



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Análisis del Sistema de Combustible y Lubricación de los Motores
de Combustión Interna de una Planta de Generación para
prolongar los periodos de Mantenimientos Mayores”

EXAMEN COMPLEXIVO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Alexis Ignacio Córdova Villagómez

GUAYAQUIL- ECUADOR

AÑO 2014

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que colaboraron y me motivaron a la realización de este proyecto y en especial al Ing. Jorge Duque por su invaluable aporte.

DEDICATORIA

A MI MADRE

A MI ESPOSA

A MIS HIJAS

A MIS HERMANOS

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Jorge Duque R.
DIRECTOR

Ing. Rodrigo Perugachi B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la Espol).

Alexis Ignacio Córdova Villagómez

RESUMEN

En los bloques petroleros del país por su ubicación geográfica es necesario producir energía eléctrica. Una de las formas de generar esta energía es mediante el uso de motores de combustión interna acoplados a alternadores en los cuales se transforma la energía mecánica del motor, proveniente del combustible, en energía eléctrica.

El presente trabajo se realizó en una planta de generación que posee 7 motores de combustión interna marca Wartsila los cuales generan en total 42 MW y utilizan crudo pesado como combustible. La planta de generación aporta aproximadamente el 42% del total de energía requerida para la operación del bloque petrolero. Dichos motores para su funcionamiento óptimo demandan de un programa de mantenimiento preventivo el cual se realiza de acuerdo a las horas de funcionamiento de los motores.

El problema principal de esta planta radicaba en que sus motores no alcanzaban el periodo de 12000 horas de funcionamiento entre mantenimientos mayores como lo estipula el fabricante de los mismos. Dichos motores a las 8000 horas de funcionamiento presentaban excesivo desgaste en las camisas y pistones, producto de esto los gases de combustión pasaban al carter del motor, la presión en el mismo se elevaba superando los valores permisibles, lo cual obligaba a realizar el mantenimiento mayor anticipadamente.

El objetivo principal de este trabajo es extender los periodos de mantenimientos mayores de 8000 a 12000 horas, para reducir los costos asociados al mantenimiento.

El problema de desgaste de camisas y coronas es atribuido principalmente a la mala calidad del combustible utilizado y a fallas en el sistema de procesamiento del mismo antes de inyectarlo en el motor. Otra causa importante de este tipo de fallas se presenta por anomalías en el proceso de lubricación y el aceite lubricante utilizado.

Para la solución de éste problema se realizó un análisis físico-químico del combustible para determinar cómo éste afecta el desempeño del motor, estudiando sus principales propiedades e impurezas contenidas. Se realizó un análisis del proceso de tratamiento del combustible, comparando los parámetros operativos del sistema con las recomendaciones descritas por el fabricante.

Se realizó un análisis del tiempo de vida útil del aceite, tomando muestras periódicas del mismo y enviándolas a un laboratorio certificado. Se estudió el proceso de degradación del aceite lubricante y se determinaron las principales fuentes de contaminación del mismo.

En el análisis del combustible se determinó que este posee un alto contenido de impurezas, una concentración elevada de azufre, vanadio y níquel que afectan el desempeño del motor, en el análisis del sistema de combustible se determinó falencias en el proceso de tratamiento del mismo, se determinó que el programa de mantenimiento del sistema de inyección no era el adecuado.

En el análisis del aceite lubricante se determinó por medio de análisis de laboratorio que el periodo de cambio del mismo no era el correcto, como resultado de esto los motores trabajaban con un aceite que no cumplía las especificaciones dadas por el fabricante. En el estudio del sistema de lubricación se encontró fallas en el proceso de separación centrífuga del aceite.

Se corrigieron las anomalías encontradas en el sistema de combustible y lubricación, en el sistema de combustible se cambio la temperatura de ingreso del combustible mediante la instalación de un nuevo viscosímetro, se cambiaron los parámetros operativos de las separadoras centrífugas de crudo y se modificó el periodo de cambio de inyectores. En el sistema de lubricación se modificó el periodo de cambio del aceite lubricante y se cambio el flujo de separación en las separadoras centrífugas.

Se determinó la factibilidad económica del proyecto mediante el cálculo del costo producido por la implementación del mismo, comparándolo con el costo ahorrado por la prolongación de los periodos de mantenimientos mayores. Este análisis demostró que el proyecto es económicamente rentable para la planta de generación.

