresor. (2) Post-enfriador. (3) Caja de regulador de temperatura (termostato). (4) Ductos de salida de refrigerante (uno en cada lado de la parte frontal del motor). (5) Radiador. (6) Salida de refrigerante del enfriador de aceite. (7) Enfriador de aceite. (8) Línea al post-enfriador. (9) Entrada de refrigerante al enfriador de aceite. (10) Bomba de agua. (11) Succión de la bomba de agua desde el fondo del radiador. (12) Línea de by-pass del radiador

La regulación de la temperatura del refrigerante es una parte muy importante del sistema de enfriamiento. El regulador de temperatura divide el refrigerante entre el radiador (5) y la línea de by-pass (12), de manera que mantiene la temperatura correcta en el sistema.

No hay manera de controlar la temperatura del refrigerante si los reguladores de temperatura (termostatos) no son instalados en el sistema. Como el refrigerante opta por fluir a través de las secciones por donde encuentre una menor resistencia, éste fluirá a través de la línea de by-pass y no por el radiador, lo que provocará que el motor se recaliente.

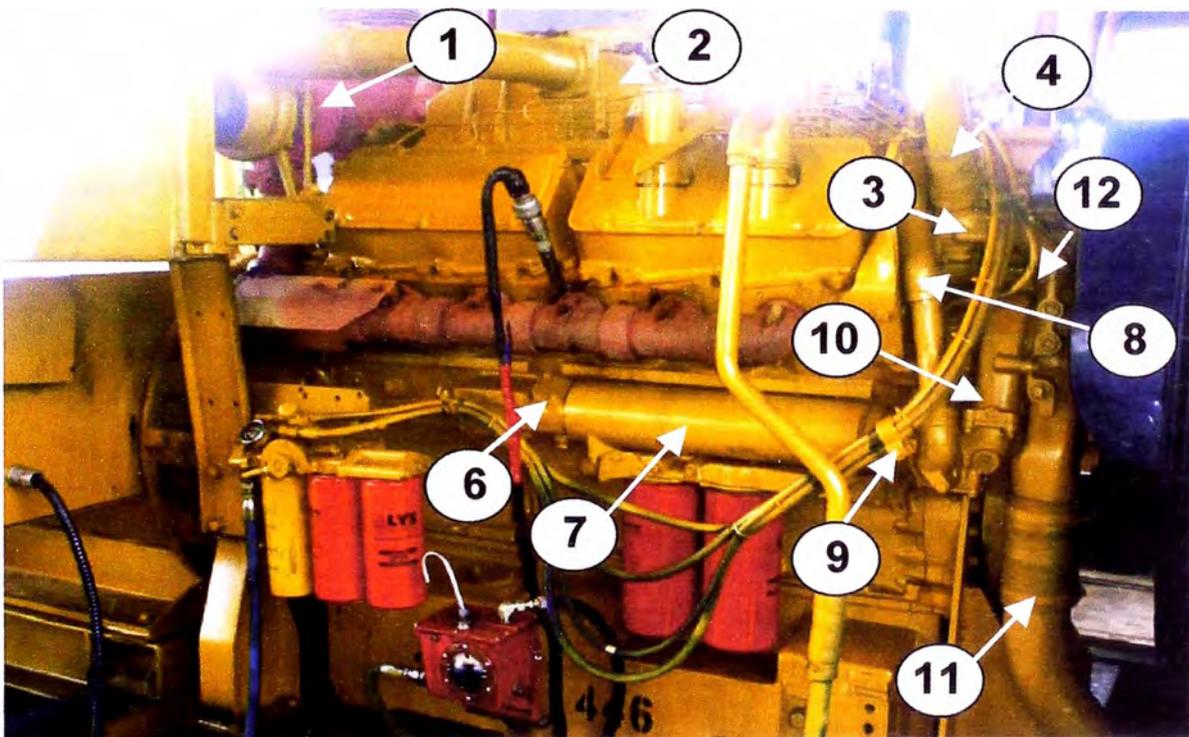


Fig. 3.5: Componentes del sistema de enfriamiento de un motor 3412

(1) Turbocompresor. (2) Post-enfriador. (3) Caja de regulador de temperatura (termostato). (4) Salida a la tina superior del radiador. (6) Salida de refrigerante del enfriador de aceite. (7) Enfriador de aceite. (8) Línea al post-enfriador. (9) Entrada de refrigerante al enfriador de aceite. (10) Bomba de agua. (11) Succión de la bomba de agua desde el fondo del radiador. (12) Línea de by-pass del radiador.

El regulador de temperatura del refrigerante (termostato) está cerrado cuando el motor está frío. El refrigerante fluye a través de la caja de regulador de temperatura (3), la línea de by-pass del radiador (12) hasta la bomba de agua (10).

Los motores equipados con post-enfriador dividirán el flujo del refrigerante. Parte del refrigerante pasará por el enfriador de aceite y la otra parte de refrigerante a través de la línea (8) al post-enfriador. Desde el post-enfriador, el refrigerante fluye a través del monoblock y la culata y regresa al regulador de temperatura.

### **3.3.1 Conjuntos funcionales que conforman el Sistema**

#### **- Bomba de Agua**

Es una bomba del tipo centrífugo, que se compone de un rodete con paletas curvas contenido en una caja. A medida que el rodete gira, las paletas envían el agua hacia fuera de la caja y es así como la acumulación de la fuerza centrífuga se convierte en energía de presión. Esta bomba está instalada en la parte delantera del bloque del motor

El agua que está a lado de la entrada de la bomba puede entrar en ebullición debido a que la presión disminuye; en el lado de salida de la bomba, la presión se restablece ocasionando que las burbujas de vapor exploten, esta explosión de las burbujas produce erosión a este fenómeno se lo conoce como CAVITACION.

#### **- Enfriador de aceite**

Los enfriadores de aceite se componen de una serie de tubos contenidos en un cilindro. Normalmente el refrigerante fluye a través de los tubos, y absorbe el calor del aceite del motor que rodea los tubos. El enfriador de aceite transfiere el calor del aceite al lubricante.

### **- Post-enfriador**

El post-enfriador absorbe el calor de aire de admisión. Se construye con tubos y aletas al igual que un radiador. El aire comprimido caliente o que viene del turbocompresor pasa por las aletas y transfiere el calor al refrigerante contenido en los tubos. De aquí el refrigerante fluirá al monoblock y a las camisas del cilindro y a la culata

### **- Radiador**

El radiador es un intercambiador de calor formado por paneles plegados atravesados por tubos que llevan el fluido a enfriar. Los paneles plegados han sido dispuestos de manera que se aumente el área de transferencia de calor y su función se optimice.

En el radiador, el refrigerante fluye de la parte superior a la parte inferior. Los tubos y las aletas funcionan juntos para disipar el calor.

La transferencia de calor en el radiador se refuerza mediante un ventilador. Los ventiladores tipo soplador, aumentan el flujo del aire al pasar por las aletas y los tubos del radiador. El ventilador es movido por el motor a través de un sistema de correas, si la tensión de la correa es muy floja, disminuye la velocidad del ventilador, el resultado es la disminución del flujo de aire a través del radiador, y se reduce la capacidad total de enfriamiento.

### 3.4. Sistema de Admisión y Escape

El proceso consiste en : El aire del medio ambiente ingresa al motor a través de los filtros de aire. El aire limpio pasa a la rueda del compresor – Turbocompresor (4), donde es comprimido.

Luego pasa por el post-enfriador hasta las galerías del múltiple de admisión en el monoblock.

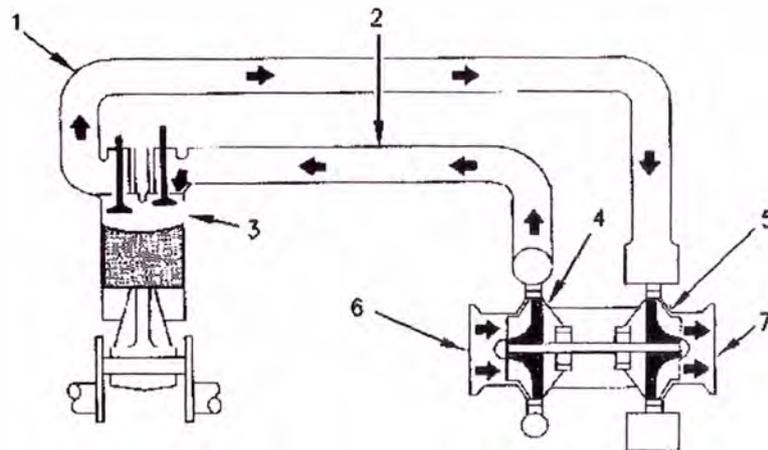


Fig. 3.6: Esquema del Sistema de Admisión y Escape

- (1) Múltiple de escape. (2) Múltiple de admisión y Post-enfriador. (3) cilindro de motor. (4) Rueda del compresor – Turbocompresor. (5) Rueda de turbina – Turbocompresor. (6) Entrada de aire. (7) Salida de gases

Cuando la válvula de admisión está abierta, el flujo de aire entra al cilindro del motor (3), donde se mezcla con el combustible para su combustión. Cuando la válvula de escape se abre, los gases salen al múltiple de escape (1). Del múltiple de escape, los gases de escape pasan a través de los álabes de la rueda de la

turbina del turbocompresor (5). Esto causa que las ruedas de la turbina y del compresor giren. Los gases de escape luego fluyen hacia fuera del motor a través de la salida de gases (7) del turbocargador.

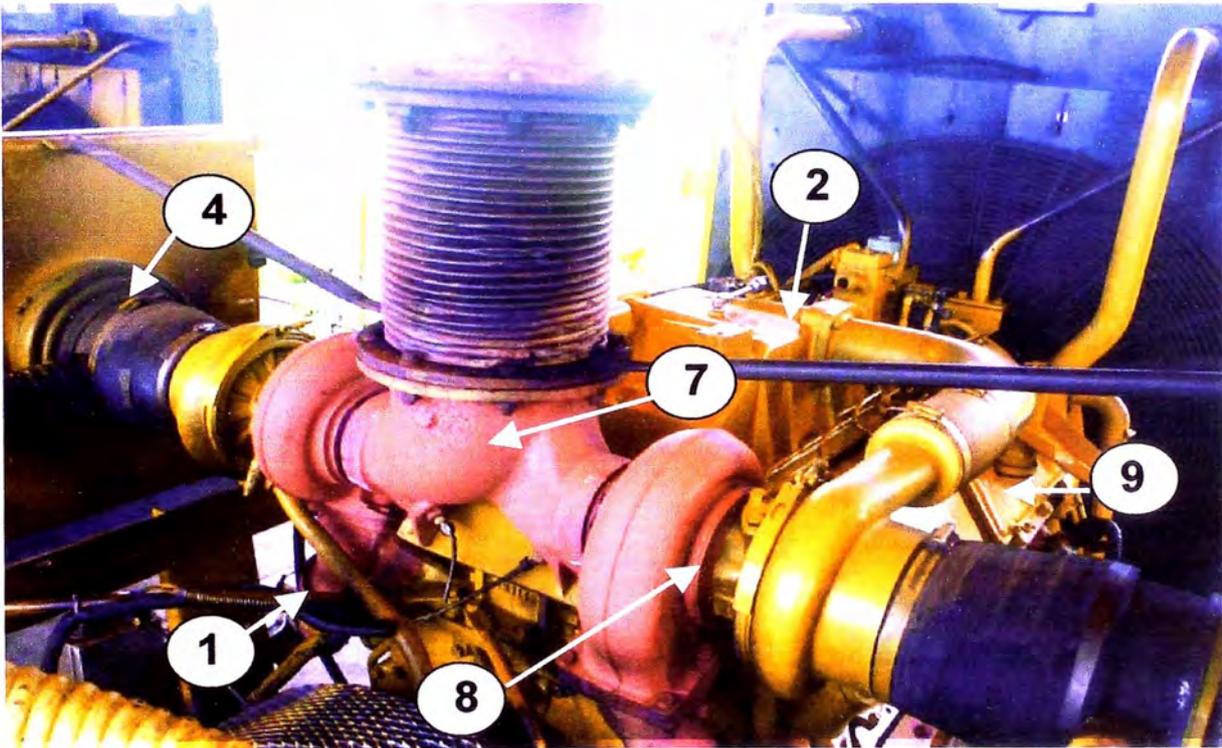


Fig. 3.7: Sistema de Admisión y Escape de un motor 3412

(1) Múltiple de escape. (2) Múltiple de admisión y Post-enfriador. (4) Entrada de aire. (7) Salida de gases. (8) Turbocompresor. (9) Culata.

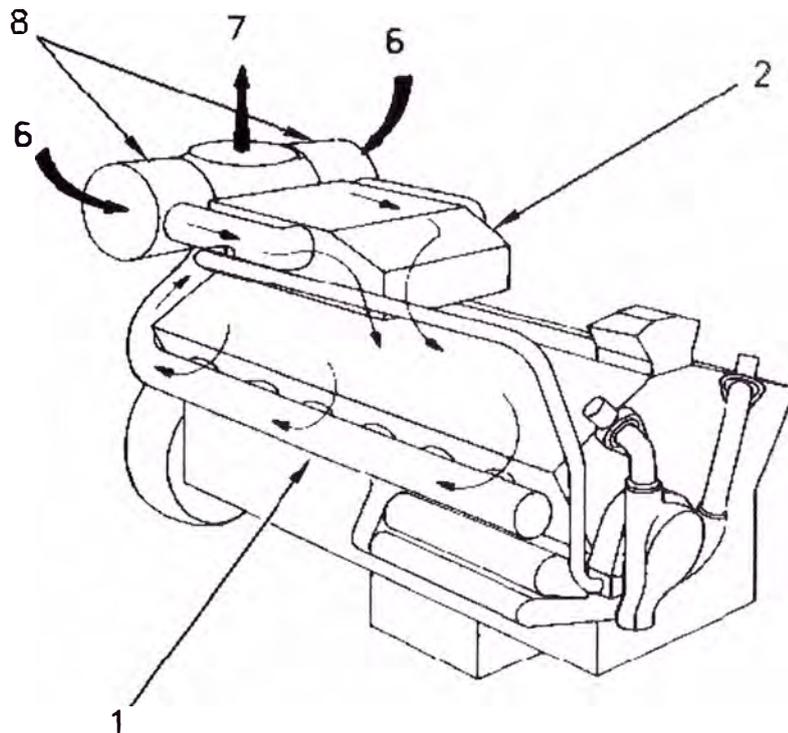


Fig. 3.8: Esquema del flujo de aire y gases en un motor 3412

(1) Múltiple de escape. (2) Múltiple de admisión y Post-enfriador. (6) Entrada de aire. (7) Salida de gases. (8) Turbocompresor.

### 3.4.1 Conjuntos funcionales que conforman el Sistema

#### - Filtro de Aire

El Filtro de aire evita que partículas pequeñas ingresen al motor. El aire filtrado es crucial para el alto rendimiento del motor. La suciedad aumenta el desgaste y daña los componentes del motor. La caja del filtro contiene el elemento filtrante.

Las pruebas muestran que al motor ingresan partículas de 1 micrón ( 0.00004 pulg) que no causan daños en el motor. Partículas de 1 a10 micrón generan graves efectos en la vida del motor.

### **- Turbocompresores**

Los turbocompresores ayudan a mantener la potencia del motor a grandes altitudes, y además aumentan la potencia, éstos suministran más aire al motor lo que permite quemar más combustible.

El turbocompresor básicamente tiene dos partes:

1. Lado de admisión de aire o del compresor.
2. Lado del escape o de la turbina

Los gases de escape del múltiple hacen girar a la turbina del turbocompresor. Debido a que la turbina y el compresor están montados en el mismo eje el compresor también gira, mientras más rápido gire, éste se inyectará mayor cantidad de aire en el sistema de admisión, lo cual ocasiona un aumento de la presión de aire y su densidad.

La presencia de un turbocompresor y todos los efectos que éste cause se denomina sobrealimentación.

### **- Post-enfriador**

Los turbocompresores aumentan la temperatura del aire hasta  $148^{\circ}\text{C}$ , haciendo la densidad del aire disminuya. A medida que el aire se enfría se vuelve más denso, esto permite que se pueda inyectar más aire en cada cilindro.

Los post-enfriadores, reciben este nombre ya que enfrían el aire después de pasar por el turbocompresor.

#### **- Múltiple de admisión**

El aire proveniente del post-enfriador pasa al múltiple de admisión el cual está montado en la culata, de ahí harán su ingreso a cada cilindro.

#### **- Múltiple de escape**

El aire entra en los cilindros para la combustión, los gases producto de esta reacción salen por las válvulas de escape y van al múltiple de escape, el cual se encuentra montado fijamente sobre las culatas.

### **3.5. Sistema de combustible**

El sistema de combustible de este motor cuenta con una bomba de inyección y un inyector tipo lápiz en cada cilindro. La bomba de inyección (4) se encuentra ubicada sobre el monoblock en la parte frontal del motor.

El proceso consiste en: La bomba de transferencia (16) succiona combustible del tanque (10) a través del filtro primario de combustible (12). El combustible luego fluye por la bomba de cebado (8) a través del filtro principal de combustible (14) para ingresar a la bomba de la inyección (2), donde es comprimido hasta una muy alta presión para ser inyectado a la cámara de combustión a través de los inyectores.

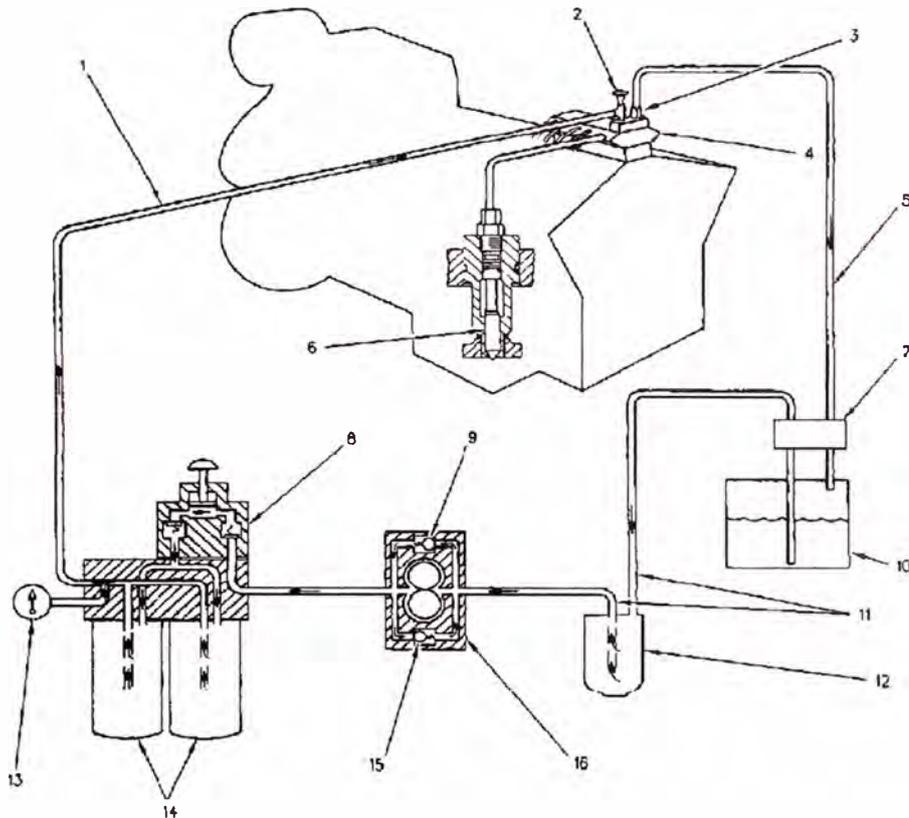


Fig. 3.9: Esquema del flujo de combustible en un motor 3412

(1) Línea de ingreso de combustible a la bomba de inyección. (2) Damper. (3) Orificio de restricción. (4) Bomba de inyección. (5) Línea de retorno de combustible. (6) Inyector. (7) Bloque de unión. (8) Bomba de cebado. (9) válvula de by-pass. (10) Tanque de combustible. (11) Línea de suministro de combustible. (12) Filtro primario. (13) Manómetro de presión de. (14) Filtro principal. (15) Válvula de alivio. (16) Bomba de transferencia.

La bomba de cebado (8) es usada para llenar el sistema con combustible; la bomba de cebado también ayuda a purgar el aire acumulado en el lado del sistema de baja presión de combustible. El lado de baja presión del sistema de combustible lo conforman los filtros de combustible, las líneas de combustible y otras componentes.

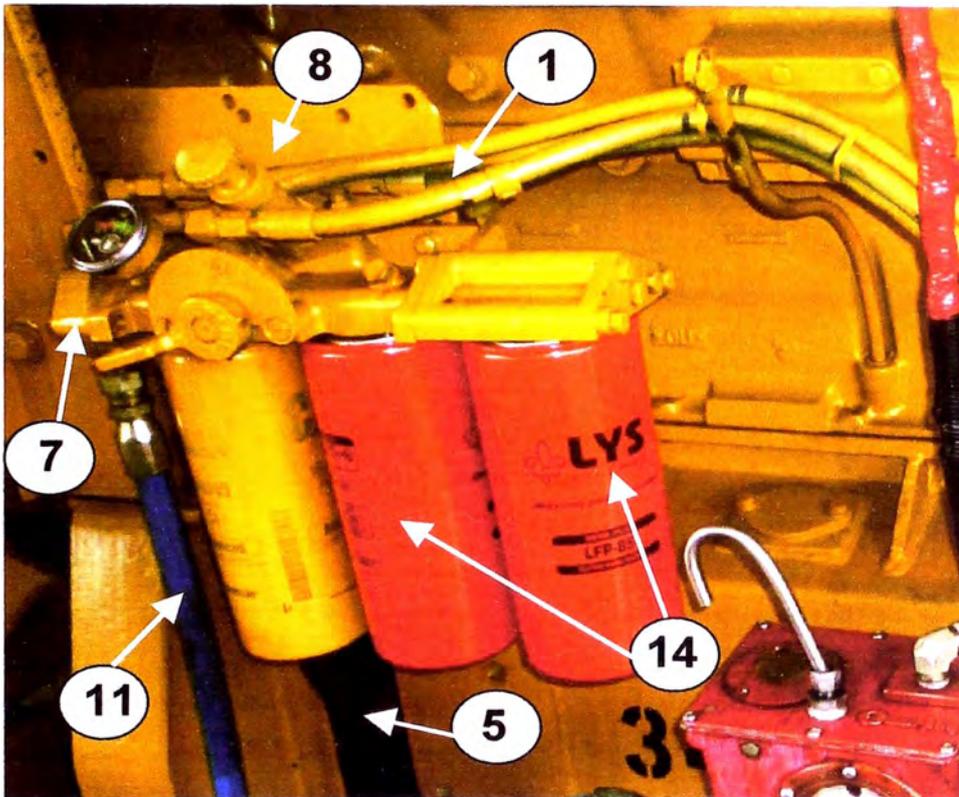


Fig. 3.10: Componentes del sistema de combustible de un motor 3412

(1) Línea de ingreso de combustible a la bomba de inyección. (5) Línea de retorno de combustible al tanque. (7) Bloque de unión. (8) Bomba de cebado. (11) Línea de suministro de combustible. (14) Filtro de combustible principal.

La bomba de transferencia tiene una válvula de by-pass y una válvula check. La válvula de by-pass controla la presión máxima de combustible; el extra de combustible vuelve a la succión de la bomba. La válvula check permite que el combustible del tanque ingrese a través de los engranajes de la bomba de transferencia cuando la bomba de cebado es usada.

### **3.6. Sistema de Regulación de Ingreso de Combustible**

El sistema de regulación de ingreso de petróleo diesel es el encargado de regular la cantidad de diesel que será enviado hacia la cámara de combustión de cada uno de los inyectores, controlando para ello la operación de la bomba de inyección, con el objetivo de mantener las RPM del motor en un determinado valor. Verificando el estado de aquellas variables que aseguren la óptima operación del equipo, conocidas como señales de paro o "Shutdown".

El Sistema de Regulación de Ingreso de Combustible consiste de:

Sensor de Velocidad

Tablero de Control de Generador

Actuador

Señales de Paro

El sistema de regulación de ingreso de diesel hacia el motor es determinado por un actuador que responde a las distintas cargas, aumentando el flujo de combustible hacia la bomba de inyección cuando la carga aumenta y bajando el flujo cuando la carga disminuye. Para ello el actuador tiene un brazo de mando el cual se encuentra acoplado mecánicamente a la bomba de inyección, determinando de acuerdo a la posición del mismo el flujo de combustible que será enviado por la bomba hacia los inyectores ubicados en la cámara de combustión.

Cuando exista un cambio de la carga, esto se reflejará en una variación en la velocidad del motor. Para ello un sensor de velocidad (pick up magnético) instalado frente a los dientes de la volante se encarga de sensor las RPM del motor. Esta señal de velocidad es enviada hacia el tablero de control del generador en donde se encuentra la tarjeta electrónica Woodward 2301.

Esta tarjeta electrónica Woodward 2301 es un controlador electrónico que ha sido calibrado para mantener las revoluciones del motor en un valor determinado (en la mayoría de las aplicaciones este valor es de 1800 RPM), para ello envía hacia el actuador una señal de corriente la cual será proporcional a la velocidad, para mantener las RPM del motor en el valor establecido (1800 RPM). Esta señal de corriente determina la posición del brazo de mando del actuador que se encuentra acoplado a la bomba de inyección.

Queda entonces claramente señalada la relación directamente proporcional que existe entre la carga, la velocidad del motor, la corriente que se envía al actuador y la posición de su brazo de mando acoplado a la bomba de inyección para determinar la cantidad de combustible que es enviada a los inyectores.

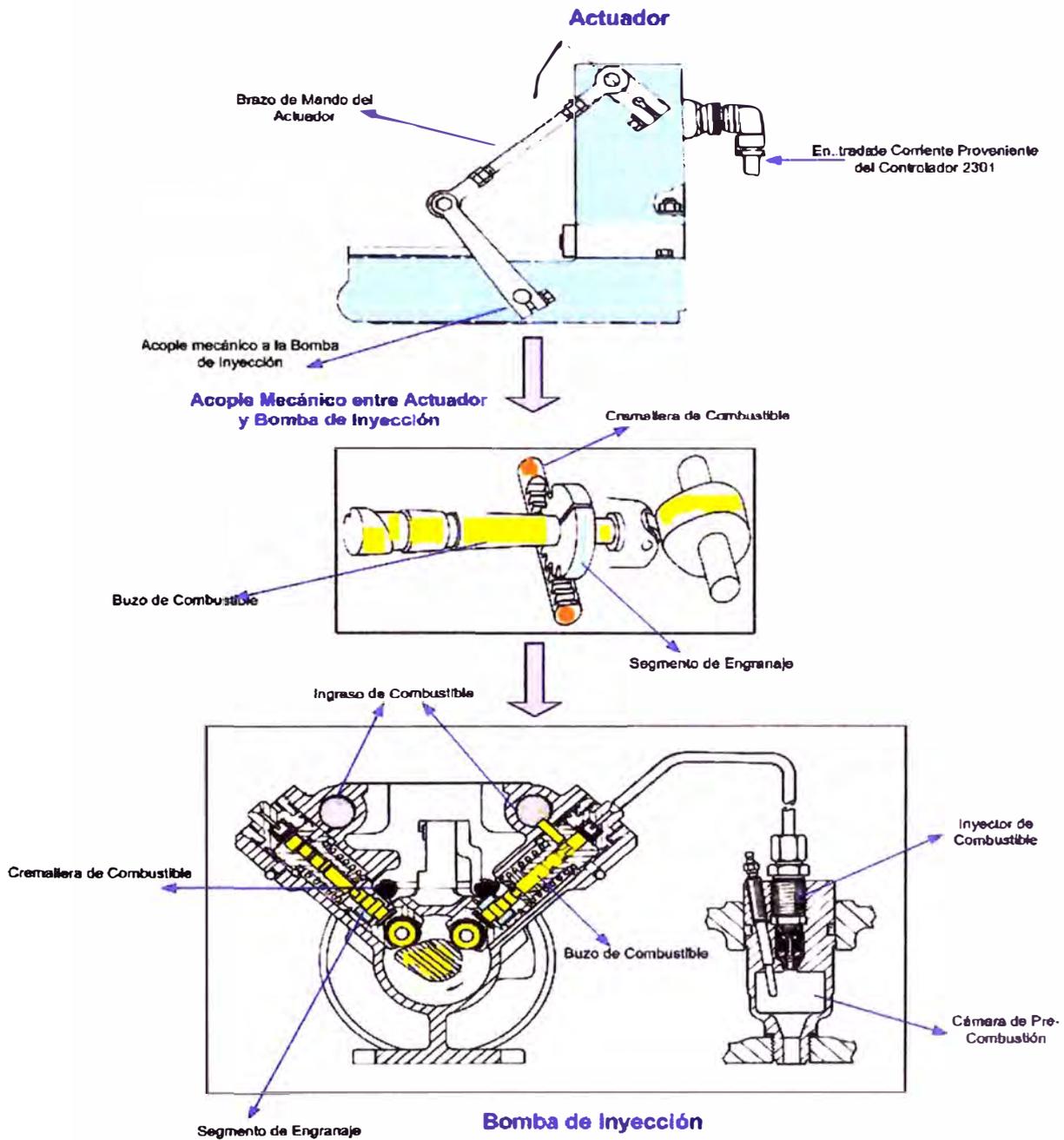


Fig. 3.11 : Sistema de Regulación de Ingreso de Diesel

### **a). Señales de Paro**

Las señales de paro o “shutdown” del generador permiten detener el funcionamiento del motor, cortando para ello el ingreso de combustible al sistema de admisión de diesel. Ello con el objetivo de proteger la vida del equipo, asegurando que las principales variables que son monitoreadas por sensores en los puntos estratégicos del equipo se encuentren trabajando en las condiciones de operación establecidas.

Las señales de paro que se tienen son:

- Actuador AMOT 2800
- Bajo Nivel de Agua en Radiador
- Alta Temperatura de Agua en Motor
- Bajo nivel de Aceite
- Alto Nivel de Aceite
- Alta Velocidad
- Alta Vibración

Las señales de paro están asociadas eléctricamente a la posición de una válvula solenoide normalmente cerrada de 3 vías que trabaja con 24 V DC. Dicha válvula solenoide tiene conectada en la entrada una línea que toma aceite del motor y la línea de salida va al actuador AMOT 2800 que es el encargado de monitorear la presión de aceite con la que trabajará el motor, tiene un “seteo” de 45 PSI (3,1 bar). El actuador AMOT tiene un brazo de mando que está enlazado a la cremallera de la bomba de inyección para determinar el corte de combustible cuando la presión del aceite este por debajo del valor “seteado”. El actuador AMOT 2800 permite

“encrochar” el brazo de mando cuando existe una adecuada presión de aceite en el motor.

Por otro lado, las señales de paro proveniente del sensor de bajo nivel de agua en el radiador, alto y bajo nivel de aceite del carter del motor, alta vibración tienen sus contactos eléctricamente enseriados al switch de parada de emergencia y a un contacto la tarjeta electrónica Woodward 2301 que indica alta velocidad. Todos estos contactos se encuentran enseriados en el tablero de control del generador a los 24 V DC que energizan la válvula solenoide. Por consiguiente, si existe una señal de paro, la válvula solenoide no se activa (se cierra), y la presión monitoreada por el actuador AMOT 2800 cae por debajo del valor “seteado”, cortando la inyección de combustible en la bomba.

