



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**SISTEMA DE LUBRICACIÓN Y TRATAMIENTO CONTINUO DE
ACEITE LUBRICANTE PARA UN MOTOR MAK-CATERPILLAR
9M43C**

José Alejandro Leonardo Corzo
Asesorado por el Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón

Guatemala, marzo de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE LUBRICACIÓN Y TRATAMIENTO CONTINUO DE
ACEITE LUBRICANTE PARA UN MOTOR MAK-CATERPILLAR
9M43C**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JOSÉ ALEJANDRO LEONARDO CORZO

ASESORADO POR EL ING. ÁLVARO ANTONIO ÁVILA PINZÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Bran Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza.
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazzini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SISTEMA DE LUBRICACIÓN Y TRATAMIENTO CONTINUO DE ACEITE LUBRICANTE PARA UN MOTOR MAK-CATERPILLAR 9M43C,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 15 de abril de 2008.



José Alejandro Leonardo Corzo

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS:** Por permitirme terminar este camino, por darme perseverancia y fuerza para afrontarlo en los momentos difíciles y por permitirme realizar este sueño.
- MIS PADRES:** Héctor Humberto Leonardo Awe
Maritza del Carmen Corzo Góngora
Por haberme dado la vida, y por todo el apoyo que me han brindado hasta hoy.
- MI HERMANA:** Ana María, con mucho amor.
- MIS FAMILIARES:** Gracias por brindarme su apoyo incondicional y por sus consejos.
- MIS AMIGOS:** Gracias por su amistad y por la ayuda que me brindaron a lo largo de mi formación como profesional.
- MI ASESOR:** Por su aportación, colaboración y el tiempo brindado para el desarrollo de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 Localización de la central generadora	1
1.2 Organigrama actual de la central generadora	2
1.3 Descripción de la central generadora	2
1.3.1 Historia	4
1.3.2 Visión	5
1.3.3 Misión	5
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CENTRAL GENERADORA	7
2.1 Funcionamiento general de la central generadora	7
2.1.1 Descripción de los sistemas que componen la central generadora	7
2.1.1.1 Sistema de lubricación	7
2.1.1.2 Sistema de combustible	8
2.1.1.3 Sistema de agua de enfriamiento	10
2.1.1.4 Sistema de aceite térmico	13
2.1.1.5 Sistema de aire de carga	15

2.2	Sistemas que influyen en el sistema de lubricación	17
2.2.1	Función que ejerce el sistema de aceite térmico	17
2.2.2	Función que ejerce el sistema de agua de enfriamiento	18
2.3	Condiciones de operación de un motor Mak-Caterpillar 9M43C	19
3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	21
3.1	Análisis y funcionamiento del sistema de lubricación	21
3.2	Creación del diagrama base del sistema	23
3.2.1	Lista de los equipos que conforman el sistema de lubricación	23
3.2.2	Recorrido del aceite lubricante dentro del sistema	24
3.2.3	Esquema base del sistema de lubricación	24
3.3	Funcionamiento del sistema	26
3.4	Diagrama final del sistema	28
3.5	Condiciones operación del sistema	30
3.6	Características del aceite lubricante utilizado	31
3.7	Descripción del principio de funcionamiento de los equipos del sistema	32
3.7.1	Modo de operación de filtro automático de aceite	32
3.7.2	Modo de operación de bomba <i>force</i>	33
3.7.3	Modo de operación de bomba prelub	35
3.7.4	Modo de operación de separador de aceite	36
3.7.5	Modo de operación de enfriador de aceite	39
4.	MANTENIMIENTO DEL BUEN FUNCIONAMIENTO	
	DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	41
4.1	Criterio de para el mantenimiento del sistema de lubricación	41
4.2	Monitoreo del sistema y comportamiento de equipos	41

4.2.1	Toma de lecturas en equipos.	42
4.2.2	Hojas de control	43
4.3	Análisis de aceite lubricante	46
4.3.1	Análisis de viscosidad	47
4.3.2	Análisis de TBN	48
4.3.3	Análisis de porcentaje de agua en el aceite	49
4.3.4	Análisis de densidad	49
4.4	Análisis de resultados en equipos y aceite lubricante	51
4.5	Medidas correctivas según fallas encontradas	51
5.	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE TRATAMIENTO CONTINUO DE ACEITE LUBRICANTE FRENTE A UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CONVENCIONAL PARA UN MOTOR MAK-CATERPILLAR 9M43C.	55
5.1	Descripción del sistema convencional de lubricación.	55
5.2	Descripción del mantenimiento para un sistema convencional de lubricación.	58
5.3	Análisis de costos del mantenimiento de un sistema de lubricación convencional.	59
5.4	Descripción del mantenimiento para un sistema de lubricación de tratamiento continuo de lubricante.	60
5.5	Análisis de resultados y comparación de los dos sistemas.	63
6.	IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO	67
6.1	Práctica de laboratorio No. 1	67

6.1.1	Descripción de un sistema convencional de lubricación	67
6.1.2	Funcionamiento de un sistema convencional de lubricación en un motor de combustión interna.	71
6.2	Práctica de laboratorio No. 2	74
6.2.1	Descripción de un sistema de tratamiento continuo de aceite lubricante.	74
6.2.2	Funcionamiento de un sistema de tratamiento continuo de aceite lubricante en un motor de combustión interna.	75
6.2.3	Función que ejercen y modo de operación de los equipos especiales que componen el sistema de lubricación de tratamiento continuo de aceite lubricante.	76
6.3	Práctica de laboratorio No. 3	76
6.3.1	Uso del simulador del separador de aceite.	77
6.3.2	Comparación de los dos sistemas de lubricación y descripción de las ventajas y desventajas que posee cada sistema.	77
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA		83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Localización de la planta	1
2	Organigrama actual de la planta	2
3	Descripción del área de trabajo	3
4	Sistema de combustible	9
5	Sistema de agua de enfriamiento HT y LT	12
6	Sistema de aceite térmico	14
7	Aire de carga	16
8	Sistema de lubricación convencional	22
9	Sistema base de lubricación	25
10	Sistema de lubricación de tratamiento continuo	29
11	Fase de filtración y flushing del filtro automático de aceite	33
12	Bomba <i>force</i> de lóbulos dobles	34
13	Bomba eléctrica sumergible	36
14	Aglomeración de partículas	37

15	Esquema de un separador de aceite	38
16	Hoja de mantenimiento mayor para un separador de aceite	43
17	Hoja de control para separadores de aceite	44
18	Histograma de un sistema SCADA	45
19	Viscosímetro Saybolt	48
20	Densímetro	50
21	Sistema de lubricación convencional de un motor MaK-Caterpillar 9M43C	56
22	Esquema de un sistema de lubricación convencional	69
23	Válvula reguladora de presión	70
24	Filtro de aceite	71
25	Circuito de lubricación	72

TABLAS

1	Condiciones de operación de un motor MaK-Caterpillar 9M43C	19
2	Condiciones de operación del sistema de lubricación de tratamiento continuo	31
3	Costos de mantenimiento para un sistema convencional de lubricación	60
4	Costos para un sistema de lubricación de tratamiento continuo	62
5	Comparativa entre el sistema convencional y el sistema de tratamiento continuo	64

GLOSARIO

°C	Abreviatura de grados centígrados o grados Celsius.
Aceite multigrado	Lubricante cuya composición química contiene sustancias que reaccionan al calor haciendo que el aceite aumente su viscosidad.
Aceite térmico	Aceite utilizado como transportador de calor.
Ácidos	Cualquier sustancia que en disolución acuosa aporta iones H ⁺ al medio.
Block	Pieza fundida en hierro o aluminio que aloja los cilindros de un motor de combustión interna así como los soportes de apoyo del cigüeñal.
Bunker	Combustible pesado derivado del petróleo.
Carter	Parte inferior del motor el cual cumple la función de almacenar el aceite lubricante.

Caudal	Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
Deformación	Cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a la aplicación de una o más fuerzas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.
Densidad	Es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.
Detergencia	Capacidad del aceite para eliminar residuos acumulados por el sistema, incrustados (en tuberías, pistones, etc.), o bien acumulados en forma de lodos.
Diésel	Líquido de color blancuzco o verdoso y de densidad sobre 850 kilogramos por metro cúbico, compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en motores diesel y en calefacción.
Electro-válvula	Dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. Una

electro-válvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Equipos auxiliares

Todo equipo necesario para hacer funcionar otro (bombas, filtros, etc.).

Fricción

Fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento.

Generador

Dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica.

Histograma

Representación gráfica de una variable.

Housing

Tapadera o carcasa de protección.

Intercooler

Intercambiador (radiador) aire-aire o aire-agua que se encarga de enfriar el aire comprimido por el turbocompresor de un motor de combustión interna.

Manómetro diferencial

Dispositivo de medición que detecta una variación de presión entre dos puntos.

Mantenimiento

Todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.

Motor de combustión interna

Tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión.

MW

Abreviatura de mega watt.

Número de baste total

La cantidad de ácido que un aceite puede neutralizar es expresado en términos de la cantidad requerida de una base estándar para neutralizar el ácido en un volumen especificado de aceite.

Overhaul

Reparaciones necesarias en un equipo para restablecer las condiciones de operación que poseía al momento de adquirirlo.

Oxidación

Reacción química donde un compuesto cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación. La reacción química opuesta a la oxidación se conoce como reducción, es decir cuando una especie química acepta electrones.

PLC	Controlador lógico programable.
Q	Abreviatura de la unidad monetaria de Guatemala denominada Quetzal.
Rentabilidad	Se refiere a obtener más ganancias que pérdidas en un campo determinado.
SAE	Clasifica los aceites de motor de acuerdo con su viscosidad.
SCADA	Acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (en español, Control supervisor y adquisición de datos).
Separador de aceite y <i>bunker</i>	Equipo de limpieza de aceite o combustible <i>bunker</i> . Extrae las impurezas por medio de diferencia de densidades.
Turbo compresor	Sistema de sobre-alimentación que usa una turbina para comprimir gases.
Vibración	Propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo.
Viscosidad	Oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.
Viscosidad cinemática	Unidad física de viscosidad en el Sistema Internacional de Unidades es el pascal-segundo (Pa·s), que corresponde exactamente a 1 N·s/m ² o 1 kg/(m·s).

Viscosímetro

Instrumento empleado para medir la viscosidad y algunos otros parámetros de flujo de un fluido.

RESUMEN

Una central generadora está compuesta por diferentes sistemas, tanto mecánicos como eléctricos. El presente documento se encuentra dividido en seis capítulos, los cuales se describen a continuación:

El primer capítulo comprende los antecedentes generales de la central generadora y una breve descripción de la misma. La central generadora está compuesta por motores de combustión interna que utilizan combustible *bunker* y diésel.

En el segundo capítulo se describe la situación actual de la central generadora, el funcionamiento general de la misma y una explicación breve de los diferentes sistemas mecánicos que la componen, así como su funcionamiento. También se describen las condiciones de operación de los motores que conforman la central generadora.

El tercer capítulo trata sobre el sistema de lubricación de un motor de la central generadora, así como de los equipos que lo conforman y su respectivo principio de funcionamiento. El sistema de lubricación está representado en un diagrama.

En el cuarto capítulo se describe el mantenimiento que se le da al sistema y todos los aspectos que lo conforman. Para ello se utilizan hojas de control en los equipos que lo conforman, monitoreo de la degradación del aceite lubricante por medio de análisis físico-químicos. También se describen algunas medidas correctivas para las fallas más comunes dentro del sistema.

El quinto capítulo trata sobre la comparación de costos de mantenimiento entre un sistema convencional de lubricación, y el sistema de lubricación que poseen los

motores de la central generadora así como las ventajas y desventajas de los dos sistemas.

En el sexto capítulo se implementarán tres prácticas para el laboratorio de motores de combustión interna.

Posteriormente, se plantean las conclusiones y recomendaciones, las cuales se fundamentan sobre lo expuesto en los diferentes capítulos de éste informe.

OBJETIVOS

- **General**

Describir un sistema de lubricación de tratamiento continuo de aceite lubricante para un motor MaK-Caterpillar 9M43C, aplicado directamente a la industria de la generación eléctrica en la que se incluyen equipos no convencionales.

- **Específicos**

1. Fusionar diferentes áreas de la ingeniería mecánica que son esenciales en el diseño y funcionamiento del sistema de lubricación.
2. Proporcionar una amplia información de cómo trabaja específicamente el sistema de lubricación y los equipos que lo conforman, además de resaltar la importante función que desempeña cada uno de ellos.
3. Resaltar las ventajas que posee este sistema de lubricación sobre los sistemas convencionales.

INTRODUCCIÓN

En la industria de la generación eléctrica (y en cualquier industria) los paros de los equipos ya sea por fallas o por mantenimiento reducen las ganancias y aumentan los costos de la empresa. Atendiendo la necesidad de reducir los tiempos de paro de un equipo, como puede ser en este caso un motor de combustión, se han ideado métodos que hacen más eficientes y rápidos los mantenimientos en estos equipos.

Un sistema de lubricación básico, consta de tres partes principales: fluido lubricante, elementos filtrantes y dispositivos que hagan circular el lubricante. Dependiendo de la aplicación del sistema de lubricación, el diseño incluirá accesorios como llaves, codos, válvulas, además de instalaciones especiales o adicionales al modelo base.

Este estudio trata específicamente de un sistema de lubricación de tratamiento continuo de aceite lubricante, que utiliza equipos auxiliares específicos para un motor de combustión interna MaK-Caterpillar modelo 9M43C, el cual evita la substitución total del aceite lubricante del motor, evitando así el paro del mismo por ésta causa, reduciendo costos de operación, mantenimiento, además se descarta una causa del paro de la generación eléctrica del motor.

Se dará una explicación del funcionamiento del sistema, el criterio de análisis del lubricante y el modo de operación de los equipos más relevantes que componen dicho sistema.

Uno de los aspectos importantes dentro de este sistema es el mantenimiento del mismo, el cual involucra diferentes aspectos tanto técnicos como analíticos, los cuales aplicados adecuadamente aseguran el buen funcionamiento del sistema de lubricación.

1. ANTECEDENTES GENERALES

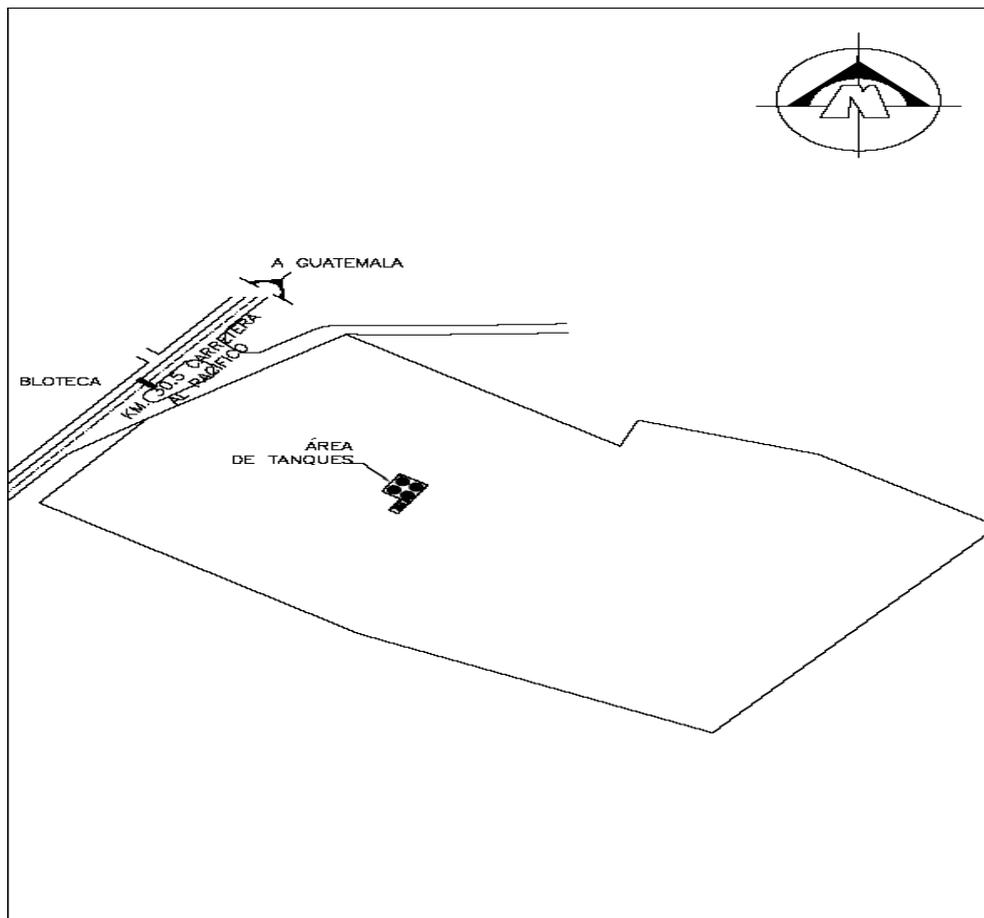
En este capítulo se recopila y expone el historial de la central generadora, con lo que se pretende dar al lector el conocimiento previo acerca de la estructura organizacional y la ubicación de la misma.

1.1 Localización de la central generadora

Se encuentra rodeada por varias empresas textiles, a las cuales les proporciona energía más barata.

La central generadora está ubicada en Parque del Lago, kilómetro 30.5 ruta al Pacífico, en el municipio de Amatitlán (Figura1).