Finalmente se realizó el análisis de los resultados obtenidos, el resultado principal fue que se consiguió prolongar el periodo de los mantenimientos mayores de los motores de 8000 a 12000 horas. Se consiguió reducir el número de fallas producidas por los sistemas de combustible y lubricación, y se consiguió también reducir el costo de mantenimiento de los motores.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del Problema.....	3
1.2 Objetivos Generales.....	7
1.3 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Metodología.....	8
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Descripción de los motores Wartsila Vasa 18V32 LN.....	9
2.2 Descripción de los sistemas de la planta.....	15
2.3 Conceptos de Separadoras centrífugas.....	31
2.4 Conceptos de Análisis de aceites.....	40

CAPÍTULO 3

3.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE OPERACIÓN.....	50
3.1	Análisis de los factores que influyen en el desgaste del motor.....	50
3.2	Análisis del sistema de combustible.....	52
3.3	Análisis del sistema de inyección.....	63
3.4	Análisis del sistema de aceite lubricante.....	69
3.5	Análisis causa-raíz de las principales fallas encontradas.....	81

CAPÍTULO 4

4.	IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS.....	86
4.1	Implementación de mejoras en el sistema de combustible.....	86
4.2	Implementación de mejoras en el sistema de inyección.....	89
4.3	Implementación de mejoras en el sistema de aceite lubricante.....	90

CAPÍTULO 5

5.	ANÁLISIS DE COSTOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	92
5.1	Costos de implementación de mejoras.....	92
5.2	Beneficio económico obtenido.....	93
5.3	Análisis de resultados obtenidos.....	95

CAPÍTULO 6

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
6.1	CONCLUSIONES.....	105
6.2	RECOMENDACIONES.....	106

BIBLIOGRAFÍA.

ABREVIATURAS

LN	Baja emisión de NOx.
LFO	Combustible ligero.
HFO	Combustible pesado.
LO	Aceite lubricante.
HT	Sistema de enfriamiento de alta temperatura.
LT	Sistema de enfriamiento de baja temperatura.
TBN	Número básico total.
BN	Número básico.
TAN	Número ácido total.
WOIS	Interface de usuario Wartsila.
SMS	Sistema de monitoreo del recinto de lodos.
WMS	Sistema de monitoreo del contenido de agua.
ASTM	Sociedad Americana de ensayos de materiales.
Ppm	Partes por millón.
TDC	Punto muerto superior
BTDC	Grados antes del punto muerto superior.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Desgaste de camisas.....	4
Figura 1.2	Desgaste de coronas del pistón.....	5
Figura 1.3	Curva de presión del carter del motor.....	6
Figura 1.4	Contaminación del aceite lubricante con el combustible.....	7
Figura 2.1	Sección transversal del motor.....	10
Figura 2.2	Biela del motor.....	11
Figura 2.3	Pistón del motor.....	12
Figura 2.4	Cabezote o culata.....	12
Figura 2.5	Árbol de levas.....	13
Figura 2.6	Bomba de inyección.....	14
Figura 2.7	Válvula de inyección (Inyector).....	15
Figura 2.8	Sistema de combustible.....	17
Figura 2.9	Sistema de combustible (LFO).....	18
Figura 2.10	Sistema de Inyección.....	20
Figura 2.11	Sistema de lubricación.....	21
Figura 2.12	Sistema de enfriamiento.....	23
Figura 2.13	Sistema de gases de escape.....	24
Figura 2.14	Sistema de aire de arranque.....	26
Figura 2.15	Mecanismo de control.....	29
Figura 2.16	Principio de funcionamiento de la separadora centrífuga.....	32
Figura 2.17	Sistema de control (WMS) para tratamiento del combustible.....	35
Figura 2.18	Sistema de control (SMS) para tratamiento del combustible.....	37
Figura 2.19	Sistema de control (SMS) para tratamiento del aceite lubricante.....	39
Figura 3.1	Diagrama de árbol del sistema de combustible.....	51
Figura 3.2	Diagrama de árbol del sistema de lubricación.....	51
Figura 3.3	Porcentaje esperado de remoción de impurezas.....	58
Figura 3.4	Selección del caudal y temperatura de separación óptimas.....	60
Figura 3.5	Viscosidad y temperatura de ingreso del combustible a los motores....	62
Figura 3.6	Curva de viscosidad-temperatura del crudo.....	63
Figura 3.7	Temperatura máxima de calentamiento del combustible.....	64
Figura 3.8	Medición del tiempo de inyección.....	66
Figura 3.9	Análisis del TBN.....	74
Figura 3.10	Análisis de la viscosidad del lubricante.....	75
Figura 3.11	Análisis de contaminación del aceite por níquel y vanadio.....	77
Figura 3.12	Análisis de metales contenidos en el aceite lubricante.....	78
Figura 3.13	Análisis causa-raíz temperatura de calentamiento del combustible.....	82
Figura 3.14	Análisis causa-raíz separación centrífuga del combustible.....	83