Fig. 3.12: Señales de Paro en el Generador

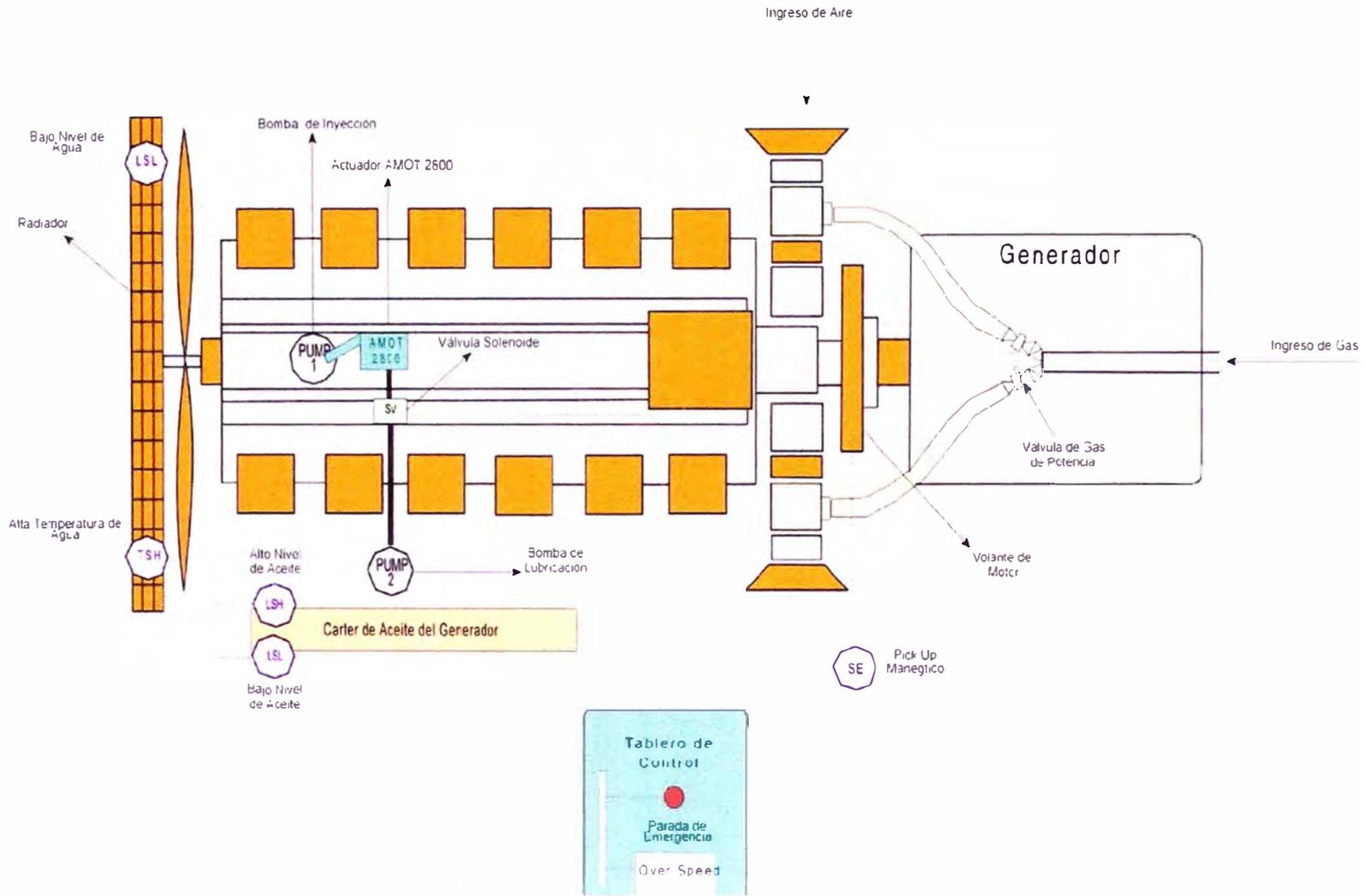
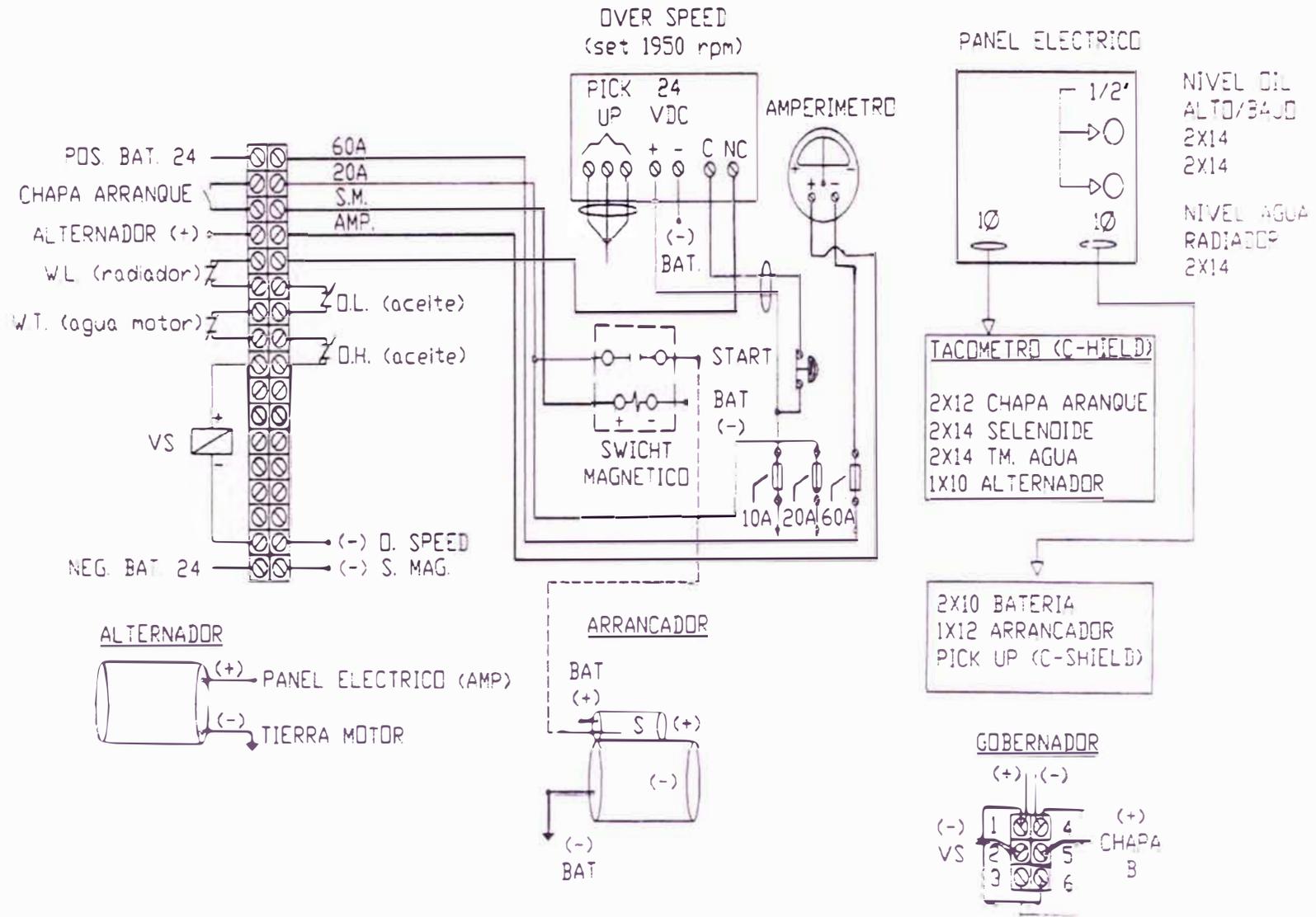


Fig. 3.13: Diagrama Eléctrico del Sistema Shutdown del Grupo Electrógeno



## CAPITULO IV

### CARACTERISITICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA BI-COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIESEL

#### 4.1. Generalidades

El sistema bi-combustible ha sido diseñado para permitir que los motores diesel convencionales operen mezclando gas natural y combustible líquidos de diferentes grados dentro de la cámara de combustión <sup>(7)</sup>.

El aire y el gas son pre-mezclados en la entrada de aire del motor, para luego ingresar a la cámara de combustión a través de la válvula de admisión.

La mezcla es encendida cuando el inyector pulveriza una pequeña cantidad de petróleo diesel dentro de la cámara, actuando como un piloto para la ignición del combustible primario, que en este caso es el gas natural.

Debido a la alta temperatura de autoencendido del gas natural (650 °C a 700°C), la mezcla aire-gas no enciende durante la carrera de compresión por no existir la temperatura necesaria para iniciar la combustión.

El sistema bi-combustible es fácil de instalar, el motor no sufre ninguna modificación luego de la instalación de este sistema (relación de compresión, avance de la inyección, secuencia de encendido, secuencia de apertura de

válvulas, etc), debido a que los diferentes componentes de este sistema se montan externamente. Por esta razón, el motor puede funcionar también con 100% de petróleo diesel en cualquier momento si se lo requiere.

Un motor alimentado con el sistema bi-combustible no puede funcionar al 100% con gas, porque la temperatura de ignición del gas natural es alrededor de 650° C a 700°C, y como bien es conocido, en los motores diesel el combustible se auto enciende por compresión, lo cual hace que la temperatura generada no sea suficiente para encender la mezcla del aire/gas natural.

Para que un motor diesel funcione a 100% a gas natural debe realizarse una conversión profunda capital de sus componentes y sub-sistemas, lo que generaría un aumento importante de los costos del equipo <sup>(2)</sup>.

Dependiendo de factores como calidad de gas, condición y rating del motor, la cantidad de gas a usar puede reemplazar hasta el 70% del petróleo diesel según lo indicado por los fabricantes del kit bi-combustible.

Por ejemplo, un motor dado puede operar con un 70% de gas usando gas tratado con alto contenido de Metano, pero tal vez sólo sea capaz de alcanzar un reemplazo del 40% - 50% usando gas asociado de cabeza de pozo como el que se tiene en el Lote 1AB. El porcentaje máximo de reemplazo está limitado por la temperatura de autoencendido de la mezcla aire-gas para un determinado tipo y régimen del motor <sup>(6)</sup>.

## 4.2. Componentes del Tren de Suministro de Gas

El tren de suministro de gas es el encargado de filtrar y regular la presión del gas natural que ingresa al motor<sup>(5)</sup>

El tren de suministro de gas está conformado por (ver Fig. 4.1)

- Filtro de Gas Primario.
- Válvula de Bola Manual
- PSL Switch de Baja Presión
- Válvula Reductora de Presión
- Filtro Secundario
- Válvula Reguladora Zero
- PSH Switch de Alta Presión
- Válvula de Corte de Gas
- Válvulas de Gas de Potencia
- Mezcladores

El gas proveniente de planta de producción de Gathering Station, llega al tren de suministro de gas con una presión que varía entre los 20 y 30 PSIG. (1,4 y 2,1 bar). Inicialmente el gas pasa por un filtro de gas primario donde se eliminan las partículas sólidas y el condensado de gas. Ello con el objetivo de que el gas que llega al motor debe entrar tan limpio como el aire de admisión. Luego tenemos la válvula de bola manual de 2" la cual permite cortar o restablecer el flujo de gas a voluntad del operador según sea necesario. Seguidamente, encontramos un switch de baja presión (PSL), el mismo que al detectar en la alimentación una presión de gas menor a 2 PSI (1,4 bar), enviará una señal al panel de control para que éste a su vez actúe sobre la válvula de corte, bloqueando el ingreso de gas hacia el motor.

Luego el gas pasará por una válvula reductora de presión, la cual permite reducir y mantener la presión de alimentación del gas a un valor de presión promedio entre 1,5 a 3,5 PSIG (0,10 a 0,24 bar) en la salida. Luego de la válvula reductora encontraremos un filtro secundario, cuya finalidad es impedir el paso de partículas sólidas que podrían presentarse en el gas con la finalidad de asegurar un gas mucho más limpio hacia el motor.

Seguidamente, el gas pasará por una válvula reguladora "Zero", la misma que se encarga de bajar la presión de gas por debajo de la atmosférica (vacío), a un valor comprendido entre 0 a 5" de H<sub>2</sub>O aproximadamente para que sea succionado por el motor. Esta válvula Zero es la que determina que el sistema funcione como un sistema de respuesta a los requerimientos del motor. Al mantener el gas a presión negativa, este regulador evita que el gas fluya por si mismo hacia el motor, por el contrario espera a que se presente suficiente succión para dejar pasar el gas proporcionalmente a la carga del motor.

Luego de la válvula Zero encontramos un switch de alta presión (PSH), el mismo que en caso de detectar en la alimentación una presión de gas mayor a 5" de H<sub>2</sub>O, envía una señal al panel de control para que este actúe sobre la válvula de corte de gas. Seguidamente, se encuentra la válvula de corte de gas la misma que tiene 2 posiciones, abierta y cerrada. Normalmente está cerrada. Por lo general, es una válvula de doble asiento, especialmente diseñada para el control de alimentación de gas, que responderá a una señal proveniente del panel de control cortando el paso de gas hacia el motor cuando las señales de los sensores queden fuera del rango predefinido para una buena respuesta del motor en modo bi-combustible.

Luego, el gas pasará por unas válvulas de gas de potencia, en estas válvulas es donde se realizan las calibraciones de paso de gas hacia el motor. Consta de 2 válvulas de ajuste manual, una para el mezclador derecho y otro para el mezclador izquierdo. La calibración se realiza considerando los parámetros de funcionamiento en modo diesel, tratando de ajustar el flujo de gas de tal manera que las temperaturas de escape se mantengan dentro de lo establecido por el fabricante del motor.

Finalmente, el gas ingresa a los mezcladores, los cuales están instalados entre los filtros de aire y el turbocompresor. El flujo de aire a través de éstos crea una succión en la zona de la toma de gas lo que hace que el gas ingrese y se mezcle con el aire. Esta mezcla ingresa al colector de admisión (post-enfriador) y de allí a los respectivos cilindros según el orden de encendido del motor.

Fig. 4.1: Vista General del Sistema Bi-combustible del motor

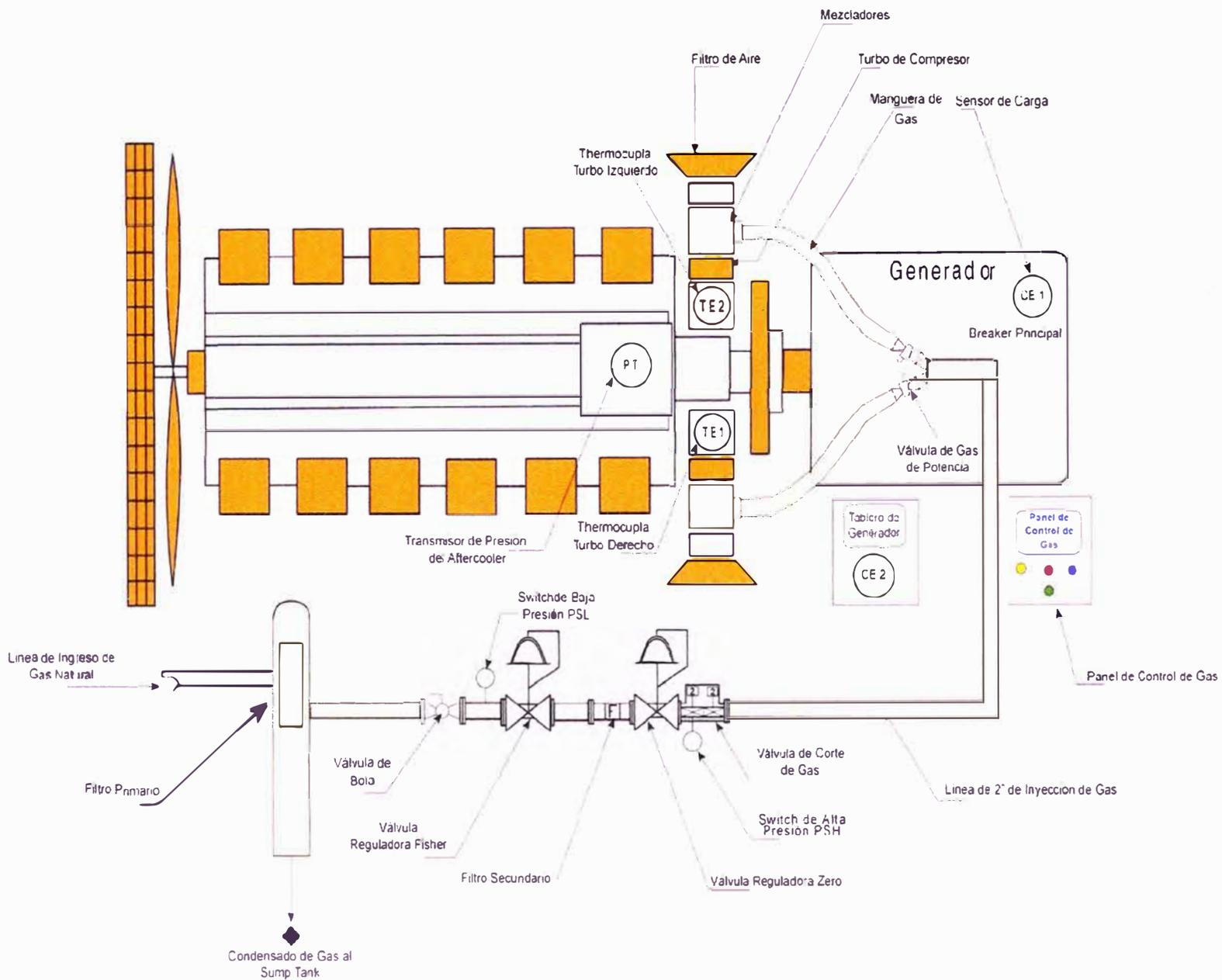
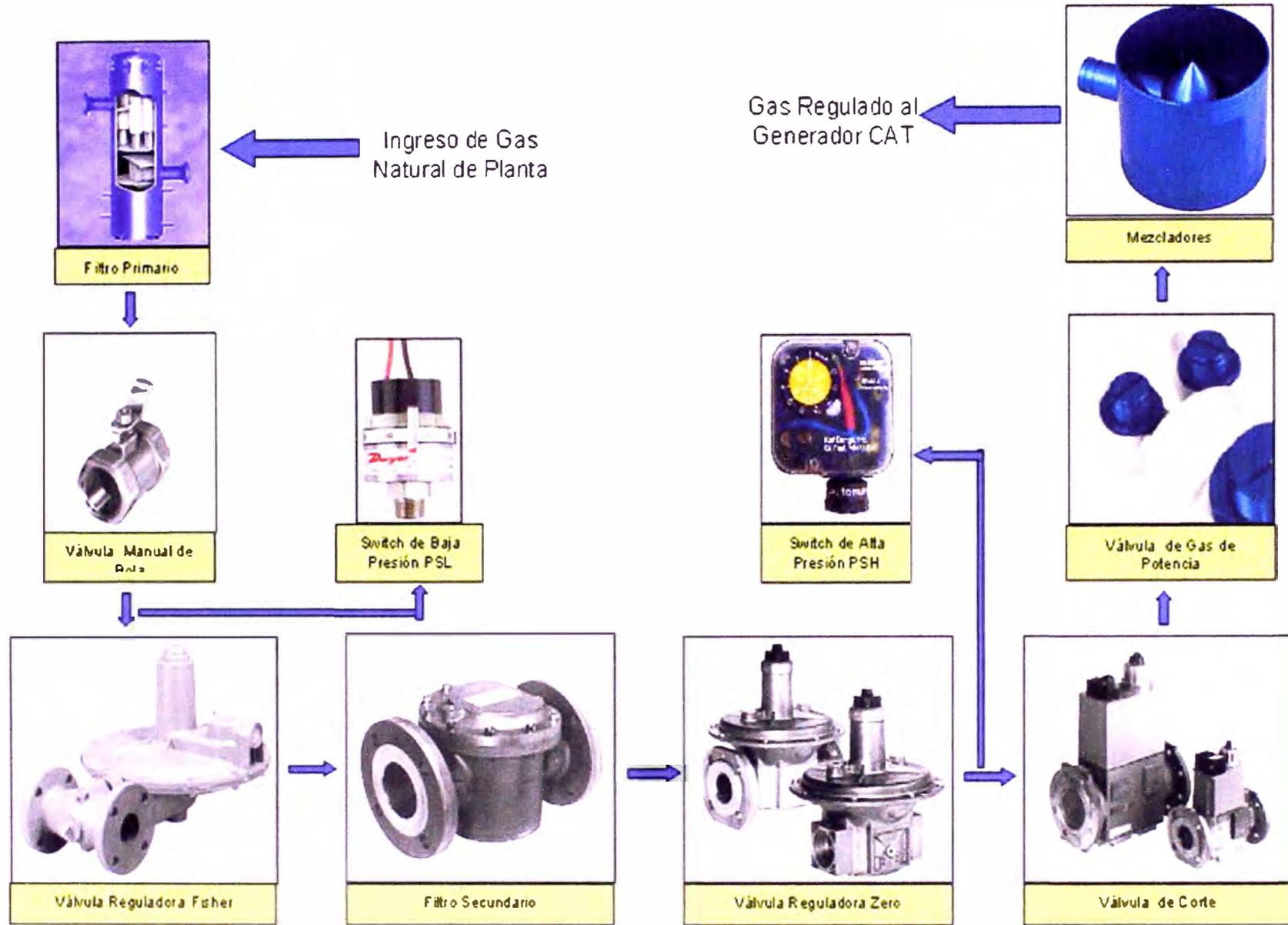


Fig. 4.2: Componentes del Tren de Suministro de Gas



La temperatura de los turbocompresores es monitoreada en ambos turbos del motor, tanto en turbocompresor derecho como en el izquierdo, de manera individual; la lectura se realiza mediante 2 termocuplas del tipo K. Esta señal es llevada al tablero de control en donde se cuenta con un transmisor de temperatura o PLC que recibe la señal de campo, estandarizará las unidades y permitirá visualizar valores numéricos de los puntos de medición continuamente, los límites máximos de operación de cada punto y las unidades.

Las unidades de los parámetros mostrados son temperatura, en grados °C y °F. Por lo general, el valor promedio de temperatura medida en dichos puntos, debe encontrarse en un rango comprendido entre los 600 a 950 °F (316-510 °C).

Para medir la presión del post-enfriador del motor se tiene instalado un sensor de presión estándar. El mismo que envía el valor de la señal hacia el Panel de Control, en donde se cuenta con un transmisor de presión o PLC que recibe la señal de campo y permite la visualización del dato medido. El valor promedio de la presión del post-enfriador está relacionado con la carga del grupo electrógeno; se encuentra por lo general en un rango comprendido entre 6 a 18 PSIG (0,41 a 1,24 bar).

La carga en el grupo electrógeno es medida por una bobina de inducción (tipo toroide), la cual se encuentra instalada en una de las fases de salida del generador. La señal es enviada hacia el panel de control, en donde se cuenta con un transductor de carga o PLC, que estará encargado de convertir la señal de corriente alterna a señal binaria, en donde, de acuerdo al rango configurado, se visualizará el valor de la corriente medida. La carga mínima del grupo electrógeno, por lo general,

se configura en 100 A, por debajo de este valor el equipo trabajará en modo diesel, debido a la poca eficiencia del sistema para dichas aplicaciones con baja carga.

La corriente del actuador se monitorea para determinar, relativamente, el consumo de gas y diesel del equipo. Para ello se tiene en el panel de control un transmisor de corriente enseriado a la señal de corriente que va del tablero de control (controlador Woodward 2301) del generador hacia el actuador. Cuando el grupo electrógeno trabaje solamente en modo diesel tendremos una corriente hacia el actuador, esto representa el 100% de diesel, cuando pase a modo bi-combustible y, dependiendo de la carga, el consumo de diesel disminuye y el de gas se incrementa, por consiguiente la corriente que va al actuador disminuye, esta variación es comparada con el valor de corriente que se tenía inicialmente cuando sólo se trabajaba en modo diesel y representa el porcentaje de consumo de diesel en ese momento, la diferencia será el porcentaje de gas que el equipo consume. Debemos tener presente que el actuador es el que gobierna la inyección de diesel al equipo.

#### **4.3.2 Panel de Control de Gas**

El Panel de Control es el encargado de concentrar la medición de los parámetros de funcionamiento del grupo electrógeno así como del tren de suministro de gas. Permite visualizar el valor real de dichas variables monitoreadas, controlando, de acuerdo a ello, el funcionamiento de la válvula de corte de gas, abriendo o cerrando de acuerdo a las condiciones de proceso y requerimientos de operación.

Este panel consiste principalmente de:

- Unidades de Control o PLC
- Luces de Señalización
- Interruptor On/Off
- Pulsadores de Inicio Star/Stop
- Alarmas

El modelo del panel de control de los sistemas bi-combustible depende del fabricante, sin embargo, la función que desarrollan es la misma, sólo varía en el tipo de unidad de control y modo de visualización e interfaz gráfica para el operador, algunos tienen PLC, mientras que otros cuentan con diversas unidades de control (medidores de presión, temperatura y carga) que juntamente con relés, temporizadores y una lógica cableada cumplen similar función que un panel de control con PLC.

El panel de control electrónico bi-combustible recibe los parámetros que son monitoreados en el grupo electrógeno, tales como: temperatura de los turbocompresores, presión del post-enfriador y carga del generador, dichos datos vienen de los sensores instalados en el motor y generador. Además de estos, el panel de control recibe las señales provenientes de los switches de baja y alta presión de gas natural, ubicados en el tren de suministro. Dichos datos ingresan a la unidad de control (PLC), la cual compara cada uno de los valores de las variables con los datos de configuración establecidos por el operador, si estos valores se encuentran dentro del rango establecido la unidad de control ordena la apertura de la válvula de corte ubicada en el tren de suministro. Por el contrario, esta válvula cortará el paso de gas hacia el motor cuando la medición de los parámetros de

funcionamiento, se encuentren fuera del rango predefinido por el operador para una buena respuesta del motor en el modo bi-combustible.

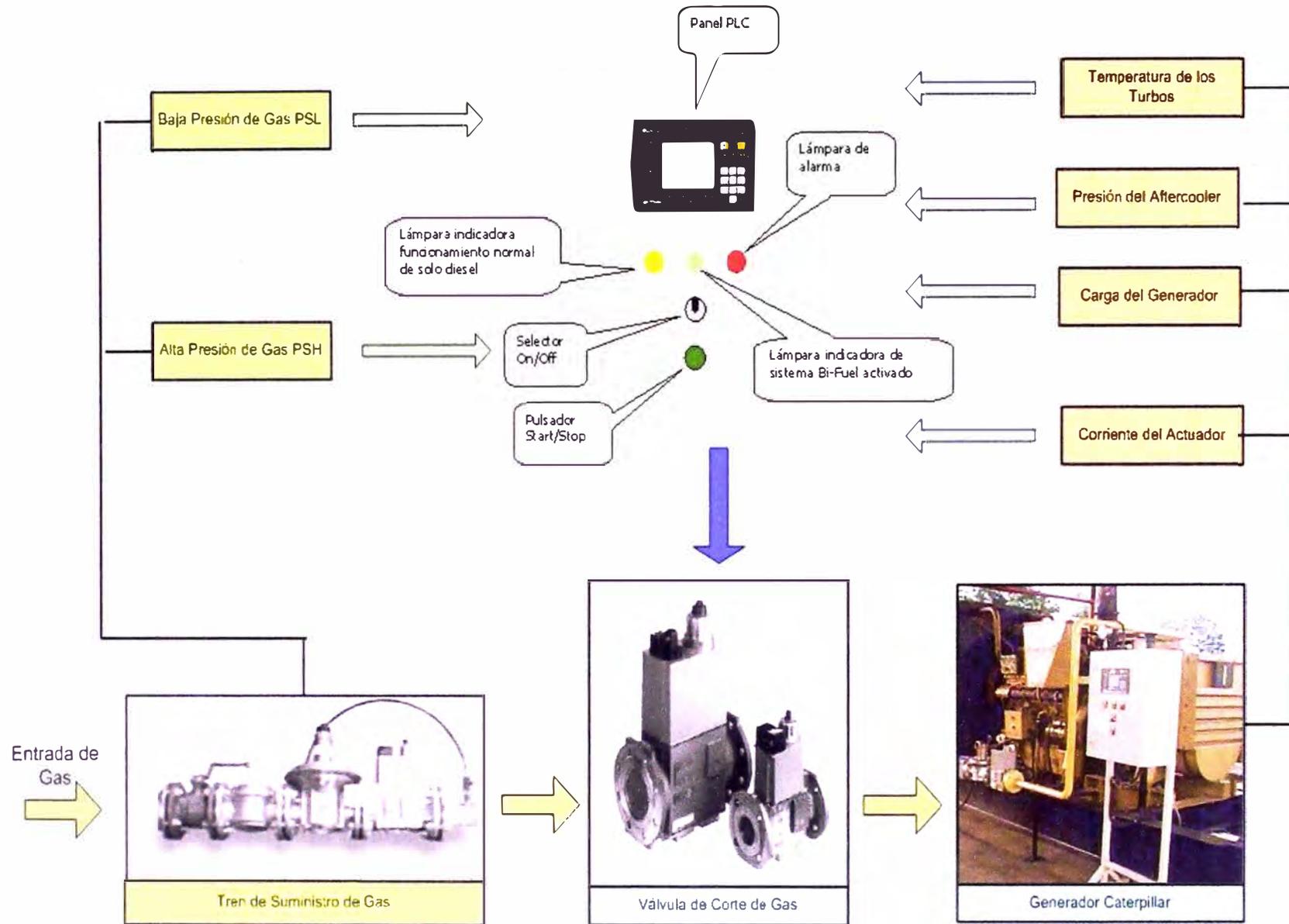


Fig. 4.3: Panel de Control de Gas de sistema bi-combustible

El panel de control determina el corte de gas cuando las señales provenientes del motor, generador y el tren de alimentación no se encuentren dentro del rango de valores establecidos como seguros para un buen funcionamiento del motor en modo bi-combustible. Cuando se corta el suministro de gas, el motor continuará funcionando únicamente con combustible diesel sin afectar la operación del mismo (este proceso es automático y sin ninguna interrupción en la potencia del motor). El panel de control indicará un tipo de falla con una combinación de las luces de señalización. Una vez que la falla es corregida el sistema estará listo para reiniciar el modo bi-combustible. Las fallas requieren una reactivación manual para operar nuevamente en modo bi-combustible, para reiniciar se hace uso del pulsador de inicio Star/Stop.

Debemos mencionar que para poner en operación inicialmente el sistema bi-combustible es necesario energizar el panel de control, activando el interruptor On/Off, esto nos permite visualizar las variables monitoreadas, de no existir falla alguna, en seguida, con el pulsador de inicio Star/Stop, permitimos el ingreso de gas al equipo.