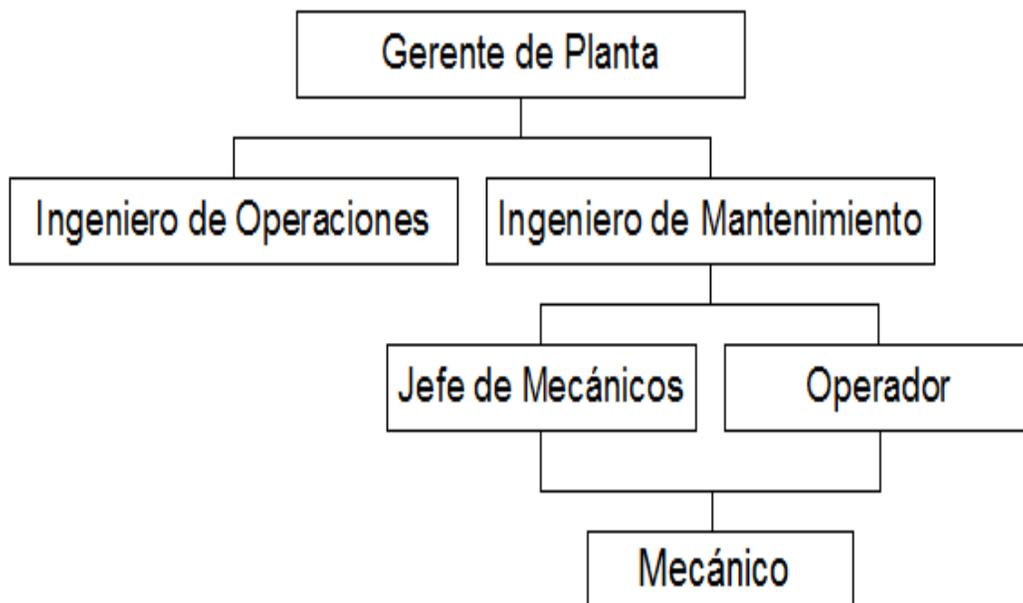
Figura 1 Localización de la Planta



1.2 Organigrama actual de la central generadora.

Para una mejor comprensión de la administración y delegación del trabajo se presenta el organigrama actual de la central generadora. Este Organigrama representa con toda fidelidad una pirámide jerárquica, ya que las unidades se desplazan según su Jerarquía de arriba abajo en una gradación jerárquica descendente. (Figura. 2)

Figura 2 Organigrama actual de la planta



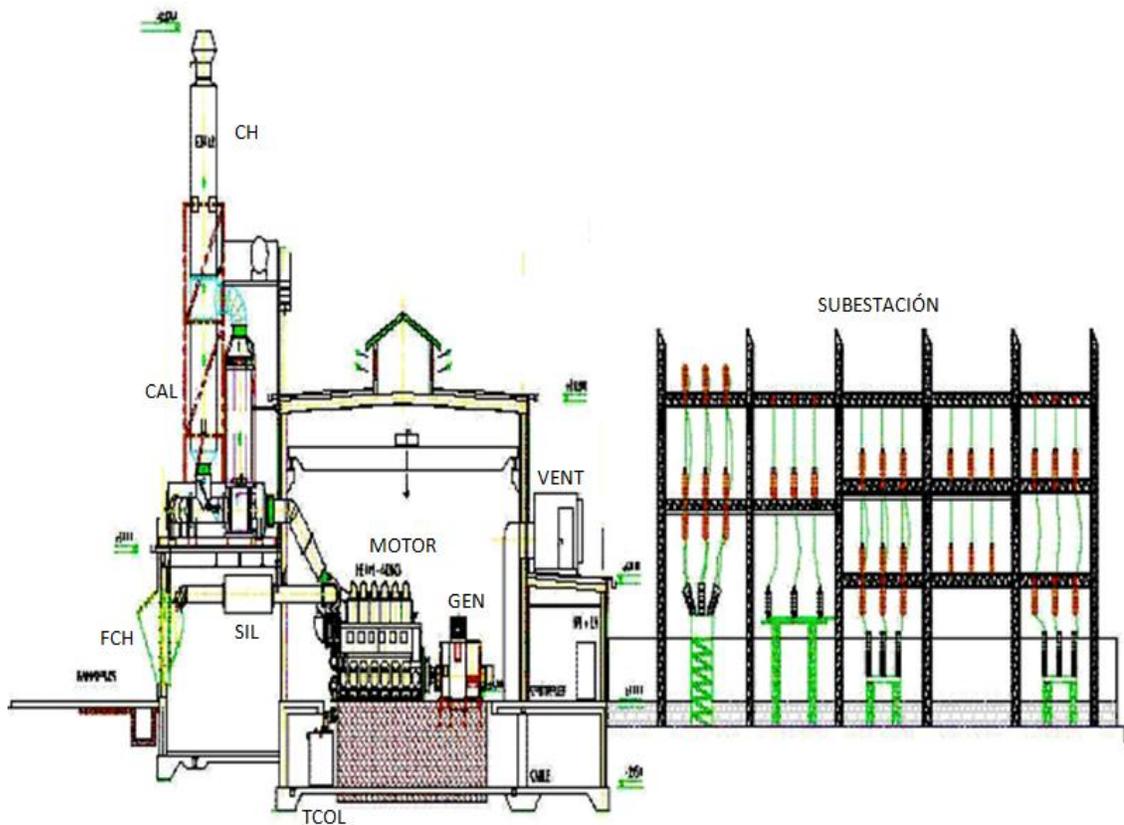
1.3 Descripción de la central generadora.

Esta central generadora se divide en tres bloques el primero llamado GCA, el segundo Bluref 2 y el tercero Bluref 1. Brindando un servicio tanto interno como externo.

La central generadora está dividida en dos edificios, cada una con dos niveles y sótano (Figura.3). Están conformados de la siguiente forma:

- i) Primer nivel: se encuentra el cuarto de motores, generadores, paneles de control, filtros de combustibles, bombas de circulación, separadores de aceite lubricante, enfriadores de aceite.
- ii) Segundo nivel: se encuentra el cuarto de control, calderas de aceite térmico, bombas de circulación de aceite térmico, radiadores.
- iii) Sótano: se encuentran los tanques de almacenamiento de aceite, los tanques colectores de combustible, bombas de agua de refrigeración, bombas de pre-lubricación de aceite, bombas de presión de aceite térmico, bomba de rebalse del tanque colector de combustible.

Figura 3 Descripción del área de trabajo



Código	Descripción
CH	Chimenea de caldera
CAL	Caldera de aceite térmico
FCH	Filtro Charger
SIL	Silenciador
MOTOR	Motor MaK-Caterpillar 9M43C
GEN	Generador
TCOL	Tanque colector de combustible
SUBESTACIÓN	Subestación 18.0 MW
VENT	Ventilador axial

Junto al edificio de generación se encuentran los tanques de agua dura y agua suave con sus correspondientes bombas de presión. Se cuenta con un área de descarga de combustibles consistente en: diesel, aceite lubricante, *bunker* y lodos (desechos producidos por los separadores de *bunker* y aceite lubricante). Esta área cuenta con bombas destinadas a la circulación de los líquidos anteriormente mencionados. Cada tanque es llenado por su correspondiente bomba.

1.3.1 Historia

Es una central de generación eléctrica que trabaja a base de motores de combustión interna utilizando combustible *bunker* y diesel, fue instalada en el año de 1996 contando para ese entonces con un motor de 8 cilindros en línea y una capacidad instalada de 5.0 MW. La central generadora ha ido creciendo paulatinamente y actualmente cuenta con 12 motores de las siguientes capacidades: 2 motores de 8 cilindros en línea con una capacidad instalada de 5.0 MW cada uno, 6 motores de 9 cilindros en línea con una capacidad instalada de 7.5 MW cada uno, 2 motores de 6 cilindros en línea con una capacidad instalada de 5.0 MW cada uno. Y 2 motores de 12 cilindros en V con una capacidad instalada de 10.0 MW.

La central generadora se divide en tres áreas: Bluref 1 que cuenta con 2 motores, generando 10.0 MW; Bluref 2 que tiene instalado 6 motores, generando 40.0 MW; y GCA con 4 motores generando 35.0 MW. Cada motor cuenta con su respectivo mecánico y con personal de mantenimiento. La supervisión está a cargo de ingenieros especializados en la rama de generación eléctrica.

Por el tipo de servicio que se presta en la planta es necesario trabajar las 24 horas del día, por lo cual se trabaja con dos turnos de 12 horas cada uno.

1.3.2 Visión

La visión de la central generadora es ser una de las centrales energéticas de mayor importancia, mediante un servicio sin fronteras y de alta calidad.

1.3.3 Misión

Ser líder reconocido en el área de generación de energía eléctrica, participar en los mercados y aplicaciones en donde se logre una posición de liderazgo o de alta participación de mercado que nos permita alta rentabilidad sostenida, que satisfaga las necesidades de nuestros clientes, protegiendo el medio ambiente y apoyando el mejoramiento de nuestros trabajadores.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CENTRAL GENERADORA

Las condiciones de trabajo de cada área en la central generadora se examinarán en los siguientes apartados con el propósito de determinar y describir las características de la misma.

2.1 Funcionamiento general de la central generadora

2.1.1 Descripción de los sistemas que componen la central generadora.

La central generadora está compuesta por varios sistemas, tanto eléctricos como mecánicos. La mayoría de ellos están relacionados entre sí y son monitoreados constantemente a través de paneles de control, una computadora central basada en un programa SCADA y monitoreo visual de los equipos y su respectiva instrumentación, ya que de ello dependerá el buen funcionamiento de la central generadora. A continuación daremos una descripción de cada sistema, haciendo énfasis en los sistemas mecánicos. Cada sistema descrito a continuación es independiente para cada motor.

2.1.1.1 Sistema de lubricación.

El sistema de lubricación es el encargado de prevenir el desgaste prematuro de las piezas móviles del motor. El sistema descrito en éste documento es un sistema de tratamiento continuo de aceite lubricante, el cual tiene la función de alargar la vida del aceite lubricante, ofreciendo así diferentes ventajas tanto en operación de equipo, como en costos de mantenimiento y paro del motor.

Este sistema se compone de bombas, filtros mecánicos, un tanque de circulación y uno de almacén, un enfriador de

aceite, un separador de aceite, además de la instrumentación necesaria para su monitoreo. En lo que respecta a la parte eléctrica, cuenta con sensores, los cuales envían una señal al cuarto de control, desde donde se chequean las condiciones del sistema.

2.1.1.2 Sistema de combustible.

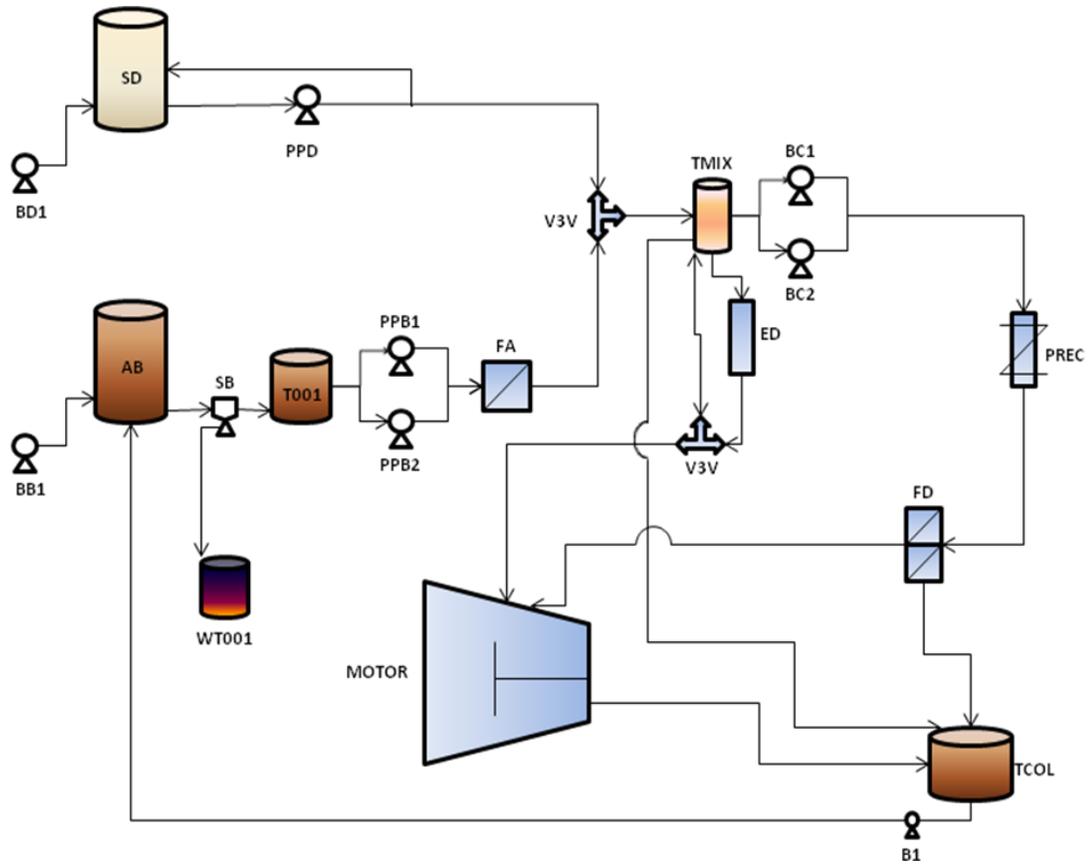
Éste es el encargado no solo de suministrar combustible al motor sino que de acondicionarlo a los requerimientos de operación establecidos para el motor. El sistema es capaz de suministrar dos tipos de combustible, *bunker* y diesel.

El sistema de combustible diesel es utilizado en diferentes situaciones, entre las cuales podemos mencionar: realizar un flushing (o limpieza) del sistema, cuando se requiere hacer algún mantenimiento en el motor, etc. El sistema de combustible diesel se compone de un tanque de servicio, del cual una bomba extrae el combustible, y lo envía a un *tanque mix*, que tiene como función almacenar el combustible para que posteriormente sea extraído por las bombas de circulación y hacerlo pasar por un enfriador y por último entrar al motor.

El sistema de *bunker* cuenta con tanques de almacenamiento, de donde se suministra *bunker* al tanque de servicio por medio de los separadores de *bunker*, que tienen la función de limpiar el combustible así como mantener el nivel del tanque de servicio. Posteriormente, el *bunker* es bombeado y se hace pasar por un filtro automático, llega al *tanque mix*, del cual las bombas de circulación envían el combustible hacia un precalentador, el cual es calentado por el aceite térmico y le proporciona al *bunker* la temperatura requerida de 150°C.

Posteriormente pasa por un filtro dúplex y entra al motor. En la Figura 4 se muestra el diagrama del sistema.

Figura 4 Sistema de Combustible



Código	Descripción
BD1	Bomba llenado diesel
BB1	Bomba llenado <i>bunker</i>
SD	Tanque servicio diesel
AB	Tanque almacenamiento de <i>bunker</i>
PPD	Bomba pre-presión de diesel
PPB1	Bomba pre-presión de <i>bunker</i>
PPB2	Bomba pre-presión de <i>bunker</i>
T001	Tanque de servicio de <i>bunker</i>
WT001	Tanque de lodos
SB	Separador de <i>bunker</i>
FA	Filtro automático de combustible
TMIX	Tanque Mix
BC1	Bomba de circulación de combustible
BC2	Bomba de circulación de combustible
ED	Enfriador de combustible diesel
PREC	Pre calentador de <i>bunker</i>
FD	Filtro dúplex de combustible
TCOL	Tanque colector de combustible
V3V	Electro válvula de tres vías
MOTOR	Motor MaK-Caterpillar 9M43C
B1	Bomba vaciado de tanque colector

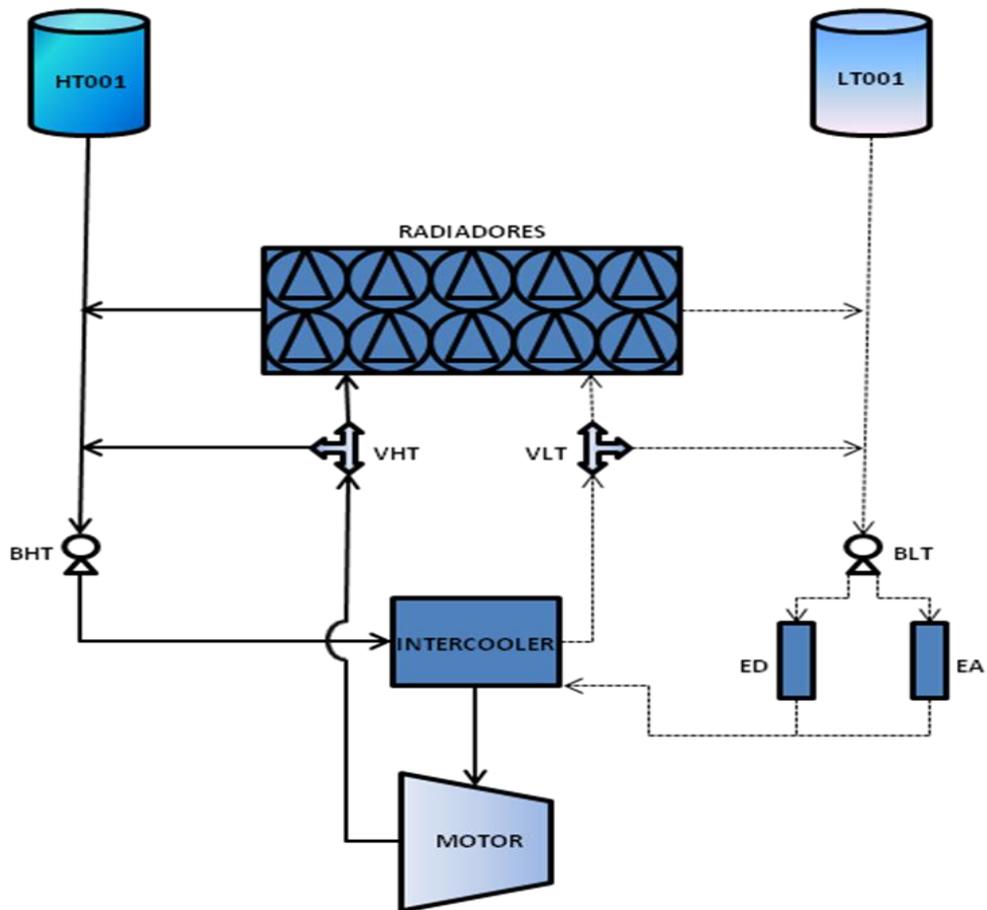
2.1.1.3 Sistema de agua de enfriamiento.

El sistema de agua de enfriamiento es el encargado de mantener una temperatura adecuada en el block (80 – 85 °C) y las culatas del motor, además de regular la temperatura del aire de carga (o de combustión) del motor, del diesel en el sistema de combustible y del aceite lubricante.

El agua HT o de alta temperatura, es la encargada de enfriar el motor, por lo que se debe a mantener a una temperatura de 80°C y también cumple la función de regular la temperatura del aire de carga del motor, utilizando el intercooler como intercambiador de calor. El agua LT o de baja temperatura es utilizada en el enfriador de aceite y diesel, y en conjunto con el agua HT, acondicionan la temperatura del aire de carga del motor.

También existe el sistema de *agua suave*, el cual alimenta a los equipos auxiliares, como los separadores de aceite y de *bunker*. Es un agua tratada previamente en un suavizador. En la Figura 5 se describen los sistemas de agua de enfriamiento.