Figura 3.15 Análisis causa-raíz de las fallas producidas en inyectores.	84
Figura 3.16 Análisis causa-raíz de las fallas de lubricación.	85
Figura 4.1 Modificación de la temperatura de ingreso de combustible.	87
Figura 4.2 Instalación de un nuevo controlador de temperatura del combustible. .	87
Figura 4.3 Máquina lapeadora de inyectores.	90
Figura 5.1 Estado actual motor número 6.	96
Figura 5.2 Disminución del desgaste de coronas.	97
Figura 5.3 Disminución del desgaste de camisas.	98
Figura 5.4 Estado actual motor número 2.	99
Figura 5.5 Estado actual motor número 3.	100
Figura 5.6 Causas y número de paradas en el año 2011.	102
Figura 5.7 Causas y número de paradas en el año 2012.	103
Figura 5.8 Prolongación de la vida útil del aceite lubricante.	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades del combustible.	53
Tabla 2	Contenido máximo de impurezas en el combustible.....	53
Tabla 3	Resultado del Análisis del crudo.	54
Tabla 4	Análisis del crudo a la entrada y salida de las separadoras.	57
Tabla 5	Parámetros operativos separadoras centrífugas de crudo.	59
Tabla 6	Límites de viscosidad del combustible.	61
Tabla 7	Análisis de la viscosidad del crudo.....	62
Tabla 8	Medición de tiempo de inyección.	66
Tabla 9	Criterio de desgaste de elementos de bombas de inyección.....	67
Tabla 10	Revisión de funcionamiento de inyectores.	68
Tabla 11	Propiedades del aceite Mobilgard M50.	70
Tabla 12	Resumen de resultados del análisis de aceite.....	71
Tabla 13	Límites permisibles para el aceite lubricante.....	72
Tabla 14	Contenido de metales en el aceite lubricante.....	76
Tabla 15	Parámetros operativos del grupo de separadoras de aceite.....	80
Tabla 16	Selección de la temperatura de separación.	80
Tabla 17	Modificación de los parámetros operativos en las separadoras.....	88
Tabla 18	Modificación del caudal de separación del aceite lubricante.	91
Tabla 19	Costo de implementación de mejoras.	93
Tabla 20	Análisis costo-beneficio.....	94
Tabla 21	Eficiencia de separadoras centrífugas de crudo.....	101

INTRODUCCIÓN

Por el bajo costo de producción de energía el crudo es el principal combustible utilizado en los campos petroleros del país. El crudo es transformado en energía por medio de motores de combustión interna acoplados a alternadores en centrales eléctricas construidas para este propósito. La planta de generación en la cual se desarrolla este trabajo posee siete motores de combustión interna marca Wartsila modelo 18V32LN, utilizan crudo pesado como combustible y producen en total aproximadamente 42 MW.

El problema principal de esta planta es el periodo de mantenimientos mayores, el fabricante estipula que este periodo debe ser de 12000 horas, mientras que los motores en esta planta, debido al desgaste excesivo de las camisas y coronas que producen una elevación en la presión interna del carter, se lo realiza a las 8000 horas aproximadamente.

Para la solución de este problema se realizó un análisis detallado del combustible con el fin de determinar sus principales características. Se realizó también un análisis del proceso de tratamiento del combustible antes de ingresar al motor para determinar si este cumple las condiciones estipuladas por el fabricante, en el cual se determinó que la viscosidad con la cual el combustible estaba siendo inyectado en la cámara de combustión no era la adecuada lo cual producía una combustión deficiente que generaba residuos y producía desgaste en las camisas y coronas. En el análisis del proceso de separación centrífuga del combustible se determinó que la eficiencia de estos equipos era nula, debido a la selección incorrecta de los parámetros operativos de los equipos.