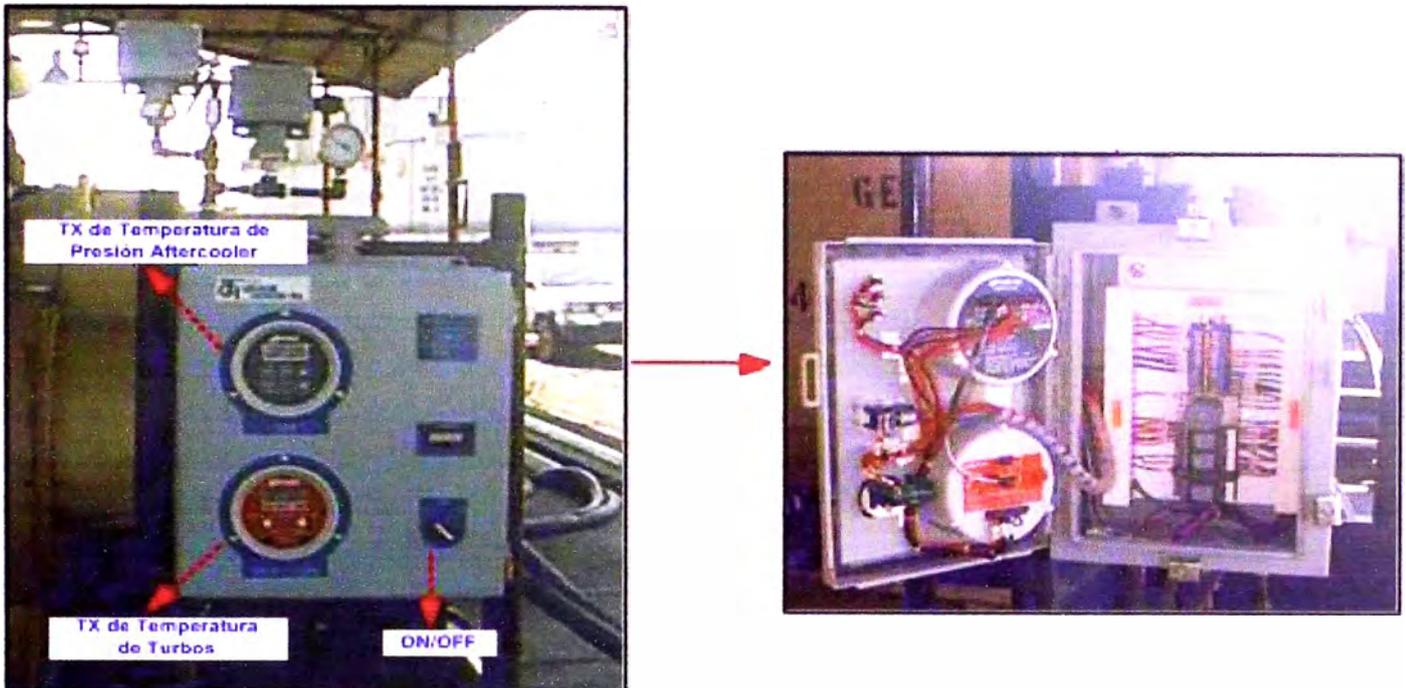


Fig. 4.4: Tipo de Paneles de Control de Gas

#### a). Alarmas

Permiten advertir al operador que una o varias de las señales monitoreadas en el generador o el tren de suministro de gas se encuentran fuera del rango establecido. Indica, además, que el sistema bi-combustible se encuentra fuera de servicio, debido a que la unidad de control (PLC) ordenó el cierre de la válvula de corte, que permite el ingreso de gas. En estas condiciones el equipo se encuentra trabajando sólo en modo diesel.

Las alarmas mostradas en el panel de control son:

- Alta temperatura de los turbocompresores
- Baja y alta presión del post-enfriador
- Baja carga del generador

Baja presión de gas en el suministro (PSL)

Alta presión de gas en el suministro (PSH)

Si la temperatura de operación de los turbocompresores del motor superase los parámetros límites establecidos por el operador, es decir, no se encuentre en el rango correspondiente dentro de las especificaciones del fabricante, el panel de control no inicia el modo bi-combustible y/o se desconecta automáticamente, funcionando sólo en modo diesel. La temperatura máxima depende de la aplicación, por lo general, es alrededor de 900 °F (482°C).

Si la presión del posenfriador del motor no se encuentra dentro de los parámetros establecidos como límites máximo y mínimo, el panel de control no inicia el modo bi-combustible y/o se desconecta automáticamente, funcionando sólo en modo diesel. La presión máxima promedio alrededor de los 18 PSI (1,24 bar), mientras que la mínima se encuentra alrededor de los 6 PSI (0,41bar).

Si la carga en el grupo electrógeno es muy baja y el valor medido se encuentra por debajo del valor establecido como mínimo, El panel de control no inicia el modo bi-combustible y/o se desconecta automáticamente, funcionando sólo en modo diesel, al igual que sí el grupo electrógeno estuviese en “stand by” (sin carga o vacío). La carga mínima admisible para la operación del sistema en modo bi-combustible promedio alrededor de los 100 A.

Si existe una baja presión de gas en el suministro, la cual no se encuentra dentro de los parámetros establecidos, el switch de baja presión PSL se activará, y el panel de control no inicia el modo bi-combustible y/o se desconecta

automáticamente, funcionando sólo en modo diesel. Este valor por lo general es de 2 PSI (0,14 bar).

Si existe una alta presión de gas en el suministro, la cual no se encuentra dentro de los parámetros establecidos, el switch de alta presión PSH se activará, y el panel de control no inicia el modo bi-combustible y/o se desconecta automáticamente, funcionando sólo en modo diesel. Este valor por lo general es de 5" de H<sub>2</sub>O.

## CAPITULO V

### ANALISIS TÉCNICO – ECONOMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA BI-COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIESEL

En este capítulo veremos la conveniencia económica de realizar la conversión de un motor diesel para que trabaje con el sistema bi-combustible. Teniendo en cuenta que el montaje del kit del sistema bi-combustible se realiza externamente, no afectando ni modificando ninguna parte ni sistema del motor.

#### **Instrumentos Utilizados:**

- 01 Manómetro de presión diferencia (p/n : 152-2067), Caterpillar
- 01 Foto tacómetro. (p/n: 1U-6602), Caterpillar
- 01 Multimetro digital (Fluke 87).
- 01 Termómetro Infrarrojo (p/n: 164-3310), Caterpillar
- 01 Maleta evaluadora de presiones (p/n: 1U-5470), Caterpillar
- 01 Medidor de flujo de combustible (p/n: 154-8102), Caterpillar

Un punto importante a tener en cuenta, es la calibración del flujo de gas que pasa por la “Válvula de gas de Potencia” hacia el motor; en esa calibración se debe evitar alcanzar el punto en la cual el motor comienza a detonar. De detectarse este ruido atípico de detonación, se debe proceder restringiendo el paso de gas hasta que el sonido desaparezca. De igual forma, se debe tener en cuenta que durante la calibración, las temperaturas de los gases de escape deben de mantenerse dentro de lo establecido por el fabricante del motor <sup>(6)</sup>.

### 5.1. Rendimiento del Motor Caterpillar Modelo 3412 DITA de 540 kW en modo operación 100% Diesel.

Como primera prueba se llevó a cabo la operación del motor en modo 100% Diesel con la finalidad de obtener registros de los parámetros de operación bajo diferentes condiciones de carga (Ver.Tabla N° 5.1)

Tabla N° 5.1: Parámetros de Operación – 100% Diesel

100% Diesel - Baseline							
Ubicación :	Gathering Station - Gen. 1						
Equipo :	Grupo Electrónico						
Marca :	Caterpillar						
Modelo :	3412 DITA	Combustible :	DI				
Serie :	81Z09470	Aspiración :	TA				
Arreglo :	2W-7900	Post Enfriador :	JWAC				
Horas de Motor :	82	Tipo de Gobernador :	HYDRA				
Horas del Aceite :	82	Cantidad de Turbos :	2				
Velocidad	1800 RPM						
Potencia Nominal :	545 kW PRIME						
		Unidades	Carga (kW)				
			Vacio	150	200	250	300
Aceite	T. Aceite - Entrada de Oil Cooler	°F	185	194	195,2	199	203
	T. Aceite - Salida de Oil Cooler	°F	170	185	189	191	195
	Presión de Aceite	PSI	80	76	75	75	72
Aire	T. Ingreso de Aire	°F	92	93	94	94	95
	Presión del Boost	PSI	1,5	9,5	14,1	18,9	23,2
	Restricción filtro de aire - Izquierdo	"H2O	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5
	Restricción filtro de aire - Derecho	"H2O	0,2	0,3	0,3	0,4	0,7
Refrigerante	T. Agua - Tina Superior	°F	170	197	201	201	208
	T. Agua - Tina Inferior	°F	102	116	115	118	122
	T. Agua - Salida del Motor	°F	165	185	186	186	189
	T. Agua - Ingreso Bomba de Agua	°F	101	109	112	115	120
	T. Agua - Entrada de Oil Cooler	°F	159	167	168	168	169
	T. Agua - Salida de Oil Cooler	°F	161	168	170	171	172,4
	T. Agua de Motor	°F	160	182	183	183	185
Escape	T. Gases - Turbocompresor Izquierdo	°F	378	698	749	802	831
	T. Gases - Turbocompresor Derecho	°F	380	717	773	818	852
Combustible	Presión de Combustible	PSI	35	33	31	29	28
	Consumo de Diesel	GPH	7,8	14,92	18,24	22,1	24,9
	Señal del Gobernador (DC)	AMP	0,065	0,0785	0,086	0,094	0,105
Banco de Carga	Voltaje (promedio)	VOLT	480	480	479	480	480
	Corriente (promedio)	AMP	0	180,5	241,2	300,9	361,1
	Factor de Potencia		0	1	1	1	1
	% de Carga	%	0	27,5	36,7	45,9	55,0

## 5.2. Rendimiento del Motor Caterpillar Modelo 3412 DITA de 540 kW en modo Bi-Combustible.

Como se dijo inicialmente, el porcentaje de sustitución del Diesel por Gas en este sistema bi-combustible, depende mucho de la calidad del gas combustible empleado.

Para nuestro caso, controlaremos el flujo de gas al motor a través del número de vueltas de apertura del Regulador Primario de la Válvula de Potencia (Ver.Tabla N° 5.2 y Tabla N° 5.3).

Tabla N° 5.2: Regulador Primario de la Válvula de Potencia – 2 Vueltas

Regulador Primario de la Válvula de Potencia - 2 Vueltas						
Ubicación :	Gathering Station - Gen. 1					
Equipo :	Grupo Electrónico					
Marca :	Caterpillar					
Modelo :	3412 DITA		Combustible :	DI		
Serie :	81Z09470		Aspiración :	TA		
Arreglo :	2W-7900		Post Enfriador :	JWAC		
Horas de Motor :	98		Tipo de Gobernador :	HYDRA		
Horas del Aceite :	98		Cantidad de Turbos :	2		
Velocidad	1800 RPM					
Potencia Nominal :	545 kW PRIME					
		Unidades	Carga (kW)			
			0	200	250	300
Aceite	T. Aceite - Entrada de Oil Cooler	°F	202,2	203	207	
	T. Aceite - Salida de Oil Cooler	°F	195	195	195,9	
	Presión de Aceite	PSI	74	73	70	
Aire	T. Ingreso de Aire	°F	89	94	97	
	Presión del Boost	PSI	12,4	16,9	20,5	
	Restricción filtro de aire - Izquierdo	"H2O	0,3	0,4	0,6	
	Restricción filtro de aire - Derecho	"H2O	0,3	0,4	0,7	
Refrigerante	T. Agua - Tina Superior	°F	200	205	207	
	T. Agua - Tina Inferior	°F	116	118	125	
	T. Agua - Salida del Motor	°F	182	186	185	
	T. Agua - Ingreso Bomba de Agua	°F	115	115	123	
	T. Agua - Entrada de Oil Cooler	°F	167	169	171,5	
	T. Agua - Salida de Oil Cooler	°F	171	173	179	
	T. Agua de Motor	°F	180	184	185	
Escape	T. Gases - Turbocompresor Izquierdo	°F	740	792	830	
	T. Gases - Turbocompresor Derecho	°F	767	813	857	
Combustible	Presion de Combustible	PSI	30	31	29	
	Consumo de Diesel	GPH	10,92	13,96	17,08	
	Señal del Gobernador (DC)	AMP	0,075	0,078	0,085	
Banco de Carga	Voltaje (promedio)	VOLT	479	479	481	
	Corriente (promedio)	AMP	241.2	301.5	360.3	
	Factor de Potencia		1	1	1	
	% de Carga	%	37,7	45,9	55,0	
Presión de Gas	Entrada al filtro	PSI	30	32	32	
	Salida del filtro	PSI	29	31	31	
	Despues de la válvula reductora	PSI	2,5	2,5	2,5	

Tabla N° 5.3: Regulador Primario de la Válvula de Potencia – 3 Vueltas

Regulador Primario de la Válvula de Potencia - 3 Vueltas						
Ubicación :	Gathering Station - Gen. 1					
Equipo :	Grupo Electrónico					
Marca :	Caterpillar					
Modelo :	3412 DITA		Combustible :	DI		
Serie :	81Z09470		Aspiración :	TA		
Arreglo :	2W-7900		Post Enfriador :	JWAC		
Horas de Motor :	116		Tipo de Gobernador :	HYDRA		
Horas del Aceite :	116		Cantidad de Turbos :	2		
Velocidad	1800 RPM					
Potencia Nominal :	545 kW PRIME					
		Unidades	Carga (kW)			
			150	200	250	300
Aceite	T. Aceite - Entrada de Oil Cooler	°F	199,4	201,1	204,3	208
	T. Aceite - Salida de Oil Cooler	°F	189	196	196	200
	Presión de Aceite	PSI	76	75	74	72
Aire	T. Ingreso de Aire	°F	93	97	98	96
	Presión del Boost	PSI	9,5	14,7	16,8	21,5
	Restricción filtro de aire - Izquierdo	"H2O	0,3	0,4	0,3	0,7
	Restricción filtro de aire - Derecho	"H2O	0,3	0,3	0,4	0,7
Refrigerante	T. Agua - Tina Superior	°F	197	201	201	202
	T. Agua - Tina Inferior	°F	116	117	122	127
	T. Agua - Salida del Motor	°F	185	187	186	189
	T. Agua - Ingreso Bomba de Agua	°F	110	118	118	122
	T. Agua - Entrada de Oil Cooler	°F	167	168	168	170
	T. Agua - Salida de Oil Cooler	°F	168	170	172	178
	T. Agua de Motor	°F	182	184	183	182
Escape	T. Gases - Turbocompresor Izquierdo	°F	718	765	802	841
	T. Gases - Turbocompresor Derecho	°F	751	798	829	857
Combustible	Presión de Combustible	PSI	32	31	31	29
	Consumo de Diesel	GPH	7,95	10,2	13,02	16,32
	Señal del Gobernador (DC)	AMP	0,065	0,073	0,075	0,080
Banco de Carga	Voltaje (promedio)	VOLT	480	479	479	481
	Corriente (promedio)	AMP	180,5	241,2	301,5	360,3
	Factor de Potencia		1	1	1	1
	% de Carga	%	0	36,7	45,9	55,0
Presión de Gas	Entrada al filtro	PSI	30	30	31	32
	Salida del filtro	PSI	29	29	30	31
	Después de la válvula reductora	PSI	2,5	2,5	2,5	2,5

No se llegó a realizar las pruebas con carga para un "seteo" de 4 vueltas de apertura del Regulador Primario de la Válvula de Potencia debido a que el motor en esa condición comenzaba a golpetear, es decir, como ingresaba a la cámara de combustión una mezcla rica aire – gas, el motor incrementaba su temperatura de gases y comenzaba a presentar detonaciones.

Se debe tener en cuenta que el gas asociado de cabeza de pozo que se tiene en la planta de producción de Gathering Station, tiene un porcentaje en Metano de

63,23%, el cual es muy inferior en calidad al gas que proviene de Camisea, que tiene un porcentaje en Metano de 95,08% y que es el tipo de gas natural que los fabricantes de los sistemas bi-combustible normalmente recomiendan para sus equipos.

### **5.3. Cálculo del Beneficio Económico**

Para el cálculo del beneficio económico, debemos considerar, primero, que no se tendrá en cuenta el costo del Grupo Electrónico, su instalación en la minicentral ni la conexión a su tablero de control ubicado en el cuarto de control (CCM), debido a que estos costos son propios de la operación del Grupo Electrónico, muy al margen de si se lo convierte o no al sistema bi-combustible.

El uso del banco de resistencias para las pruebas con carga, la movilización y desmovilización en general (del personal, herramientas y equipos), el alojamiento y la alimentación del personal, no serán considerados en este análisis económico debido a que se incluyen dentro del costo operativo de Pluspetrol.

#### **5.3.1. Costo de la implementación del kit del sistema bi-combustible en el motor.**

##### **Item No. 1:**

##### **01 KIT DE CONVERSIÓN BI-COMBUSTIBLE MARCA GTI / SERIE III-B.**

Cada sistema bi-combustible consiste de un control electrónico de mezcla aire/gas natural, un sistema de ingreso y mezcla al turbocompresor y un juego de accesorios para interconexión, según la siguiente descripción:

**01 Sistema de Control - GPN2000V**

Con los siguientes componentes:

<b>Cantidad</b>	<b>Parte No.</b>	<b>Descripción</b>
1	DE-2510	Monitor / controlador
1	DSM-4388DUS	Monitor de temperatura, 8 puntos
2	GPA0006-1	Sensor de vibraciones

**01 Sistema de Ingreso y Mezcla - GGT0602**

Con los siguientes componentes:

<b>Cantidad</b>	<b>Parte No.</b>	<b>Descripción</b>
2	GMX0060AAT	Mezclador 6" roscado
1	GPV2025AAT	Válvula de potencia, 2.5" dual
1	GGR006	Regulador DN65
1	GFL002	Filtro de gas DN65
1	GSV005	Válvula solenoide DN65
1	G11005	Brida DN65
1	G11007	Brida adaptadora DN65
4	G12020	Sello DN65
16	G11002	Juego de accesorios, serie DN
1	G11012	Interruptor de presión

**01 Juego de Accesorios para Interconexión – GPA0002**

Con los siguientes componentes:

<b>Cantidad</b>	<b>Parte No.</b>	<b>Descripción</b>
1	693118-1	Amés del banco izquierdo – kit B, C
1	693121-1	Amés del banco derecho – kit B

1	693124-1	Arnés de combustible - Series II, III, IV
1	693125-1	Arnés de energía - Series II, III, IV
2	691206-50	Transductor 0-50 psia
1	691201-15	Transductor 0-15 psig
1	691201-50	Transductor 0-50 psig
3	TCK0430-SS	Termocupla, 30 ft.
3	TH-2745-250	Adaptador de termocupla

**Item No. 2:****INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO PARA CUATRO 01 SISTEMAS BI-COMBUSTIBLE GTI / SERIE III-B.**

El trabajo de instalación y puesta en servicio de los sistemas descritos en el ítem No. 1 consiste de las siguientes actividades:

Montaje del kit bi-combustible en el grupo electrógeno CAT 3412.

Verificación de las conexiones y funcionamiento del sistema en modo estático.

Pruebas en vacío y con carga

Registro de parámetros de operación

Entrenamiento a operadores y técnicos en la operación y mantenimiento de los sistemas bi-combustible GTI.

**Item No. 3:****ACCESORIOS ADICIONALES PARA LA INSTALACIÓN DE LOS CUATRO 01 SISTEMA BI-COMBUSTIBLE.**

Los siguientes accesorios sirven para asegurar un suministro de gas natural limpio y a la presión adecuada para el grupo electrógeno.

Consta de los siguientes componentes:

<b>Cantidad</b>	<b>Parte No.</b>	<b>Descripción</b>
4	G11063	Fitting, 1,5" JIC swivel
1	G11064-10	Manguera, 1,5", 10 ft. Long.
1	G11301	Filtro coalescente-5.000 SCFH a 20 psig
1	G11307	Regulador primario de presión – 5.000 SCFH
2	G12010	Adaptador de manguera de 6x6

#### **COSTO DE LA CONVERSIÓN DE UN MOTOR DIESEL AL SISTEMA BI-COMBUSTIBLE**

Item No. 1 – KIT DE CONVERSIÓN MARCA GTI / SERIE III-B.	: US\$ 27.700,00
Item No. 2 – INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	: US\$ 3.125,00
Item No. 3 – ACCESORIOS ADICIONALES	: US\$ 5.100,00
	-----
TOTAL	: US\$ 35.925,00

### 5.3.2. Costo del consumo de diesel en función a la carga en modo Bi-Combustible

De las Tablas N° 5.1, 5.2 y 5.3, extraemos la información relacionada al consumo de combustible Diesel e intensidad de corriente de la señal de control al gobernador bajo condición 100% Diesel y bi-combustible a diferentes cargas.

Tabla N° 5.4 : Consumo de Combustible Diesel

		KW			
		150	200	250	300
<b>100% Diesel</b>	<b>GPM</b>	0.25	0.30	0.37	0.42
	<b>GPH</b>	14.92	18.24	22.10	24.90
	<b>GPD</b>	358.08	437.76	530.40	597.60
	<b>Gal/MW_h</b>	99.47	91.20	88.40	83.00
	<b>S. GOV (AMP)</b>	0.079	0.086	0.094	0.105
<b>Bi-Combustible (2 Vueltas)</b>	<b>GPM</b>		0.18	0.23	0.28
	<b>GPH</b>		10.92	13.96	17.08
	<b>GPD</b>		262.08	335.04	409.92
	<b>Gal/MW_h</b>		54.60	55.84	56.93
	<b>S. GOV (AMP)</b>		0.074	0.076	0.081
	<b>% Reemplazo</b>		0.40	0.37	0.31
<b>Bi-Combustible (3 Vueltas)</b>	<b>GPM</b>	0.13	0.17	0.22	0.27
	<b>GPH</b>	7.95	10.20	13.02	16.32
	<b>GPD</b>	190.80	244.80	312.48	391.68
	<b>Gal/MW_h</b>	53.00	51.00	52.08	54.40
	<b>S. GOV (AMP)</b>	0.065	0.073	0.075	0.080
	<b>% Reemplazo</b>	0.47	0.44	0.41	0.34

Según lo indicado en el Capítulo III, el actuador como dispositivo responde a señales eléctricas provenientes de la tarjeta electrónica Woodward 2301, la cual a su vez recibe señales del pick-up magnético instalado frente a los dientes de la volante para “leer” las revoluciones por minuto ( rpm) del motor.

También sabemos que la tarjeta Woodward 2301 ha sido calibrada para hacer que el actuador mantenga las revoluciones del motor a 1800 rpm (caso específico de la unidad escogida para la prueba) sin importar la carga aplicada.

Por tal motivo, de haber un cambio de las rpm de la volante debido al incremento o decremento de la carga, el pick-up genera una señal eléctrica proporcional hacia la tarjeta Woodward 2301, la misma que enviará una señal de control al gobernador para que éste a su vez controle el flujo de combustible diesel hacia la bomba de inyección.

Por tal razón, en la Fig. 5.1 se puede observar que la señal del control al gobernador disminuye cuando el motor trabaja con el sistema bi-combustible, lo cual significa que hay un menor ingreso de diesel a la cámara de combustión, en relación al modo de trabajo 100% Diesel.

De igual forma, en la Fig. 5.2 se observa como el consumo de diesel disminuye cuando el motor trabaja con el sistema bi-combustible, lo que significa que hay un % del diesel reemplazado por su equivalente energético de gas natural.

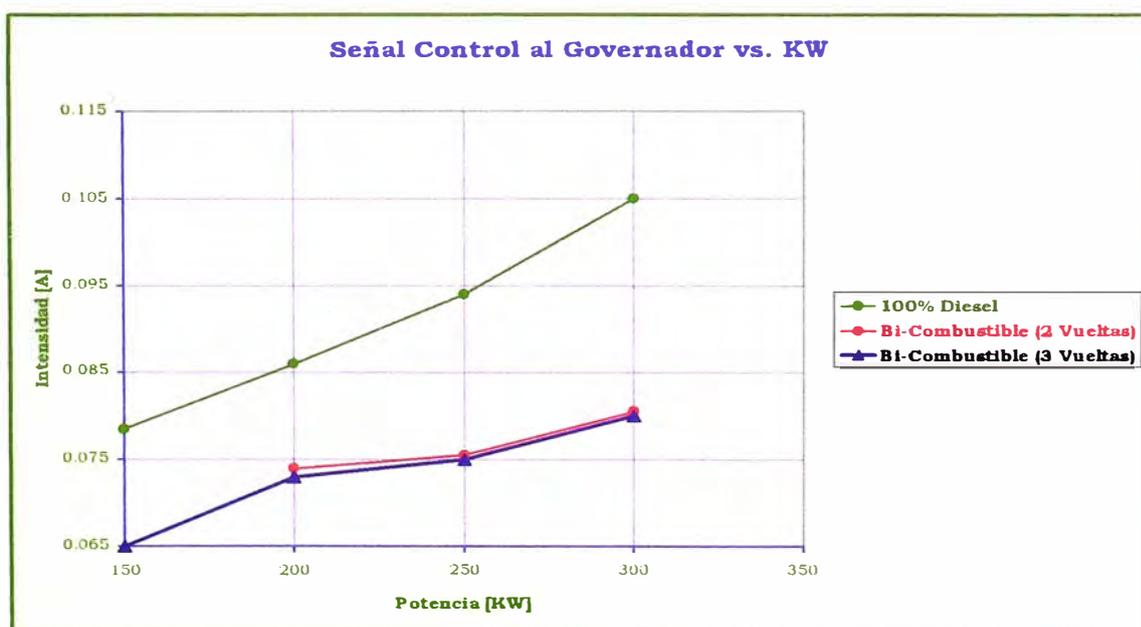


Fig. 5.1: Señal Control al Gobernador vs. kW.

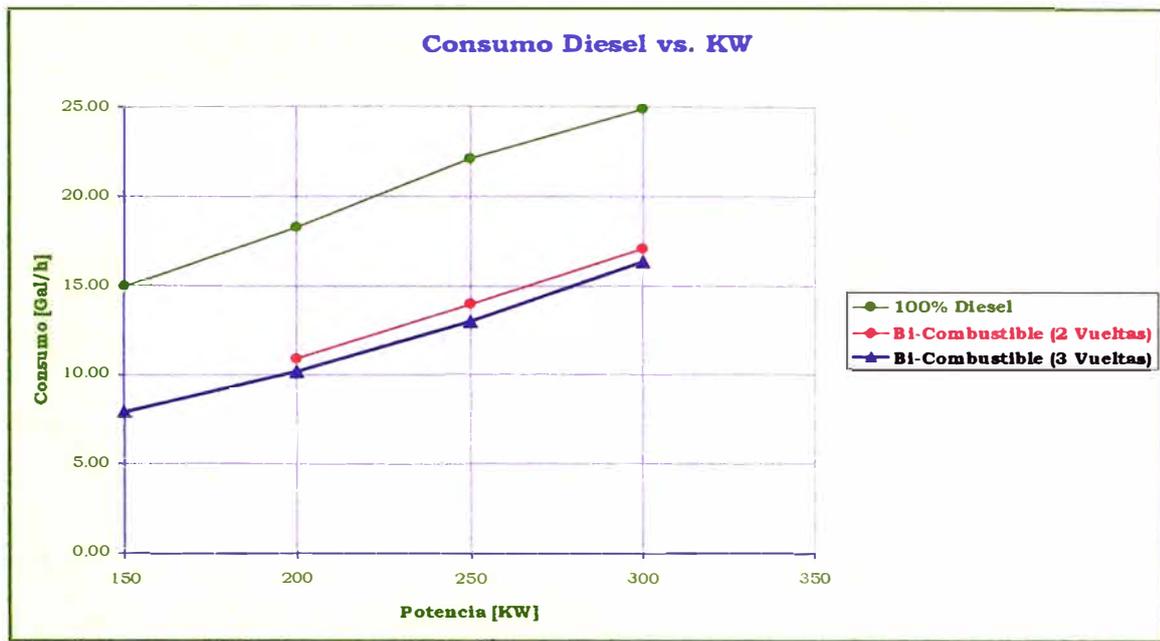


Fig. 5.2: Consumo de Diesel vs. kW.

En la Fig. 5.3, se puede observar el consumo específico de combustible diesel (Gal / MW.h) cuando el motor trabaja en el modo 100% Diesel y en el modo bi-combustible. Dato importante ya que nos permite comparar la contribución del sistema de bi-combustible en el ahorro de combustible diesel para diferentes condiciones de carga.

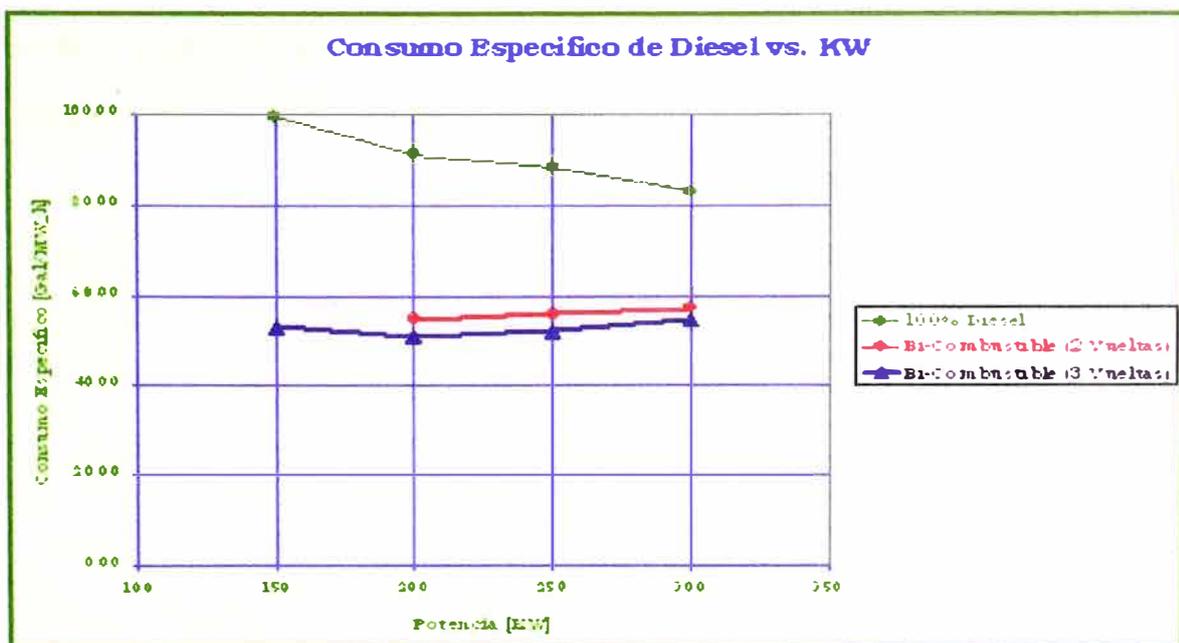


Fig. 5.3: Consumo Especifico de Diesel vs. KW.

En la Fig. 5.4 se puede observar que el mayor % de reemplazo de combustible diesel en el modo bi-combustible se produce cuando el Regulador Primario de la Válvula de Potencia se “setea” a una apertura de 3 Vueltas.

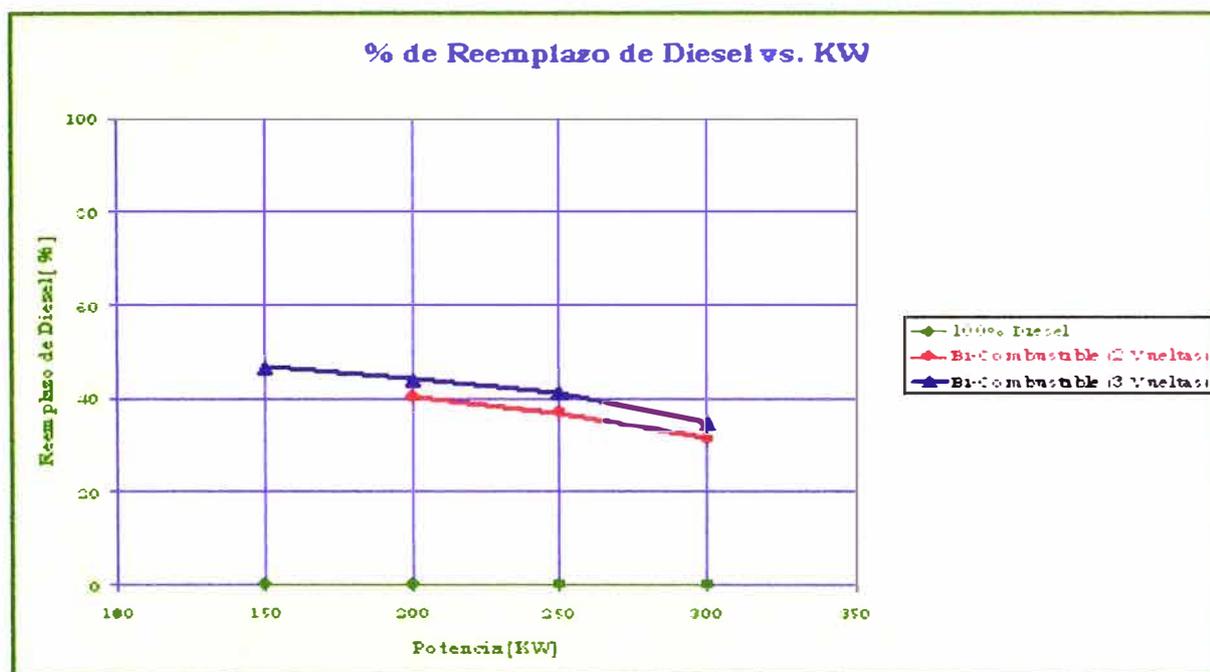


Fig. 5.4: % de Reemplazo de Diesel vs. KW.