Figura 5 Sistema de agua de enfriamiento HT y LT



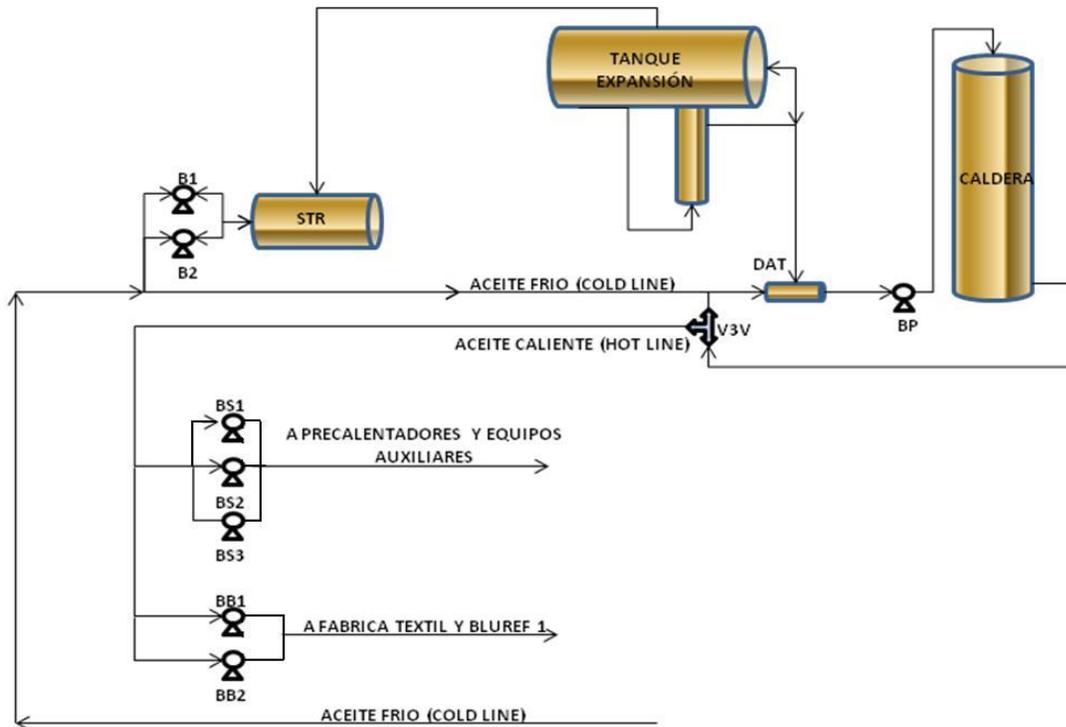
Código	Descripción
HT001	Tanque compensación de agua HT
LT001	Tanque compensación de agua LT
BHT	Bomba de circulación de agua HT
BLT	Bomba de circulación de agua LT
ED	Enfriador de diesel
VHT	Válvula de tres vías de agua HT
MOTOR	Motor MaK-Caterpillar 9M43C
INTERCOOLER	Intercooler de aire de carga del motor
RADIADORES	Radiadores de agua HT y LT
VLT	Válvula de tres vías de agua LT
EA	Enfriador de aceite lubricante

2.1.1.4 Sistema de aceite térmico.

Este sistema cumple la función de alimentar los precalentadores de *bunker*, así como también los precalentadores de los separadores de aceite y *bunker*. También es utilizado en la evaporación de los lodos, que son los desechos producidos por las purgas de los separadores.

El sistema está compuesto por calderas de aceite térmico, las cuales son calentadas utilizando el calor producido por los gases de escape, se utilizan bombas especiales para aceite térmico, las bombas secundarias las cuales alimentan a los precalentadores y equipos auxiliares y las bombas booster que alimentan a la fábrica textil y a la planta Bluref 1. En la Figura 6 se representa el sistema de aceite térmico.

Figura 6 Sistema de aceite térmico

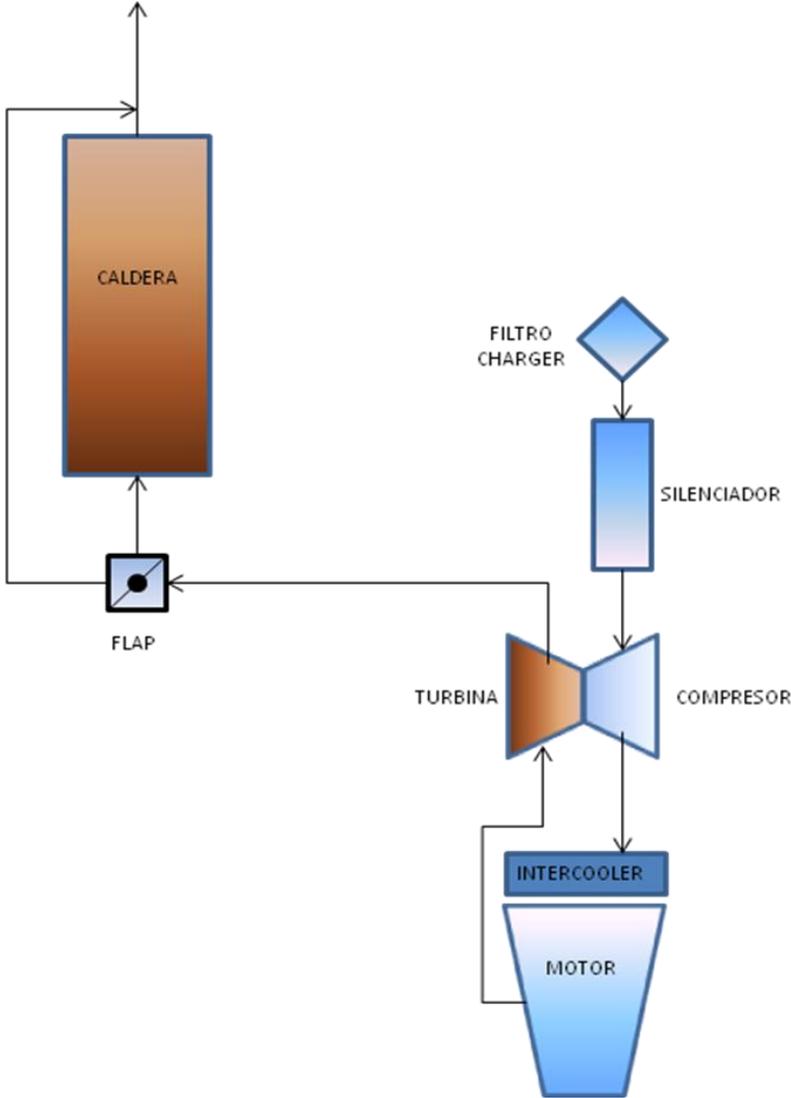


Código	Descripción
B1/2	Bomba del sub tanque de recuperación
BP	Bomba principal
STR	Sub tanque de recuperación de aceite térmico
V3V	Electro válvula de tres vías
CALDERA	Caldera de aceite térmico
TANQUE EXPANSIÓN	Tanque de expansión de aceite térmico
DAT	Distribuidor de aceite térmico
BS1/2/3	Bombas secundarias
BB1/2	Bombas booster

2.1.1.5 Sistema de aire de carga.

El sistema de aire de carga, está compuesto por el filtro *charger*, el turbo compresor, el intercooler, caldera de aceite térmico y un silenciador. El filtro *charger*, es un filtro de cedazo, el cual gira simulando una banda y recibe un baño de aceite periódicamente, posteriormente pasa al turbocompresor el cual introduce una mayor cantidad de aire al motor aumentando la densidad de oxígeno, el cual favorece la combustión dentro de los cilindros del motor. En el intercooler se enfría el aire de carga a 45°C. Después del proceso de combustión, la energía cinética de los gases de escape es aprovechada para mover la turbina que a su vez mueve el compresor. El calor de los gases de escape es aprovechado para calentar el aceite térmico que pasa por un serpentín dentro de la caldera para luego salir a la atmósfera. Por medio de un *flap*, se puede regular la cantidad de gases de escape que entran a la caldera, lo cual permite regular la temperatura del aceite térmico. En la Figura 7 se ejemplifica el sistema de aire de carga.

Figura 7 Aire de carga.



Código	Descripción
CALDERA	Caldera de aceite térmico
FLAP	Flap de gases de escape
FILTRO CHARGER	Filtro charger de baño de aceite
SILENCIADOR	Silenciador acústico de aire de carga
COMPRESOR	Turbocompresor de aire de carga
TURBINA	Turbina de gases de escape
INTERCOOLER	Intercooler de aire de carga
MOTOR	Motor MaK-Caterpillar 9M43C

2.2 Sistemas que influyen en el sistema de lubricación.

2.2.1 Función que ejerce el sistema de aceite térmico.

El sistema de aceite térmico tiene como función primordial, proveer del calor necesario para que el precalentador del separador de aceite eleve su temperatura, y así éste equipo pueda funcionar de una forma correcta y eficiente. El aceite térmico debe ser capaz de elevar la temperatura del aceite lubricante a 90°C, que es la temperatura de operación del separador. Al no lograr alcanzar esta temperatura, el separador de aceite no trabajará con toda su eficiencia. El objetivo de elevar la temperatura del aceite es para que, si existe la necesidad de sacar al motor de operación, la temperatura del aceite dentro del tanque de circulación no descienda demasiado, ya que la temperatura para el aceite lubricante es de 60°C en la entrada del motor.

La temperatura requerida del aceite térmico está entre los 185°C y los 200°C. Esto es porque la mayor cantidad de calor se transfiere en los precalentadores de *bunker* y en los tanques de almacén de combustible, lo cual hace que la temperatura del aceite térmico descienda considerablemente, y tomando en cuenta la cantidad de calor que se transfiere al ambiente por las tuberías, se

hace necesario elevar a estos valores la temperatura del aceite térmico.

Un factor que afecta directamente la temperatura del aceite térmico en el sistema es la carga a la que se encuentra el motor; a más carga, la temperatura de los cilindros aumenta y por lo tanto, la temperatura de los gases de escape. Además de eso, el hollín acumulado en el serpentín de la caldera hace que la transferencia de calor sea menor.

2.2.2 Función que ejerce el sistema de agua de enfriamiento.

Estos motores emplean como agente enfriador agua suave, líquido que no presenta contaminación alguna de calcio ni magnesio los cuales causan corrosión en tuberías y en las camisas de los motores. El agua de refrigeración es tratada con químicos, cuya función es mantener el sistema de tuberías libre de corrosión y sólidos en suspensión.

El agua de enfriamiento hace la función de regulador de la temperatura del aceite lubricante, por medio de una electroválvula de tres vías y el enfriador de aceite. Específicamente el agua del sistema LT la cual acondiciona la temperatura del lubricante.

La electroválvula de tres vías de aceite lubricante es la encargada de re circular el lubricante por el enfriador de aceite o darle paso hacia el motor. Todo éste proceso es automáticamente controlado por un PLC. Del buen funcionamiento de este sistema, depende que el aceite lubricante posea la temperatura requerida por el motor, y sea posible la lubricación de todas las partes móviles del mismo.

2.3 Condiciones de operación de un motor MaK-Caterpillar 9M43C.

Con todos los sistemas anteriormente descritos operando al cien por ciento, las condiciones de operación de un motor MaK-Caterpillar 9M43C a 100% de carga generando 7.5 MW se ven descritas en la tabla siguiente (Tabla I)

Tabla I Condiciones de operación de un motor MaK-Caterpillar 9M43C

Descripción	Magnitud
Temperatura Aceite Lubricante	60.0 °C
Presión Aceite Lubricante	72.57 psi
Viscosidad Aceite Lubricante	160 cSt
Presión Aceite Lubricante (pre lubricación)	21.77 – 26.12 psi
Presión Agua Refrigeración	43.54 psi
Temperatura Agua HT	80.0 °C
Temperatura Agua LT	35.0 - 40 °C
Temperatura <i>Bunker</i>	143.0 - 148.0 °C
Temperatura Diesel	60.0 °C
Viscosidad <i>Bunker</i>	10.0 - 12.0 cSt
Temperatura Aire de Carga	41.0 - 46.0 °C
Presión de Aire de Carga	43.54 psi
RPM del Motor	512 - 515 RPM
RPM del Turbocompresor	29,000.0 RPM Max.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

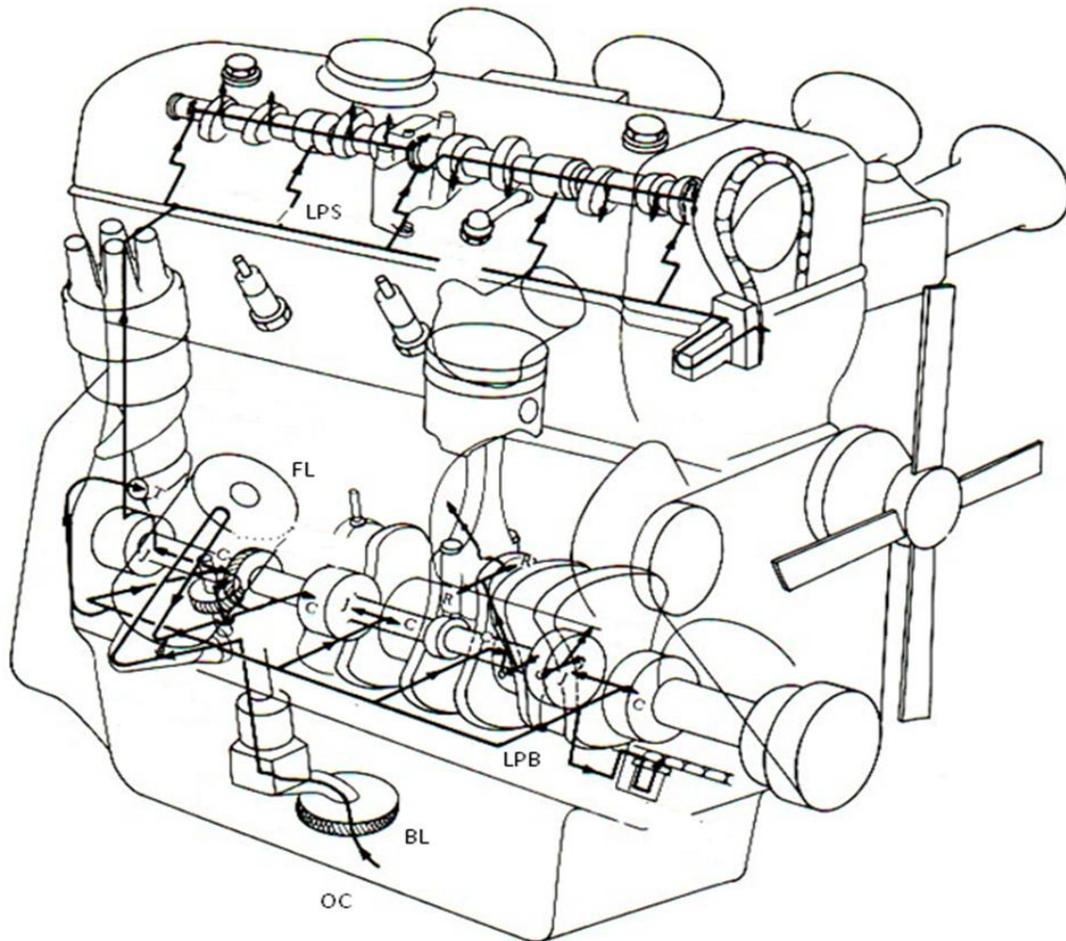
3.1 Análisis y funcionamiento del sistema de lubricación

Este sistema de lubricación está basado en un sistema convencional, que se puede apreciar perfectamente en un motor de un automóvil, camión, etc. Un motor convencional está principalmente compuesto por los siguientes elementos:

- i) Bomba de aceite.
- ii) Elemento filtrante.
- iii) Fluido lubricante.
- iv) Sistema de distribución y depósito del fluido lubricante.

El funcionamiento de un sistema convencional de lubricación se puede resumir en que la bomba de aceite es la encargada de tomar el fluido lubricante del cárter e impulsarlo por el sistema de distribución (que puede estar conformado por tuberías, mangueras y los mismos conductos del equipo a lubricar), y lubricar las piezas móviles del equipo. Una vez que el fluido lubricante completa su recorrido dentro del equipo, pasa por el elemento filtrante y regresa al depósito o cárter (Figura 8).

Figura 8 Sistema de lubricación convencional



Código	Descripción
LPS	Línea superior principal de lubricación
FL	Filtro de aceite
BL	Bomba de aceite lubricante
OC	Cárter
LPB	Línea principal de lubricación del block
C	Cojinete principal
R	Rodo conector
J	Cojinete de eje de unión
T	Engranaje impulsor del tacómetro
JT	Placa de empuje de eje de unión

Un sistema de lubricación convencional posee varias desventajas en cuanto a que una vez que el fluido lubricante pierde sus propiedades, es necesario el reemplazo total del mismo, lo cual en un motor pequeño como el de un automóvil, no representa un gran esfuerzo humano ni económico que pueda afectar algún proceso importante. Pero tomando en cuenta que un sistema de lubricación está presente en cualquier equipo o máquina, no importando su función, el cambio de un lubricante en un equipo de mucho mayor tamaño y de vital importancia para un proceso, puede llevar mucho tiempo, además de los costos de la compra de grandes cantidades de lubricante y la pérdida que conlleva sacar de operación dicho equipo para realizar el mantenimiento.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, nace el concepto de *tratamiento continuo de aceite lubricante*, que consiste en involucrar equipos de limpieza del lubricante, análisis de laboratorio y toma de decisiones para alargar la vida útil del lubricante. La gran ventaja de éste tipo de sistema de lubricación, es que no es necesario detener un equipo para el cambio de lubricante, ya que siguiendo ciertos procedimientos que se describen más adelante, se puede alargar la vida del lubricante. Dependiendo de los equipos que conformen el sistema de lubricación, se puede llegar a evitar por completo el cambio total del fluido lubricante.

3.2 Creación del diagrama base del sistema.

3.2.1 Listado de los equipos que conforman el sistema de lubricación de tratamiento continuo.

A continuación se presenta el listado de equipos que conforman el sistema de tratamiento continuo de aceite lubricante:

- i) Separador de aceite.
- ii) Bomba prelub.
- iii) Bomba *force*.

- iv) Filtro automático de aceite.
- v) Filtro dúplex de aceite.
- vi) Enfriador de aceite.
- vii) Electroválvula de tres vías.