Se realizó un análisis del sistema de lubricación en el cual se determinó que el flujo de trabajo de las separadoras centrífugas no era el adecuado, por lo cual disminuía la eficiencia de estos equipos y las impurezas del aceite no eran removidas. Se determinó el tiempo de vida útil del aceite lubricante, se tomaron muestras periódicamente del aceite lubricante y se las envió a analizar en un laboratorio certificado. El análisis de los resultados demostró que el periodo de cambio de aceite era incorrecto, por lo cual se modificó en el plan de mantenimiento el periodo de cambio del mismo.

Se realizaron las modificaciones en los sistemas de combustible y lubricación que se generaron del análisis realizado a los mismos, estos cambios fueron en parámetros operativos de equipos, modificaciones en planes de mantenimiento y cambio de parámetros de operativos de los motores. Estas modificaciones permitieron alcanzar el periodo de 12000 horas de trabajo entre mantenimientos mayores.

En el capítulo 1 se realizó la descripción del problema, se plantearon los objetivos y se definió la metodología a seguir, en el capítulo 2 se realizó el marco teórico, el cual incluye la descripción de la planta y los motores, principios básicos de separadores centrífugos y conceptos de análisis de aceite. En el capítulo 3 se realizó el estudio del sistema de combustible y lubricación, además se realizó el análisis del aceite lubricante. En el capítulo 4 se implementaron las mejoras obtenidas del estudio realizado, en el capítulo 5 se realizó se elaboró un análisis de costo beneficio para determinar la factibilidad económica del proyecto, finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas al final de este trabajo.

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se realiza la descripción de los principales problemas que existen en la planta, se plantean los objetivos más importantes a conseguir con el desarrollo de este proyecto y se presenta una metodología para lograr los objetivos planteados en este trabajo.

1.1 Descripción del Problema

El fabricante del motor en el programa de mantenimiento estipula que este debe alcanzar 12000 horas de funcionamiento antes de realizar un mantenimiento mayor, en la actualidad los motores alcanzan alrededor de 8000 horas de trabajo, en este tiempo de trabajo los motores progresivamente presentan una condición operativa que obliga a realizar el mantenimiento anticipadamente.

En las inspecciones realizadas en los mantenimientos mayores se observa que existe un desgaste excesivo en camisas y coronas de pistones, esto se verifica en las mediciones realizadas al diámetro interno de las camisas lo cual se muestra en la Figura 1.1, dichos valores llegan incluso a superar los valores límites nominales de desgaste.

Medición de diámetro interno de camisas									
Diámetro nominal (mm)									
320.05-320.107									
Límite de desgaste (mm)									
I	320.80								
II	320.50								
III	320.30								
IV	320.30								
Lado	Número de cilindro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Medición de diámetro interior de camisas (mm)									
I	320.80	320.92	320.74	320.55	320.78	320.90	320.70	320.78	320.80
	320.83	320.95	320.74	320.52	320.90	320.76	320.70	320.70	320.80
	320.87	320.80	320.79	320.49	320.80	320.81	320.69	320.78	320.82
	320.85	320.75	320.80	320.49	320.88	320.86	320.72	320.72	320.78

FIGURA 1.1 DESGASTE DE CAMISAS.

La Figura 1.1 muestra las mediciones realizadas en el diámetro interno de las camisas en el mantenimiento mayor, el diámetro nominal de las camisas es de 320 mm y el límite de desgaste en la posición I (posición de mayor desgaste) es de 320.80 mm. Como se observa en la Figura, las mediciones realizadas superan en muchas ocasiones el límite de desgaste nominal.

El desgaste de estos elementos obliga a que en cada mantenimiento mayor se los tenga que reemplazar por elementos nuevos, encareciendo significativamente los costos de mantenimiento.

De la misma manera las mediciones realizadas a los alojamientos de los anillos del pistón muestran que alcanzan valores de desgaste cercanos a los límites nominales, esto se puede observar en la Figura 1.2 a continuación.

Altura de la ranura del anillo del pistón									
Altura nominal (mm)		Límite de desgaste (mm)							
Ranura I	8.18-8.21	8.50							
Ranura II	6.09-6.12	6.45							
Ranura III	8.05-8.07	8.30							
Lado	Número de cilindro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Altura de la ranura del anillo del pistón (mm)									
I	8.51	8.45	8.55	8.51	8.48	8.50	8.51	8.56	8.48
	8.44	8.47	8.49	8.50	8.46	8.50	8.57	8.52	8.51
	8.54	8.53	8.52	8.47	8.45	8.51	8.57	8.55	8.53
	8.67	8.49	8.56	8.50	8.49	8.60	8.54	8.50	8.55

FIGURA 1.2 DESGASTE DE CORONAS DEL PISTÓN.