En el Lote 1AB, Pluspetrol tiene su propia refinería de diesel (Topping Plant), lo cual le permite refinar su propio petróleo crudo y obtener así combustible diesel para atender los requerimientos de toda la operación.

Es por esta razón, que Pluspetrol considera US\$ 2,43; el costo de cada galón de petróleo diesel que se produce en su Topping Plant y se consume en su operación.

De acuerdo a la Tabla N° 5.4, se obtiene lo siguiente

**Modo Bi-combustible (3 Vueltas)**

- 150 kW de carga :

Consumo de Diesel	:	19,31 US\$/hr
% de Reemplazo de Diesel por su equivalente en Gas Natural	:	46,71 %
Ahorro obtenido debido al uso del Sistema Bi-Combustible	:	16,93 US\$/hr

- 200 kW de carga :

Consumo de Diesel	:	24,78 US\$/hr
% de Reemplazo de Diesel por su equivalente en Gas Natural	:	44,07 %
Ahorro obtenido debido al uso del Sistema Bi-Combustible	:	19,53 US\$/hr

- 250 kW de carga :

Consumo de Diesel	:	31,63 US\$/hr
% de Reemplazo de Diesel por su equivalente en Gas Natural	:	41,08 %
Ahorro obtenido debido al uso del Sistema Bi-Combustible	:	23,09 US\$/hr

- 300 kW de carga :

Consumo de Diesel	:	39,65 US\$/hr
% de Reemplazo de Diesel por su equivalente en Gas Natural	:	34,45 %
Ahorro obtenido debido al uso del Sistema Bi-Combustible	:	20,84 US\$/hr

### 5.3.3. Tiempo de Retorno de la Inversión (Pay-back)

Teniendo en cuenta que el Grupo Electrónico Caterpillar, modelo 3412 DITA, trabajará en la minicentral de la planta de producción de Gathering Station, con una carga promedio de 300 kW, se procederá a analizar el Tiempo de Retorno de la Inversión bajo las siguientes condiciones :

Modo de Operación: bi-combustible (Regulador Primario de la Válvula de Potencia se "setea" a una apertura de 3 Vueltas)

Carga : 300 kW

Trabajo : 24 horas/día (continuo)

Costo de Gas Natural asociado de cabeza de pozo : US\$ 0,00

Costo de Barril de Petróleo Crudo (BBL): US\$ 64,00

Inversión inicial para el suministro, montaje y pruebas con carga del sistema bi-combustible : US\$ 35.925,00

% de diesel reemplazado por su equivalente en Gas Natural : 34,45%

Ahorro en diesel obtenido como consecuencia del uso del Sistema bi-combustible : 20,84 US\$/h

Durante la refinación del petróleo crudo, Pluspetrol extrae el petróleo diesel y el excedente lo retorna nuevamente al proceso para su venta como petróleo crudo o lo usa en sus centrales térmicas que operan con petróleo residual. Para nuestro caso, vamos a considerar que los 8,58 Gln/h (0,204 BBL/h) de diesel que se ahorran por el uso del sistema bi-combustible vuelven nuevamente al proceso para su venta como petróleo crudo, por lo que esta venta adicional será de 13,05 US\$/h (por

cada hora que el motor opera en modo bi-combustible con un 34,45% de reemplazo de petróleo diesel).

Calculando el Pay – Back se tiene

$$\text{Pay - back} = \frac{\text{US\$ 35.925,00}}{20,84 \text{ US\$/hr} + 13,05 \text{ US\$/hr}} = 1060,05 \text{ hr} = 44,17 \text{ dias} = 1,47 \text{ meses}$$

Por lo tanto, el Tiempo de Retorno de la Inversión será del 1,47 meses.

#### **5.3.4 Proyección del ahorro con el sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor de 16.000 horas con una carga promedio de 300 kW.**

Según lo ya desarrollado, el uso del sistema bi-combustible genera un ahorro mediante la reducción del consumo del combustible diesel. Por tal razón, vamos a proyectar dicho ahorro a un periodo de tiempo similar al ciclo de vida de estos motores cuando trabajan en modo 100% Diesel, el cual históricamente y aplicando la recomendaciones del fabricante del motor es de 16.000 horas (Ver tabla N° 5.5).

Las consideraciones a tener en cuenta son las siguientes :

- Combustible diesel : US\$ 2,43 /galón (\*)

Inversión Inicial

Costo de reparación mayor del Grupo Electrónico

- Mano de Obra : US\$ 12.105,17 (\*)
- Repuestos CAT : US\$ 33.736.88 (\*)
- Valor residual del Grupo Electrónico : US\$ 20.000 (\*\*)

### Costo del Montaje del Sistema bi-combustible

- Kit bi-combustible:US\$ 35,925.00

(\*) Costos suministrados por el Dpto. de Mantenimiento Pluspetrol – lote 1AB.

(\*\*) Representa el 20% de valor de un grupo electrógeno nuevo de similares características y potencia (US\$ 100.000 aprox.)

### Consumo de combustible diesel @ 300 kW

- Modo 100% Diesel : 24,90 GPH
- Modo bi-combustible : 16,32 GPH (\*\*\*)

(\*\*\*) Consumo a 3 vueltas de apertura de la válvula de potencia

- Periodos de mantenimientos preventivos :500 horas

Por cuestiones practicas para este calculo, vamos a considerar que los mantenimientos correctivos, en costo y tiempo son similares a los mantenimientos preventivos.

Tabla N° 5.5 : Proyección del ahorro con el sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor

Cantidad de Mantto. Preventivo	Horas	Costo de Mantto. Preventivo (US\$)	Costo de Mantto. Correctivo (US\$)	Costo Combustible 100% Diesel (US\$)	Costo Combustible bi-combustible (US\$)	Ahorro Consumo de Combustible (US\$)	Ahorro Efectivo en Operación (US\$)	Ahorro de diesel que vuelve al proceso (US\$)	Ahorro Efectivo del proceso (US\$)
1	500	509	509	30.254	19.829	10.425	9.407	6.525	15.932
2	1.000	1.146	1.146	60.507	39.658	20.849	18.557	13.050	31.607
3	1.500	1.655	1.655	90.761	59.486	31.274	27.964	19.575	47.539
4	2.000	2.292	2.292	121.014	79.315	41.699	37.114	26.100	63.214
5	2.500	2.801	2.801	151.268	99.144	52.124	46.521	32.625	79.146
6	3.000	3.474	3.474	181.521	118.973	62.548	55.601	39.150	94.751
7	3.500	3.983	3.983	211.775	138.802	72.973	65.008	45.675	110.683
8	4.000	4.620	4.620	242.028	158.630	83.398	74.158	52.200	126.358
9	4.500	5.129	5.129	272.282	178.459	93.822	83.565	58.725	142.290
10	5.000	5.766	5.766	302.535	198.288	104.247	92.715	65.250	157.965
11	5.500	6.275	6.275	332.789	218.117	114.672	102.122	71.775	173.897
12	6.000	6.982	6.982	363.042	237.946	125.096	111.132	78.300	189.432
13	6.500	7.491	7.491	393.296	257.774	135.521	120.539	84.825	205.364
14	7.000	8.128	8.128	423.549	277.603	145.946	129.689	91.350	221.039
15	7.500	8.637	8.637	453.803	297.432	156.371	139.096	97.875	236.971
16	8.000	9.274	9.274	484.056	317.261	166.795	148.246	104.400	252.646
17	8.500	9.784	9.784	514.310	337.090	177.220	157.653	110.925	268.578
18	9.000	10.561	10.561	544.563	356.918	187.645	166.522	117.450	283.972
19	9.500	11.070	11.070	574.817	376.747	198.069	175.929	123.975	299.904
20	10.000	11.707	11.707	605.070	396.576	208.494	185.079	130.500	315.579
21	10.500	12.216	12.216	635.324	416.405	218.919	194.486	137.025	331.511
22	11.000	12.853	12.853	665.577	436.234	229.343	203.636	143.550	347.186
23	11.500	13.363	13.363	695.831	456.062	239.768	213.043	150.075	363.118
24	12.000	14.035	14.035	726.084	475.891	250.193	222.123	156.600	378.723
25	12.500	14.544	14.544	756.338	495.720	260.618	231.530	163.125	394.655
26	13.000	15.181	15.181	786.591	515.549	271.042	240.680	169.650	410.330
27	13.500	15.690	15.690	816.845	535.378	281.467	250.087	176.175	426.262
28	14.000	16.327	16.327	847.098	555.206	291.892	259.238	182.700	441.938
29	14.500	16.836	16.836	877.352	575.035	302.316	268.644	189.225	457.869
30	15.000	17.543	17.543	907.605	594.864	312.741	277.654	195.750	473.404
31	15.500	18.053	18.053	937.859	614.693	323.166	287.061	202.275	489.336
32	16.000	18.690	18.690	968.112	634.522	333.590	296.211	208.800	505.011

De acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 5.5, hay un ahorro directo, el cual esta relacionado al combustible diesel que se deja de consumir al utilizar el sistema bi-combustible (ahorro efectivo en operación) y otro donde se considera también al combustible no consumido que retorna nuevamente al proceso para su venta como petróleo crudo (Ahorro efectivo del proceso).

En la Fig. 5.5 se observa esta relación, de donde gráficamente se puede determinar que el tiempo de retorno de la inversión (Costo de reparación mayor del Grupo Electrónico, Valor residual del Grupo Electrónico, Costo del Montaje del Sistema bi-combustible) de US\$ 101.767 aproximadamente, se logra con el ahorro efectivo en operación en 5.700 horas de operación del grupo electrógeno.

Así mismo, si consideramos el ahorro efectivo del proceso, el tiempo de retorno de la inversión, se logra en 3.600 horas de operación del grupo electrógeno.



Fig. 5.5: Proyección del ahorro con el sistema bi-combustible en un ciclo de vida del motor

### 5.3.5. Beneficio Ambiental

Según los fabricantes de los Sistemas bi-combustible, el uso de estos sistemas contribuye no sólo a reducir el consumo del combustible diesel, al ser reemplazado éste por su equivalente térmico en gas natural, si no también, en la reducción de contaminantes derivados del procesos de combustión, como, por ejemplo : NO<sub>x</sub>, CO y HC no quemados.

Tal afirmación no se pudo corroborar debido a que no se contaba durante las pruebas con un equipo analizador de gases de combustión.

Así mismo, el uso de este sistema bi-combustible, según sus fabricantes, también debería contribuir al incremento del intervalo de tiempo entre mantenimientos preventivos para cambio de aceite y filtros de aceite debido a la menor presencia de los contaminantes de la combustión en el aceite lubricante.

Para nuestro caso y debido a que el fabricante del motor no recomienda ningún aceite lubricante existente en el mercado para cuando su equipo opere con el sistema bi-combustible, se realizó un muestreo del aceite lubricante por un periodo de 2.500 horas de operación, con el objetivo de determinar si se continua manteniendo los periodos de mantenimiento de 750 horas para el cambio de aceite y filtros de aceite, utilizado cuando el motor opera bajo el modo 100% Diesel.

Los análisis de dichas muestras fueron realizadas en el Laboratorio de Capahuari Sur – Pluspetrol según las siguientes normas y procedimientos ASTM.

Tabla N° 5.6 : Normas y Procedimientos ASTM – Análisis de Aceites Usados  
Laboratorio de Capahuari Sur – Pluspetrol

<b>Pruebas Aceite Lubricante</b>	<b>Procedimientos</b>
Viscosidad Cinemática	ASTM D-445
Numero Total de Base	ASTM D-2896/D-4793
Análisis Espectrométrico por RDE	ASTM D-6595

El aceite Lubricante : Shell Rimula X – 15W/40

Capacidad de Cáster del motor : 32 galones

Procedimiento de extracción de muestra : Cómo tomar una buena muestra de aceite (Ver Anexo 1)

Tolerancias : Entendiendo sus Resultados del Análisis de Aceites S.O.S (Ver el Anexo 2).

El resultado de los análisis de aceite realizados con el motor trabajando en modo bi-combustible, se muestra en la Tabla N° 5.7 y las tendencias del contenido metálico en ppm del Hierro, Plomo y Cobre se muestran en las Fig. 5.6, 5.7 y 5.8 respectivamente.

1. La conclusión a la cual se llego, fue que debido a la calidad de gas que se tienen en la planta de producción de Gathering Station (Ver tabla N° 2.4) y su relación directa con el incremento de la temperatura de los gas del motor debido a sus compuestos mas pesados (condensados), se opto por reducir los periodos de mantenimiento a 500 horas para el cambio de aceite utilizado cuando el motor opera con el sistema bi-combustible. Esto significa que el consumo de aceite lubricante y filtros de aceite, proyectado a un ciclo de vida de motor de 16.000 horas, se incrementara en un 52%, en relación

al consumo cuando el motor opera bajo el modo 100% Diesel (Ver Tabla N° 5.8 y 5.9); y que los costos del mantenimiento preventivo en similar periodo se eleven en un 51 %

Tabla N° 5.7 : Resultado de Análisis de Aceites Usados

Ubicación	Hrs. Acum.	Hrs. Aceite	Tipo de Aceite	Visc. 100°C	Fuel	Contenido Metálico (ppm)					Estado
						Fe	Si	Al	Pb	Cu	
<b>GATHERING</b>											
Gen 1	82	82	Rim 15W/40	13,95		10		1	3	3	Normal
Gen 1	284	284	Rim 15W/40	13,59		21			3	7	Normal
Gen 1	465	465	Rim 15W/40	13,68		28		3	5	17	Atención
Gen 1	475	475	Rim 15W/40	13,88		28		2	5	18	Atención
Gen 1	581	581	Rim 15W/40			36		3	6	98	Acción
Gen 1	631	631	Rim 15W/40		0.0	39			6	111	Acción
<b>CAMBIO DE ACEITE(se realizo mantto tipo A)</b>											
Gen 1	653	22	Rim 15W/40		0.0	4		2	1	57	Acción
Gen 1	683	55	Rim 15W/40		0.0	6			2	70	Acción
<b>CAMBIO DE ACEITE(se le cambio enfriador de aceite)</b>											
Gen 1	752	24	Rim 15W/40			2		0	0	6	Normal
Gen 1	776	48	Rim 15W/40		0.0	4			2	7	Normal
Gen 1	800	72	Rim 15W/40		0.0	4		2	2	7	Normal
Gen 1	831	102	Rim 15W/40		0.0	4		2	2	9	Normal
Gen 1	860	132	Rim 15W/40	14,45	0.0	5		2	2	9	Normal
Gen 1	944	216	Rim 15W/40		0.0	7		2		9	Normal
Gen 1	1256	528	Rim 15W/40		0.0	15		1	2	145	Acción
Gen 1	1304	576	Rim 15W/40		0.0	17				148	Acción
Gen 1	1328	600	Rim 15W/40		0.0	19		2	2	150	Acción
<b>CAMBIO DE ACEITE(se realizo mantto tipo B)</b>											
Gen 1	1412	26	Rim 15W/40		0.0	3		2	3	54	Acción
Gen 1	1454	73	Rim 15W/40		0.0	4		3	2	74	Acción
Gen 1	1482	96	Rim 15W/40		0.0	4		3	2	75	Acción
Gen 1	1516	130	Rim 15W/40		0.0	4		1	2	76	Acción
Gen 1	1526	143	Rim 15W/40		0.0	6			3	78	Acción
Gen 1	1574	191	Rim 15W/40		0.0	6		2	2	78	Acción
Gen 1	1598	212	Rim 15W/40		0.0	6			2	78	Acción
Gen 1	1626	240	Rim 15W/40		0.0	6			2	80	Acción
<b>CAMBIO DE ACEITE(se paro el motor para desarmarlo, solo se cambio el enfriador de aceite)</b>											
Gen 1	1653	12	Rim 15W/40		0.0	3	3	0	0	10	Normal
Gen 1	1725	120	Rim 15W/40		0.0	7	4	2	2	20	Atención
Gen 1	1869	240	Rim 15W/40		0.0	10	4	1	2	27	Atención
Gen 1	2015	386	Rim 15W/40		0.0	15		1	3	33	Atención
Gen 1	2061	432	Rim 15W/40	13,81	0.0	15		1	2	33	Atención
Gen 1	2254	625	Rim 15W/40	14,18	0.0	20	6	1	3	35	Atención
<b>CAMBIO DE ACEITE(se realizo mantto tipo A)</b>											
Gen 1	2324	76	Rim 15W/40		0.0	6		1	2	6	Normal
Gen 1	2420	166	Rim 15W/40		0.0	6		1	2	8	Normal

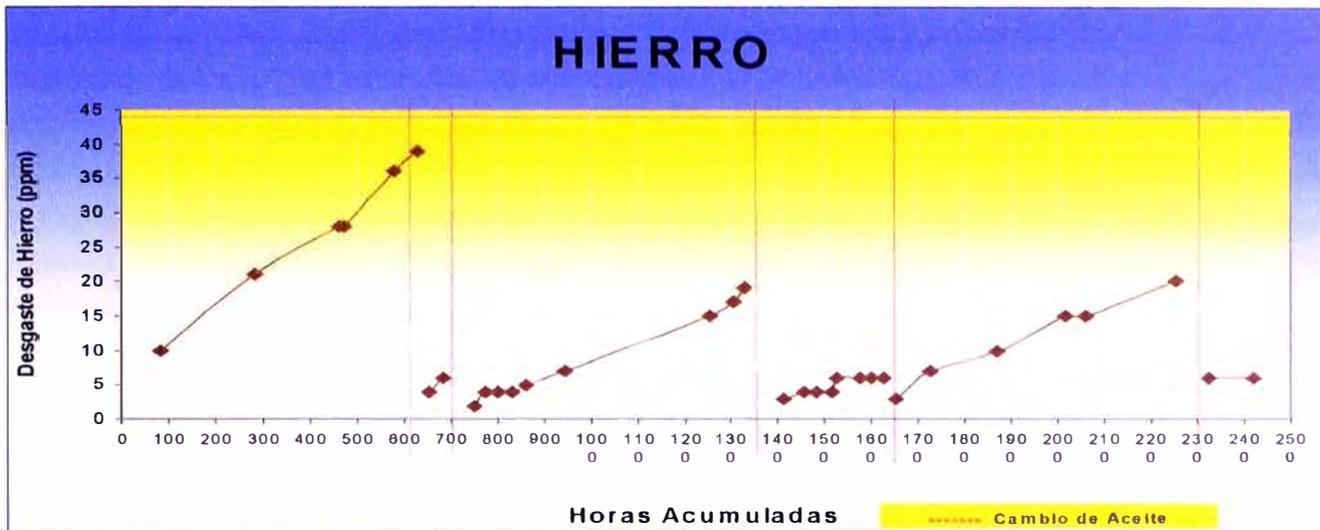


Fig. 5.6: Desgaste de Hierro (ppm)

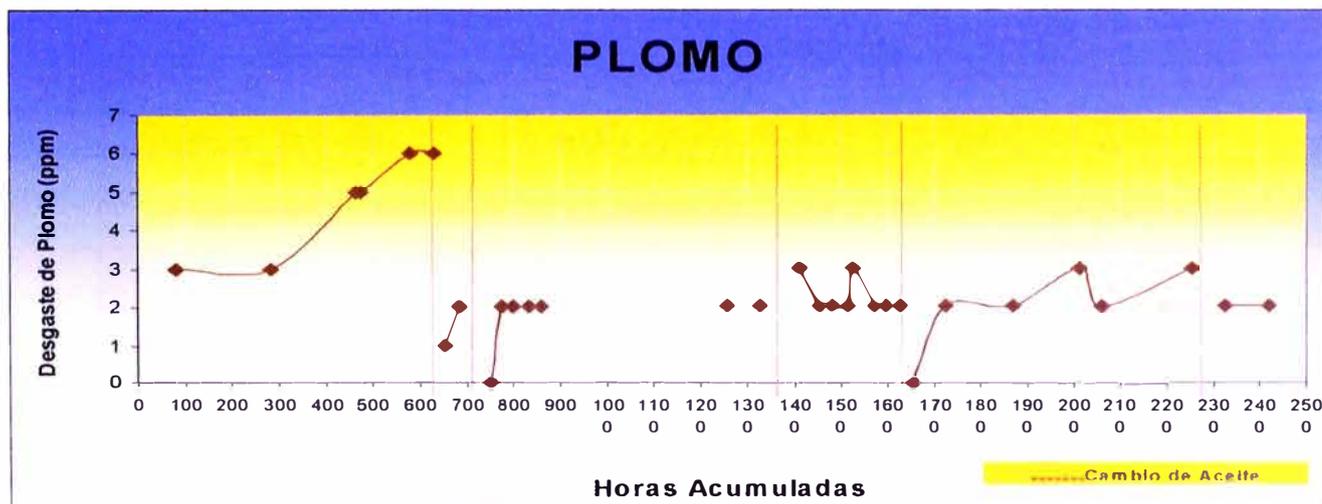


Fig. 5.7: Desgaste de Plomo (ppm)

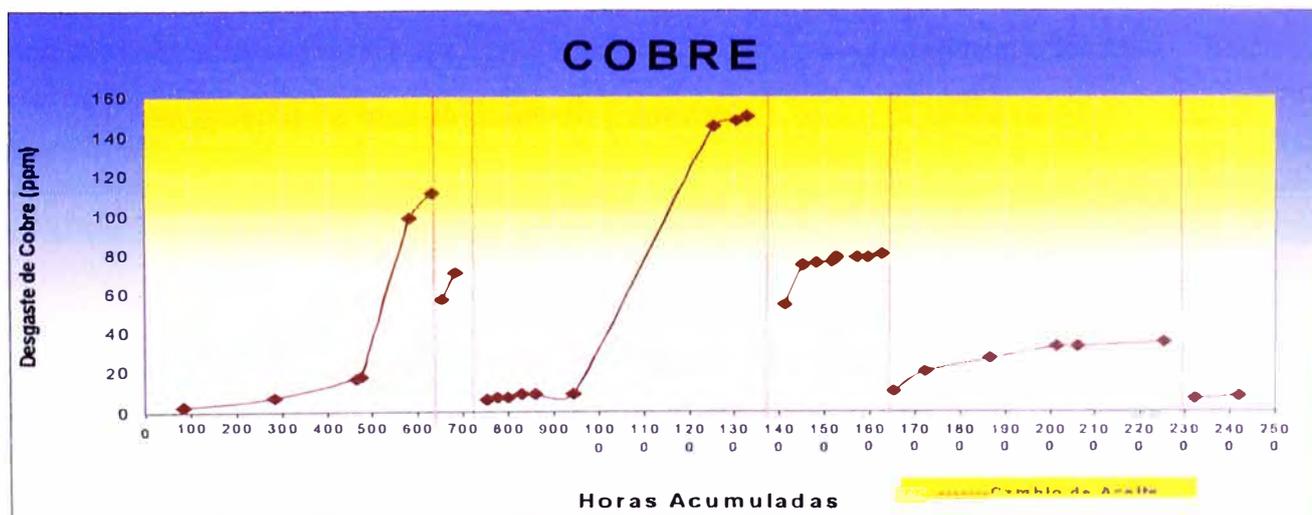


Fig. 5.8: Desgaste de Cobre (ppm)

Tabla N° 5.8 : Intervalos de Mantenimiento cuando el motor opera bajo el modo 100% Diesel (en un ciclo de vida de motor de 16.000 horas)

Cantidad de Mantto. Preventivo	Horas	Tipo de Mantenimiento Preventivo												Costo de Mantto. Preventivo (US\$)					
		A			B			C			D			E			M.O	Rep.	Total
		M	E	I	M	E	I	M	E	I	M	E	I	M	E	I			
1	750	x	x	x													176	333	509
2	1.500				x	x	x										211	426	637
3	2.250	x	x	x													176	333	509
4	3.000							x	x	x							246	426	672
5	3.750	x	x	x													176	333	509
6	4.500				x	x	x										211	426	637
7	5.250	x	x	x													176	333	509
8	6.000											x	x	x			281	426	707
9	6.750	x	x	x													176	333	509
10	7.500				x	x	x										211	426	637
11	8.250	x	x	x													176	333	509
12	9.000														x	x	352	426	778
13	9.750	x	x	x													176	333	509
14	10.500				x	x	x										211	426	637
15	11.250	x	x	x													176	333	509
16	12.000							x	x	x							246	426	672
17	12.750	x	x	x													176	333	509
18	13.500				x	x	x										211	426	637
19	14.250	x	x	x													176	333	509
20	15.000											x	x	x			281	426	707
21	15.750	x	x	x													176	333	509
																	<b>Total US\$:</b>	<b>12.322</b>	

M : Mantenimiento Mecánico

E : Mantenimiento Eléctrico

I : Mantenimiento de Instrumentación y Control

Tabla N° 5.9 : Intervalos de Mantenimiento cuando el motor opera bajo el modo bi-combustible (en un ciclo de vida de motor de 16.000 horas)

Cantidad de Mantto. Preventivo	Horas	Tipo de Mantenimiento Preventivo												Costo de Mantto. Preventivo (US\$)							
		A			B			C			D			E			M.O	Rep.	Total		
		M	E	I	M	E	I	M	E	I	M	E	I	M	E	I					
1	500	x	x	x														176	333	509	
2	1.000				x	x	x											211	426	637	
3	1.500	x	x	x														176	333	509	
4	2.000				x	x	x											211	426	637	
5	2.500	x	x	x														176	333	509	
6	3.000							x	x	x								246	426	672	
7	3.500	x	x	x														176	333	509	
8	4.000				x	x	x											211	426	637	
9	4.500	x	x	x														176	333	509	
10	5.000				x	x	x											211	426	637	
11	5.500	x	x	x														176	333	509	
12	6.000										x	x	x					281	426	707	
13	6.500	x	x	x														176	333	509	
14	7.000				x	x	x											211	426	637	
15	7.500	x	x	x														176	333	509	
16	8.000				x	x	x											211	426	637	
17	8.500	x	x	x														176	333	509	
18	9.000															x	x	x	352	426	778
19	9.500	x	x	x														176	333	509	
20	10.000				x	x	x											211	426	637	
21	10.500	x	x	x														176	333	509	
22	11.000				x	x	x											211	426	637	
23	11.500	x	x	x														176	333	509	
24	12.000							x	x	x								246	426	672	
25	12.500	x	x	x														176	333	509	
26	13.000				x	x	x											211	426	637	
27	13.500	x	x	x														176	333	509	
28	14.000				x	x	x											211	426	637	
29	14.500	x	x	x														176	333	509	
30	15.000											x	x	x				281	426	707	
31	15.500	x	x	x														176	333	509	
32	16.000				x	x	x											211	426	637	
<b>Total US\$:</b>																		<b>18.690</b>			

(Ver Anexo 3 : Listado de Tareas de Mantenimiento Preventivo para motores con sistema bi-combustible)

**CAPITULO VI**  
**DESEMPEÑO DE LOS MOTORES CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA CON**  
**SISTEMA BI-COMBUSTIBLE**

Como de indico en los antecedentes de este informe, Pluspetrol toma la decisión para implementar el uso de los sistemas bi-combustible en sus Grupos Electrógenos con motor Caterpillar, modelo 3412 DITA. Para reducir en el corto plazo sus gastos operativos derivados del consumo del combustible diesel e incrementar el consumo del gas natural asociado de cabeza de pozo, mientras implementaba sus proyectos de mediano plazo como la generación de energía mediante el uso de turbinas a gas natural en las bases de producción de Jibarito (turbina de 5 MW), Forestal (turbina de 2 MW), Shiviyaçu (1 MW) y Capahuari Sur (Turbina de 1 MW).

El uso de los sistemas bi-combustible en los motores Caterpillar, modelo 3412 DITA. por parte de Pluspetrol en el Lote 1AB, data del año 2.003, donde se inicio con la instalación de 5 kit´s bi-combustible, en el año 2.004 se tenían instalados 7 kit´s bi-combustible y el año 2.006 llegaron a tener instalados en el Lote 12 kit´s bi-combustible, los mismos que se encontraban ubicados en las plantas de producción donde se podía disponer del gas natural suficiente para la su funcionamiento.

En 7 años de operación, son un total 85 motores Caterpillar, modelo 3412 DITA, que han operado y continúan operando con estos sistemas bi-combustible, de los que se tienen registrados la siguiente información :

- Operan actualmente con el sistema bi-combustible : 8 G.E's
- Sobrepasaron su ciclo de vida de 16.000 horas : 63 G.E's
- No llegaron a cumplir su ciclo de vida de 16.000 horas: 14 G.E's

Los motores Caterpillar, modelo 3412 DITA que no llegaron a cumplir su ciclo de vida y tuvieron que ingresar al taller de reparaciones mayores, debido a falla atribuida al uso del sistema bi-combustible; se produjeron en los siguientes años (Ver Fig. 6.1).

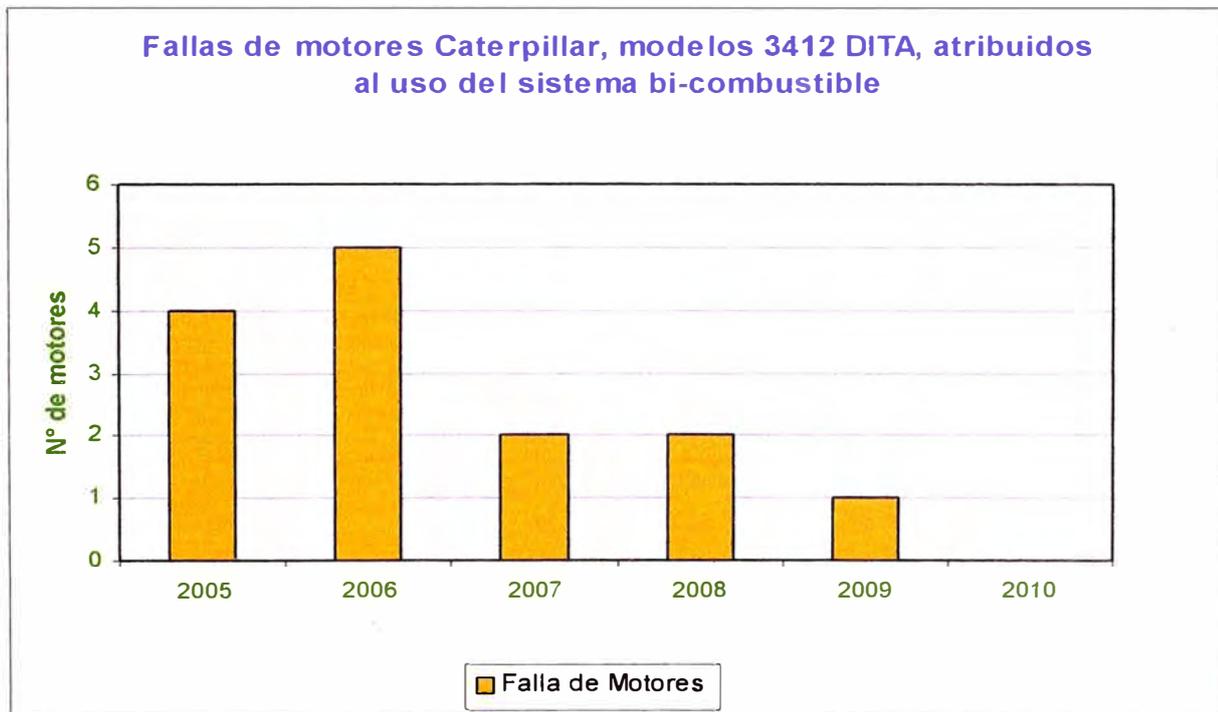


Fig. 6.1: Fallas de motores Caterpillar, modelo 3412 DITA, atribuidos al uso del sistema bi-combustible

De los 14 motores que ingresaron al taller de reparaciones mayores de Andoas por falla, pasaremos a presentar los informes técnicos de Análisis de Falla de 03 de ellos, debido a que son los que mayor información han proporcionaron para el adecuado uso y operación del los sistemas bi-combustible.