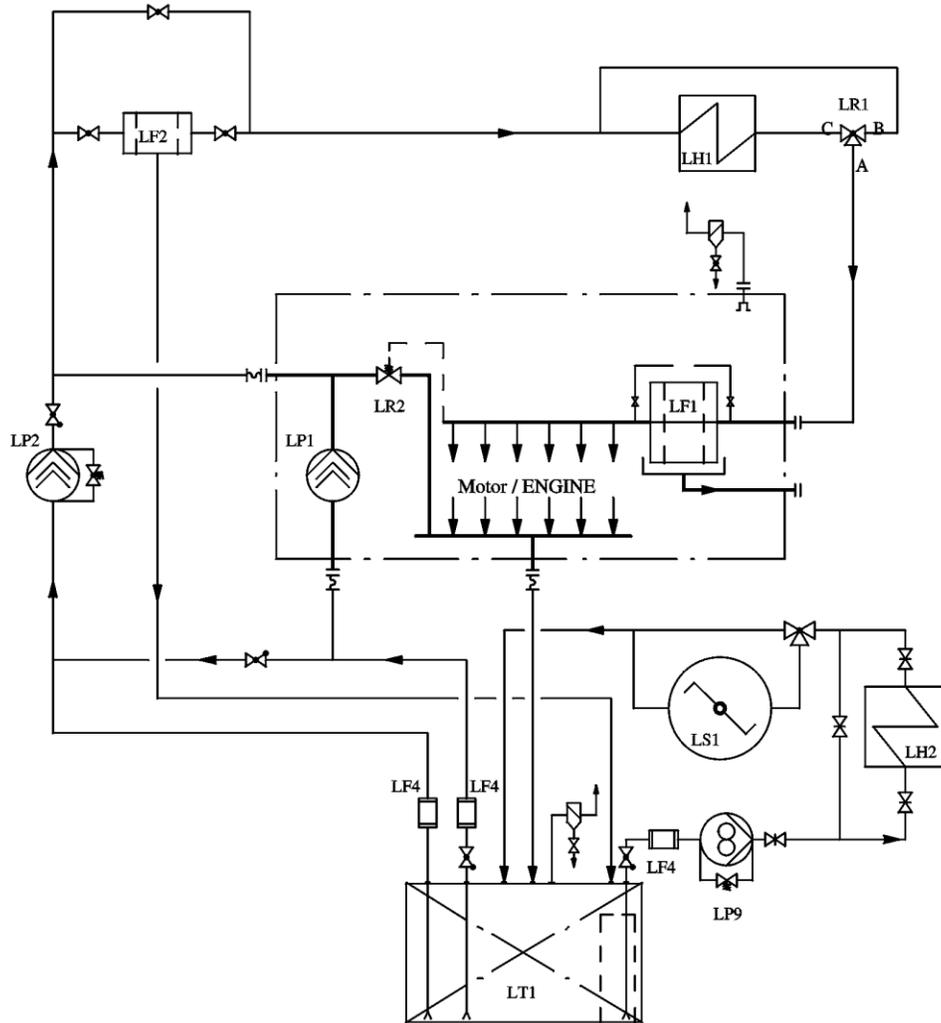
3.2.2 Recorrido del aceite lubricante dentro del sistema.

El proceso de lubricación comienza con la puesta en servicio de la bomba prelub, la cual cumple la función de pre lubricar el motor. Al mismo tiempo se pone en servicio el separador de aceite. Al momento de que el motor se pone en marcha, se acciona la bomba *force*, que está acoplada al tren de engranajes del motor. Cada una de las bombas (prelub y *force*) succionan el lubricante de una sección distinta del tanque de circulación. Luego el lubricante pasa por el filtro automático, el cual filtra el aceite a través de filtros de malla en forma de cilindros, agrupados en botellas. El lubricante se debe de enfriar, debido a que el proceso de limpieza del separador de aceite aumenta la temperatura del mismo, ésta función la realiza el enfriador de aceite. Por último pasa por el filtro dúplex, el cual es similar en algunos aspectos al filtro automático. Una vez lubricado el motor, el aceite sale de él y se deposita en una de las secciones del tanque de circulación de aceite lubricante, que es la sección donde succiona el separador de aceite y realiza su trabajo de limpieza.

3.2.3 Esquema base del sistema de lubricación.

A continuación se describe el diagrama base del sistema de lubricación para un motor MaK-Caterpillar 9M43C (Figura 9).

Figura 9 Sistema base de lubricación



Código	Descripción
LF1	Filtro dúplex de aceite lubricante
LF2	Filtro automático de aceite lubricante
LF4	Filtro de succión del tanque de circulación
LH1	Enfriador de aceite lubricante
LH2	Pre calentador de aceite lubricante
LP1	Bomba <i>force</i>
LP2	Bomba prelub
LP9	Bomba del separador de aceite lubricante
LR1	Válvula de control de temperatura de aceite lubricante
LR2	Regulador de presión de aceite lubricante
LS1	Separador de aceite lubricante
LT1	Tanque de circulación de aceite lubricante

3.3 Funcionamiento del sistema.

La función principal del sistema de tratamiento continuo es asegurar la continuidad de la producción, en este caso, asegurar la producción de energía eléctrica por medio de un motor recíprocante. Para ello se utilizan diferentes equipos que desempeñan una función especial dentro del sistema de lubricación.

Los equipos que definen a este sistema de lubricación como un sistema de tratamiento continuo son: el separador de aceite, el filtro automático de aceite y el filtro dúplex. Por lo tanto, estos equipos son los encargados de una parte del tratamiento del lubricante del sistema. La otra parte la complementan los análisis del aceite lubricante y la reposición del mismo, ya sea por consumo (del separador de aceite o del filtro automático), o por la sustitución de cierto porcentaje de aceite almacenado en el tanque de circulación.

Para asegurar la continuidad de la producción y la rentabilidad del trabajo, deberán eliminarse el agua y las impurezas sólidas del aceite lo

más rápido posible. Para ello resulta ideal el tratamiento continuo de los aceites, mediante la tecnología centrífuga. Las centrífugas autodeslodantes asumen esta tarea. Entonces podemos decir que la función principal del separador de aceite es eliminar las partículas sólidas (partículas metálicas, hollín, residuos de la combustión del combustible, etc.) arrastradas por el lubricante, y de una posible contaminación por agua (p.e. en el enfriador de aceite).

Sabiendo la importancia de mantener el aceite lubricante lo más limpio posible, el tanque de circulación de aceite está compuesto de tres secciones:

- i) Sección de llenado del tanque
- ii) Sección de retorno del lubricante
- iii) Sección de aceite tratado.

La sección de llenado del tanque está comunicada con la sección de aceite tratado, con el fin de regenerar las características del lubricante por medio de aceite lubricante nuevo. La sección de retorno de lubricante es la encargada de recibir el aceite que viene del motor y de las purgas del filtro automático de aceite. El separador de aceite limpia el aceite depositado en la sección de retorno y lo deposita en la sección de aceite tratado, de donde es bombeado nuevamente al motor por medio de la bomba *force*, o en por la bomba prelub si el motor está en proceso de puesta en marcha.

Para el filtrado del aceite se utiliza el filtro automático y el filtro dúplex. El filtro automático está compuesto por cilindros de malla, agrupados en grupos de ocho cilindros dentro de compartimientos. El filtro automático posee seis compartimientos los cuales rotan por medio de un motor eléctrico. La ventaja de la utilización de éste filtro radica en que al detectar una variación de presión a la salida del mismo, automáticamente

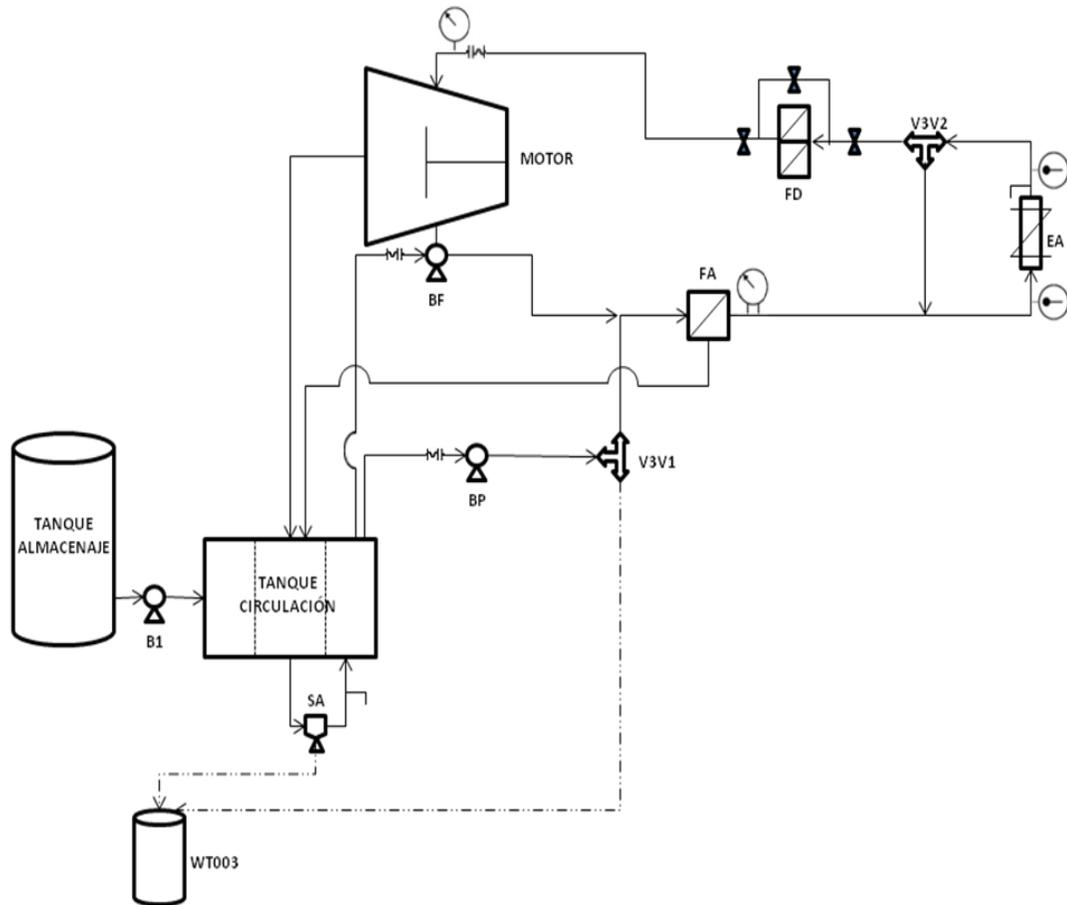
desvía el flujo de lubricante hacia otro compartimiento con filtros limpios. Este tipo de funcionamiento permite hacer una limpieza de los cilindros de malla, así como una inspección de los mismos sin la necesidad de detener la producción de energía eléctrica.

El filtro dúplex es el de funcionamiento más sencillo. Funciona de manera similar al filtro automático, con la diferencia de que solo posee dos compartimientos con filtros, y el cambio entre uno y otro compartimiento es de forma manual. Es el último paso en el proceso de filtrado del aceite y no presenta mayores problemas ya que la mayor parte de la limpieza del aceite la realiza el separador y el filtro automático.

3.4 Diagrama final del sistema.

A continuación se describirá el diseño final del sistema de lubricación de tratamiento continuo para un motor MaK-Caterpillar 9M43C (Figura 10).

Figura 10 Sistema de lubricación de tratamiento continuo.



Código	Descripción
TANQUE ALMACENAJE	Tanque de almacenaje de aceite lubricante
WT003	Tanque de lodos
TANQUE CIRCULACIÓN	Tanque de circulación seccionado de aceite lubricante
B1	Bomba de llenado de tanque de circulación seccionado de aceite lubricante
SA	Separador de aceite
BP	Bomba prelub
BF	Bomba forcé
MOTOR	Motor MaK-Caterpillar 9M43C
FD	Filtro dúplex de aceite lubricante
FA	Filtro automático de aceite lubricante
V3V1	Válvula de tres vías para vaciado de tanque de circulación
V3V2	Electroválvula de tres vías
EA	Enfriador de aceite lubricante
	Manómetro
	Manómetro diferencial
	Indicador de temperatura
	Junta de dilatación

3.5 Condiciones operación del sistema.

Las condiciones de operación del sistema de lubricación de tratamiento continuo cuando todos los equipos que lo componen trabajan al 100% de capacidad se describen en la tabla siguiente (Tabla II):

**Tabla II Condiciones de operación de el sistema de lubricación de tratamiento
continuo**

Descripción	Magnitud
Temperatura Aceite Lubricante	60.0 - 65.0 °C
Presión Aceite Lubricante (bomba <i>force</i>)	58.05 - 72.57 psi
Presión Aceite Lubricante (bomba prelub)	36.28 - 43.54 psi
Viscosidad Aceite Lubricante	160 cSt
Presión Aceite Lubricante (pre lubricación)	21.77 – 26.12 psi
Nivel del tanque de circulación (motor en operación).	66% - 1980.0 gal.
Incremento de temperatura del lubricante en la salida del motor	10.0 - 14.0 °C

3.6 Características del aceite lubricante utilizado.

Este tipo de lubricante es de la familia de aceites minerales con aditivos de elevada reserva alcalina, para mejorar el desempeño de los motores de combustión interna.

La viscosidad del lubricante es un grado SAE 40 con un número total base de 40, la utilización de este lubricante es recomendable cuando se trabaja con combustibles con un contenido de azufre de hasta 5 %. Este lubricante prolonga la vida de todos los componentes del motor, controlando el desgaste de los anillos y camisas de los cilindros, neutralizando los ácidos del combustible, protegiendo el desgaste adhesivo al eje de levas y cojinetes y extendiendo el periodo de desmontaje del motor. Garantiza de la misma forma la protección en condiciones severas de operación a elevadas temperaturas evitando la formación de depósitos en la parte inferior del pistón, proporcionando una adecuada tolerancia al agua.

Evita la formación de depósitos a causa de bajas temperaturas de trabajo, y de igual forma protege al motor contra la formación de herrumbre.

Los requerimientos del lubricante es que no se trabaje con un TBN menor a 18 mgKOH/g. Que se trabaje con una viscosidad no mayor de 150 CST en los motores de Bluref 1 y 160 CST en los motores de Bluref 2 y GCA. Además el lubricante no debe de presentar un porcentaje mayor a 1 de contenido de agua y un porcentaje mayor a 0.1 de insolubles.

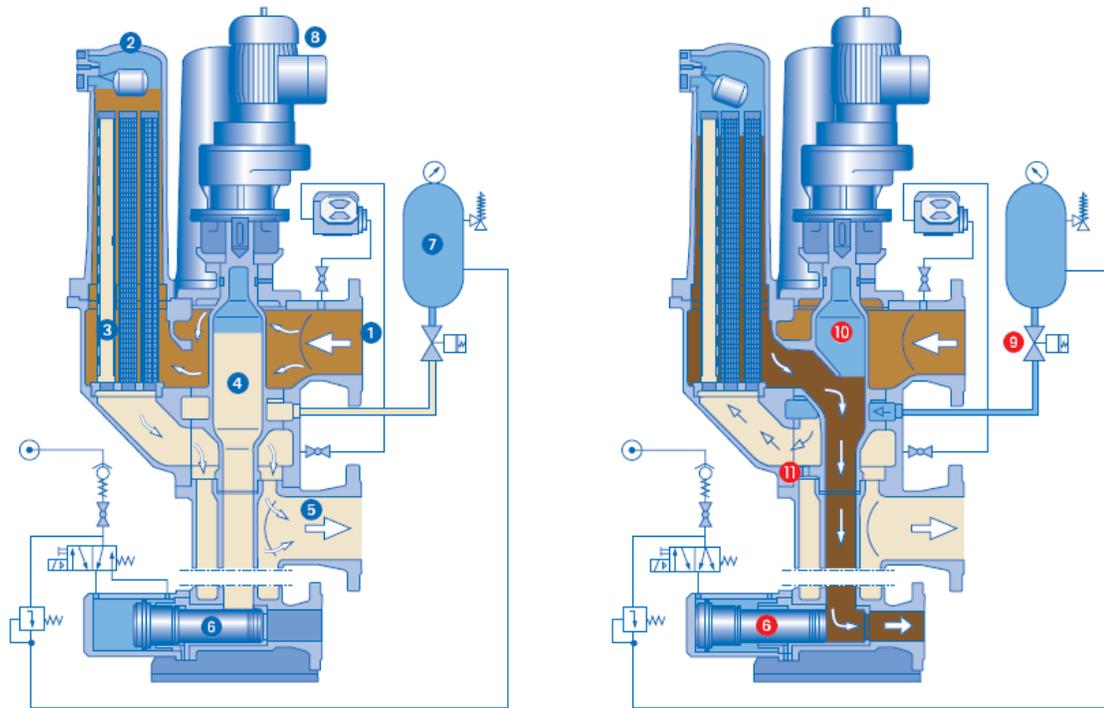
3.7 Descripción del principio de funcionamiento de los equipos del sistema.

3.7.1 Modo de operación de filtro automático de aceite.

El filtro automático de aceite básicamente se compone del housing inferior, dotado de un flange para la descarga de lodos, el housing superior donde se ubican los compartimientos con los cilindros de malla (o candelas) los cuales filtran el aceite, también se localiza el motor eléctrico, la entrada de aire comprimido, la válvula de seguridad, el diferencial de presión y la válvula manual de flushing.

El aceite lubricante entra por el *housing* superior, llenando el compartimiento de candelas. El lubricante pasa a través de las candelas de afuera hacia adentro quedando atrapadas todas las impurezas. Posteriormente el lubricante limpio desciende hasta el *housing* inferior por donde continúa su paso por el circuito de lubricación. El aire comprimido mantiene las impurezas (o lodos) atrapados para ser evacuados durante el siguiente ciclo de filtrado. Si el diferencial de presión registra una diferencia de presión excesiva entre la entrada y la salida del filtro automático, el motor eléctrico hará que el aceite lubricante entre a otro compartimiento con candelas limpias y así no afectar el proceso de lubricación del motor (Figura 11).