La altura nominal de la primera ranura del pistón es de 8.18 mm y el límite de desgaste de la misma es de 8.50 mm, las mediciones realizadas en el mantenimiento mayor muestran que la altura de esta ranura supera el límite de desgaste nominal.

El desgaste de estos elementos obliga a que en cada mantenimiento mayor se los tenga que reemplazar por elementos nuevos encareciendo significativamente los costos de mantenimiento.

El desgaste excesivo en camisas y coronas produce que los gases de combustión pasen a través de los anillos de compresión y eleven la presión en el interior del carter superando los valores de alarma (3 mbar). Una elevada presión en el carter conlleva el riesgo de una explosión, por lo que cuando los motores llegan a esta condición de operación la potencia generada por los mismos se reduce progresivamente para no llegar al valor de parada de emergencia.

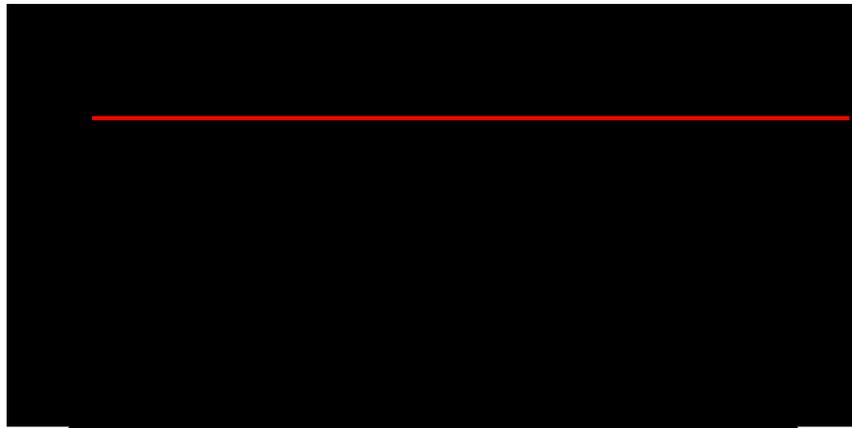


FIGURA 1.3 CURVA DE PRESIÓN DEL CARTER DEL MOTOR.

La Figura 1.3 muestra cómo la presión del carter aumenta desde 1 mbar de presión hasta superar el valor de alarma (3 mbar) a las 7000 horas de trabajo del motor, luego de esto el motor trabaja por debajo de su máxima potencia hasta alcanzar las 8500 horas cuando se realiza el mantenimiento mayor.

Otro de los problemas de la planta es la contaminación rápida del aceite lubricante con el combustible, la degradación del aceite disminuye la capacidad de lubricación del mismo. La Figura 1.4 muestra los cabezotes del motor en la cual se observa el problema descrito.



FIGURA 1.4 CONTAMINACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE CON EL COMBUSTIBLE.

La reducción de la capacidad de generación de la planta cuando un motor ingresa a mantenimiento, exige la utilización de energía generada por turbinas a diesel, utilizando las reservas de diesel de la planta de refinación, lo cual obliga en ciertas ocasiones a la compra externa de diesel encareciendo los costos de generación.

1.2 Objetivos Generales

El objetivo principal de este trabajo es prolongar los periodos de mantenimientos mayores de 8000 a 12000 horas de funcionamiento de los motores.

1.3 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son estudiar el sistema de combustible y lubricación para determinar como la calidad del combustible afecta el desempeño de los motores, determinar las causas que producen el desgaste excesivo de las camisas y coronas de pistones, reducir los tiempos de

mantenimiento programado, reducir los costos asociados al mantenimiento, mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la planta.

1.4 Metodología

Para la ejecución de este trabajo se realizó un análisis de los principales sistemas de la planta, haciendo énfasis en el sistema de combustible y el sistema de lubricación. Para el análisis de problemas se utilizó el método de diagrama de árbol.

Se realiza un análisis físico-químico del crudo para determinar sus principales impurezas y contaminantes con el objeto de determinar alternativas de mejoramiento. Se analiza el proceso de separación centrífuga del crudo que es utilizado como combustible en los motores.

Se realiza un análisis detallado al aceite lubricante para determinar como la calidad del combustible afecta el desempeño del mismo, se estudia su proceso de degradación y la vida útil que alcanza el lubricante. Se comprueba además si el lubricante utilizado es el adecuado para los motores según el tipo de combustible utilizado.