### 6.1 Informe de técnico de Análisis de Falla MOD – 3412-533.

Máquina	:	Grupo Electrónico Caterpillar
Código del motor	:	MOD-3412-533
Modelo Motor	:	3412 DITA
N° de serie Motor	:	81Z09025
Arreglo de Motor	:	7W7170
Equipo Acoplado	:	GEN-K540-020
Combustible	:	Sistema bi-combustible
Horómetro	:	2,077 hrs.
Lugar de procedencia:		Gen 04 de Minicentral de Huayurí
Ultimo servicio mayor:		Overhaul (29-Jun-05)
Fecha	:	30 de Noviembre del 2,005
Potencia demandada :		310 kW

---

### ANTECEDENTES

- El 19-Jun-05 se le realizó su reparación mayor el taller de Andoas
- El 11-Jul-05 se instaló este G.E. en la Minicentral de Huayurí en la posición del Generador N° 04.
- El 29-Jul-05 se instaló el sistema de bi-fuel, quedando éste en estado operativo.

- El 11-Nov-05 se cambió el enfriador de aceite por presentar fuga.
- El 17-Nov-05 se reparó el mando del ventilador, quedando éste en estado operativo.
- El 25-Nov-05, se reportó avería en el turbo compresor derecho y en los cilindros y pistones 01, 02, 04 y 08.
- El 27-Nov-05, fue trasladado el grupo electrógeno desde la Minicentral de Huayurí al Taller de reparaciones mayores de Andoas para su respectivo Análisis de Falla.

## **EVALUACIÓN**

Este motor ha llegado al taller de Andoas después de 2,077 horas de operación, para su respectiva evaluación y análisis de falla.

1. En la evaluación de inyectores y bomba de inyección, se verificó la presión de apertura de cada inyector, el inyector N° 09 presenta baja presión de apertura y queda fuera de servicio. Se verificó el caudal de la bomba de inyección en el banco de prueba, encontrándose dentro de especificaciones.
2. En la evaluación de culatas, se debe reacondicionar las caras de sellado de las válvulas de admisión; no reusar la válvula de escape del cilindro N° 02 por estar soplada debido a la incrustación de aluminio; las guías de admisión y escape están en medidas aceptables para ser reusadas; los insertos de admisión y escape se pueden reacondicionar; los resortes, rotadores y adapter están en buenas condiciones. Las partículas de aluminio de los pistones fallados han causado pequeños golpes que han quedado grabados en la cámara de combustión. Las válvulas de escape y admisión no presentan mucho desgaste y sólo es necesario reacondicionar las caras de sellado y cambiar la válvula soplada.

3. En la evaluación de los pistones, se aprecia gran acumulación de carbón en las ranuras de los anillos, pero no presenta desgaste anormal. Se calibró las ranuras con la herramienta 1U-6431, estando todos en condiciones reusables, a excepción de los pistones 01, 02, 04 y 08. Los pines de pistón no presentan ningún daño a excepción de los que pertenecen a los cilindros 01, 02, 04 y 08 que se atascaron en los pistones.
4. En la evaluación de bielas, se desmontan todas las bielas para evaluarlas sin encontrar daño severo. Las bocinas del pin de biela están en condiciones reusables, los alojamientos del cojinete de puño de biela están en medidas aceptables, los cojinetes de biela y bancada de todos los puños están reusables, apreciándose un poco más de rayaduras en los cojinetes que corresponden a los cilindros afectados por la falla.
5. En la evaluación de los cilindros, los más afectados fueron los cilindros 01, 02, 04 y 08, los cuales presentan profundas rayaduras y adherencia de aluminio a las paredes del cilindro. Los demás cilindros no sufrieron daños severos, pudiendo ser reusados después de pulirlos con "Flex-Home". El desgaste medido en estos cilindros es normal.
6. En la evaluación de monoblock de motor, se recomienda trasladarlo al área especializada para volver a chequear las medidas. La tapa N° 01 ya fue rellenada en uno de los lados.
7. En la evaluación de los turbos, el turbocompresor del lado derecho salió con el eje roto, lo cual ha dañado la caja de la turbina, la caja del rotor de compresor y caja central.

## ANÁLISIS DE LA FALLA

Como podemos observar existe problemas de fundición en la corona de pistón de los cilindros N° 01, 02, 04 y 08, sopladura de una válvula de escape en el cilindro N° 02 y rotura del eje de la turbina del turbo del lado derecho (Ocasionando el ingreso de aceite a la línea de admisión de aire), todo esto fue causado por alta temperatura de combustión, debido al excesivo paso de gas a las cámaras de combustión

La alta temperatura de combustión no se ha manifestado externamente, ya que la pintura en las culatas por el lado de las lumbreras de escape no han cambiado de coloración. Las cabezas de válvula de admisión y escape presentan coloración oscura, las coronas de los pistones que no fallaron están quemadas (Observándose por debajo de la corona la formación de una película de aceite excesivamente quemada que llega hasta los alojamientos de los pines de pistón), causado también por la excesiva temperatura de combustión.

Como se puede ver los inyectores se encontraron en valores normales de prueba, lo que descarta la posibilidad de excesivo paso de combustible diesel.

Se concluyó que la falla no ha sido por mal armado, sino por una mala operación en el sistema bi-combustible.

## RECOMENDACIONES

- El sistema bi-combustible debe ser revisado por el personal competente de acuerdo a un programa de mantenimiento preventivo cada 4 meses (ver Anexo 3).
- La válvula de gas de potencia se encontraba inoperativa, y el motor trabajando en el modo bi-combustible, lo cual permitió que una excesiva

cantidad de gas natural ingresara al motor, lo que provoco el incremento de la temperatura de los gases de la combustión

- Debido a que el gas natural que ingresa al motor no tiene mayor tratamiento y posee un gran porcentaje de compuestos pesados (condensados), debe incluirse entre las tareas rutinaria el purgado del condensado del filtro de Gas Primario del sistema bi-combustible.



Fig. 6.2: Corona de pistón de cilindro 08, presenta fundición por alta temperatura en la cámara de combustión

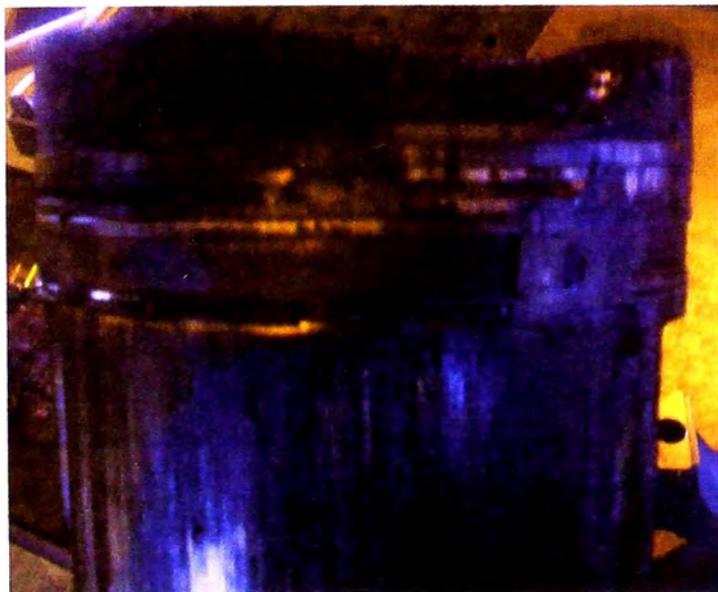


Fig. 6.3: Faldón de pistón de cilindro 08, presenta ralladuras longitudinales, debido a rozamiento con su cilindro por alta temperatura en la cámara de combustión

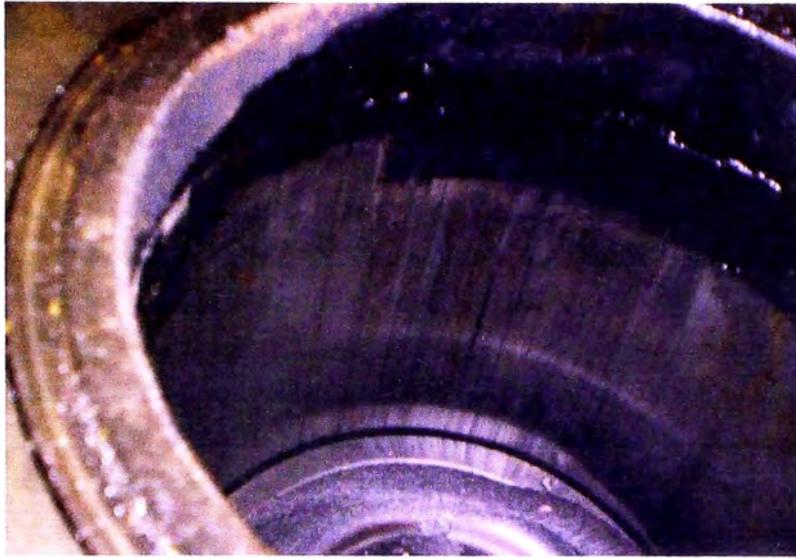


Fig. 6.4: Cilindro 08, presenta ralladuras longitudinales, debido a rozamiento con su pistón por alta temperatura en la cámara de combustión



Fig. 6.5: Válvula de escape del cilindro 08, presenta perforación de la cabeza debido a la alta temperatura de la cámara de combustión



Fig. 6.6: Alabes de turbina de turbocompresor (lado derecho) con presencia de impacto por partículas que se desprendieron de las coronas de los pistones fallados por alta temperatura



Fig. 6.7: Presencia de aceite en el caracol de la turbina de compresor (lado derecho) debido a fractura de eje motriz

## 6.2 Informe de técnico de Análisis de Falla MOD – 3412 - 524.

Máquina	:	Grupo Electrónico Caterpillar
Código del motor	:	MOD-3412-524
Modelo Motor	:	3412 DITA
N° de serie Motor	:	81Z04608
Arreglo de Motor	:	7W9599
Equipo Acoplado	:	GEN-K540-027
Combustible	:	Sistema bi-combustible
Horómetro	:	6.330 hrs.
Lugar de procedencia:		Gathering Station-Gen. Pta. N°4
Fecha	:	01 de Octubre del 2.006
Potencia demandada :		285 kW

---

### ANTECEDENTES

- El 06/05/2006 Mantenimiento Preventivo de Instrumentos tipo "C" (3000 hrs)
- 05/08/06 Mantenimiento Preventivo de tipo "B" (1000 hrs), Cambio de filtros de aire, petróleo, aceite y Racor. Cambio de aceite del cárter.
- 26/08/06 Mantenimiento Preventivo Mecánico tipo "A" ( 500 hrs.), Se cambió filtros de aceite y de petróleo. Se cambia aceite del cárter. No se cambia filtros de aire.
- 16/09/06 Mantenimiento Preventivo Eléctrico tipo "D" (6000 hrs.). No se cambio el filtro de aire.

## **EVALUACIÓN**

En el proceso de desarmado se encontraron las coronas de los pistones 9,10,11,12 con fuerte erosión, por lo que, las partículas de material desprendido al salir por el sistema de escape dañan las turbinas de los turbos, se impregnan en la culata y asientos de válvulas, dañan la punta de los inyectores 8 y 11.

Las camisas de los cilindros 9, 10, 11 y 12 presentan ralladuras profundas.

En la evaluación de culatas, se encontró impregnado en sus caras de sellado, el material desprendido de las coronas de los pistones de los cilindros 9, 10, 11 y 12, sus válvulas de admisión y escape quedan inoperativos al igual que sus insertos; todas las guías de admisión y escape están en medidas aceptables para ser reusadas; los resortes, rotadores y adapter están en buenas condiciones.

Todos los otros pistones presentan incrustaciones de material externo en su coronas (aluminio proveniente de los pistones fallados)

La revisión de los demás componentes del motor se encuentran con un desgaste normal por horas de servicio y no fueron comprometidos por la falla en cuestión.

## **ANALISIS DE FALLA**

- En la Fig. 6.8, se muestra un caso de erosión producto de la alta temperatura de combustión en el cilindro 9, ocasionada por la inadecuada pulverización del inyector, de igual manera sucedió en los cilindros 10,11 y 12.

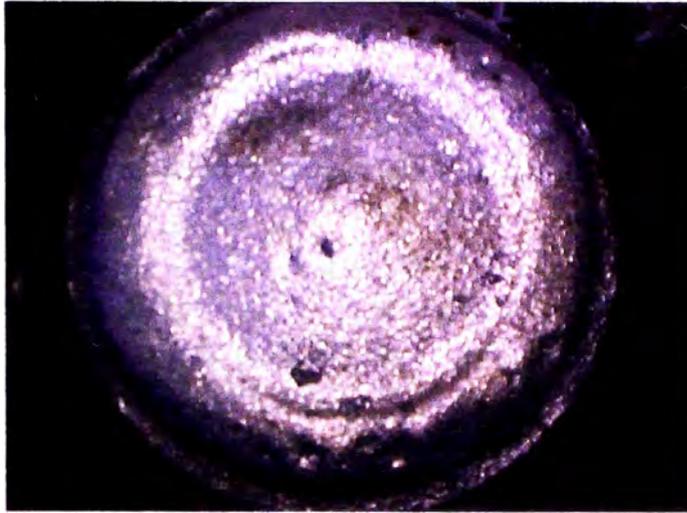


Fig. 6.8: Corona de pistón de cilindro 9, presenta erosión producto de la alta temperatura en la cámara de combustión



Fig. 6.9: Cabezas de pistón presentan incrustaciones de partículas provenientes de los pistones que fallaron a través del sistema de admisión

- Todos los inyectores presentan baja presión de apertura y coloración en sus puntas por alta temperatura (no se probaron los inyectores 8 y 11 por encontrarse dañados)
- El desprendimiento del metal erosionado de la corona de los pistones (aluminio), contamina el sistema de escape y al pasar por las turbinas de los turbocompresores los dañan como puede apreciarse en la imagen siguiente.

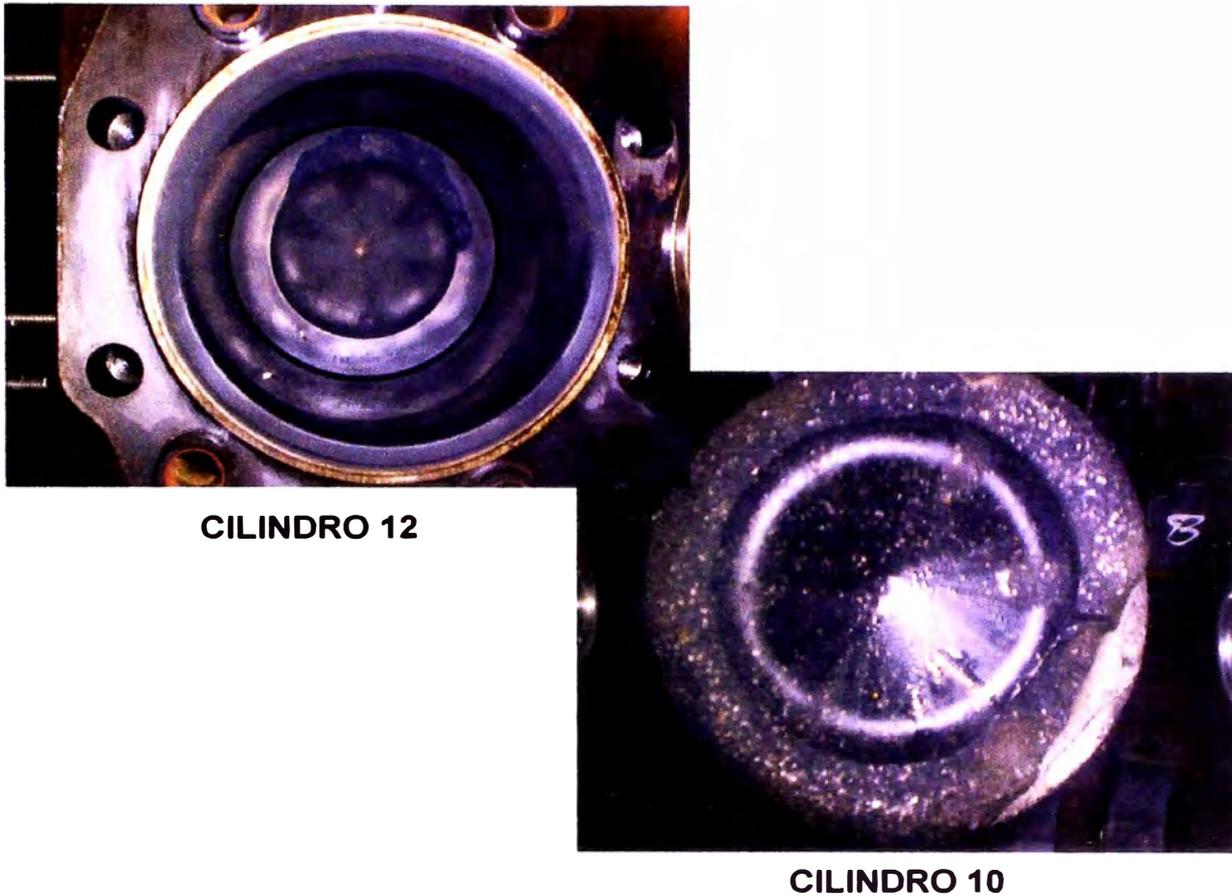


Fig. 6.10: Coronas de pistones 10 y 12 con incrustaciones de partículas provenientes los pistones fallados a través del sistema de admisión

- También estas partículas se alojan en los asientos de válvulas produciendo un inadecuado cierre hermético de las válvulas.
- Esto permite que las partículas de material contaminen el sistema de admisión que es común para los dos bancos del motor y al momento de admisión de los otros cilindros ingresen fácilmente a estos, impactando con las coronas de los pistones

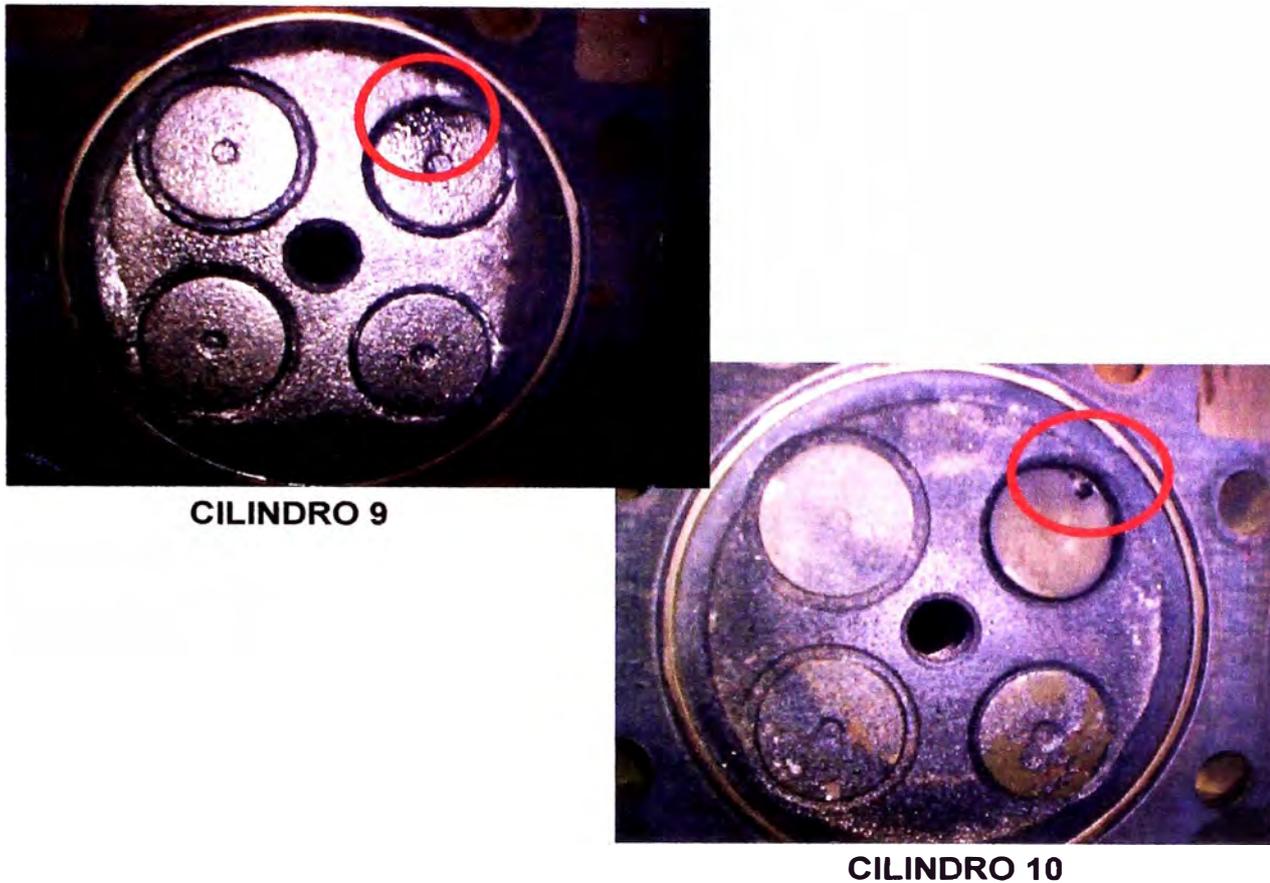


Fig. 6.11: Válvula de escape de cilindros 9 y 10 presentan erosión y perforación debido a la alta temperatura en sus respectivas cámaras de combustión

## RECOMENDACIONES

- El 16/09/06 durante Mantenimiento Preventivo Eléctrico tipo "D" (6000 hrs.), se realizó la evaluación de los inyectores, quedando estos operativos para ser reinstalados en el motor, por lo que se descarta que los inyectores sean la causa raíz de la falla.
- De acuerdo al historial, los filtros de aire no fueron cambiados de acuerdo al programa de mantenimiento por no haber en stock en el almacén, y al ser revisados estos después de la falla, se encontraron completamente sucios, por lo que el análisis de la falla se centró en el sistema bi-combustible. Debido a que la presión de vacío que se genera en la cámara de combustión

controla el suministro de gas al motor, y el hecho de que los filtros de aire vayan acumulando suciedad, generará un mayor vacío en la admisión de gas al motor. La cantidad de gas succionado por el motor se incrementará para una misma carga, volviéndose perjudicial para los componentes internos que de pronto se ven sometidos a detonaciones. Es por esta razón que se incrementa la temperatura de los gases y las detonaciones en las cámaras de combustión, lo cual daña todos los inyectores, en especial los que se encuentran en los cilindros 9, 10, 11 y 12.

Para este caso, la recomendación es revisar periódicamente que los indicadores de restricción de los filtros de aire estén dentro de rango, en caso de estar fuera de rango, evitar operar el motor en modo bi-combustible.

### 6.3 Informe de técnico de Análisis de Falla MOD – 3412 - 502.

Máquina	:	Grupo Electrónico Caterpillar
Código del motor	:	MOD-3412-502
Modelo Motor	:	3412 DITA
N° de serie Motor	:	81Z03881
Arreglo de Motor	:	7W9599
Equipo Acoplado	:	GEN-K540-027
Combustible	:	Sistema bi-combustible
Horómetro	:	1.448 hrs.
Lugar de procedencia:		Gen 02, Planta de Generación – San Jacinto
Fecha	:	23 de Febrero del 2.008
Potencia demandada :		400 kW (seteado a 350 kW)

#### ANTECEDENTES

- Con fecha 17/02/08 se reporta exceso de gases del carter.
- Se toma presión de cilindros, arrojando los siguientes valores:

Cilindro N <sup>a</sup> 1 = 210 psi	Cilindro N <sup>a</sup> 2 = 260 psi
Cilindro N <sup>a</sup> 3 = 250 psi	Cilindro N <sup>a</sup> 4 = 130 psi
Cilindro N <sup>a</sup> 5 = 250 psi	Cilindro N <sup>a</sup> 6 = 210 psi
Cilindro N <sup>a</sup> 7 = 250 psi	Cilindro N <sup>a</sup> 8 = 260 psi
Cilindro N <sup>a</sup> 9 = 220 psi	Cilindro N <sup>a</sup> 10 = 230 psi
Cilindro N <sup>a</sup> 11 = 240 psi	Cilindro N <sup>a</sup> 12 = 250 psi

- Con fecha 18/02/08 se realiza prueba de motor con banco resistivo, presentando 2.5 pulgadas de agua. ( especificación del fabricante de 0 a 3 pulgadas de agua)
- Durante la prueba se observa considerable presencia de aceite del motor en las mangueras de los respiraderos del motor.

- Se reporto alto consumo de aceite, 5 galones diarios.
- Por los antecedentes arriba indicados se decide desmontar las culatas, encontrándose ralladuras profundas en el cilindro N<sup>o</sup> 4.

## EVALUACIÓN

**Cilindro N<sup>o</sup> parte 2W-6000 :** Cilindro N<sup>o</sup> 4 presenta ralladuras profundas y alta presencia de caliche en la parte superior, los cilindros restantes presentan manchas de oxido en la parte superior, producto del condensado, los cilindros 2, 5, 6, 7, 8 presentan ralladuras longitudinales, sensibles al tacto por lo que se dan fuera de servicio.

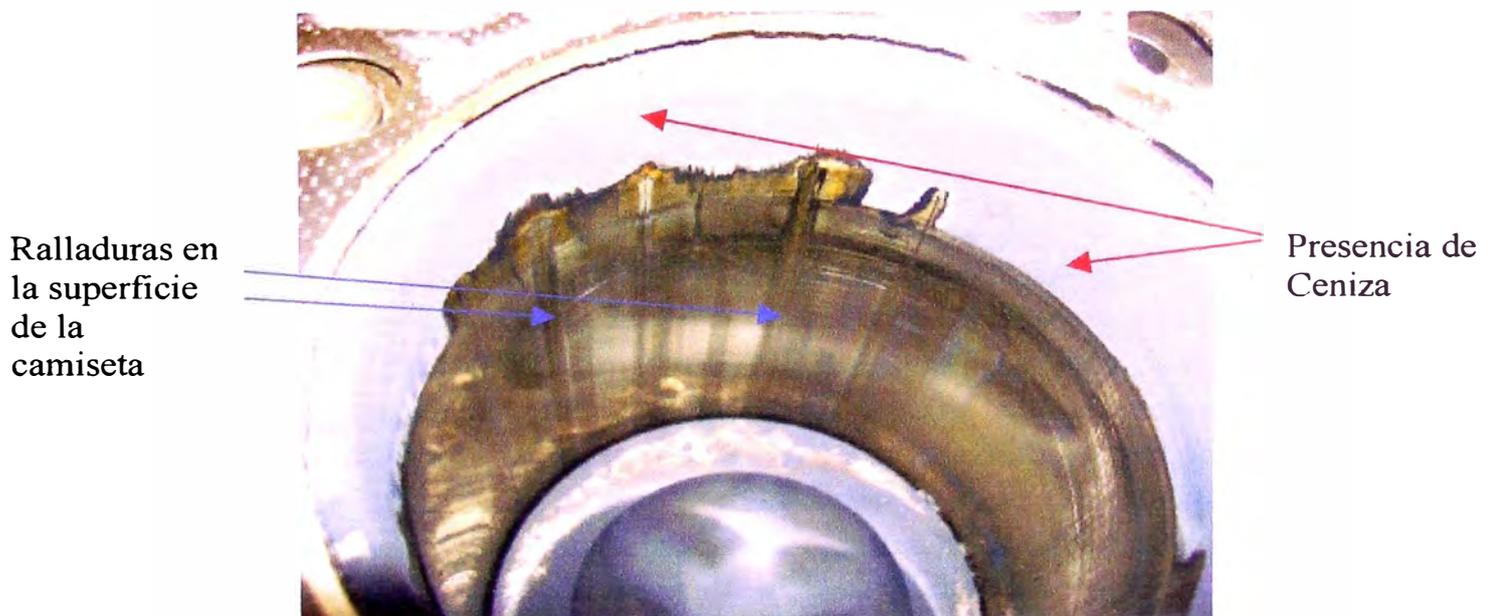


Fig. 6.12: Cilindro 5 presenta incrustación de ceniza alrededor de la cámara de combustión, así como ralladuras longitudinales a lo largo de la carrera del pistón

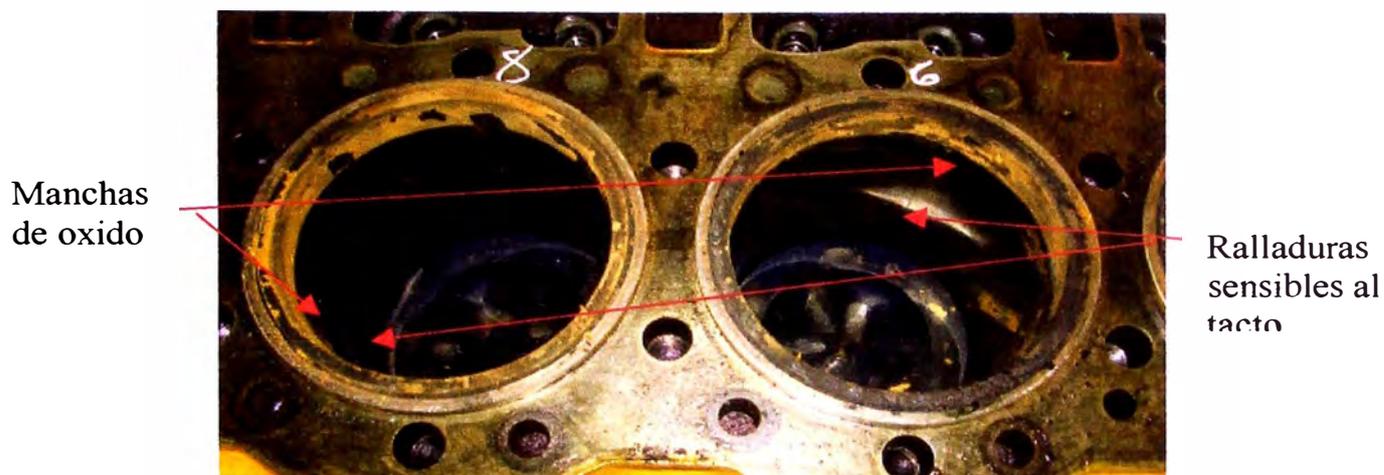


Fig. 6.13: Presencia de manchas de oxido y ralladuras sensibles al tacto en los cilindros 6 y 8

**Pistones N° parte 2W-0865** : Se observa recalentamiento en la parte inferior de la corona de todos los pistones por lo que se da fuera de servicio .