Figura 11 Fase de filtración y flushing del filtro automático de aceite



Filtrado

Flushing

1. Entrada de lubricante contaminado
2. Cámaras de filtración
3. Candelas
4. Mecanismo selector rotativo
5. Salida de lubricante filtrado
6. Válvula de descarga de lodos
7. Depósito de aire comprimido
8. Motor eléctrico

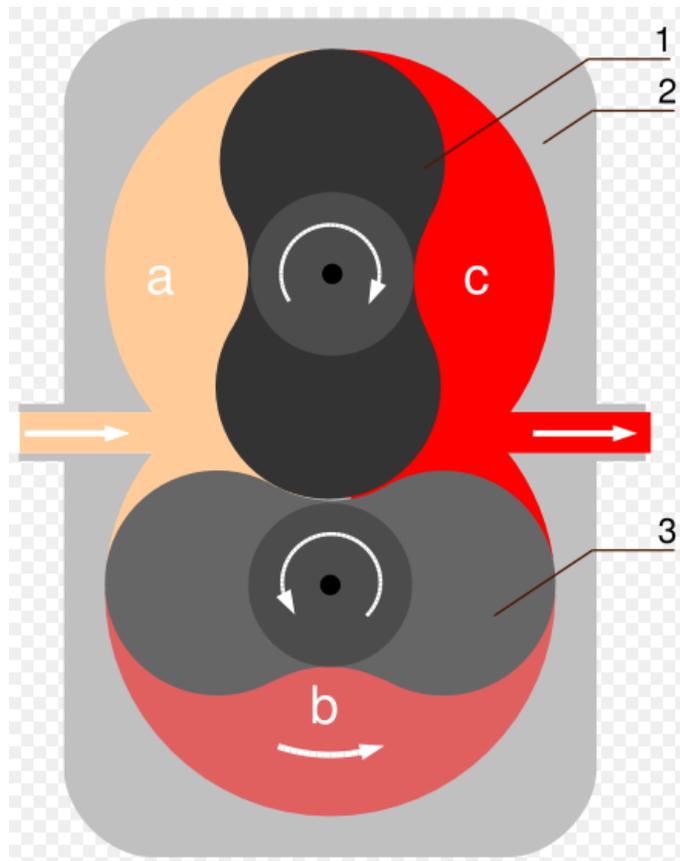
9. Electroválvula accionadora de válvula de descarga de lodos
10. Recámara de aire comprimido del mecanismo selector rotativo
11. Llenado inverso de la cámara de filtración

3.7.2 Modo de operación de bomba *force*.

La bomba *force* es una bomba de desplazamiento positivo de lóbulos dobles (Figura 12), la cual es accionada por medio del tren de engranajes del motor, por lo cual ejerce su función en el momento

en que el motor es puesto en marcha. Es la encargada de hacer circular todo el lubricante a través del sistema de lubricación.

Figura 12 Bomba force de lóbulos dobles.



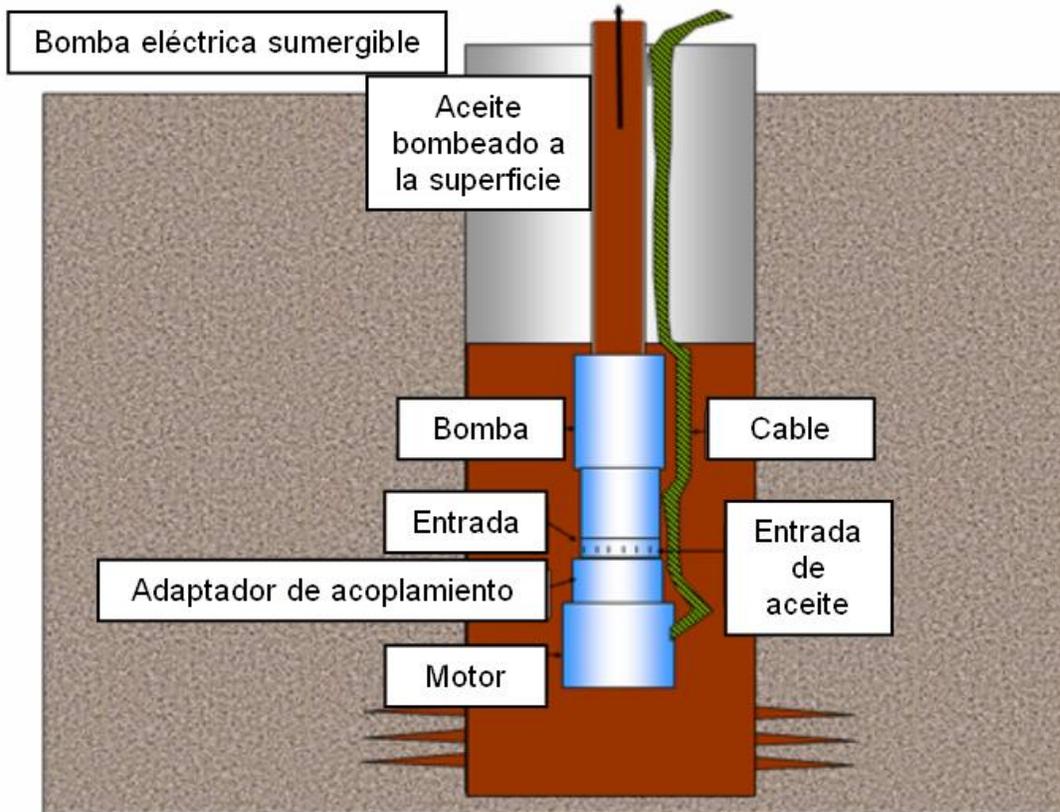
1. Lóbulo 1
2. Carcasa
3. Lóbulo 3
- a. Entrada del fluido
- b. Transporte del fluido
- c. Salida del fluido

3.7.3 Modo de operación de bomba prelub.

La bomba prelub es una bomba de tipo sumergible, accionada por un motor eléctrico. Se encuentra dentro del tanque de circulación de aceite lubricante. Esta bomba es accionada automáticamente previo a poner en servicio el motor. Su función es la de pre lubricar el motor antes de su poner en servicio el motor, evitando así un desgaste mayor en ese período de tiempo. Una vez que el motor está en servicio, ésta bomba deja de funcionar.

El sistema consiste en un número de rodets giratorios instalados en serie para aumentar la presión. La energía para hacer girar la bomba proviene de una red eléctrica de alta tensión que acciona un motor especialmente diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 150 °C (Figura 13).

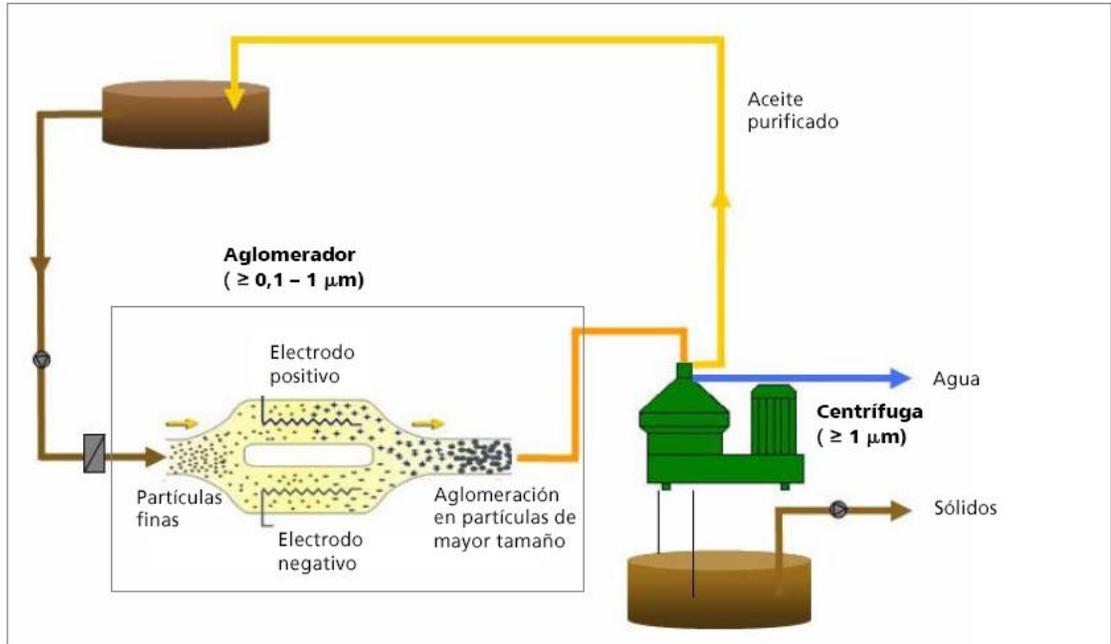
Figura 13 Bomba eléctrica sumergible



3.7.4 Modo de operación de separador de aceite.

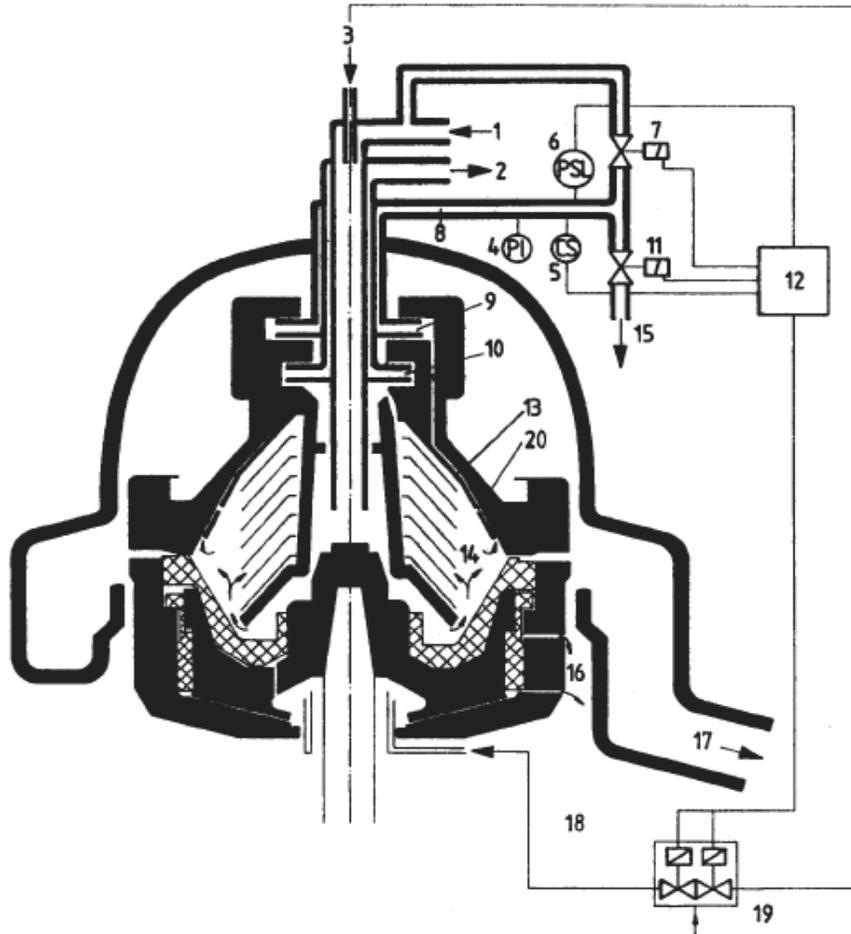
El aceite lubricante se calienta con un precalentador antes de ser tratado para obtener un buen grado de separación. A continuación pasa por el transductor de agua donde, por efecto de la tensión eléctrica, las diminutas partículas sólidas se aglomeran formando otras de mayor tamaño. Ésta aglomeración refuerza las propiedades gravitacionales de las partículas y mejora el resultado de la separación (Figura 14).

Figura 14 Aglomeración de partículas



El lubricante se envía a la centrifuga a través de una bomba de alimentación. La centrifuga va equipada con un tambor autodeslodante para tres fases. En el tambor rotativo se eliminan las impurezas, el agua y las partículas sólidas finas del producto. Las dos fases líquidas separadas se descargan a presión mediante un rodete centrípeto. Los sólidos eliminados, que se acumulan en la cámara de lodos, se descargan de forma automática como masa pastosa (Figura 15).

Figura 15 Esquema de un separador de aceite



- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 Alimentación del aceite sucio | 11 Válvula solenoide |
| 2 Descarga del aceite purificado | 12 Programador |
| 3 Agua de desplazamiento | 13 Plato separador |
| 4 Manómetro | 14 Cámara de lodos |
| 5 Sensor de conductividad | 15 Salida del agua sucia |
| 6 Presostato | 16 Salida del agua de maniobra |
| 7 Válvula solenoide | 17 Salida de lodos |
| 8 Flujo de líquido del sensor | 18 Alimentación agua de maniobra |
| 9 Rodete del sensor | 19 Bloque de válvula solenoides |
| 10 Rodete (aceite purificado) | 20 Orificios de control |

3.7.5 Modo de operación de enfriador de aceite.

Es un tipo de enfriador de placas atornilladas formado por un depósito en cuyo interior se colocan varios serpentines donde viaja el aceite lubricante. El lubricante entra por la parte superior del enfriador y sale por la parte inferior. El depósito del enfriador es inundado por el agua proveniente del sistema de agua LT, el cual entra al enfriador por la parte inferior y sale por la superior. El método de contracorriente asegura una mejor transferencia de calor entre el serpentín y el agua de enfriamiento.

4. MANTENIMIENTO DEL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

En éste capítulo se describirá el tipo de mantenimiento aplicado para que el sistema de lubricación trabaje con la mayor eficiencia posible.

La degradación y la contaminación del aceite lubricante es la causa principal de muchos fallos severos en los equipos. También reduce la vida de servicio del equipo y produce con frecuencia costos innecesarios de mantenimiento.

Los aceites se oxidan al ser sometidos a altas temperaturas o al estar en contacto con el aire, dando lugar a la formación de ácidos y compuestos de oxidación que pueden ser corrosivos y fomentar la formación de depósitos dando lugar a bloquear válvulas y circuitos que provocan el mal funcionamiento de los equipos. Ésta reacción se acelera al aumentar la temperatura del aceite, como sucede en éste sistema de lubricación.

4.1 Criterio para el mantenimiento del sistema de lubricación

El mantenimiento del sistema de lubricación de tratamiento continuo involucra una gran variedad de aspectos, desde toma de lecturas en equipos, monitoreo visual o por medio de computadoras, análisis de los datos obtenidos de lecturas de equipos y análisis del lubricante.

Además intervienen los mantenimientos programados para los equipos, como pueden ser limpiezas, reemplazos de piezas recomendadas por el fabricante. Todo lo anteriormente descrito se ve afectado por las horas de uso de cada equipo y por el grado de importancia del mantenimiento que se tenga que realizar.

4.2 Monitoreo del sistema y comportamiento de equipos.

El monitoreo del sistema comprende tanto la toma de lecturas en los paneles de los equipos que lo poseen, el chequeo visual de la instrumentación de todo el sistema y el monitoreo por computadora.

El operador de turno es el encargado de supervisar por medio del sistema SCADA el estado del sistema. Los chequeos visuales y tomas de lectura son responsabilidad del mecánico encargado, así como las reparaciones necesarias y los mantenimientos de rutina.

4.2.1 Toma de lecturas en equipos.

Como medida de control de cualquier equipo es recomendable la toma de lecturas de su funcionamiento, ya que al momento de un fallo o avería dentro del sistema las lecturas son de mucha utilidad en la detección de fallas y la toma de decisiones. Las tomas de lecturas van acompañadas de inspecciones visuales de los equipos, ya que es el único método de detección de fugas, grietas, etc.

En el separador de aceite, que es uno de los equipos críticos dentro del sistema de lubricación, se monitorean dos aspectos: el flujo de lubricante de entrada (entre 2 y 3 m³/h) y la contrapresión de salida (entre 26 y 29 psi).

Las lecturas tomadas en los equipos son un indicativo del buen o mal funcionamiento de un equipo y nos pueden dar una pauta de la calidad de los mantenimientos o reparaciones realizadas al mismo.

La gráfica siguiente muestra un ejemplo de una ficha de mantenimiento para un separador de aceite (Figura 16).

Figura 16 Hoja de mantenimiento mayor para un separador de aceite

GCA		SEPARADORES DE ACEITE WESTFALIA OSD 18					
Lugar	GCA	Separador	1	Servicio	MAYOR	Fecha	2/21/2007
						Hora	7:00
General:							
1	Revisión de faja de transmisión					nueva	
2	Supervisar erosiones y corrosión en el equipo (1 mm Max)					ok	mm
3	Chequeo de Limpieza de Nozzles					Destapados	
4	Cambio de Aceite (Mobil SHC 626)					3.5	lts
5	Limpieza de filtros (Agua, Aceite)					ok	
6	Horometro					24200	Hrs
7	Chequeo de marca de anillo de cierre con bowl					0 — 0	ok
Medicion de Parametros							
1	Conteo de platos (89+2 Lisos)					91 + 2	
2	Anillo de Teflon (Holgura 0.5 mm)					0.6	mm
3	Segundo anillo de teflon (min 0.5 mm)					0.5	
4	Altura del bowl (27 +/- 2)					28.4	mm
5	Numero de Roldanas para Altura del Bowl (4)					4	
6	Tornillos del bowl (15 Nm - 15 Nm)					15	Nm
						15	Nm
7	Tornillo del bowl (75 Nm)					75	Nm
8	Medicion de Zapatas Clutch (h min 18 mm)					25.5	mm
9	Numero de zapatas (4)					4	
Vibraciones							
Punto	Horizontal	Axial	Vertical				
1				mm/s			
2				mm/s			
3				mm/s			
Comentarios							
EJE VERTICAL: UN POCO DAÑADA LA CAMISA DE LOS DOS COJITENES PARTE EXTERNA							

4.2.2 Hojas de control.

El control de los equipos en cualquier sistema es de gran importancia, tanto para evitar o detectar fallas y para evitar cualquier consecuencia de riesgo por la mala operación de un equipo. Para el

control de los equipos, y poder llevar un historial del mismo se utilizan hojas de control.

Normalmente las hojas de control son ideadas dependiendo la necesidad o los parámetros que deseamos monitorear (Figura 17).