Se revisa además los parámetros operativos, procesos y planes de mantenimiento concernientes a los sistemas de combustible y sistema de lubricación.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza una breve descripción de los motores Wartsila Vasa 18V32 LN para mostrar sus principales partes constitutivas, se realiza una descripción de los sistemas que conforman la planta y se presentan conceptos básicos del funcionamiento de separadoras centrífugas y análisis de aceite.

Para la descripción de las principales partes del motor y los sistemas que lo conforman, así como las figuras que se presentan, se tomó como fuente el manual de instrucciones del fabricante.

Los conceptos básicos de separadoras centrífugas, así como las Figuras que se presentan, se tomaron del manual de instrucciones del fabricante. Para el caso de conceptos de análisis de aceite se tomó como referencia una carta técnica publicada por el fabricante del motor.

2.1 Descripción de los motores Wartsila Vasa 18V32 LN

La presente sección contiene una breve descripción de las principales partes del motor Wartsila Vasa 18V32 LN cuya sección transversal se muestra en la Figura 2.1. El número 18 se refiere al número de cilindros del motor, la letra V al arreglo de los cilindros, el 32 al diámetro interno de los cilindros (320 mm) y LN es una característica que indica bajas emisiones de NOx. Se trata de un motor de 4 tiempos, sobrealimentado y enfriado por agua.

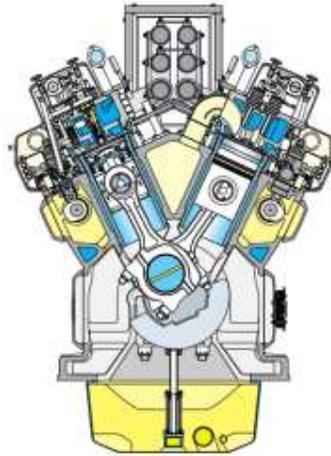


FIGURA 2.1 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MOTOR WARTSILA.

Cigüeñal

El cigüeñal está forjado en una pieza y provisto de contrapesos, sujetos con tornillos apretados hidráulicamente. En el extremo de accionamiento del motor, al cigüeñal se le monta una junta anular en V para el sellado con el cárter, un volante/cojinete de empuje y un engranaje de dos piezas para el accionamiento del árbol de levas. En el extremo libre hay un engranaje para el accionamiento de las bombas y normalmente también un amortiguador de vibraciones. El cigüeñal puede girar con ayuda de un dispositivo virador eléctrico que acciona el volante.

Biela y Pistón

La biela es un diseño de tres piezas denominada "biela tipo marino" la cual se muestra en la Figura 2.2. Las fuerzas de combustión se distribuyen sobre una zona máxima del cojinete. Los movimientos relativos entre las superficies de acoplamiento se minimizan. La biela se forja y se trabaja con

una aleación de acero y se divide horizontalmente en tres partes para poder desmontar las piezas del pistón y la biela. Todos los pernos de la biela están hidráulicamente apretados.

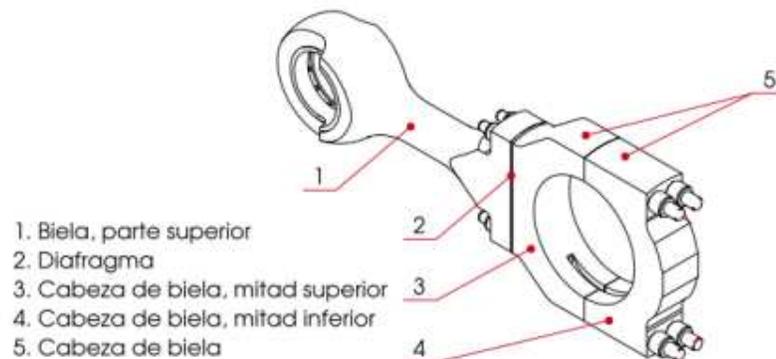


FIGURA 2.2 BIELA DEL MOTOR.

El pistón mostrado en la Figura 2.3 es del tipo compuesto, la corona y la falda son desmontables para su mantenimiento. El espacio formado entre la corona y la falda está provisto de aceite lubricante para la refrigeración de la corona por medio un efecto coctelera. El aceite lubricante pasa desde el cojinete principal a través de los orificios de lubricación del cigüeñal hasta el cojinete de cabeza de biela, desde este punto a través de las perforaciones de la biela, el pasador y la falda del pistón hasta el espacio de refrigeración y desde allí de nuevo al colector de aceite.