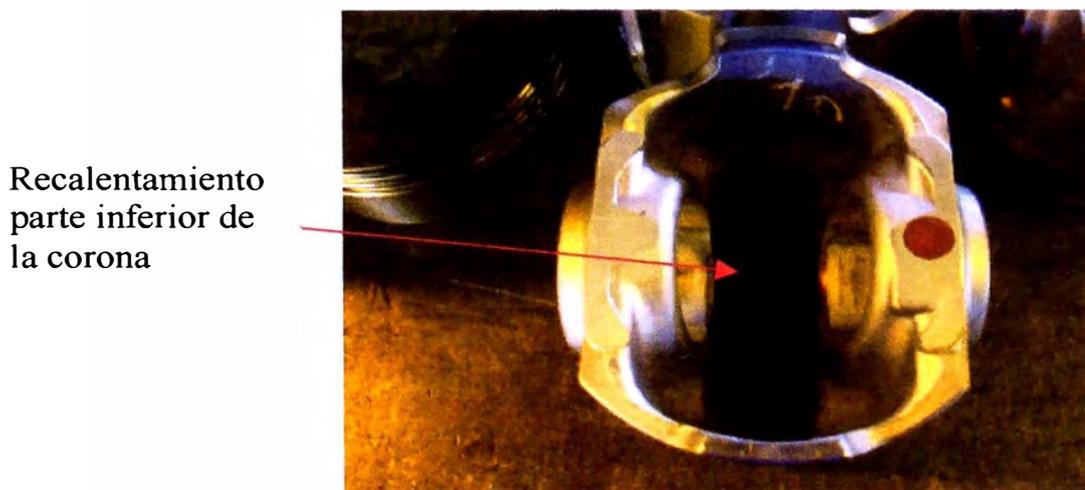


Fig. 6.14: Coloración de la parte inferior de la corona del pistón 10, debido a recalentamiento en la cámara de combustión (en las mismas condiciones salieron los otros pistones del motor)

**Válvula de escape N° parte 1152536** : Presentan cenizas de una mala combustión y recalentamiento en la zona del vástago y cabeza de la válvula, por lo que se recomienda no rehusar.

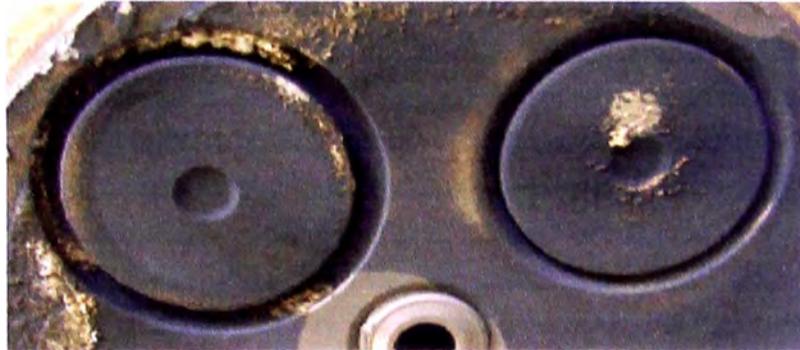


Fig. 6.15: Presencia de ceniza producto de la deficiente combustión, en las cabezas de válvula del cilindro 8



Fig. 6.16: Presencia de coloración en el vástago de la válvula de escape del cilindro 8

**Válvula de admisión N<sup>a</sup> de parte 1152368** : Presentan cenizas y caliche producto de una mala combustión, después de su limpieza y calibración se recomienda rehusar.

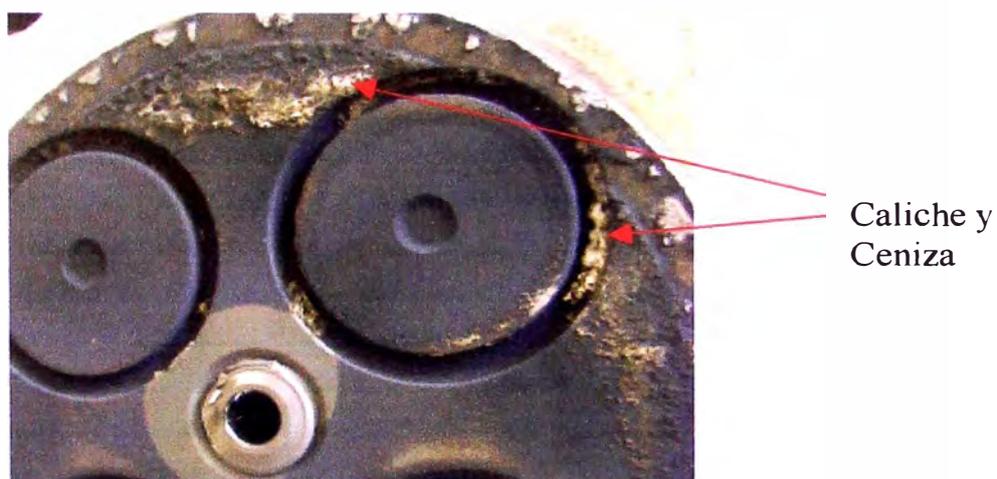


Fig. 6.17: Presencia de caliche y ceniza producto de la deficiente combustión, en las cabezas de válvula del cilindro 7

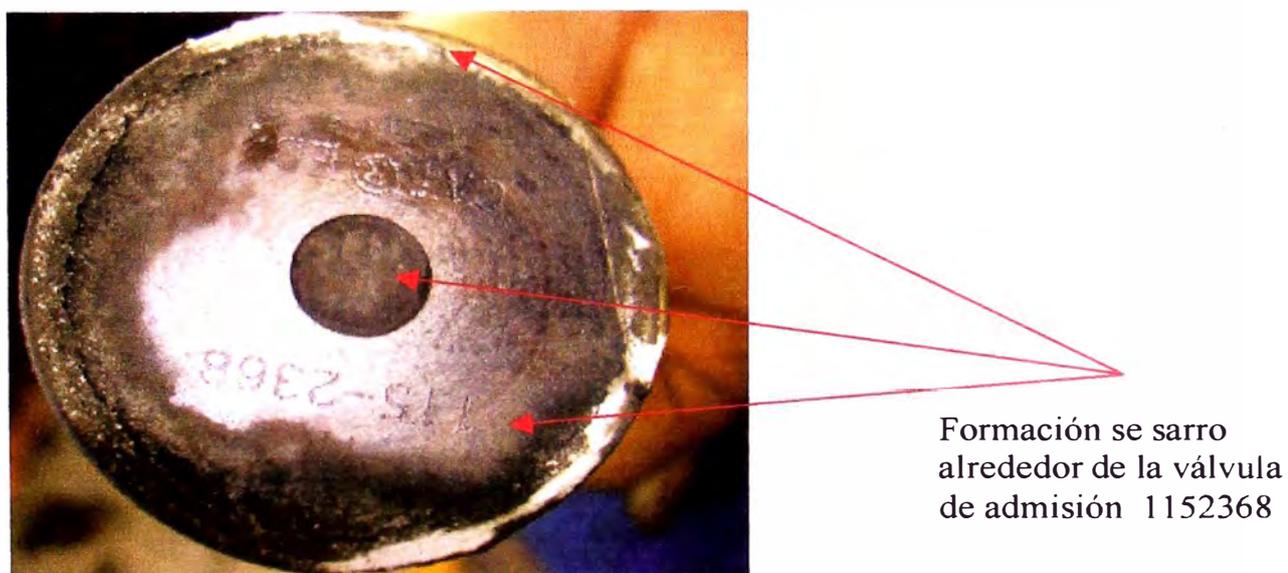


Fig. 6.18: Formación de sarro en la válvula de admisión del cilindro 2

### Análisis del aceite lubricante – Shell Rimula X 15W-40:

- Con fecha 29/12/07 con 431 horas del aceite reporta incremento de fierro (40 ppm) , 11 ppm de plomo, 216 ppm de cobre, se cambio aceite y filtros de aceite del motor
- Con fecha 14/01/08 y 190 horas del aceite reporta 54 ppm de cobre, sulfatación 7, hollín 4, nitración 9, se cambio aceite y filtros de aceite de motor
- Con fecha 29/01/08 y 69 horas de aceite comienza a incrementar el hollín 6, sulfatación 6, nitración 10,
- Con fecha 13/02/08 con 453 horas del aceite sigue la tendencia del hollín 19, sulfatación 10, nitración 17, y el primer análisis del TBN con 6.5 mg KOH/g, muy por debajo de lo recomendado para este tipo de motores.

Tipo	Campo	21977	21877	21774	21656	21562	21195
CABECERA	Fecha Muestreo	13/02/2008	29/01/2008	14/01/2008	29/12/2007	13/12/2007	10/10/2007
	Horas Acumuladas	1448	1064	717	431	47	16
	Horas Aceite Usado	453	69	190	431	47	16
	Producto Usado	RIMULA X 15W-40					
	Visc 100 °C (cSt)						
FISICO QUIMICO	TBN (mg KOH/g)	6,5					
	Fuel %	0	0	0			0
	Cu (ppm)	5	4	54	216	8	5
ANALISIS ESPECTROFO TOMETRICO	Fe (ppm)	25	8	10	40	16	8
	Pb (ppm)	15	3	2	11	8	3
	Cr (ppm)		0		1	0	0
	Al (ppm)						
	Si (ppm)						
	Oxidación Abs/cm	19	7	7			
	Nitración	17	10	9			
	Sulfatación	10	6	7			
	Hollín	19	6	4			
	Agua %	0,109	0,048	0,035	0	0	0
PIE DE PAGINA	Estado	AC	AT	AT	AC	AT	N

## **ANÁLISIS DE LA FALLA**

Debido aun incremento de la carga en la minicentral eléctrica, el operador le decide transfiere a esta unidad 400 kW (seteado para trabajar a 350 kW) desde su puesta en servicio en la minicentral, no hay registros de humeado excesivo ni de detonaciones en el motor, lo que si se registra es que la temperatura de gases estaba cercano al límite máximo permitido 950 °F, lo cual no activaba la protección para que la unidad pasara a modo 100% Diesel.

El incremento de la temperatura de gases en la cámara de combustión, causo la degradación de las propiedades del aceite lubricante, el bajo TBN causa que el porcentaje de azufre en el combustible unido al porcentaje de agua que viene con el gas (gas húmedo), permiten la formación de ácidos sulfúricos, altamente perjudicial para los elementos de fierro.

El aceite lubricante contaminado con ácido sulfúrico se impregna en las paredes de los cilindros y al hacer contacto con los anillos de los pistones en su movimiento alternativo, causan un desgaste abrasivo, rallando las paredes de los cilindros, lo cual permite la fuga de gases de compresión al carter.

## **RECOMENDACIONES**

- Si durante la operación del grupo electrógeno a un régimen de carga continua, se observa que la temperatura de gases se encuentra próximo a su seteo máximo, se recomienda operar al grupo electrógeno en modo 100% Diesel, o bajarle la carga.
- Se recomienda no omitir en las pruebas de laboratorio del análisis de aceite, la pruebas de TBN, para monitorear su tendencia de degradación y sustentados en el presente reporte de análisis de aceite que nos indica que

con solo 453 horas de aceite el TBN en 6.5 mg KOH/g , valor muy debajo de lo especificado por el fabricante.

- Se recomienda instruir a los operadores de las minicentrales, para que reporten al área de mantenimiento, de alguna necesidad operativa que le requiera incrementar la carga de los grupos electrógenos en forma continua por encima de su seteos, de tal forma que se pueda regular el suministro de gas .

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los fabricantes de los sistemas bi-combustibles, estos sistemas pueden reemplazar hasta un 70% de combustible diesel, sin que el motor pierda potencia, siempre y cuando el gas natural utilizado tenga la siguiente composición<sup>(4)</sup>: 97,09% Metano, 0,88% Etano, 0,26% Propano, 0,09% Butano, 1,41% Nitrógeno, 0,12% Dióxido de Carbono, 0,15% Oxígeno. En nuestro caso, sólo se ha podido reemplazar alrededor del 35% de diesel con una carga de 300 kW, esto es debido a que si se hace ingresar un mayor % de gas natural, el motor comienza a presentar detonaciones en su cámara de combustión, algo que es explicable debido a la cantidad de compuestos pesados que se encuentran en el gas natural de Gathering Station (63,23% Metano, 7,63% Etano, 6,49% Propano, 3,45% Butano, 0,15% Hexano, 4,24% Nitrógeno, 13,52% Dióxido de Carbono) y en general de todo el Lote 1AB.
2. De acuerdo al análisis económico, el proyecto de conversión de un motor diesel al sistema bi-combustible cuesta alrededor de US\$35.925,00 y puede ser recuperado en 1,47 meses; trabajando el Grupo Electrónico las 24 horas del día con una carga base de 300 kW y un Costo del Barril de Petróleo Crudo (BBL) de US\$ 64,00

3. De acuerdo a la proyección del ahorro obtenido al usar el sistema bi-combustible en un motor Caterpillar, modelo 3412 DITA a 300 kW de carga durante un ciclo de vida de 16,000 horas, con un nivel de reemplazo de combustible diesel del 34.45% por gas natural, se obtiene que el tiempo de retorno de toda la inversión (incluye Grupo Electrónico reparado, kit bi-combustible y los costos de mantenimiento), se lograría en 5,700 horas de operación (considerando solo el combustible diesel que se deja de consumir). Pero si consideramos como adicional, que el combustible que se deja de consumir retorna al proceso para venderse como petróleo crudo, entonces el tiempo de recuperación de la toda la inversión se lograría en 3,600 horas de operación.
  
4. Debido a que no existe en el mercado un aceite lubricante para motores que trabajen con sistemas bi-combustible, se opto por seguir utilizando el aceite lubricante Shell Rimula X, 15W-40 para motores Diesel o similar.
  
5. Durante el análisis de las muestras de aceite del Grupo Electrónico en prueba, extraídas en la primera 2.500 horas de operación en modo bi-combustible, se encontró presencia de cobre por encima del rango especificado por Caterpillar, a las 690 horas de operación se procedió a un 1er cambio de enfriador de aceite y a las 1.630 horas de operación se procedió a un 2do cambio de enfriador de aceite. Después de realizar el Análisis de las piezas respectiva, se determinó que el alto contenido de cobre en el aceite, se debía a la acidificación del mismo, debido al incremento de la temperatura de los gases de escape (el incremento de la temperatura de los gases se debía a la presencia de elevada la cantidad de

compuestos pesados en el gas natural de Gathering Station y a la menor velocidad de la combustión). Posterior al 2do cambio de enfriador de aceite, se dispuso la reducción de los periodos de mantenimiento para cambio de aceite de 750 horas a 500 horas de operación cuando el Grupo Electrónico trabaja en modo bi-combustible. Este cambio proyectado en un ciclo de vida del motor de 16.000 horas, provoca que el consumo de aceite lubricante y filtros de aceite se incrementara en un 52% y que los costos del mantenimiento preventivo en similar periodo se eleven en un 51%

6. Se recomienda prestar mucha atención a los indicadores de vacío instalados en los portafiltros de aire del motor, debido a que conforme los filtros de aire vayan acumulando suciedad, el vacío en la admisión de gas al motor se irá incrementando. La cantidad de gas succionada por el motor para una misma carga podría volverse perjudicial para los componentes internos que de pronto se verían sometidos a detonación. La presión en el post enfriador o las temperaturas de escape pueden no sobrepasar sus respectivos puntos de "seteo". Esto quiere decir que el computador seguirá permitiendo el paso de gas hacia el motor aún cuando lo recomendable sería pasar a diesel.
7. Los motores que trabajan con sistemas bi-combustible, tiene una mayor temperatura de los gases de escape, en relación a la misma temperatura cuando el motor trabaja con el modo 100% Diesel y bajo las mismas condiciones de carga. Por tal razón, un incremento de la temperatura por efecto de mala regulación del suministro de gas, saturación de los filtros de aire u obstrucción del post enfriador de aire, incrementará la presencia de cenizas y disminución del TBN en el aceite lubricante.

8. El sistema bi-combustible debe ser revisado por el personal competente de acuerdo a un programa de mantenimiento preventivo cada 4 meses como complemento al programa de mantenimiento preventivo del grupo electrógeno.
9. Evitar operar el Grupo Electrónico el modo bi-combustible, cuando se tiene alguno de sus componentes o protecciones inoperativas o en by-pass.
10. Si durante la operación del grupo electrógeno a un régimen de carga continua, se observa que la temperatura de gases se encuentra próximo a su seteo máximo, se recomienda operar al grupo electrógeno en modo 100% Diesel, o bajarle la carga.
11. Se recomienda no omitir en las pruebas de laboratorio del análisis de aceite, la pruebas de TBN, para monitorear su tendencia de degradación

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Caterpillar, 3408 and 3412 Generator Set Engines (SENR2562-02), USA, 2001.
- (2) GONZALO MEDINA Enrique Manuel, "Conversión de un motor diesel Caterpillar D3512 para uso con gas natural (G3512)", UNI-M3-IE-2469, 2004.
- (3) INDECOPI, "PETROLEO Y DERIVADOS, Diesel. Especificaciones", NTP 321.003, 3ra Edición, Lima 2005
- (4) GTI Division of Altronic Controls Inc., "Bi-Fuel System Installation and Operating Instructions", FORM GTI IOM 3-03, USA, 1999.
- (5) Pluspetrol Norte S.A., "Sistema Bi-Fuel en Generadores Caterpillar", IM03, 2005.
- (6) BUSTAMANTE ARCE, Alan George, "Conversión de un motor – Generador Diesel a Diesel – Gas", UNI-M6-IS-2516, 2005.
- (7) BJ Gamma Control, "Manual de Operaciones del Panel de Control Bi-fuel para unidades CAT-3412", Lima, 2004.
- (8) Pluspetrol Norte S.A, "Mantenimiento de Moto-generadores Caterpillar 3412 Diesel", MM-02, 2005.

## **ANEXO 1**

# Cómo tomar una buena muestra de aceite

## Programa S•O•S<sup>SM</sup>

Nuestro Programa S•O•S<sup>SM</sup>, desarrollado por Caterpillar®, le ayuda a detectar problemas antes de que se conviertan en reparaciones y tiempo muerto costosos. Recomendamos tomar muestras de los compartimientos de fluidos cada 250 horas de servicio y cada vez que cambia el aceite. En los camiones de carretera se deben tomar muestras cada 25.000 km (15.000 millas) y a cada cambio de aceite.

### Usando una sonda de válvulas de aceite

Este método de tomar muestras requiere una Sonda de Latón 8T9208 y un tubo de aproximadamente 15 cm (6 pulg). Si va a tomar muestras de varios compartimientos, comience por el sistema más limpio — generalmente el sistema hidráulico, siga con la transmisión o el sistema de dirección y finalmente el sistema del motor.

Utilice un trozo de tubo nuevo para cada máquina o motor. Después de tomar muestras de aceite del motor, es de suma importancia descartar el tubo debido a la posibilidad de que el hollín y los aditivos del aceite queden depositados en el tubo y contaminen otras muestras.



**Paso A**  
Haga funcionar el motor a velocidad baja en vacío y quite la tapa contra el polvo de la válvula del compartimiento en que va a tomar la muestra.



**Paso B**  
Inserte la sonda en la válvula y recoja aproximadamente 100 ml (4 oz líquidas) de aceite en un recipiente para basura. Si el flujo de aceite es muy lento a baja en vacío, puede ser necesario que alguien acelere la velocidad del motor hasta alta en vacío mientras extrae la muestra de aceite. Deseche debidamente este aceite. (Este proceso limpia la válvula y ayuda a obtener con mayor seguridad una muestra que represente el estado en que se encuentra el aceite).



**Paso C**  
Vuelva a insertar la sonda en la válvula y llene tres cuartas partes de la botella para muestras. No la llene completamente. No permita la entrada de suciedad en la botella ni en la tapa.



**Paso D**  
Saque la sonda de la válvula y asegure la tapa a la botella. Luego ponga la botella con la etiqueta debidamente llenada en el tubo de envío.

### Cómo asegurar resultados precisos del Programa S•O•S

#### Llene la etiqueta correctamente

Para asegurar resultados precisos de la muestra, anote toda la información solicitada para cada compartimiento de la máquina. El modelo, número de serie y las unidades del medidor de servicio tanto del equipo como del aceite son muy importantes. Si es necesario, puede obtener la información sobre la clasificación y el tipo de aceite y la lectura del medidor de servicio de los registros del taller cuando efectuaron el último cambio de aceite. También es de importancia primordial indicar si cambió (o no cambió) el aceite al tomar la muestra.

Las muestras de aceite nuevo son necesarias para analizar las condiciones en que se encuentra el aceite. Al recibir aceite de una marca nueva o un envío de aceite en gran volumen, envíe una muestra indicando en la etiqueta el tipo, la marca y la clasificación del aceite.

Para evitar que la etiqueta se engrase y facilitar su lectura, llénela con la información antes de tomar las muestras.

#### Evitando la contaminación

Para evitar la contaminación, no tome muestras de la corriente de drenaje de aceite, de un recipiente de aceite de desecho ni de un filtro usado.

# Cómo tomar una buena muestra de aceite

## Usando el método de extracción por vacío

Este método para tomar muestras requiere una Bomba de Vacío (U5718 (o una similar). Utilice este método para los sistemas bajo presión que no están equipados con válvulas para tomar muestras.

Recalcamos la importancia de utilizar un nuevo trozo de tubo después de tomar muestras de aceite del motor, debido a la posibilidad de que el hollín y los aditivos del aceite queden depositados en el tubo y contaminen otras muestras.



### Paso A

Apague el motor, mida el tubo nuevo y córtelo del largo de la varilla indicadora de nivel. Si el compartimiento de donde está tomando la muestra no tiene una varilla, corte el tubo de modo que llegue hasta la mitad de la profundidad del aceite.



### Paso B

Inserte el tubo por la cabeza de la bomba de vacío y apriete la tuerca de retención. El tubo debe sobresalir aproximadamente 4 cm (1 pulgada) de la base de la cabeza de la bomba de vacío.



### Paso C

Conecte una nueva botella de muestreo a la bomba de vacío e inserte el extremo del tubo en el aceite — no permita que el tubo toque el fondo del compartimiento.



### Paso D

Accione la manija de la bomba para crear un vacío. Mantenga la bomba en posición vertical — si la voltea se puede contaminar con el aceite. Si le entra aceite a la bomba, desármela y límpiela antes de tomar la muestra.

Llene tres cuartas partes de la botella para muestras. No la llene completamente.



### Paso E

Saque el tubo del compartimiento. Saque la botella de la bomba de vacío y asegure la tapa a la botella. Luego ponga la botella con la etiqueta debidamente llenada en el tubo de envío.

## Usando otra bomba para tomar muestras de refrigerante

Para tomar muestras de refrigerante, no utilice la misma bomba que ha usado para extraer las muestras de aceite. A pesar de que el fluido no entra en el barril de la bomba, el residuo de glicol de una muestra de refrigerante puede causar "resultados positivos falsos" en las muestras de aceite que se tomen posteriormente con la misma bomba. Destine otra bomba para el muestreo del refrigerante.

## Facilitando el muestreo S-O-S

### Instalando válvulas de muestreo de aceite

La mayoría de los modelos más recientes de máquinas y motores Caterpillar están equipados con válvulas de muestreo para compartimientos de aceite bajo presión. Puede que algunos motores y máquinas no tengan estas válvulas pero su instalación es fácil y barata.

Para evitar la contaminación del sistema durante la instalación, es importante instalar las válvulas en la ubicación correcta en cada sistema. Le podemos ayudar con procedimientos específicos de instalación.

### Usando un dispositivo para cortar los tubos

Es difícil cortar el tubo con una navaja y además da lugar a la entrada de partículas que pueden contaminar su muestra al entrar en el tubo. Para evitar estos problemas recomendamos usar el Cortador de Tubos IU7648 que le permitirá hacer un corte limpio con una sola mano. También hay Cuchillas de Repuesto IU8589 para el cortador de tubos.

### Manteniendo limpios los utensilios de muestreo

Mantenga tapadas las botellas para aceite nuevas vacías y almacene las botellas y los tubos en bolsas de plástico a prueba de polvo. La bomba de vacío y la sonda de válvula de latón también se deben mantener protegidas contra el polvo. Si usted piensa que una muestra está contaminada, deséchela y tome otra muestra.

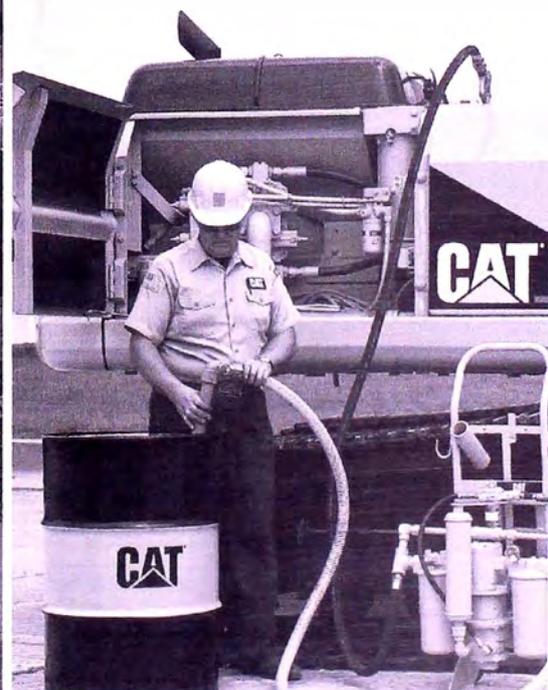
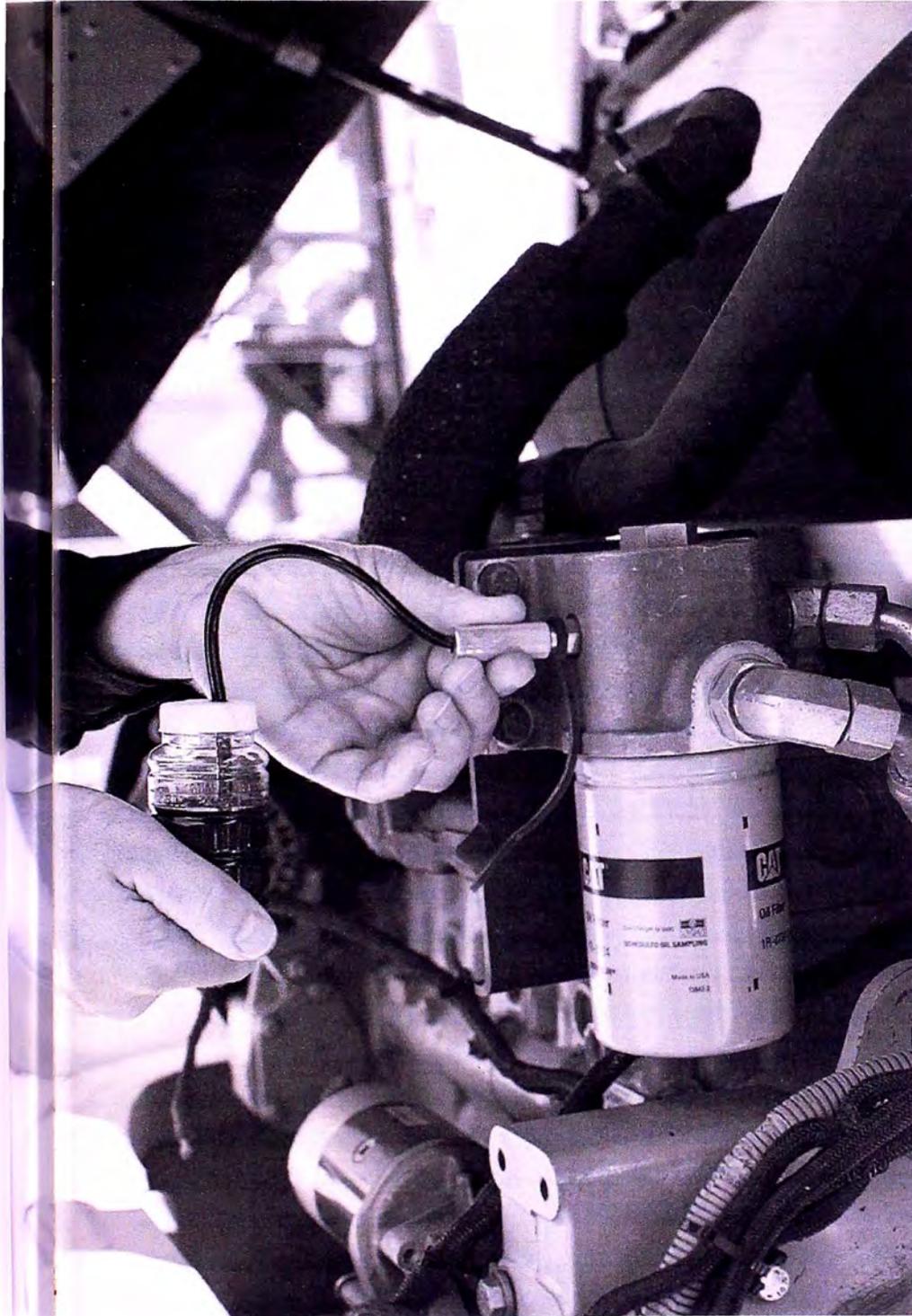
## **ANEXO 2**

# Servicios S·O·S<sup>SM</sup> Cat<sup>®</sup>

Entendiendo sus resultados

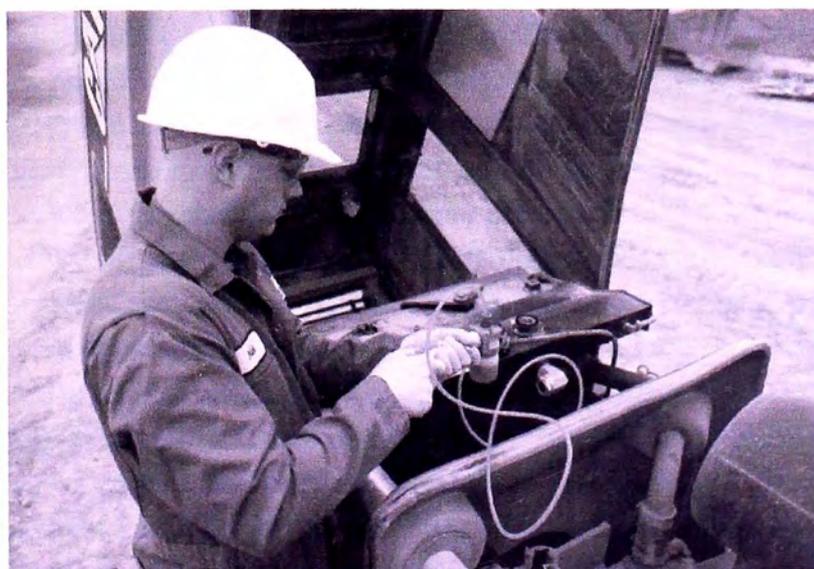
## Entendiendo sus:

- Informes de aceite S·O·S
- Resultados de aceite S·O·S
- Informes de refrigerante S·O·S
- Resultado de refrigerante S·O·S



**CATERPILLAR<sup>®</sup>**

<i>Generalidades de los informes de aceite S-O-S</i> .....	4-5
<i>Generalidades de los resultados de aceite S-O-S</i> .....	6-10
<i>Generalidades de la interpretación S-O-S</i> .....	11
<i>Generalidades de los informes de refrigerante S-O-S</i> .....	12-13
<i>Generalidades de refrigerante S-O-S</i> .....	14-15



# Comprometidos en mantener su equipo en movimiento

Al igual que todos los servicios del distribuidor Cat®, el programa de Servicios S-O-S<sup>SM</sup> es un compromiso mutuo para proteger el rendimiento y el valor incorporados en su equipo Cat. El programa de Servicios S-O-S ofrece recursos valiosos para una mejor administración de su equipo. Trabajando conjuntamente con su distribuidor Cat®, usted puede realizar el sencillo proceso de muestreo de fluidos y combinarlo con análisis avanzado e informes claros y fáciles de entender para crear no sólo un rendimiento optimizado de la máquina, sino también un control de costos mejorado.

Como su distribuidor Cat local, respaldamos nuestro análisis de fluidos con nuestra reputación de excelencia y experiencia con analistas capacitados. Inscribirse en el programa de Servicios S-O-S es la garantía de que obtendrá análisis precisos. Sólo los Analistas de Servicios S-O-S de su distribuidor Cat tienen acceso a la información de las especificaciones y a la experiencia de los ingenieros de diseño de Caterpillar. El laboratorio de Servicios S-O-S realiza las pruebas rápidamente y proporciona asesoría de mantenimiento completa y fácil de entender. Inscribese en el programa y obtenga las ventajas de trabajar con las personas que mejor conocen su equipo Cat.