Figura 17 Hoja de control para separadores de aceite

SEPARADORAS DE ACEITE BLUREF I		
Separadora	Flujo (m3/h)	Contrapresión (psi)
3	2	29
4	2	29

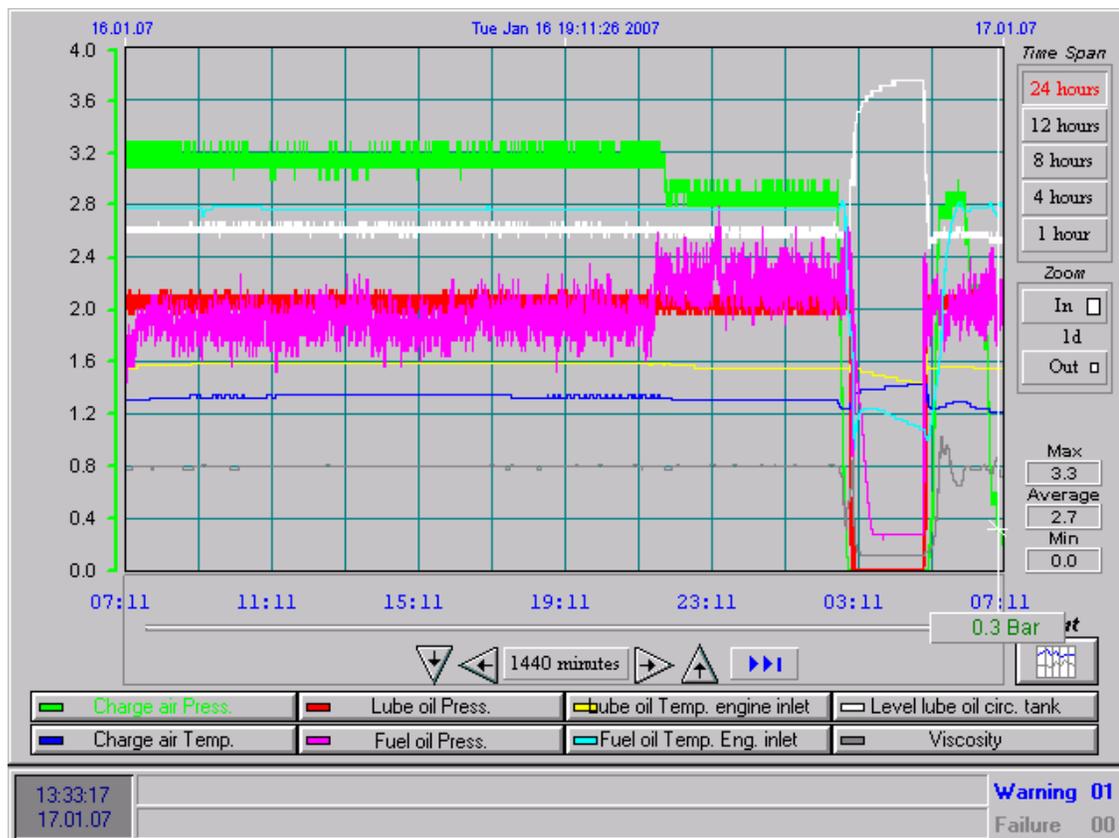
SEPARADORAS DE ACEITE BLUREF II		
Separadora	Flujo (m3/h)	Contrapresión (psi)
6	2	29
7	2	29
8	2.5	29
9	2.4	26
10	2.5	29
11	2.5	29
12	2.9	26
13	2.9	26

SEPARADORAS DE ACEITE GCA		
Separadora	Flujo (m3/h)	Contrapresión (psi)
1	2.4	26
2	2.4	26

Como medio de control para todos los sistemas que comprenden la central generadora se utiliza un sistema informático SCADA, el cual representan en un modo gráfico todas las lecturas

de los sensores de la planta como niveles de tanques, temperaturas, presión, velocidades, magnitudes eléctricas, arranque y paro de equipos, etc. Adicionalmente a esto se pueden consultar los histogramas de ciertas variables dentro de la planta. Un histograma representa gráficamente en función del tiempo las variaciones de una magnitud (Figura 18).

Figura 18 Histograma de un sistema SCADA.



4.3 Análisis de aceite lubricante.

Mediante el análisis físico-químico del aceite se determina tanto el estado del equipo o sistema al que pertenece como del lubricante. El aceite transmite información sobre las superficies lubricadas, arrastrando las partículas de desgaste de la zona de contacto, proporcionando una valiosísima información sobre las partes internas de motores, sistema hidráulico, mando final, etc. y en general de cualquier elemento lubricado. Por otro lado, el análisis del aceite nos proporciona información sobre su propio estado. Este sistema de mantenimiento predictivo se puede aplicar a cualquier equipo lubricado.

Los objetos de los análisis físico-químicos son los siguientes:

- i) Controlar la calidad del aceite nuevo.
- ii) Determinar la capacidad de servicio del aceite en servicio.
- iii) Diagnosticar las condiciones internas del equipo o sistema al que pertenece.
- iv) Proponer las medidas correctoras de acuerdo con el estado del aceite o el equipo. al que pertenece.
- v) Recomendar efectuar los tratamientos de reciclaje óptimos para corregir los defectos existentes o potenciales.

La vida útil de un aceite, o vida remanente, es el período de tiempo de funcionamiento del aceite en un equipo, hasta que los antioxidantes se consumen, produciendo grandes cambios en las propiedades físicas y químicas del aceite base debido a la oxidación. La vida útil del aceite está relacionada con la estabilidad a la oxidación del mismo y consecuentemente con la capacidad antioxidante que todavía posee. Ésta capacidad antioxidante está claramente relacionada con el grado de deterioro que ya ha sufrido el lubricante, por lo que determinar e identificar

los productos de oxidación también nos permite estimar su tiempo de vida útil. Los análisis de aceite se deben de realizar periódicamente al menos dos veces al mes.

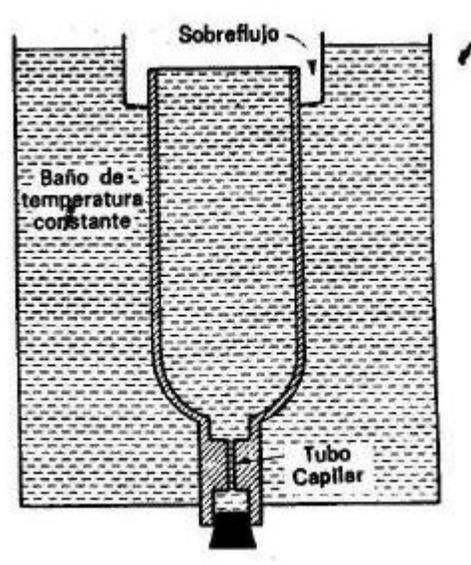
A continuación describiremos los análisis más comunes realizados al aceite lubricante que utiliza el sistema.

4.3.1 Análisis de viscosidad.

El concepto de viscosidad está vinculado a la propiedad que poseen los fluidos de fluir con mayor o menor facilidad. En general podría decirse que el aumento de viscosidad de un fluido determina la menor rapidez con que fluye, y viceversa. Es aquella propiedad en virtud de la cual el lubricante opone una resistencia, al deslizamiento mutuo (estacionario, es decir, no acelerado) de dos capas contiguas (resistencia que es función del gradiente de velocidad. La representación gráfica de la viscosidad (y de la viscosidad estructural), referida a la temperatura, presión, proporciones de mezcla y gradiente de velocidad, a partir de dos o tres valores experimentales, da en el visco grama de líneas rectas.

El viscosímetro Saybolt (Figura 19) es una adaptación del tubo capilar a fines industriales. Se utiliza un tubo corto capilar, midiendo el tiempo que tardan en fluir 60 cm³ de fluido a través del tubo bajo una cierta altura. El tiempo en segundos es la lectura Saybolt. Este dispositivo mide la viscosidad cinemática.

Figura 19 Viscosímetro Saybolt



4.3.2 Análisis de TBN.

El número de base total o TBN indica la cantidad de ácido, expresada en miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar todos los componentes básicos presentes en un gramo de muestra.

La detergencia es una de las propiedades que deben tener los lubricantes para motores. Su misión reside en mantener en suspensión las partículas contaminantes en el seno del aceite, evitando que entren en contacto con las partes metálicas. Éstos aditivos tienen, total o parcialmente, una naturaleza químicamente básica y confieren al aceite una reserva alcalina denominada TBN, que permite al aceite neutralizar el ácido sulfúrico formado en la combustión, debido al azufre presente en el combustible.

Por consiguiente, este análisis es de vital importancia debido a que mantener estable el TBN en el lubricante evita un desgaste prematuro de las piezas metálicas del motor.

4.3.3 Análisis de porcentaje de agua en el aceite.

La presencia de agua en el aceite es un indicativo de una filtración de agua hacia los conductos de aceite del motor, o que algún otro equipo del sistema de lubricación no está operando correctamente.

Es común encontrar cierto porcentaje de agua en el aceite, pero si se excede el máximo de 1% es un indicativo de filtración de agua por alguno de los equipos del sistema de lubricación o dentro del mismo motor.

Debido a altas temperaturas, o a deficiencias del sistema de enfriamiento del motor, pueden existir deformaciones en las culatas, lo cual puede provocar filtración de agua y la contaminación del aceite por éste motivo. Otro punto de filtración puede ser en el enfriador de aceite, en donde un serpentín pueda tener alguna grieta donde pueda penetrar el agua de enfriamiento.

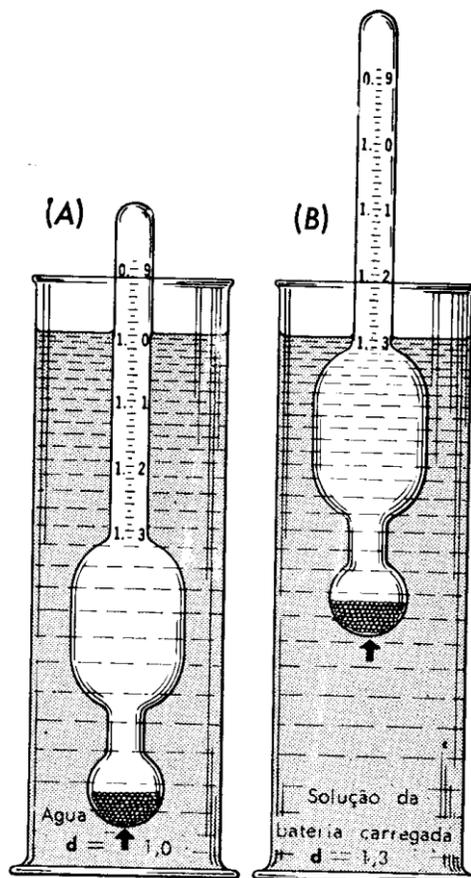
En el separador de aceite es común encontrar este tipo de fallas, ya que el agua que forma el sello hidráulico dentro del separador está en contacto directo con el aceite. Por éstos motivos se debe de realizar periódicamente un análisis de lubricante para detectar el porcentaje de agua dentro del aceite, y así evitar el óxido y la corrosión dentro del motor u otros equipos.

4.3.4 Análisis de densidad.

Si bien el comportamiento de los sólidos rígidos depende en general de su masa total, en los fluidos en cambio, interesa conocer perfectamente las propiedades en cada uno de sus puntos. Por ese motivo, el concepto de masa es sustitutivo en los fluidos por el de densidad o masa de la unidad de volumen.

Los densímetros son aparatos que sirven para apreciar la densidad de los líquidos. En esencia están formados por una ampolla de vidrio que hace de flotador, lastrada en la parte inferior por una capsulita con mercurio o munición de plomo, prolongada en la parte superior con un tubo, generalmente cilíndrico. Sumergidos en un líquido afloran en el mismo, tanto más, cuanto mayor es su peso específico. Para definir en términos numéricos este afloramiento, se calibran previamente, sumergiéndolos primero, en agua destilada, y después, en una solución de sal marina (Figura 20).

Figura 20 Densímetro



4.4 Análisis de resultados en equipos y aceite lubricante.

El análisis de los resultados de las lecturas, hojas de control y pruebas de laboratorio del lubricante es esencial para un buen mantenimiento del sistema de lubricación. Es igual de importante que el mantenimiento a los equipos que conforman el sistema de lubricación.

Basados las lecturas tomadas en los equipos se puede tomar una decisión de la reconfiguración de los parámetros de operación de los mismos, lo cual en determinado momento puede beneficiar el proceso de lubricación. Las hojas de control sirven como un historial de operación y fallas de un equipo en particular, lo que es de gran ayuda en la toma de decisiones o en el diagnóstico de fallas que se han detectado con anterioridad. El sistema SCADA es de gran ayuda ya que por medio de éste, se puede monitorear ciertas variables y liberar de esa carga al operario de cierto equipo. Los histogramas sirven para consultar las variables de un equipo en el momento de una falla y compararlas con otras.

Los resultados obtenidos de los análisis realizados al lubricante son de vital ayuda, ya que por medio de éstos se puede saber el estado en que se encuentra aceite, la degradación de sus propiedades. Los análisis de éstos resultados también son una herramienta importante en la detección de fallas en equipos, ya que aparte de los análisis mencionados existen otros más especializados como el análisis ferro magnético que nos puede indicar el grado de desgaste en un equipo.

4.5 Medidas correctivas según fallas encontradas.

Las correcciones y prevenciones de fallas es el resultado final del monitoreo y el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los equipos del sistema de lubricación. Existen indicativos que nos pueden orientar en el diagnóstico de un problema determinado, así como en la corrección del mismo.

Una de las fallas más comunes es una baja o elevada presión del lubricante dentro del sistema, siendo, en la mayoría de los casos, una obstrucción en el sistema. Ésta obstrucción puede ser provocada por un filtro (en la mayoría de los casos), derivado de un mal funcionamiento del mismo. El filtro automático puede ser el principal causante de una baja presión de lubricante.

Una baja presión de aceite puede afectar de manera crítica los componentes móviles del motor, causando desgaste excesivo, aumento de temperatura, deformación y colapso de los componentes (en casos extremos).

Si el lubricante presenta una elevada temperatura, la presión aumentará dentro del sistema. Inmediatamente se debe de hacer una revisión en el enfriador de aceite, chequeando la temperatura de entrada y salida de lubricante. La electroválvula de tres vías del enfriador puede ser la causa de éste problema.

Los análisis de aceite nos proporcionan valiosa información, tanto del estado del lubricante como de los equipos del sistema de lubricación. Un aceite con espuma o de apariencia lechosa es un indicativo de que existe un porcentaje de agua mayor al valor permisible. Las posibles causas de la contaminación por agua son: el separador de aceite, el enfriador de aceite y fallas en el motor (problemas en culatas por deformación, corrosión, camisas de cilindro agrietadas). Un alto contenido de partículas metálicas en el aceite es un indicativo de que dentro del motor existen anomalías en cuanto al desgaste de las piezas. Normalmente después de un mantenimiento mayor de un motor (*overhaul*), se pueden registrar niveles de partículas metálicas mayores al nivel permisible, ya que debido al cambio de piezas móviles o fijas que sufren desgaste como metales de biela, asientos de válvulas, etc. Estas piezas al ser nuevas presentan una holgura menor a las piezas reemplazadas (p.e.

holgura entre metales de biela, metales de cigüeñal, etc.), lo cual hace que la capa de lubricante entre ellas sea más delgada, provocando así que en esos puntos se trabaje con niveles de lubricación límite.

Recordemos que el fin principal de un sistema de lubricación de tratamiento continuo es evitar el reemplazo de todo el lubricante del sistema. Cuando los análisis de aceite lubricante nos muestran una degradación de las propiedades del lubricante, es necesario “regenerar” el sistema. La regeneración del sistema consiste en desechar un porcentaje de lubricante (entre un 3% y un 12%, dependiendo de las horas de operación del sistema), y reemplazarlo con lubricante nuevo.

Este procedimiento se realiza con la bomba prelub y la válvula de tres vías de vaciado del tanque de circulación (V3V1 – Figura 10). La regeneración de las propiedades del lubricante permite mantener las características del mismo en niveles aceptables de operación.

5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO PARA UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE TRATAMIENTO CONTINUO DE ACEITE LUBRICANTE FRENTE A UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CONVENCIONAL PARA UN MOTOR MAK-CATERPILLAR 9M43C.

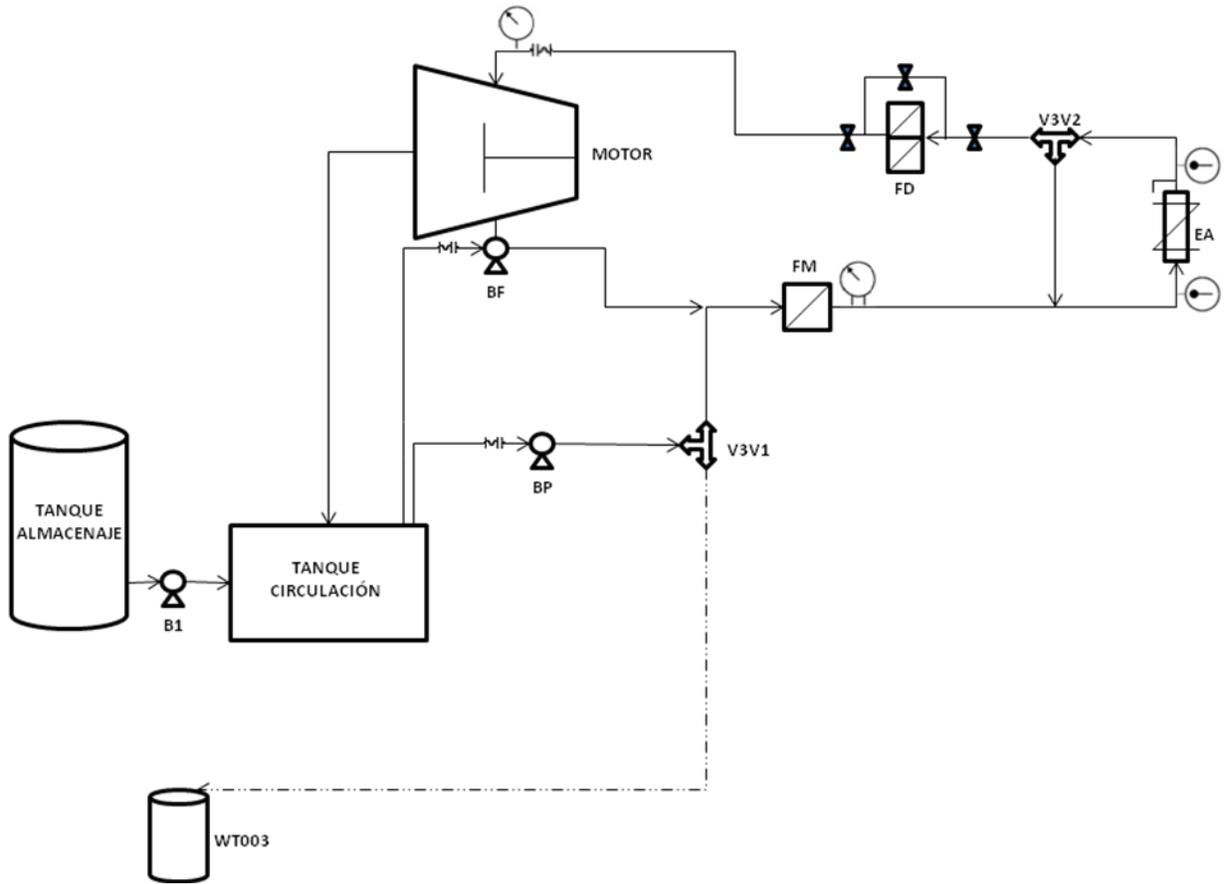
En este capítulo se hará una comparación en el costo de mantenimiento entre un sistema de lubricación convencional y un sistema de lubricación de tratamiento continuo. Se describirán las ventajas y desventajas que posee cada uno de ellos. La comparación está hecha con el mismo sistema de lubricación convencional para un motor MaK-Caterpillar 9M43C y el sistema de tratamiento continuo para el mismo motor.