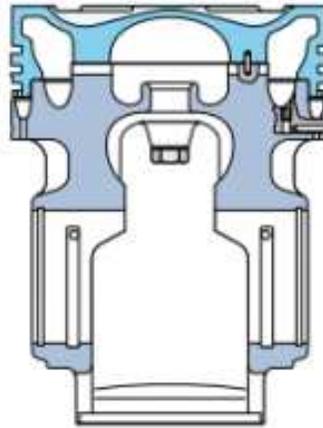


FIGURA 2.3 PISTÓN DEL MOTOR.

Cabezotes o culatas.

Los cabezotes Figura 2.4 son de fundición gris de calidad especial. Cada cabezote incluye dos válvulas de admisión, dos válvulas de escape, una válvula de inyección situada centralmente, una válvula de arranque, (en motores en V, en la línea de cilindros B, se montan tapones adaptados), una válvula de seguridad y una válvula para indicador.

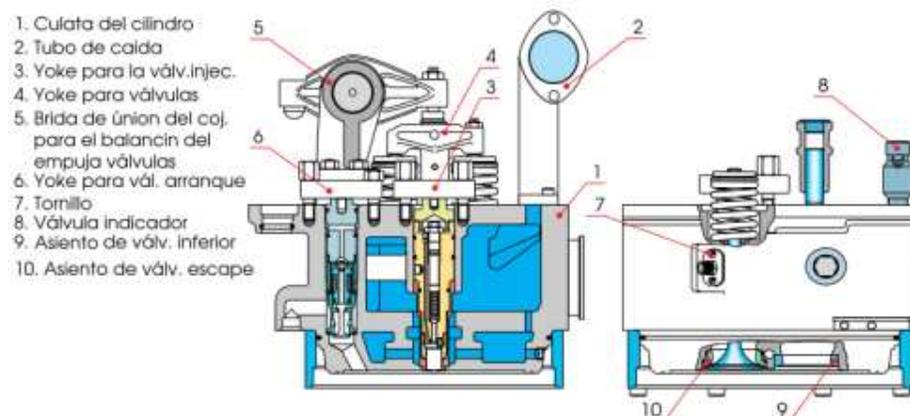


FIGURA 2.4 CABEZOTE O CULATA.

Árbol de levas

El árbol de levas mostrado en la Figura 2.5 está compuesto de levas para cada cilindro (1) y chumaceras de cojinetes independientes (2). Los árboles de levas forjados incorporan las distintas levas cuyas superficies de deslizamiento están endurecidas por tratamiento. Las superficies de contacto de las chumaceras de los cojinetes están endurecidas por inducción. El árbol de levas es accionado por el cigüeñal a través de engranajes situados en el extremo de transmisión del motor. En este extremo (en el banco A de un motor con cilindros en V), el árbol de levas está equipado con una desconexión por sobre velocidad (7), una holgura axial (9) y un engranaje helicoidal (8) para el accionamiento del regulador de velocidad. En el extremo libre (en el banco A de un motor con cilindros en V), el árbol de levas tiene una extensión (5) con una leva para activar el distribuidor de aire de arranque.

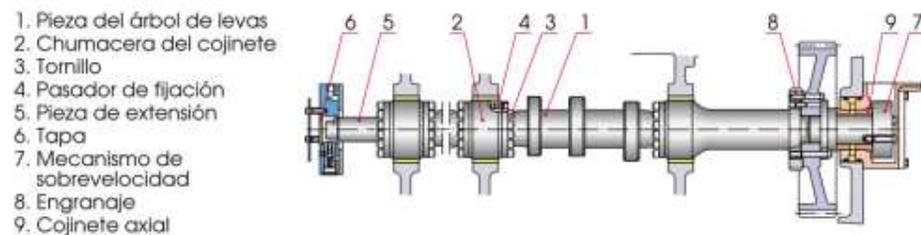


FIGURA 2.5 ÁRBOL DE LEVAS.

Bombas de inyección

Las bombas de inyección son mono cilíndricas con taqués de rodillo incorporados. El elemento, de tipo mono elemento, se lubrica a presión y el combustible de drenaje es conducido a un sistema de tubos con presión

atmosférica fuera de la bomba o regresa al ciclo de baja presión de la bomba de inyección. Cada bomba de inyección mostrada en la Figura 2.6 está equipada con un cilindro de parada de emergencia acoplado a un sistema electro neumático de protección contra sobre velocidad. La línea de inyección se compone de un tubo de inyección y una pieza de conexión atornillados lateralmente en el porta inyectores.