# Generalidades de los informes de aceite S·O·S

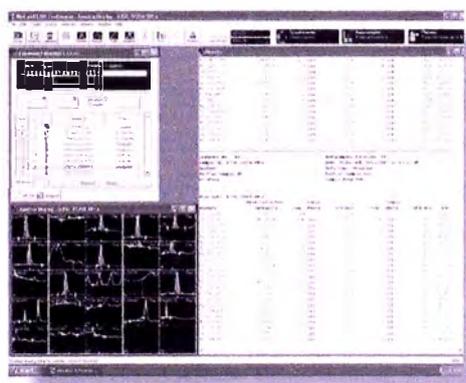
Conozca lo que las cifras significan y cómo maximizan su inversión.



Los Servicios S·O·S<sup>SM</sup> son herramientas de administración valiosas que pueden maximizar la vida útil y la productividad de su equipo. Los costos de operación y el tiempo de inactividad también pueden reducirse. Durante el análisis de aceite se realizan cuatro tipos de pruebas en el aceite del motor, el sistema hidráulico y el tren de impulsión:

- Índice de desgaste de los componentes
- Condición del aceite
- Contaminación del aceite
- Identificación del aceite

Tome muestras en intervalos regulares para detectar problemas potenciales a tiempo.



## Secciones de un informe de aceite S·O·S:

### Información de la etiqueta

La información de la etiqueta son los datos suministrados por usted, ya sea en un registro previo o en la etiqueta de la muestra. Puede incluirse la siguiente información, pero no está limitada a ésta:

- Nombre de la compañía
- Número de serie del equipo y del compartimiento
- Modelo del equipo y del componente
- Fabricante del equipo y del componente
- Horas del equipo y del componente
- Número del equipo
- Compartimiento
- Horas del aceite
- Marca del aceite
- Grado del aceite
- Sitio de trabajo
- Notas e información variada

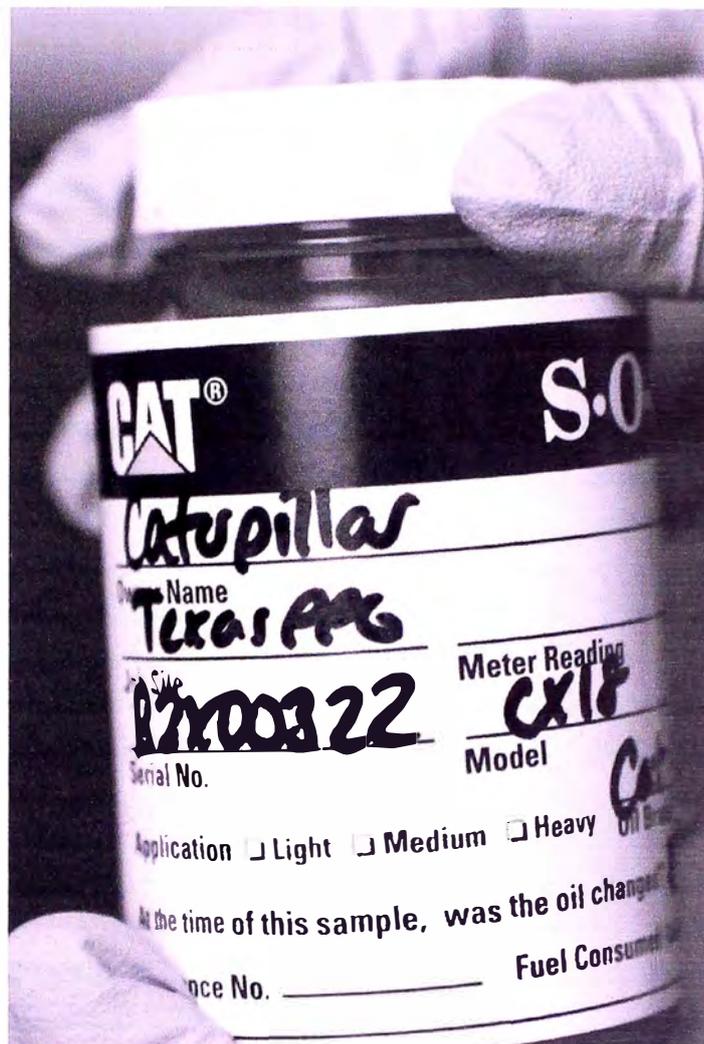
La información de la etiqueta se usa para registrar su muestra en una base de datos. Esto permite que el historial de la muestra S·O·S se indique en el informe. La información de la etiqueta también proporciona datos clave que requieren nuestros analistas para hacer las mejores recomendaciones y evaluaciones de su muestra S·O·S.

### Número de control de la etiqueta

El número de control de la etiqueta es un número único que el laboratorio asigna a su muestra. Este número ayuda al laboratorio a hacer seguimiento de la muestra en todos los análisis. Puede encontrarse información de la muestra en la base de datos usando el número de control de la etiqueta u otra información de la etiqueta.

### evaluación general

La evaluación general es un código de color que indica la urgencia de cualquier acción requerida. Esto le permite administrar sus informes S·O·S por excepción. Revise los informes codificados con rojo, ya que éstos son los más urgentes. Luego, revise los informes codificados con amarillo. Por último, revise los informes codificados con verde.



### Interpretación

La interpretación resume los hallazgos de los resultados de servicios S·O·S y proporciona recomendaciones. Las acciones sugeridas pueden incluir tomar una nueva muestra dentro de poco tiempo para confirmar los hallazgos o hacer seguimiento más cercano al desgaste.

### Resultados S·O·S

Los resultados S·O·S se indican en esta sección del informe. El nombre de la prueba y los resultados se presentan por separado. El análisis de elementos presentará cada elemento por separado y mostrará el resultado. Los resultados de la prueba se explicarán con mayor detalle en la siguiente sección de esta guía.

### Explicación de abreviaturas

Las abreviaturas usadas en el informe S·O·S se explican en la parte inferior del informe.

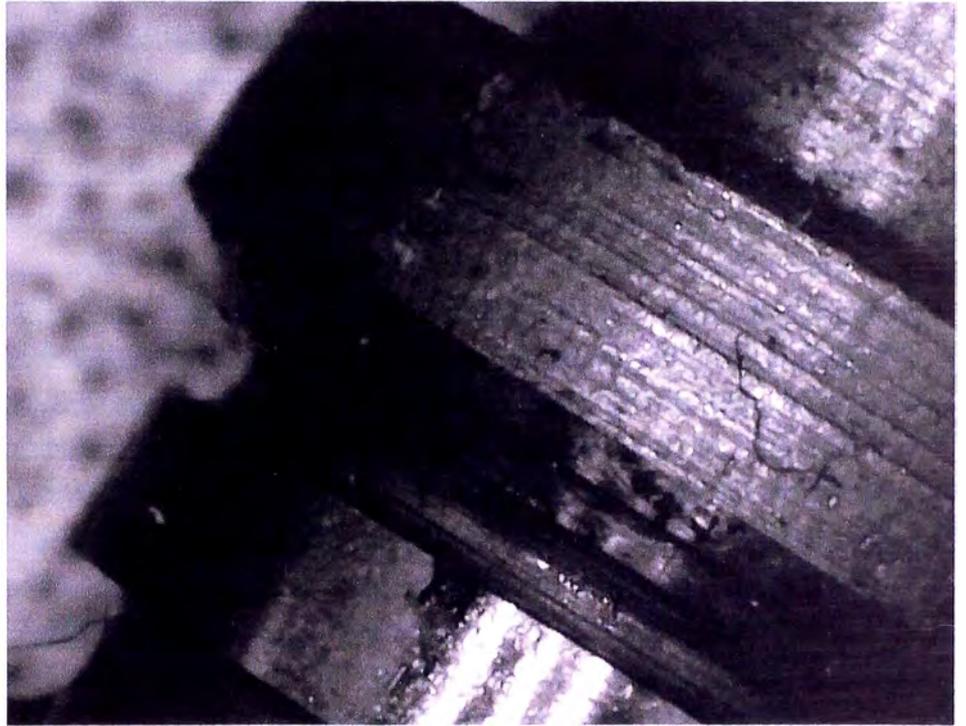
# Generalidades de los resultados de aceite S·O·S

## Índice de desgaste de los componentes

El análisis del índice de desgaste de los componentes evalúa el desgaste que se representa dentro del compartimiento lubricado. Su analista S·O·S usa los resultados del análisis de elementos y de las pruebas de recuento de partículas para evaluar el desgaste. El análisis de tendencias y las tablas de desgaste excesivas se usan para determinar si los índices de desgaste son normales o anormales.

### Análisis de elementos

El análisis de elementos detecta los elementos de desgaste, los elementos del paquete de aditivos de aceite y los elementos que forman parte de algunos contaminantes. Este análisis puede detectar partículas hasta de 10 micrones de tamaño. Los resultados del análisis de elementos se informan en partes por millón (ppm).



## ¿Qué es ppm?

Partes por millón o ppm, se usa para expresar concentración de elementos en el aceite o en el refrigerante. Una partícula de hierro en 999.999 partículas de aceite o refrigerante es una parte por millón (ppm). Ejemplos aproximados de ppm:

**1 minuto en 11,5 días**

**1 gota de tinta en 150 L (40 galones) de agua**

## Silicio y aluminio en el material del suelo

Los componentes principales del material del suelo son minerales que contienen silicio y aluminio. La relación de estos dos elementos varía ampliamente entre lugares. Los suelos de arcilla contienen casi la misma cantidad de aluminio y silicio. Los analistas capacitados del distribuidor conocen las condiciones del suelo local y tienen un mejor entendimiento de las combinaciones de elementos en sus muestras.

	Resultados de prueba elevados	Posibles fuentes
<b>Motores diesel</b>	Hierro, cromo Hierro, cromo, aluminio Plomo, aluminio, hierro Sodio, potasio, cobre Silicio más que aluminio, hierro, plomo  Hollín, hierro, plomo, cromo	Camisas de cilindro, anillos de pistón Camisas de cilindro, anillos de pistón, falda de pistón de aluminio Cojinetes de biela inferiores y cojinetes de bancada, cigüeñal Contaminación del refrigerante Tierra, camisas de cilindro, anillos de pistón, revestimiento de los cojinetes Desgaste del hollín en camisas de cilindros, anillos de pistón, cojinetes
<b>Revotransmisiones</b>	Silicio, hierro  Aluminio, cobre, hierro Cobre más que plomo o estaño	Material de fricción de embragues húmedos y planchas separadoras Convertidor de par Cojinete de bronce o arandela de empuje
<b>Sistemas hidráulicos de dirección</b>	Hierro, cromo Silicio más que aluminio, hierro, cromo	Desgaste de cilindros y varillas Entrada de tierra, desgaste de la bomba, desgaste del cilindro y la varilla
<b>Diferenciales y mandos finales</b>	Silicio más que aluminio, hierro, cromo, níquel Cobre más que plomo o estaño	Entrada de tierra, desgaste de engranajes, desgaste de cojinetes Cojinete de bronce o arandela de empuje

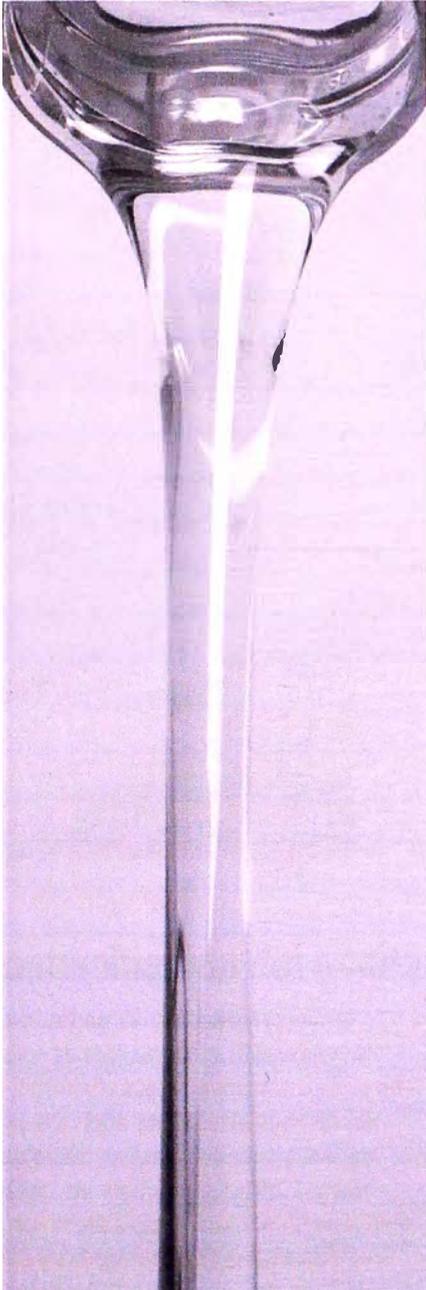
## Recuento de partículas

El análisis de recuento de partículas se usa para evaluar las partículas de tamaño mayor a 10 micrones y las partículas no metálicas. Los resultados del recuento de partículas se indican como un código ISO y un conteo de canal. Los conteos de canal en el conteo de partículas se forman en número por mililitro de muestra (recuentos/mL). El código ISO es un resumen de los resultados de conteo de canal. Un aumento en los valores del código ISO podría indicar un aumento en el desgaste o la presencia de contaminantes. Para obtener más información del conteo de partículas y los códigos ISO consulte la publicación PSGJ0045.

## Condición del aceite

El análisis de condición del aceite se usa para determinar si el aceite se ha degradado. Las pruebas se realizan para analizar la viscosidad, oxidación, sulfatación y nitración del aceite. Todos los sistemas lubricados tienen riesgo de daño por oxidación del aceite. Por tanto, se recomienda que se analicen muestras de aceite de todos los compartimientos para analizar su condición. Su analista S·O·S usa pautas establecidas o análisis de tendencias para determinar si el aceite ha llegado al final de su vida útil.





### Viscosidad

La viscosidad es una característica relacionada con la temperatura de los lubricantes y describe cómo fluir el aceite. La viscosidad generalmente se mide a 100 grados Celsius. A temperaturas de operación altas, un lubricante debe poder mantener el espesor de capa apropiado. Si la viscosidad es muy baja, ocurrirá desgaste dentro del compartimiento. Si la viscosidad es muy alta, el aceite no fluir a las áreas que necesitan lubricación.

Muchos aceites de motores diesel están diseñados con características de viscosidad multigrado. A temperaturas ambiente bajas, los aceites multigrado tiene una viscosidad más baja para proporcionar protección durante el arranque. Se requiere que el aceite tenga la viscosidad apropiada a temperaturas bajas o no fluir lo suficientemente rápido a las piezas que requieren lubricación. A temperaturas de operación normales, los aceites multigrado tiene una viscosidad más alta para proteger las piezas móviles.

### Oxidación

La oxidación ocurre en el aceite de la transmisión, el sistema hidráulico, los mandos finales y el motor cuando las moléculas del oxígeno se unen químicamente a las moléculas del aceite. Causas de la oxidación:

- Mayor viscosidad
- Formación de ácidos
- Formación de depósitos

En motores diesel, un lubricante oxidado perderá la capacidad de proteger los componentes; como resultado, los anillos de pistón pueden atascarse, puede presentarse el pulimento de la perforación del cilindro y las válvulas pueden atascarse o presentar fricción.

En sistemas hidráulicos, los lubricantes oxidados aumentarán el desgaste de las bombas y dañarán las válvulas de control. Las servotransmisiones presentarán patinaje de los embragues y desgaste anormal si el aceite se oxida.

### Sulfatación

El azufre está presente en el combustible diesel. Durante la combustión, el azufre del combustible se combina con agua para formar ácido sulfúrico. Los lubricantes de los motores diesel modernos están diseñados para neutralizar este ácido. Sin embargo, si estos ácidos alcanzan niveles inaceptables, el lubricante se degradará y se presentará corrosión. Esta corrosión puede atacar:

- Válvulas
- Guías de válvula
- Anillos de pistón
- Camisas de cilindro

### Nitración

La nitración ocurre en el aceite de todos los motores, pero generalmente es un problema sólo en los motores de gas natural. Los compuestos del nitrógeno del proceso de combustión aumentan la viscosidad del aceite y reducen la capacidad de lubricación. La nitración puede resultar en:

- Obstrucción del filtro de aceite
- Depósitos en los pistones
- Depósitos en las válvulas
- Depósitos en el cigüeñal



### Contaminación del aceite

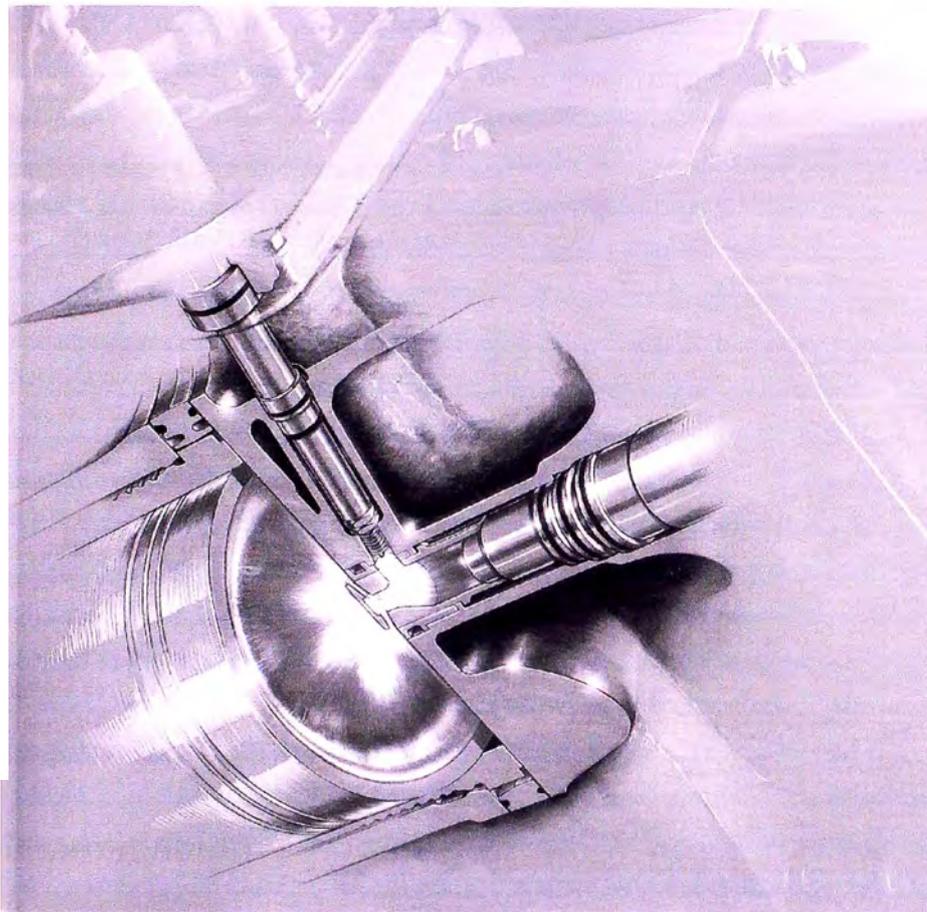
Las pruebas de contaminación del aceite se realizan para determinar si ha ingresado algún elemento dañino en el aceite. Este análisis se basa en los resultados de las siguientes pruebas: análisis de elementos, hollín, recuento de partículas, disolución de combustible, agua y refrigerante. El programa de Servicios S·O·S tiene pautas para el nivel de contaminación permitido en varios compartimientos de una máquina Cat. El análisis de elementos y el recuento de partículas se analizaron anteriormente en esta guía. Consúltelos si se requiere.

#### Hollín

El hollín es un residuo insoluble del combustible parcialmente quemado. Se mantiene en suspensión mediante los aditivos de aceite y vuelve negro el aceite del motor. Las partículas de hollín son abrasivas y hacen que el motor se desgaste.

Los niveles excesivos de hollín finalmente no podrán ser mantenidos en suspensión por los aditivos de aceite del motor. Cuando esto ocurre, las partículas de hollín se aglomeran y forman partículas más grandes. Estas partículas más grandes de hollín obstruirán los filtros de aceite, formarán depósitos y aumentarán la viscosidad del aceite. Finalmente, el desgaste del motor será anormalmente alto.





### Disolución del combustible

Cantidades pequeñas de combustible pasan a los lubricantes del motor debido al proceso de combustión y a los gases que pasan de la cámara de combustión al cárter. El problema más significativo relacionado con la disolución de combustible es la viscosidad baja. La viscosidad baja a las temperaturas de operación altas pueden hacer que el espesor de las capas de aceite sean peligrosamente delgadas. Si la capa de aceite no tiene el espesor adecuado, las piezas móviles pueden chocarse. Este contacto puede resultar en fricción o agarrotamiento de las piezas móviles y finalmente producir una falla. Si la disolución del combustible supera los niveles recomendados, esto se debe generalmente a:

- Fugas internas de las tuberías de combustible
- Inyectores de combustible desgastados
- Inyectores de combustible averiados
- Funcionamiento en vacío prolongado
- Sincronización incorrecta

Los Servicios S·O·S usan los resultados de la prueba de viscosidad y de la prueba de disolución de combustible para determinar si ésta última es excesiva.

### Agua

El agua puede condensarse o penetrar un compartimiento. El agua también puede ser el resultado del lavado a presión. El equipo que opera en entornos húmedos puede presentar agua en los mandos finales y los ejes.

El agua puede causar desgaste corrosivo y herrumbre en cualquier compartimiento. El desgaste corrosivo ocurre cuando el agua se combina con los compuestos del aceite para formar ácidos. La herrumbre puede presentarse en áreas por encima del nivel de aceite en sumideros, donde una capa de aceite no protege el metal. Si ingresan grandes cantidades de agua a un compartimiento, la mezcla de aceite y agua puede crear sedimentos espesos.

### Refrigerante

El aceite puede contaminarse con refrigerante debido a fugas de: núcleos del enfriador de aceite, conductos internos de refrigerante y empaquetaduras de la culata. Los sistemas hidráulicos o las transmisiones que usan enfriadores de agua a aceite pueden contaminarse con refrigerante. La contaminación de refrigerante aumentará el desgaste. Niveles altos de refrigerante en el aceite producirán sedimentos y deterioro total del aceite.

Su analista S·O·S usa el análisis de elementos para identificar fugas de refrigerante. Esta técnica busca rastros de aditivos de refrigerante en el aceite. En algunos casos, se usa una prueba separada de glicol para identificar mejor la entrada de refrigerante.

## Identificación del tipo de aceite

La identificación del tipo de aceite es otra parte muy importante del programa de análisis de aceite S·O·S. Un aceite incorrecto en un compartimiento puede dañar severamente componentes importantes. Su analista S·O·S usa el análisis de elementos y los resultados de viscosidad para identificar características clave de los aceites.

# Generalidades de la interpretación S·O·S

## Tendencia

Un análisis de tendencias proporcionará la mejor indicación de la condición del compartimiento. El análisis de tendencias usa los resultados históricos del muestreo de aceite como base para los resultados de prueba normales. Se establece una tendencia mediante resultados repetidos de muestreo de aceite del mismo compartimiento. Se requieren tres a cinco muestras de aceite para establecer una tendencia del compartimiento. Las horas del aceite y del equipo deben ser correctas para obtener un análisis de tendencias preciso. Por lo tanto, debe hacerse todo lo posible para llenar correctamente la etiqueta de la muestra. Los resultados de muestreo que se desvíen de la tendencia establecida pueden indicar un problema.

## Comunicación

### Muestras adicionales

Ocasionalmente, puede requerirse una muestra adicional por varias razones:

- Para hacer un seguimiento de cerca de una condición de alerta amarilla
- Para verificar un resultado preocupante de la prueba anterior
- Para desarrollar una tendencia
- Para comprobar una posible transferencia de aceite entre dos compartimientos
- Para medir el traspaso de contaminantes entre cambios de aceite
- Si la muestra tomada no es suficiente para realizar un análisis S·O·S



### Preguntas de seguimiento

Algunas veces se requiere más información para clarificar los resultados S·O·S. Podrían hacerle las siguientes preguntas:

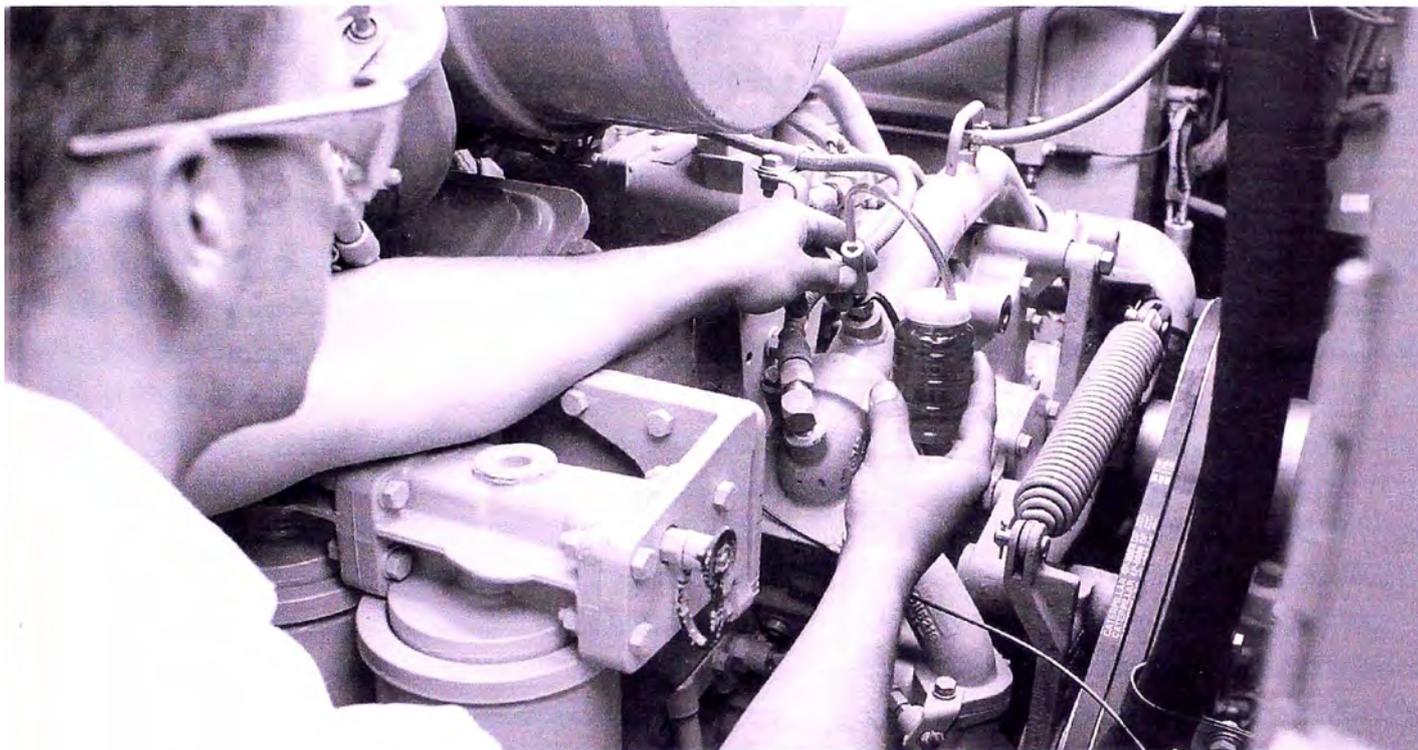
- ¿Se cambió a una marca/viscosidad diferente de aceite?
- ¿Cambió sus operadores o personal de mantenimiento?
- ¿Hubo una reparación reciente en el campo para la máquina?
- ¿Han cambiado los procedimientos de mantenimiento?
- ¿Realizó cambios en el trabajo general o en la aplicación de la máquina?

Su analista S·O·S usará la información que usted suministre, junto con la información de la etiqueta de la muestra, para mejorar la calidad del informe S·O·S.

### Recomendaciones

Las recomendaciones de los informes S·O·S se ajustan específicamente al compartimiento analizado. Su analista S·O·S evaluará los resultados de todas las pruebas para hallar la correlación entre los resultados. Si encuentra un área de preocupación, su analista S·O·S explicará la relación de los resultados de las pruebas e identificará anomalías. Su analista S·O·S también puede sugerir áreas del compartimiento a inspeccionar. Estas inspecciones con frecuencia revelarán un problema a tiempo, antes de que se convierta en una avería mayor.

# Generalidades del informe de refrigerante S·O·S



Los motores diesel actuales están diseñados para operar a temperaturas y niveles de energía muy altos. Los motores diesel de servicio pesado actuales producen una gran cantidad de potencia de unidades pequeñas. Los sistemas de enfriamiento, más pequeños y con menos refrigerante, deben absorber más calor. Un sistema de enfriamiento también puede tener que transferir el calor lejos de turbocompresores, transmisiones, sistemas hidráulicos y otros componentes del equipo. Además, los requisitos de eliminación de refrigerante usado son más exigentes y costosos. Usted puede prolongar los intervalos de drenaje de refrigerante, reciclar los refrigerantes o reacondicionarlos para reducir los costos de eliminación. Por todas estas razones, se recomienda el análisis de refrigerante S·O·S para lograr el rendimiento óptimo y la vida útil completa incorporada en las máquinas y motores actuales. Durante la prueba de refrigerante se realizan cuatro tipos de análisis:

- Tipo de refrigerante
- Protección contra ebullición y congelación
- Estado del refrigerante
- Contaminación del refrigerante

## Secciones de un informe de refrigerante S·O·S:

### Información de la etiqueta

La información de la etiqueta son los datos que usted suministra, ya sea mediante registro previo o en la etiqueta de la muestra. Puede incluirse la siguiente información, pero no está limitada a ésta:

- Nombre de la compañía
- Número de serie del equipo y del compartimiento
- Modelo del equipo y del componente
- Fabricante del equipo y del componente
- Horas del equipo y del componente
- Número del equipo
- Compartimiento
- Horas del aceite
- Marca del aceite
- Grado del aceite
- Sitio de trabajo
- Notas e información variada

La información de la etiqueta se usa para registrar su muestra en una base de datos. Esto permite que el historial de la muestra S·O·S se indique en el informe. La información de la etiqueta también proporciona datos clave que requieren registros analistas para hacer las mejores recomendaciones y evaluaciones de su muestra S·O·S.

### Número de control de la etiqueta

El número de control de la etiqueta es un número único que el laboratorio asigna a su muestra. Este número ayuda al laboratorio a hacer seguimiento de la muestra en todos los análisis. Puede encontrarse información de la muestra en la base de datos usando el número de control de la etiqueta u otra información de la etiqueta.

### Evaluación general

La evaluación general es un código de color que indica la urgencia de cualquier acción requerida. Esto le permite administrar sus informes S·O·S por excepción. Revise los informes codificados con rojo, ya que éstos son los más urgentes. Luego, revise los informes codificados con amarillo. Por último, revise los informes codificados con verde.

### Interpretación

La interpretación resume los hallazgos de los resultados S·O·S y proporciona recomendaciones basadas en los resultados.

Las recomendaciones pueden incluir tomar una nueva muestra dentro de poco tiempo para confirmar los hallazgos o hacer un seguimiento más de cerca al desgaste.