5.1 Descripción del sistema convencional de lubricación.

Un sistema de lubricación convencional se compone principalmente de una bomba de lubricación, elementos filtrantes y un fluido lubricante. El sistema convencional para un motor MaK-Caterpillar 9M43C no posee el separador de aceite y el filtro automático es un filtro de mallas pero sin el mecanismo rotor que es la característica de éste filtro.

El diagrama del sistema convencional se muestra en la Figura 21, y como se puede observar posee la misma estructura que el sistema de lubricación de tratamiento continuo, pero sin los dos equipos ya mencionados y con la característica de que el tanque de circulación de aceite no está seccionado.

Figura 21 Sistema de lubricación convencional de un motor MaK-Caterpillar 9M43C



Código	Descripción
TANQUE ALMACENAJE	Tanque de almacenaje de aceite lubricante
WT003	Tanque de lodos
TANQUE CIRCULACIÓN	Tanque de circulación de aceite lubricante
B1	Bomba de llenado de tanque de circulación seccionado de aceite lubricante
BP	Bomba prelub
BF	Bomba forcé
MOTOR	Motor MaK-Caterpillar 9M43C
FD	Filtro dúplex de aceite lubricante
FA	Filtro de aceite lubricante
V3V1	Válvula de tres vías para vaciado de tanque de circulación
V3V2	Electroválvula de tres vías
EA	Enfriador de aceite lubricante
	Manómetro
	Manómetro diferencial
	Indicador de temperatura
	Junta de dilatación

El sistema de lubricación convencional necesita un tipo de mantenimiento diferente al sistema de lubricación de tratamiento continuo. Como podemos observar en la Figura 21, este sistema no posee el separador de aceite ni el filtro automático, que son la característica principal del sistema de lubricación de tratamiento continuo.

5.2 Descripción del mantenimiento para un sistema convencional de lubricación

El mantenimiento de un sistema de lubricación convencional se basa principalmente en el cambio de lubricante, filtros y mantenimiento de equipos (limpieza de filtros, mantenimientos de rutina en bombas, etc.).

Para hacer el mantenimiento del sistema convencional de lubricación en lo que refiere al cambio de aceite lubricante, es necesario sacar de operación el motor, por lo cual se detiene la producción del mismo. La cantidad de aceite lubricante almacenada dentro del tanque de circulación es de 3200 galones, los cuales por medio de la bomba prelub son enviados al tanque de lodos WT003.

El vaciado del tanque de circulación necesita cerca de una hora y media de bombeo, ya que es necesario esperar a que el aceite lubricante que se encuentra dentro del motor se deposite en el tanque de circulación. El llenado del tanque se lleva a cabo en una hora. Posteriormente se procede a lubricar el motor por un período de quince minutos.

Los mantenimientos a los equipos se realizan de igual manera, dentro del período de tiempo en que el motor está fuera de servicio. Éste tipo de mantenimiento consiste en el lavado de las candelas de los filtros. El proceso de limpieza de las candelas consiste en una limpieza previa con combustible diesel y posteriormente un lavado a presión con un químico especial.

El proceso de mantenimiento de un sistema de lubricación convencional requiere dos horas y cuarenta y cinco minutos, los cuales representan gastos por el reemplazo del lubricante, mano de obra operativa, gastos de material de bodega (diesel, químico para limpieza, wipe, etc.), y una pérdida de ingresos por la indisponibilidad y no

generación de 7.5 MWh. durante el tiempo que el motor esté fuera de servicio.

5.3 Análisis de costos del mantenimiento de un sistema de lubricación convencional para un motor MaK-Caterpillar 9M43C.

Para el cálculo de los costos de mantenimiento de un sistema convencional para un motor MaK-Caterpillar 9M43C se considerará un tiempo de paro de 2 horas y cuarenta y cinco minutos, el precio del lubricante, materiales de bodega (diesel, wipe, químico para limpieza de candelas, etc.), y una pérdida de ingresos por la indisponibilidad y no generación de 7.5 MWh. durante el tiempo que el motor esté fuera de servicio.

El cálculo de los costos de mantenimiento para el sistema de lubricación convencional se presenta a continuación (Tabla III).

Tabla III Costos de mantenimiento para un sistema convencional de lubricación.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN CONVENCIONAL

	Precio Unitario	Cantidad	Total
Lubricante (gal.)	Q97.45	3200 gls.	Q311,840.00
kWh no generado durante el período de mantenimiento (2.75 h)	Q1.07	20625 kWh	Q22,068.75
Mano de obra mecánica (realizado por cuatro mecánicos).			Q1250.00
Materiales de bodega			
Diesel	Q32.50	5.00 gls.	Q162.50
Químico para limpieza de candelas	Q53.40	10.00 gls.	Q534.00
Wipe, silicone, etc.			Q150.00
TOTAL			Q336,005.25

Nota: El cambio de aceite lubricante se realizará en intervalos de 1500 horas.

Como se puede observar, el costo del mantenimiento es sumamente elevado, lo cual tiene un gran efecto sobre las ganancias y se ve incrementado por el costo del lubricante y la cantidad de kWh no generado durante el período de mantenimiento. Éste tipo de mantenimiento se hace menos rentable si el motor está en operación continuamente.

5.4 Descripción del mantenimiento para un sistema de lubricación de tratamiento continuo de lubricante.

El mantenimiento de un sistema de lubricación de tratamiento continuo posee ciertas diferencias con respecto al mantenimiento de un sistema convencional de lubricación. El tratamiento del sistema de

tratamiento continuo se puede dividir en el área de mantenimiento de equipos y en el área de análisis.

El área de mantenimiento de equipos consiste en la revisión periódica de los equipos principales que conforman el sistema, como el separador de aceite, y los diferentes filtros. El mantenimiento de rutina del separador de aceite consiste en la limpieza de los platos separadores (Fig. 15). Por ser un equipo en el cual la mayoría de componentes se mantienen en movimiento, es necesario tomar vibraciones y holguras en diferentes puntos. El cambio de aceite lubricante del separador es una parte importante del mantenimiento, así como la limpieza de los filtros de agua y de aceite. En la Figura 16 se muestra una hoja de mantenimiento de un separador de aceite.

En el filtro automático es de vital importancia la buena limpieza de las candelas y el manómetro diferencial, ya que si éste último no trabaja apropiadamente puede proporcionar lecturas erróneas, que provocarían que el sistema SCADA realice una salida de línea de emergencia del motor innecesaria.

Al filtro dúplex solamente se le realiza la limpieza de candelas y una inspección de las mismas. También se inspeccionan los filtros de succión de las bombas *force* y prelub así como las válvulas de cheque de ésta última.

El mantenimiento por medio de análisis, se lleva a cabo por medio de los resultados de los análisis de laboratorio realizados a la muestra de lubricante del motor. La muestra se extrae de la salida de aceite del enfriador. Dependiendo de los resultados recibidos en los análisis, se pueden tomar diferentes medidas en cuanto a la operación de los equipos o en la variación de sus parámetros.

Por medio de los análisis de aceite se toma la decisión de sustituir cierto porcentaje del lubricante del tanque de circulación por aceite nuevo. Este procedimiento se realiza con el objetivo de mantener las propiedades del lubricante en niveles de operación aceptables.

A continuación se presenta el costo de mantenimiento del sistema de lubricación de tratamiento continuo (Tabla IV).

Tabla IV Costos para un sistema de lubricación de tratamiento continuo.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE TRATAMIENTO CONTINUO

	Precio Unitario	Cantidad	Total
Lubricante (gal.)	Q97.45	96 gls - 384 gls.	Q9355.20 - Q37420.80
Análisis de una muestra de aceite lubricante	Q650.24	1 muestra	Q650.24
Mano de obra mecánica (mantenimiento realizado por dos mecánicos).			Q625.00
Materiales de bodega			
Diesel	Q32.50	15.00 gls.	Q487.50
Químico para limpieza de candelas	Q53.40	20.00 gls.	Q1068.00
Wipe, silicone, etc.			Q350.00
		TOTAL	Q12,535.94 - Q40,601.54

Nota: El costo de mantenimiento de un sistema de lubricación de tratamiento continuo puede variar dependiendo de la cantidad de lubricante que se sustituya en el tanque de circulación. Dependiendo de las horas de servicio del motor, éste mantenimiento se aplica de dos a tres veces por mes.

5.5 Análisis de resultados y comparación de los dos sistemas.

Como se puede apreciar, los mantenimientos entre un sistema convencional de lubricación y uno de tratamiento continuo difieren en gran parte, tanto en el costo de cada uno como en la rutina de mantenimiento implementada en cada sistema.

Un aspecto que comparten los dos sistemas es la sustitución de lubricante dentro del sistema, aunque en el sistema convencional la sustitución del lubricante es total. Ésta característica es la principal diferencia entre los dos sistemas, que se ve reflejada en el costo del mantenimiento de cada sistema. Por el contrario, en el sistema de lubricación de tratamiento continuo la sustitución del lubricante se realiza basado en resultados de los análisis de aceite con el objetivo de mantener las propiedades del lubricante en niveles aceptables de operación.

Una de las características que comparten los dos sistemas es la limpieza de las candelas de los filtros. La frecuencia del lavado de las candelas se ve aumentada en el sistema de tratamiento continuo a causa del sistema de rotación del filtro automático de aceite.

La diferencia más notoria es que para realizar el mantenimiento del sistema de lubricación de tratamiento continuo no es necesario sacar de servicio el motor evitando así detener la producción del mismo, lo que no afecta las ganancias por la venta de energía eléctrica. A continuación se presentan las ventajas y desventajas de cada sistema (Tabla V).

Tabla V Comparativa entre el sistema convencional y el sistema de tratamiento continuo

SISTEMA CONVENCIONAL DE LUBRICACIÓN

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor frecuencia entre cada mantenimiento.	Alto costo de mantenimiento.
Menor cantidad de equipos en el sistema.	Existe una pérdida en las ganancias de la producción.
Equipos más sencillos de operar y monitorear.	Es necesario utilizar una mayor cantidad de personal para realizar el mantenimiento.
Se utilizan menos materiales de bodega.	Se utilizan grandes cantidades de lubricante.
Se puede aprovechar el tiempo del mantenimiento para realizar reparaciones en otros equipos de la central generadora.	Se necesitan tanques más grandes para el almacenaje del lubricante sustituido en el mantenimiento.
No se necesita analizar el lubricante constantemente.	

SISTEMA DE TRATAMIENTO CONTINUO

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor costo de mantenimiento.	El intervalo entre dos mantenimientos es menor.
Se utiliza menos lubricante en el mantenimiento.	Se incrementa la cantidad de materiales de bodega utilizados en el mantenimiento.
No es necesario sacar de servicio el motor.	Es necesario un monitoreo constante de los equipos.
Se necesita menos personal para realizar el mantenimiento.	El lavado de las candelas de los filtros se convierte en una tarea diaria.
Se utilizan equipos que se operan automáticamente.	Existen más equipos propensos a fallas, como el separador de aceite y el filtro automático.
El tiempo para realizar el mantenimiento es menor.	
Se utilizan equipos con tecnología reciente y más eficiente.	

6. IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

En este capítulo se implementarán tres prácticas para el laboratorio de Motores de Combustión Interna, el cual se imparte en la Escuela de Ingeniería Mecánica, con el objetivo de describir nuevas tendencias y tecnologías aplicadas al área de lubricación, tomando como ejemplo un motor MaK-Caterpillar 9M43C. Para la implementación de las prácticas de laboratorio se utilizará material bibliográfico, audiovisual e informático. Ya que en este trabajo de graduación no se podrá exponer el material de cada práctica solamente se dará una breve introducción a cada una de ellas.

6.1 Práctica de laboratorio 1

En esta práctica de laboratorio se describirá el funcionamiento de un sistema de lubricación convencional utilizado en un motor de combustión interna de un automóvil.

6.1.1 Descripción de un sistema convencional de lubricación.

El motor de combustión interna se compone de muchas partes móviles que necesitan un sistema de lubricación para reducir la fricción y el desgaste.

El aceite utilizado para motores se suele llamar aceite mineral. Se trata de un producto derivado del petróleo como el combustible del automóvil y tiene su mismo origen. Diversos aditivos se encargan de adaptarlo a las numerosas y difíciles condiciones de lubricación de un motor. Ahora se utilizan aceites sintéticos cada vez más frecuentemente. Estos aceites pueden tener mejores características que los aceites minerales.

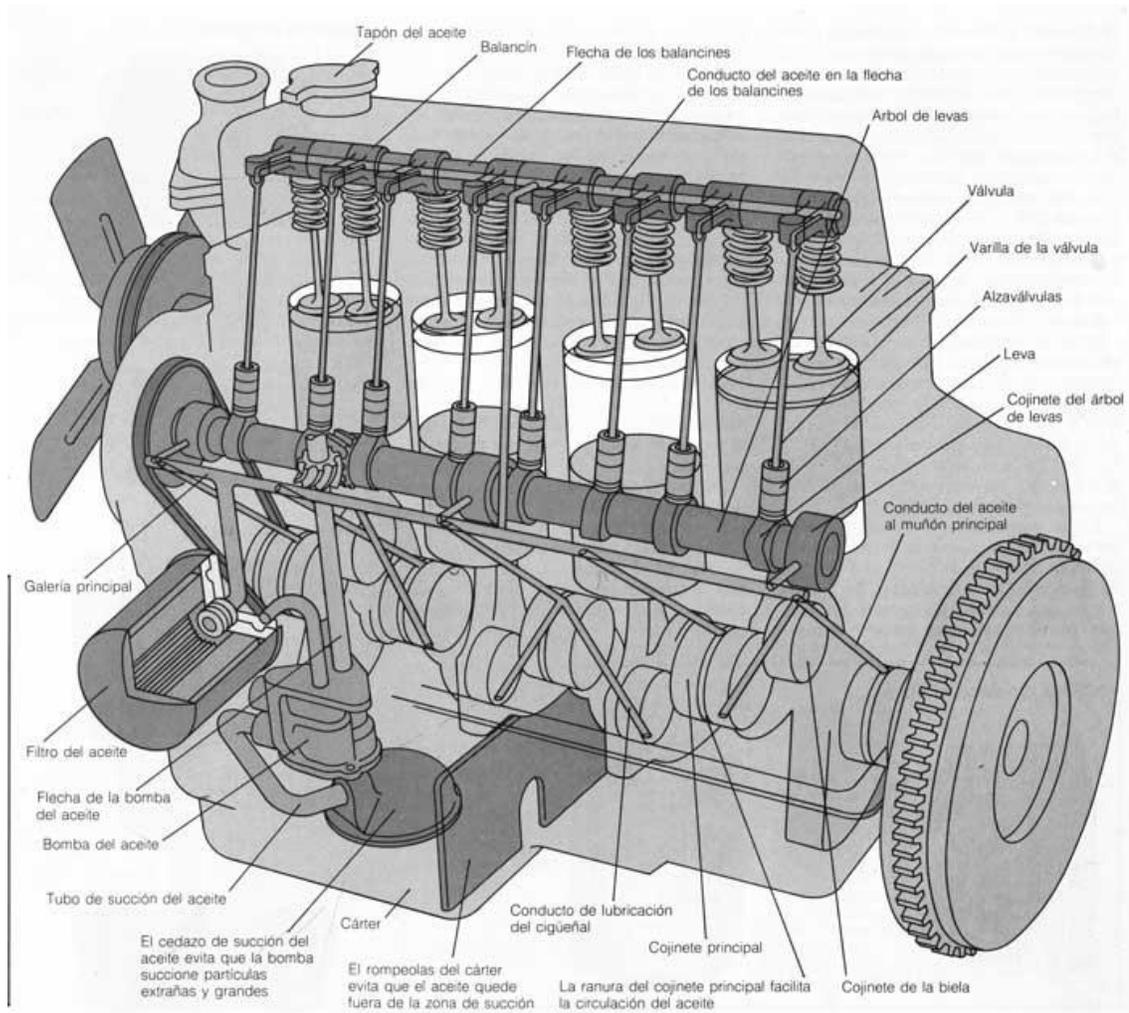
La viscosidad del aceite determina las características de flujo a una determinada temperatura. El aceite fluye más lentamente cuando está más frío y con más facilidad al calentarse.

El principal problema es que el aceite llegue rápidamente a los puntos de lubricación después del arranque, sobre todo si la temperatura del ambiente es baja, cuando el aceite es espeso. Para cumplir con todas las exigencias a diferentes temperaturas y condiciones, se han desarrollado aceites “multigrado” idóneos para cualquier estación del año. Estos aceites tienen una amplia gama de viscosidad; por ejemplo, SAE 10W40, que significa que el aceite tiene una viscosidad de 10 a bajas temperaturas y de 40 a altas temperaturas.

La viscosidad se estima de acuerdo a la norma SAE. Un valor bajo de viscosidad 10W (W = “*winter*”, invierno) significa que el aceite fluirá libremente a temperaturas ambiente bajas, pero que es demasiado líquido a temperaturas normales. Un valor alto, como un grado 40, significa que el aceite se adapta a temperaturas ambiente altas y que es demasiado denso a temperaturas más bajas.

El aceite succionado por la bomba se dirige hacia una galería ubicada en el cuerpo del *block*. Este conducto tiene pasajes conectados a las bancadas del cigüeñal. Luego el aceite continúa su desplazamiento por un pasaje ubicado dentro de los brazos del cigüeñal hasta alcanzar las cabezas de biela. Desde la galería principal también se hace llegar lubricante a las bancadas del eje de levas (Figura 22).