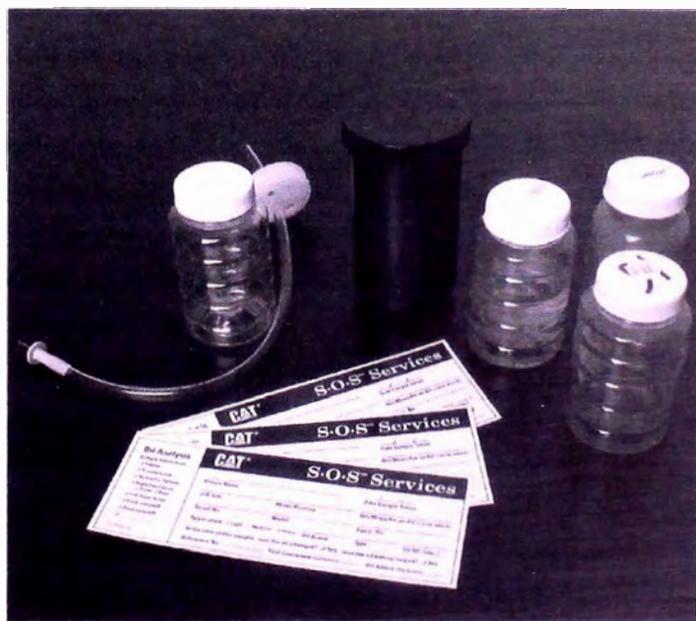
### Resultados S·O·S

Los resultados S·O·S se indican en esta sección del informe.

El nombre de la prueba y los resultados se presentan por separado. El análisis de elementos presentará cada elemento por separado y mostrará el resultado. Los resultados de la prueba se explicarán con mayor detalle en la siguiente sección de esta guía.

### Explicación de abreviaturas

Las abreviaturas usadas en el informe S·O·S se explican en la parte inferior del informe.



# Generalidades de los resultados del refrigerante S·O·S de Nivel 1

## Tipo de refrigerante

Actualmente hay muchas opciones de refrigerante en el mercado. Muchos refrigerantes proporcionan protección al sistema de enfriamiento usando diferentes protecciones químicas. Su analista S·O·S usa la información y el color de la etiqueta para determinar el tipo de refrigerante. Ésta es una razón por la cual es importante proporcionar la información más completa posible en la etiqueta de la muestra de refrigerante.

## Protección contra ebullición y congelación

Es importante asegurar el punto de ebullición y congelación correctos, sin importar en qué clima opere el equipo o el motor. Los analistas S·O·S usan el porcentaje de glicol, el punto de ebullición y el punto de congelación para hacer seguimiento a la capacidad del refrigerante en proporcionar la protección adecuada.

### Porcentaje de glicol

El glicol es el ingrediente activo de la mayoría de los refrigerantes. Las soluciones de glicol proporcionan las siguientes ventajas cuando se usan en un sistema de enfriamiento:

- Aumentan el punto de ebullición del refrigerante
- Disminuyen el punto de congelación del refrigerante
- Reducen la capacidad del refrigerante de causar desgaste por corrosión

Un porcentaje muy alto o muy bajo de glicol reducirá la capacidad del refrigerante en proporcionar protección al sistema de enfriamiento. La transferencia de calor tiene influencia de la concentración de glicol. Niveles excesivos de glicol reducirán la transferencia de calor. El punto de congelación y el punto de ebullición se calculan a partir del porcentaje de glicol.

## Condición del refrigerante

Las pruebas evalúan la condición del refrigerante. Las pruebas se realizan para analizar el pH, la conductividad, nitritos, sólidos, olor, color y apariencia.

### pH

El pH es una descripción de la acidez y la alcalinidad del refrigerante. Cuando el pH del refrigerante es muy ácido (valor bajo), el sistema de refrigerante puede experimentar mayor desgaste. Si el pH del refrigerante es muy alcalino (valor alto), es posible que haya contaminación en el refrigerante.

### Conductividad

La conductividad es la capacidad del refrigerante de conducir la corriente eléctrica. Conexiones a tierra inapropiadas y algunas aplicaciones marinas hacen que esta sea una característica importante de controlar. Además, la conductividad se usa para vigilar los niveles de contaminación del sistema de enfriamiento.

### Nitritos

Los nitritos se adicionan al refrigerante para proteger los revestimientos del pistón de la erosión y de la corrosión por cavitación. Los nitritos se destruyen durante el proceso de protección y es un complemento especialmente clave para controlar la condición de los refrigerantes convencionales.

### Inspección física

Pruebas de olor, apariencia, olor y precipitaciones son descripciones físicas de la muestra. Estas inspecciones físicas proporcionan información de la condición general del refrigerante y proporcionan información sobre contaminación.



### Contaminación de refrigerante

Se realizan pruebas de contaminación de refrigerante para determinar si ha ingresado algún elemento dañino en el refrigerante. Este análisis se basa en los resultados de las siguientes pruebas: pH, conductividad, espuma, olor, presencia de aceite y combustible. El programa de Servicios S·O·S tiene pautas para el nivel de contaminación permitido. Consulte la descripción anterior de pH, conductividad y olor.

#### Espuma

La prueba de espuma evalúa la capacidad de los refrigerantes de retener el aire. El aire retenido reduce la capacidad de transferencia de calor del refrigerante. La formación de espuma puede indicar que el refrigerante está contaminado o que los inhibidores de espuma se han degradado.

#### Presencia de aceite o combustible

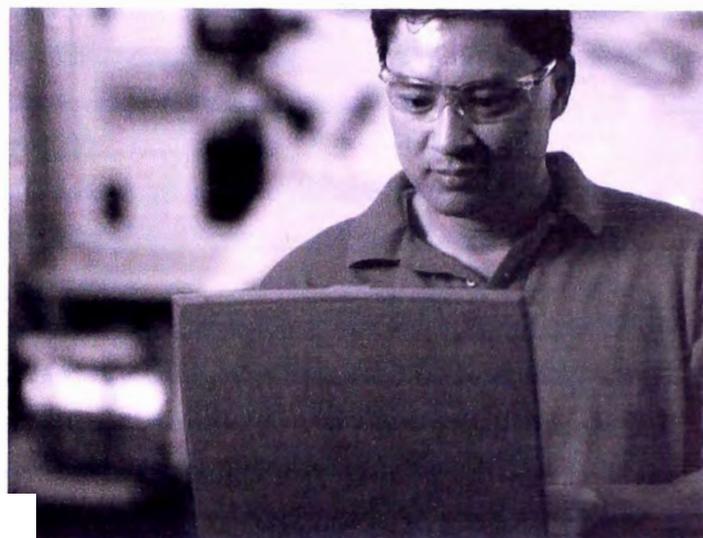
La presencia de aceite o combustible interferirá significativamente en la transferencia de calor. Estos contaminantes son difíciles de limpiar de los conductos del sistema de enfriamiento. Su analista S·O·S puede cuestionar la técnica de muestreo si se detecta aceite o combustible. El uso de la misma bomba de vacío para el muestreo de aceite y refrigerante contaminará las muestras. Los compartimientos de aceite pueden indicar contaminación del refrigerante y las muestras de refrigerante indicarán la contaminación del aceite. Es importante aplicar buenas técnicas de muestreo. Consulte la publicación PSGJ0047.

### Refrigerante de Nivel 2

El análisis de refrigerante de Nivel 2 es una evaluación química más completa del refrigerante y de la condición general del sistema de enfriamiento. El Nivel 2 incluye las pruebas del Nivel 1 y tiene categorías adicionales de resultados, como química del refrigerante, condición del sistema de enfriamiento y calidad del agua.

### Sitio web de Servicios S·O·S

Con el sitio web de Servicios S·O·S, es fácil y rápido hacer seguimiento a la eficacia del programa de mantenimiento de su equipo. En la pantalla inicial puede visualizar la información de la muestra actual por excepción o realizando una búsqueda avanzada por excepción, sitio de trabajo, número de serie, número de la unidad, estado, fabricante, familia, modelo o compartimiento.



Cuando se carga la información, está disponible una descripción detallada de la muestra específica con un historial de las muestras previas de un motor o equipo. Estos datos pueden usarse para crear gráficos que facilitan el análisis de tendencias de un compartimiento o incluso de varios modelos.

El sitio web de Servicios S·O·S también permite que los usuarios creen e impriman etiquetas al cargar información del compartimiento directamente desde la base de datos y proporciona un sistema de mensajes incorporado y la característica de acciones personalizadas que permiten hacer seguimiento a las actividades relacionadas con cada muestra.

Para obtener más información, consulte hoy a su distribuidor Cat o visite [www.CAT.com/sos](http://www.CAT.com/sos).

#### Visualice y analice la información de muestras de fluidos en línea – en cualquier momento y en cualquier lugar

- Acceda a la información en el sitio web del distribuidor usando el navegador de internet – no se requiere software adicional.
- Visualice la información actual – no debe esperar para actualizaciones
- Acceda a datos de muestras de aceite, refrigerante y combustible
- Minimiza el archivo impreso, pero con la capacidad de generar e imprimir informes y gráficos cuando lo necesite.

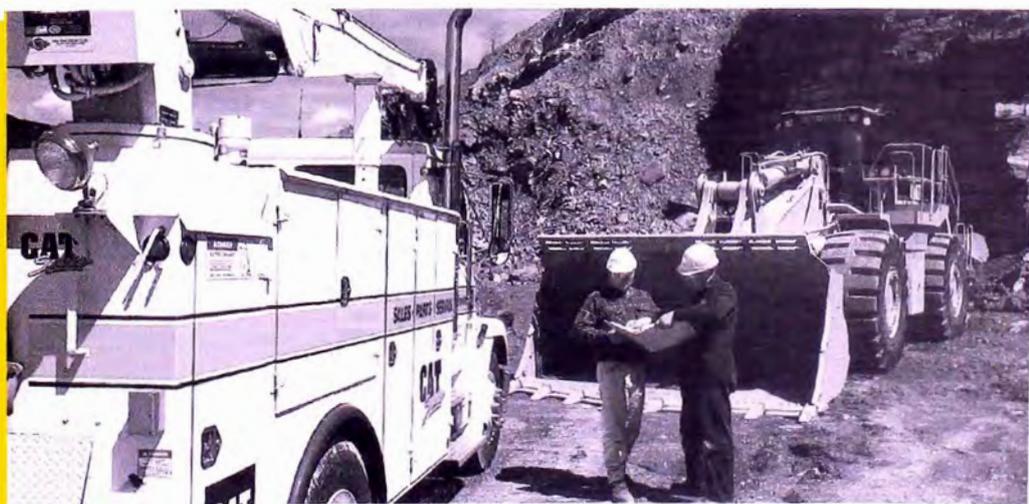
# Trabajando juntos por el mismo objetivo

Los Servicios S•O•S son un elemento de la filosofía de seguimiento de las condiciones que puede implementar en su equipo para vigilar el impacto de su programa de mantenimiento. El programa S•O•S combinado con inspecciones regulares, el análisis de las condiciones del sitio y los datos electrónicos e historial de servicio le permitirán evaluar la condición de su equipo. Usted mismo puede realizar un programa de mantenimiento o solicitar la asistencia de un distribuidor Caterpillar para realizar cualquier nivel de mantenimiento preventivo y mantener su equipo operando al rendimiento máximo.

**LOS DISTRIBUIDORES CAT® CUENTAN CON UN RESPALDO AL PRODUCTO DE CALIDAD MUNDIAL.**

Ofrecemos soluciones apropiadas de piezas y servicio, cuando y donde las necesite.

La red de distribuidores Cat de expertos altamente capacitados puede ayudarle a maximizar su inversión en el equipo.



SGJ0046

© 2007 Caterpillar (Traducción: 2008) • Todos los derechos reservados. • Impreso en los EE.UU.  
CAT, CATERPILLAR, sus respectivos logotipos, S•O•S, el color "Caterpillar Amarillo" y la imagen comercial POWER EDGE, así como la identidad corporativa y de producto utilizados aquí, son marcas registradas de Caterpillar y no pueden utilizarse sin autorización.

**CATERPILLAR®**  
TODAY'S WORK. TOMORROW'S WORLD.™

## **ANEXO 3**

**LISTADO DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE GRUPO ELECTROGENO CON MOTOR CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA Y GENERADOR CATERPILLAR SR4 DE 540 KW**

**MPE A 500 hr CAT D3412 DITA**

1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento: arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
5	21. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
6	22. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
7	23. a) motor en operación: _____
8	30. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
9	40. Bloquear arranque de motor y señalizar.
10	50. Limpiar conexiones eléctricas.
11	60. Revisión y Mantenimiento de baterías, bornes, terminales y cables.
12	70. Probar el estado de las baterías con el Analizador de Batería
13	71. CAT 177-2330. Cambiar la batería si fuera necesario.
14	80. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
15	81. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
16	82. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
17	83. a) motor parado: _____
18	84. b) motor en arranque: _____
19	90. Retirar bloqueo y señalización del motor coordinando con Mecánicos e
20	91. Instrumentistas que realizan trabajos de mantenimiento.
21	100. Prueba del sistema de protección después del mantenimiento.

**MPE B 100 hr CAT D3412 DITA**

1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento: Arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
5	21. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
6	22. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revisela puesta a tierra:
7	23. a) motor en operación: _____
8	30. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
9	40. Bloquear arranque de motor y señalizar.
10	50. Limpiar conexiones eléctricas.
11	55. Verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de disparo
12	56. automático del Breaker
13	60. Revisión y Mantenimiento de baterías, bornes, terminales y cables.
14	70. Probar el estado de las baterías con el Analizador de Batería
15	71. CAT 177-2330. Cambiar la batería si fuera necesario.
16	80. Verificar luz del entrehierro del generador.
17	90. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
18	91. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
19	92. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
20	93. a) motor parado: _____
21	94. b) motor en arranque : _____
22	100. Retirar bloqueo y señalización del motor coordinando con Mecánicos e
23	101. Instrumentistas que realizan trabajos de mantenimiento.
24	110. Prueba del sistema de protección después del mantenimiento.

**MPE C 3000 hr CAT D3412 DITA**

1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento: Arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
5	21. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
6	22. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
7	23. a) motor en operación: _____
8	30. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
9	40. Bloquear arranque de motor y señalizar.
10	50. Limpiar conexiones eléctricas.
11	55. Verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de disparo
12	56. automático del Breaker
13	60. Revisión y Mantenimiento de baterías, bornes, terminales y cables.
14	65. Verificar tensión en los bornes del alternador.
15	70. Probar el estado de las baterías con el Analizador de Batería
16	71. CAT 177-2330. Cambiar la batería si fuera necesario.
17	80. Verificar luz del entrehierro del generador.
18	85. Limpiar y revisar el regulador de voltaje

**LISTADO DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE GRUPO ELECTROGENO CON MOTOR CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA Y GENERADOR CATERPILLAR SR4 DE 540 KW**

19	90. Revisar el aislamiento de cables y conexiones.
20	100. Revisar el ajuste de terminales del interruptor principal.
21	110. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
22	111. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
23	112. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
24	113. a) motor parado: _____
25	114. b) motor en arranque: _____
26	120. Retirar bloqueo y señalización del motor coordinando con Mecánicos e
27	121. Instrumentistas que realizan trabajos de mantenimiento.
28	130. Prueba del sistema de protección después del mantenimiento.

**MPE D 6000 hr CAT D3412 DITA**

1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento:Arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
5	21. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
6	22. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
7	23. a) motor en operación: _____
8	30. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
9	40. Bloquear arranque de motor y señalizar.
10	50. Limpiar conexiones eléctricas.
11	55. Verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de disparo
12	56. automático del Breaker
13	60. Revisión y Mantenimiento de baterías, bornes, terminales y cables.
14	65. Verificar tensión en los bornes del alternador.
15	70. Probar el estado de las baterías con el Analizador de Batería
16	71. CAT 177-2330. Cambiar la batería si fuera necesario.
17	80. Verificar luz del entrehierro del generador.
18	90. Revisar el aislamiento de cables y conexiones.
19	100. Revisar el ajuste de terminales del interruptor principal.
20	110. Revisar y/o cambiar el arrancador.
21	120. Limpiar y/o revisar el generador.
22	125. Limpiar y revisar el regulador de voltaje.
23	130. Engrasar rodamientos del generador (en caso de rodamiento no sellado).
24	140. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
25	141. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
26	142. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
27	143. a) motor parado: _____
28	144. b) motor en arranque: _____
29	150. Retirar bloqueo y señalización del motor coordinando con Mecánicos e
30	151. Instrumentistas que realizan trabajos de mantenimiento.
31	160. Prueba del sistema de protección después del mantenimiento.

**MPE E 9000 hr CAT D3412 DITA**

1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento:Arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
5	21. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios.
6	22. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra:
7	23. a) motor en operación: _____
8	30. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
9	40. Bloquear arranque de motor y señalizar.
10	50. Limpiar conexiones eléctricas.
11	55. Verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de disparo
12	56. automático del Breaker
13	60. Revisión y Mantenimiento de baterías, bornes, terminales y cables.
14	65. Verificar tensión en los bornes del alternador.
15	70. Probar el estado de las baterías con el Analizador de Batería
16	71. CAT 177-2330. Cambiar la batería si fuera necesario.
17	80. Verificar luz del entrehierro del generador.
18	85. Limpiar y revisar el regulador de voltaje.
19	90. Revisar el aislamiento de cables y conexiones.
20	100. Revisar el ajuste de terminales del interruptor principal.
21	110. Megar bobinados del estator y del rotor.
22	120. Verificar que lectura de voltaje entre el poste negativo de batería y el
23	121. agua del sistema de enfriamiento esté comprendida entre 0 y 0.3 voltios

**LISTADO DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE GRUPO ELECTROGENO CON MOTOR CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA Y GENERADOR CATERPILLAR SR4 DE 540 KW**

24	122. Si la lectura es mayor a 0.5 voltios revise la puesta a tierra.
25	123. a) motor parado: _____
26	124. b) motor en arranque: _____
27	130. Retirar bloqueo y señalización del motor coordinando con Mecánicos e
28	131. e Instrumentistas que realizan trabajos de mantenimiento.
29	140. Prueba del sistema de protección después del mantenimiento.
30	150. Inspección, prueba y recalibración del sistema de llenado automático de
31	151. combustible.
<b>MPI A 500 hr CAT D3412 DITA</b>	
1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento: arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Inspección al panel de instrumentos.
5	30. Inspeccionar sistema de control automático del nivel de aceite.
6	40. Verificar estado de líneas sistema hidráulico.
7	50. Inspeccionar el actuador AMOT 2800.
8	60. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
9	70. Bloquear arranque de motor y señalizar.
10	80. Inspeccionar y probar el sistema de llenado automático de combustible
11	81. (válvula solenoide, terminales, sistema de corte, etc). Reemplazar
12	82. partes defectuosas o averiadas.
13	90. Esperar que los Mecánicos y Electricistas realicen su trabajo.
14	100. Retirar bloqueo y señalización del motor coordinando con Mecánicos y
15	101. Electricistas que realizan trabajos de mantenimiento.
16	110. Prueba del sistema de protección después del mantenimiento.
17	120. Inspección, prueba y recalibración del sistema de llenado automático de
18	121. combustible.
<b>MPI B 1000 hr CAT D3412 DITA</b>	
1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento: arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Inspección al panel de instrumentos.
5	30. Inspeccionar sistema de control automático del nivel de aceite.
6	40. Verificar estado de líneas sistema hidráulico.
7	50. Inspeccionar el actuador AMOT 2800.
8	60. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
9	70. Bloquear arranque de motor y señalizar.
10	80. Inspeccionar y probar el sistema de llenado automático de combustible
11	81. (válvula solenoide, terminales, sistema de corte, etc). Reemplazar
12	82. partes defectuosas o averiadas.
13	90. Limpiar/probar el sensor de bajo nivel de agua.
14	100. Limpiar/probar el sensor de bajo nivel de aceite.
15	110. Limpiar/probar el sensor de alto nivel de aceite.
16	120. Prueba del switch de sobrevelocidad, presionando el botón de
17	121. verificación al 75%.
18	130. Retirar bloqueo y señalización del motor coordinando con Mecánicos y
19	131. Electricistas que realizan trabajos de mantenimiento.
20	140. Prueba del sistema de protección después del mantenimiento.
21	150. Inspección, prueba y recalibración del sistema de llenado automático de
22	151. combustible.
<b>MPI C 3000 hr CAT D3412 DITA</b>	
1	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
2	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
3	12. OP-3412: Procedimiento: arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
4	20. Inspección al panel de instrumentos.
5	30. Inspeccionar sistema de control automático del nivel de aceite.
6	40. Verificar estado de líneas sistema hidráulico.
7	50. Parar el grupo accionando un dispositivo de shutdown.
8	60. Bloquear arranque de motor y señalizar.
9	70. Inspeccionar y probar el sistema de llenado automático de combustible
10	71. (válvula solenoide, terminales, sistema de corte, etc). Reemplazar
11	72. partes defectuosas o averiadas.
12	80. Limpiar/probar el sensor de bajo nivel de agua.
13	90. Limpiar/probar el sensor de bajo nivel de aceite.
14	100. Limpiar/probar el sensor de alto nivel de aceite.
15	110. Prueba del switch de sobrevelocidad, presionando el botón d



**LISTADO DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE GRUPO ELECTROGENO CON MOTOR CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA Y GENERADOR CATERPILLAR SR4 DE 540 KW**

7	*	*
8	*****	
9		
10	10.	Leer previamente los procedimientos aplicables:
11	11.	MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
12	12.	OP-3412: Procedimiento:Arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
13	20.	Verificar las siguientes lecturas:
14	21.	Lectura de presión de combustible.
15	22.	Lectura de presión de aceite.
16	23.	Lectura de temperatura de agua.
17	30.	Revisar fallas en componentes:
18	31.	Fugas de aire: múltiple y ductos.
19	32.	Indicador de servicio del filtro de aire.
20	33.	Revisar mangueras y líneas de agua.
21	40.	Revisar el nivel de agua del radiador y la concentración del inhibidor
22		de corrosión según el siguiente procedimiento:
23		Control de Inhibidor de Corrosión en el Sistema de enfriamiento (uso de
24		cintas indicadoras de Nitritos):
25		- Retirar el tapón de drenaje y abrir la válvula ligeramente.
26		- Colocar la parte naranja de la cinta indicadora de Nitritos en contac-
27		to con el agua que sale del radiador.
28		- Sacudir para retirar el exceso de líquido esperar entre 50 a 60 seg
29		y comparar con la escala de colores del frasco. Debe estar entre 0.6 a
30		1.0 gr/L.
31		- Si la concentración de Nitritos esta por debajo del rango, agregar 1/8
32		de galón de Inhibidor de Corrosión al radiador, esperar 10 minutos a
33		que la mezcla se homogenice y volver a medir los Nitritos. Repetir
34		esto hasta estar dentro del rango.
35		- Si la concentración de Nitritos está por encima del rango, drenar 5
36		galones (CON CUIDADO DE NO ACTIVAR EL SENSOR DE BAJO NIVEL DE AGUA).
37		- Agregar al radiador la misma cantidad de agua SIN TRATAR, esperar 10
38		minutos a que la mezcla se homogenice y volver a medir el los Nitritos
39		Repetir estos pasos hasta estar dentro del rango.
40		- Colocar la tapa del radiador y el tapón de drenaje.
41		
42	*****	
43	* PARA TODO MANTENIMIENTO PREVENTIVO TIPO A , SE DEBE PARAR EL MOTOR	*
44	* OBLIGATORIAMENTE.	*
45	*****	
46		
47	50.	Parar el motor.
48	60.	Bloquear arranque del motor y señalizar.
49	70.	Cambiar aceite lubricante y filtros.
50	80.	Verificar estado de filtros principales de petróleo y cambiar si es
51	81.	necesario.
52	90.	Limpiar/cambiar elemento de filtro de aire.
53	100.	Limpiar el radiador exteriormente. Retirar guarda del ventilador.
54	110.	Revisar condición y tensión de fajas.
55	120.	Verificar estado de las poleas del mando del ventilador y del alterna-
56	121.	dor.
57	130.	Engrasar rodamientos de mando de ventilador.
58	135.	Revisar/lubricar compuertas de aire que son controladas por el governa-
59	136.	dor.
60	140.	Purgar agua y lodo del tanque de petróleo.
61	150.	PRIMERA CALIBRACION DE VALVULAS. (SOLO SI ES EL PRIMER MANTENIMIENTO DEL
62	151.	MOTOR LUEGO DEL OVERHAUL Y TIENE 750 HORAS ACUMULADAS).
63	160.	Retirar bloqueo y señalización en coordinación con el personal Eléctrico
64	161.	e Instrumentista.
65	170.	Arrancar el motor.
<b>MPM B 1000 hr CAT D3412 DITA</b>		
1	*****	
2	*	*
3	* COD. STOCK	DESCRIPCION CANTIDAD *
4	* =====	===== *
5	* 01-634-345	FILTRO DE COMBUSTIBLE 02 *
6	* 01-605-130	FILTRO DE AIRE 02 *







**LISTADO DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE GRUPO ELECTROGENO CON MOTOR CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA Y GENERADOR CATERPILLAR SR4 DE 540 KW**

71	260. Retirar bloqueo y señalización en coordinación con el personal Eléctrico
72	261. e Instrumentista.
73	270. Arrancar el motor.
74	280. Revisar y/o ajustar líneas de combustible.
<b>MPM E 9000 hr CAT D3412 DITA</b>	
1	*****
2	* *
3	* COD. STOCK DESCRIPCION CANTIDAD *
4	* ===== * *
5	* 01-634-345 FILTRO DE COMBUSTIBLE 02 *
6	* 01-605-130 FILTRO DE AIRE 02 *
7	* 01-634-260 FILTRO DE ACEITE 02 *
8	* *
9	*****
10	.
11	10. Leer previamente los procedimientos aplicables:
12	11. MT3412: Procedimiento de mantenimiento para motores D3412.
13	12. OP-3412: Procedimiento:Arranque, monitoreo y parada de grupos D3412.
14	20. Verificar las siguientes lecturas:
15	21. Lectura de presión de combustible.
16	22. Lectura de presión de aceite.
17	23. Lectura de temperatura de agua.
18	30. Revisar fallas en componentes:
19	31. Fugas de aire: múltiple y ductos.
20	32. Indicador de servicio del filtro de aire.
21	33. Revisar mangueras y líneas de agua.
22	40. Drenar/lavar/llevar sistema de enfriamiento. Use refrigerante con
23	41. inhibidor de corrosión.
24	45. Si decide no realizar el paso 40, realice el paso 50.
25	50. Revisar el nivel de agua del radiador y la concentración del inhibidor
26	de corrosión según el siguiente procedimiento:
27	Control de Inhibidor de Corrosión en el Sistema de enfriamiento (uso de
28	cintas indicadoras de Nitritos):
29	- Retirar el tapón de drenaje y abrir la válvula ligeramente.
30	- Colocar la parte naranja de la cinta indicadora de Nitritos en contac-
31	to con el agua que sale del radiador.
32	- Sacudir para retirar el exceso de líquido esperar entre 50 a 60 seg.
33	y comparar con la escala de colores del frasco. Debe estar entre 0.6 a
34	1.0 gr/L.
35	- Si la concentración de Nitritos esta por debajo del rango, agregar 1/8
36	de galón de Inhibidor de Corrosión al radiador, esperar 10 minutos a
37	que la mezcla se homogenice y volver a medir los Nitritos. Repetir
38	esto hasta estar dentro del rango.
39	- Si la concentración de Nitritos está por encima del rango, drenar 5
40	galones (CON CUIDADO DE NO ACTIVAR EL SENSOR DE BAJO NIVEL DE AGUA).
41	- Agregar al radiador la misma cantidad de agua SIN TRATAR, esperar 10
42	minutos a que la mezcla se homogenice y volver a medir el los Nitritos
43	Repetir estos pasos hasta estar dentro del rango.
44	- Colocar la tapa del radiador y el tapón de drenaje.
45	60. Parar el motor.
46	70. Bloquear arranque del motor y señalizar.
47	80. Cambiar aceite lubricante y filtros.
48	90. Verificar estado de filtros principales de petróleo y cambiar si es
49	91. y cambiar si es necesario.
50	100. Limpiar/cambiar elemento de filtro de aire.
51	110. Limpiar el radiador exteriormente. Retirar guarda del ventilador.
52	120. Revisar/lavar la succión de la bomba de aceite.
53	130. Revisar y/o cambiar la bomba de agua.
54	140. Reemplazar el mando de ventilador.
55	150. Verificar estado de las poleas del alternador.
56	160. Revisar condición y tensión de fajas.
57	170. Revisión/cambio de termostatos.
58	180. Limpiar el respiradero del cárter.
59	190. Purgar agua y lodo del tanque de petróleo.
60	200. Engrasar articulaciones del brazo-gobernador.
61	205. Revisar/lubricar compuertas de aire que son controladas por el governa

**LISTADO DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE GRUPO ELECTROGENO CON MOTOR CATERPILLAR, MODELO 3412 DITA Y GENERADOR CATERPILLAR SR4 DE 540 KW**

62	206. dor.
63	210. Retirar toberas de inyectores.
64	220. Verificar compresión de cilindros.
65	230. Toma de presiones y estanqueidad a las toberas e inyectores. Reusar las
66	231. que estén dentro de los valores especificados por el fabricante. Se
67	232. podría dar el caso de que tenga buena presión pero mala estanqueidad y
68	233. por lo tanto tobera/injector debe ser cambiado.
69	240. CALIBRAR VALVULAS Y PUENTES. Primero calibrar puentes y luego válvulas.
70	250. Revisar y/o aplicar torque recomendado a los pernos de culata.
71	260. Revisar y/o reparar el turbo compresor.
72	270. Retirar bloqueo y señalización en coordinación con el personal Eléctrico
73	271. e Instrumentista.
74	280. Arrancar el motor.
75	290. Revisar y/o ajustar líneas de combustible.

MPE : MANTENIMIENTO PREVENTIVO ELECTRICO  
 MPI : MANTENIMIENTO PREVENTIVO INSTRUMENTACIÓN  
 MPM : MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO

MANTENIMIENTO TIPO "A" : 500 HORAS  
 MANTENIMIENTO TIPO "B" : 1.000 HORAS  
 MANTENIMIENTO TIPO "C" : 3.000 HORAS  
 MANTENIMIENTO TIPO "D" : 6.000 HORAS  
 MANTENIMIENTO TIPO "E" : 9.000 HORAS

**MPI 4 meses Sistema bi-combustible**

10	Cerrar la válvula de ingreso de gas ubicada antes del filtro primario
11	Peco.
20	Colocar los respectivos bloqueos y avisos de seguridad.
30	TREN DE GAS
31	Verificar / cambiar filtro de gas primario.
32	Verificar la correcta operación de la válvula manual de ingreso de gas.
33	Probar el funcionamiento del switch de baja presión PSL.
34	Revisar / probar la válvula reductora de presión Fisher.
35	Revisar / probar la válvula reguladora Zero.
36	Probar el funcionamiento del switch de alta presión PSH.
37	Revisar / probar la válvula solenoide de corte de gas.
38	Revisar la válvula de gas de potencia. Verificar el correcto acople y la
39	adecuada regulación de la misma.
40	Verificar cada uno de los manómetros, reemplazar en caso de encontrarse
41	averiados.
42	En caso de detectar presencia de condensado, se recomienda desmontar los
43	equipos del tren y limpiarlos totalmente, así como las tuberías asociadas
44	a los mismos.
50	SENSORES DE PROTECCION EN EL MOTOR
51	Desmontar, limpiar y probar las termocuplas en ambos turbos, verificar el
52	estado de los cables.
53	Revisar / probar el transmisor de presión del aftercooler.
54	Verificar la correcta lectura del sensor de carga del generador. En caso
55	de estar defectuoso, coordinar la parada del equipo para su reemplazo.
56	Revisar los sensores de vibración en cada bancada (SOLO EN MOTORES CAT
57	3512), verificar el estado de los cables.
60	TABLERO DE CONTROL
61	Limpiar la unidad de control PLC.
62	Verificar el estado de borneras y ajustes del cableado.
63	Probar cada uno de los pulsadores, selectores y parada de emergencia.
64	Verificar el correcto estado de las lámparas de señalización, reemplazar
65	en caso de avería.