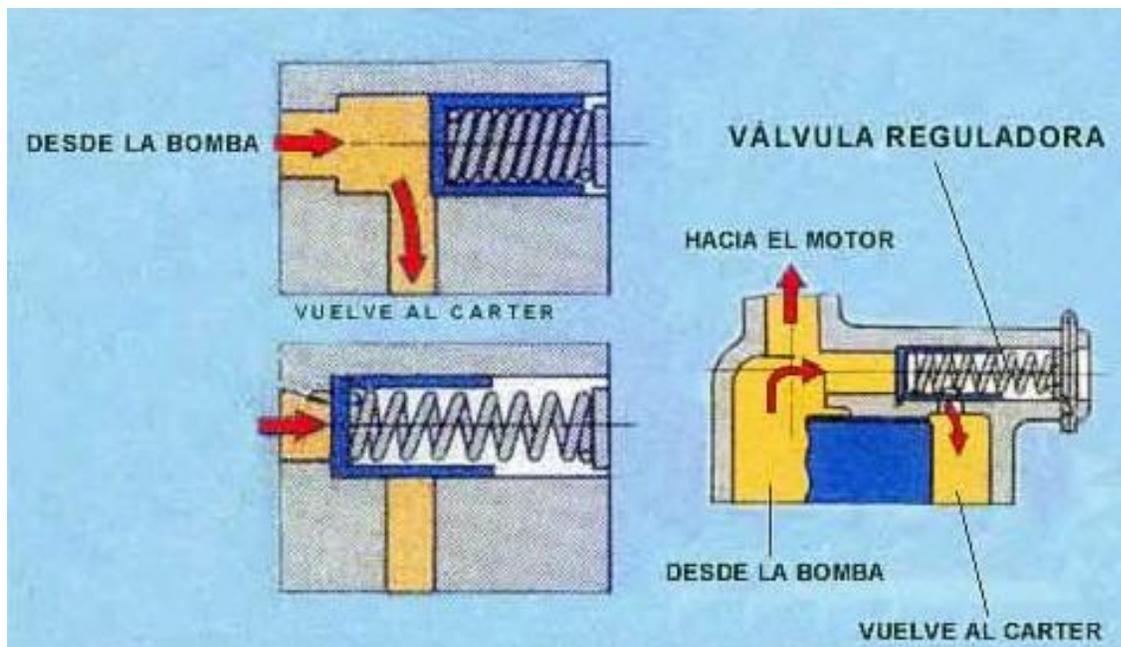
Figura 22 Esquema de un sistema de lubricación convencional



El flujo de aceite hacia la bancada y muñones del cigüeñal debe ser constante. Para ello se utiliza una bomba de aceite que suministra caudal. El rendimiento de la bomba del lubricante se controla midiendo los litros por minuto que desplaza. Como la bomba gira relacionada con el motor, a mayores revoluciones, mayor caudal.

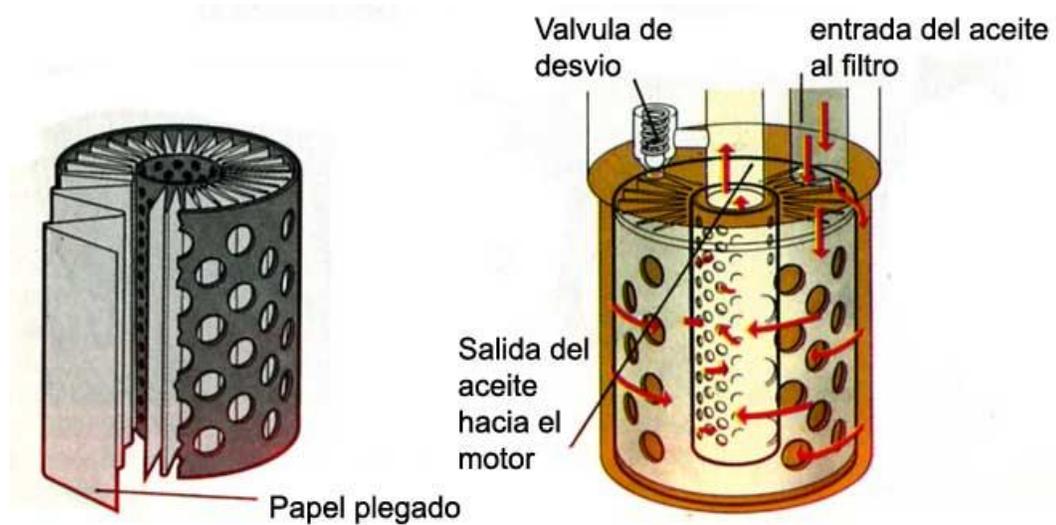
Para controlar la variación constante de presión, se utiliza una válvula reguladora de presión. Esta se encuentra formada por un émbolo y un resorte. Se abre cuando el caudal de aceite suministrado por la bomba genera presión suficiente para comprimir el resorte de la válvula reguladora y parte del caudal es derivado hacia el tubo de succión de la bomba de aceite (Figura 23).

Figura 23 Válvula reguladora de presión.



Un filtro de aceite (Figura 24) en buenas condiciones; cada vez que el aceite pasa por él, retiene 95% de las partículas, con un espesor de 10 a 40 micras (un cabello humano, tiene un espesor de aproximadamente 60 micras).

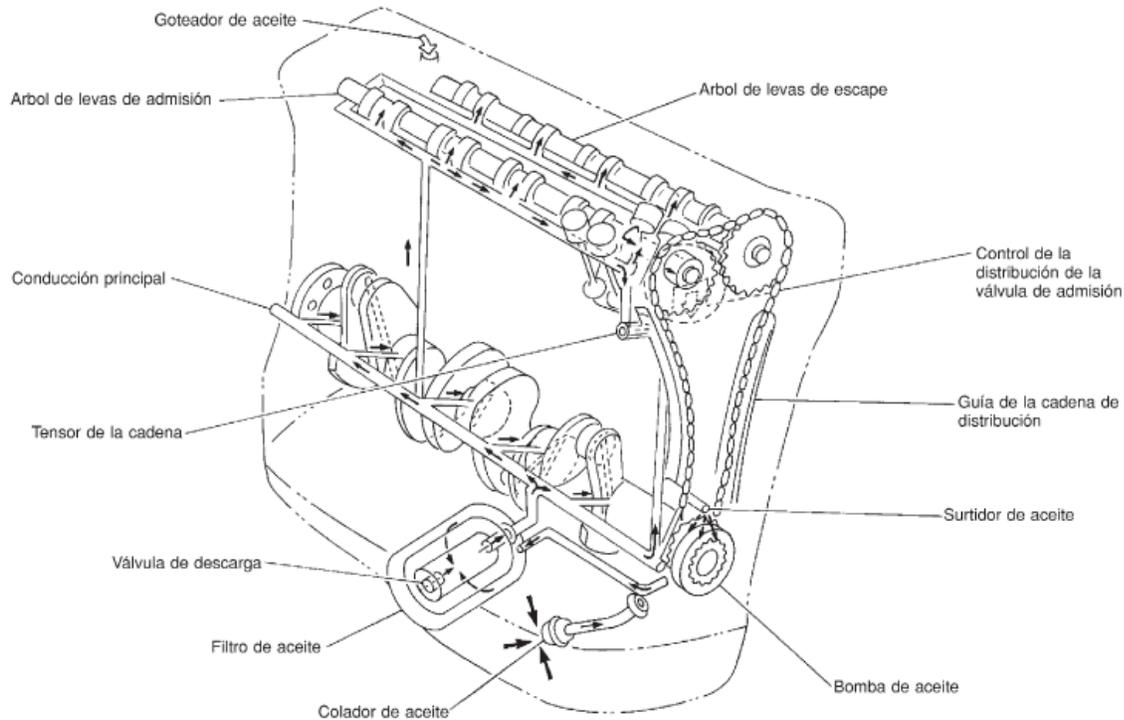
Figura 24 Filtro de aceite



6.1.2 Funcionamiento de un sistema convencional de lubricación en un motor de combustión interna.

El sistema de lubricación requiere que el aceite llegue a todos los lugares, donde friccionan metales, incluyendo paredes de cilindros, y/o cojinetes de biela, y bancada (cigüeñal y componentes) como se muestra en la Figura 25.

Figura 25 Circuito de lubricación.



Hay muchas piezas que rotan en el interior de un motor. Cuando el motor está funcionando, todas estas piezas rotativas generan calor por la fricción que las piezas de metal hacen cuando entran en contacto directo con otras piezas de metal. Como resultado del desgaste y el calor de todo este movimiento y fricción, es fácil para un motor fundirse o empezar a dañarse. El equipo de lubricación crea una película de aceite en las piezas de metal en movimiento del motor, aliviando el desgaste y el calor, originando que las piezas roten fácilmente.

La bomba de aceite circula el lubricante del motor. Esta bombea hacia arriba el aceite almacenado en el cárter de aceite, entregándolo a los cojinetes, pistones, eje de levas, válvulas y otras partes. Cuando el motor está en funcionamiento a altas velocidades,

el regulador de presión de aceite ajusta el volumen de bombeo de aceite al motor para que nada más el aceite necesario sea entregado. Cuando la presión de la bomba de aceite se eleva, una válvula de seguridad interior del regulador de presión de aceite se abre, permitiendo que el exceso de aceite retorne al cárter de aceite.

A medida que se usa el aceite del motor, este se contamina gradualmente con partículas de metal, carbón, suciedad aerotransportada, etc. Si las piezas del motor que están en movimiento fueran lubricadas por dicho aceite sucio, ellas se desgastarían rápidamente y como resultado el motor podría fundirse. Para evitar esto, se fija un filtro de aceite en el circuito de aceite que remueva esas sustancias indeseables. El filtro de aceite es montado a la mitad del camino del circuito de lubricación. Este remueve las partículas de metal desgastadas de las piezas del motor por fricción, así como también la suciedad, carbón y otras impurezas del aceite. Si el elemento del filtro de aceite (papel filtrante), el cual remueve las impurezas, llega a obstruirse, una válvula de seguridad está colocada en el filtro de aceite, luego este flujo de aceite no será bloqueado cuando intente pasar a través del elemento obstruido.

Cuando el elemento de filtro llega a obstruirse por las impurezas y la presión diferencial entre los lados de admisión y descarga del filtro aumenta por encima de un nivel predeterminado (aprox. 1 kg/cm², 14 psi o 98 kPa), la válvula de derivación se abre y permite que el aceite se desvíe del elemento de filtro. En esta forma, el aceite es suministrado directamente a las partes en movimiento.

El cárter de aceite recolecta y almacena el aceite de motor. Muchos cárteres de aceite son hechos de láminas de acero prensado, con una zona hueca profunda y una placa divisora construida en previsión al oleaje del aceite para adelante y para

atrás. Además, un tapón de drenaje está provisto en la parte inferior del cárter de aceite para drenar el aceite cuando sea necesario.

6.2 Práctica de laboratorio 2

En ésta práctica de laboratorio se describirá el funcionamiento de un sistema de lubricación de tratamiento continuo de lubricante y los efectos que éste puede tener sobre un proceso.

6.2.1 Descripción de un sistema de tratamiento continuo de aceite lubricante.

Un sistema de tratamiento continuo, como su nombre lo indica, adiciona ciertas características de filtrado y limpieza al aceite lubricante con el objetivo de prolongar la vida útil del mismo y asegurar la continuidad de la producción de un equipo. Se dice que es de tratamiento continuo porque mientras el sistema está en funcionamiento el lubricante es sometido a un proceso de limpieza constante.

El proceso de limpieza por medio de una centrifugadora de aceite es la característica más destacable en éste tipo de sistema de lubricación. Éste proceso permite eliminar la mayoría de las impurezas que el lubricante absorbe durante su recorrido por el sistema de lubricación.

Otra herramienta utilizada de manera constante en éste tipo de sistema de lubricación son los análisis de laboratorio de aceite lubricante. Por medio de ellos se pueden detectar fallas en ciertos equipos y además es un efectivo monitoreo de las características del lubricante utilizado, las cuales deben de estar a niveles aceptables de operación.

Las dos características anteriormente descritas diferencian a un sistema de tratamiento continuo de otros sistemas de lubricación.

6.2.2 Funcionamiento de un sistema de tratamiento continuo de aceite lubricante en un motor de combustión interna.

Un sistema de tratamiento continuo de aceite lubricante consta, no importando su aplicación, de uno o varios separadores de aceite y la regeneración de las características del lubricante por medio de la sustitución de cierto porcentaje de lubricante usado por lubricante nuevo. Dependiendo de la aplicación del sistema de lubricación se pueden utilizar distintos equipos como filtros automáticos, enfriadores de aceite, etc.

En un principio para que el sistema de tratamiento continuo funcione se necesita un tanque con dos secciones, una para depositar el lubricante que retorna del equipo a lubricar (aceite sucio), y la otra sección es utilizada para depositar el lubricante que es purificado por la centrifugadora de aceite. Posteriormente una bomba hará que el lubricante recorra los diferentes filtros y equipos del sistema, y por último lubricar el equipo para el que fue diseñado el sistema. El aceite que retorna al tanque seccionado es tratado por la separadora de aceite para ser reutilizado en el proceso.

Periódicamente se realizan análisis de laboratorio al lubricante del sistema. Los resultados nos indicarán el nivel de degradación de las características del aceite, y por medio de la adición o sustitución de cierto porcentaje de lubricante podremos mantener las características del mismo en niveles de operación aceptables.

6.2.3 Función que ejercen y modo de operación de los equipos especiales que componen el sistema de lubricación de tratamiento continuo de aceite lubricante.

Uno de los equipos especiales que componen el sistema de lubricación de tratamiento continuo es el separador de aceite, el cual realiza una función de limpieza del aceite lubricante.

El principio de funcionamiento del separador de aceite es por medio de la diferencia de densidades entre dos cuerpos. Dentro del tazón del separador de aceite, específicamente en las paredes de éste, se forma un sello hidráulico de agua el cual está en contacto directo con el aceite a purificar. El fuerza centrífuga ejercida por el movimiento rotatorio del tazón hace que el sello hidráulico se mantenga adherido a las paredes del tazón, además que ésta misma fuerza hace que las impurezas contenidas en el aceite se precipiten hacia las paredes del separador de aceite y se mezclen con el agua, la cual es evacuada por medio de una válvula neumática al final del ciclo de limpieza.

Existen otros equipos que se pueden incluir en cualquier sistema de lubricación de tratamiento continuo como pueden ser bombas, filtros, dispositivos de monitoreo, etc.

6.3 Práctica de laboratorio 3

En ésta práctica de laboratorio se hará uso de un simulador que ejemplifica el modo de operación de un separador de aceite. Dicho simulador permite interactuar con todos los sistemas que afectan al separador de aceite (aceite térmico, sistema de agua suave, etc.) y visualizar el diagrama de los subsistemas que lo componen (aire comprimido, agua, aceite, etc.).

Al final de la práctica se describirán las ventajas que posee el uso de un sistema de tratamiento continuo para el buen funcionamiento de un equipo.

6.3.1 Uso del simulador del separador de aceite.

El uso del simulador de un separador de aceite tiene como objetivo principal el observar el funcionamiento del equipo así como interactuar con los diferentes componentes del mismo. El simulador permite configurar los parámetros de operación del equipo así como el porcentaje de agua en el aceite lo cual afectará el funcionamiento del separador de aceite.

Por medio de un manual de operación se describirá el modo de arranque y paro del separador de aceite, y algunos parámetros configurables que afectan el proceso de limpieza del aceite lubricante.

6.3.2 Comparación de los dos sistemas de lubricación y descripción de las ventajas y desventajas que posee cada sistema.

La segunda práctica de laboratorio consiste en describir las ventajas y desventajas que posee un sistema convencional y uno de tratamiento continuo de aceite lubricante basadas en la información recolectada en éste trabajo de graduación.

CONCLUSIONES

1. Un sistema de tratamiento continuo es un sistema que ofrece características adicionales que permiten llevar un control más minucioso de las características de un lubricante debido al tipo de monitoreo y mantenimiento aplicado. La moderna tecnología con la que cuentan los equipos que lo conforman ofrece un mayor grado de confiabilidad en el tratamiento de lubricantes, lo que proporciona una ventaja en la prevención del desgaste de los motores.
2. Muchas de las ramas de la ingeniería intervienen tanto en el diseño, operación y mantenimiento del sistema de lubricación de tratamiento continuo. Una de las más importantes es el mantenimiento, ya que además de la parte práctica (mantenimientos de rutina) es necesario implementar programas de monitoreo de equipos, y con el apoyo de los análisis físico-químicos de el lubricante que permite detectar tanto el estado de degradación del lubricante utilizado como el estado de los equipos del sistema.
3. Un sistema de lubricación de tratamiento continuo posee la gran ventaja de que los equipos utilizados operan automáticamente, además de que la mayoría de sensores envían información al sistema SCADA, lo cual permite que todas las variables del sistema sean monitoreadas por menos personal. Los equipos utilizados poseen una tecnología de tratamiento por centrifugadoras, lo cual hace que el tratamiento del aceite lubricante sea más eficiente.

4. La mayor ventaja del sistema de lubricación de tratamiento continuo radica en un menor costo del mantenimiento del mismo, ya que no es necesaria la sustitución total del lubricante del sistema, debido a que por medio de la centrifugadora y las reposiciones periódicas de aceite lubricante proveen una operación continua del sistema. Tampoco es necesario sacar de operación el motor ya que éste siempre contará con lubricante tratado adecuadamente para que cumpla con los requerimientos de operación.

RECOMENDACIONES

1. Para la implementación de este tipo de sistema de lubricación es necesario hacer un estudio previo, teniendo en cuenta la inversión inicial en la compra de equipo, además de contar con el personal capacitado para su correcta operación y mantenimiento.
2. Se hace necesario también crear un programa de seguridad industrial que regule la manera de operar los equipos y realizar los mantenimientos necesarios, ya que el mantenimiento se realiza con ciertos equipos en funcionamiento.
3. La capacitación del personal debe ser constante, ya que de esto depende que se comprenda correctamente el funcionamiento del sistema de lubricación así como de los equipos que lo conforman. Este aspecto influye en buena parte en la detección y prevención de fallas en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFA Laval. Alfa Laval training. Alfa Laval Corporation. Estados Unidos de América, 1996.
2. GEA. Westfalia separator mineraloil system. Westfalia Corporation. Estados Unidos de América. 2003.
3. MAK/CATERPILLAR. Instructions manual. Caterpillar International Power System. Estados Unidos de América, 2000.
4. Sagastume Donis, Gilberto. Mantenimiento preventivo por el método de análisis del aceite lubricante. Trabajo de Graduación Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. Facultad de Ingeniería. 98 pp.
5. Víctor Gustavo Valenzuela Muñoz. Optimización del sistema de separación centrífuga entre separadoras de marcas Alfa Laval y Westfalia utilizadas en la purificación del aceite lubricante. Trabajo de Graduación Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. Facultad de Ingeniería pp. 2-29.