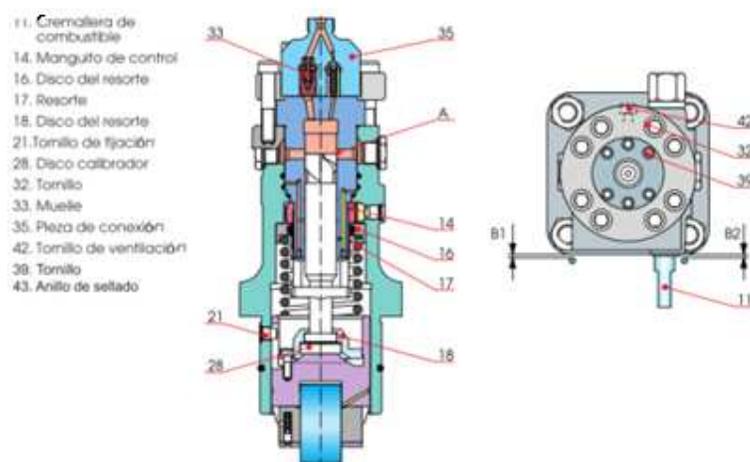


FIGURA 2.6 BOMBA DE INYECCIÓN.

Válvula de inyección

La válvula de inyección mostrada en la Figura 2.7 está situada centralmente en el cabezote, está conformada por el cuerpo del inyector, mecanismo de regulación y tobera. El combustible ingresa lateralmente a través de la tubería de alta presión.

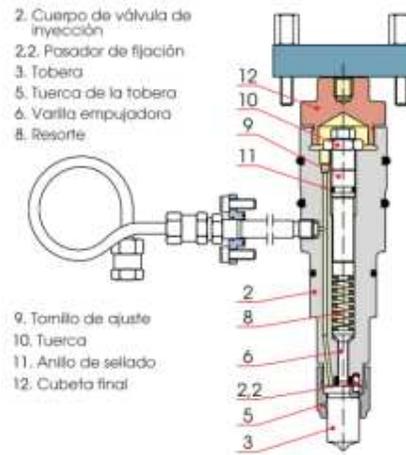


FIGURA 2.7 VÁLVULA DE INYECCIÓN (INYECTOR).

2.2 Descripción de los sistemas de la planta

Sistema de Combustible

La función del sistema de combustible es proporcionar al motor un suministro ininterrumpido y confiable de combustible limpio, con la temperatura y viscosidad correctas. La planta generadora dispone de dos sistemas de combustible: uno para combustible pesado crudo (CRO) y otro para combustible liviano diesel (LFO). El sistema para combustible pesado (HFO) es el sistema principal sobre el que opera la planta.

El motor se puede poner en marcha, detener y mantener parado con crudo (en modo reserva) por un periodo que no supere los dos días, siempre que el sistema de control de temperatura del combustible mantenga éste a una temperatura operativa.

El sistema de LFO se utiliza para el mantenimiento y como sistema de reserva. En caso de paradas planificadas para largos periodos, el LFO se utiliza para expulsar el CRO del sistema de combustible del motor.

Sistema de CRO

El combustible se transfiere del tanque de almacenamiento al depósito intermedio (tanque de sedimentación) por medio de la unidad de bomba de transferencia de CRO y a través de la válvula de tres vías de llenado automático (Figura 2.8), la válvula de tres vías es controlada por un sensor de nivel para prevenir el rebose del tanque. El combustible desde el depósito intermedio por medio de bombas es dirigido a los calentadores y posteriormente a las separadoras centrífugas donde se eliminan ciertas impurezas contenidas en el mismo, el combustible purificado es luego almacenado en el tanque de uso diario. La capacidad del separador es mucho mayor que el consumo de combustible del motor diesel. Por ello, el separador envía el exceso de combustible al depósito intermedio cuando el depósito de uso diario está lleno. El combustible es bombeado desde el depósito de uso diario a la unidad de sobrealimentación de crudo donde, finalmente, se calienta y presuriza. Antes de entrar en el motor, el combustible se filtra en la unidad de combustible (unidad de fuel oil en la Figura). Desde el motor, el combustible de retorno regresa a la unidad de sobrealimentación a través de la unidad de combustible. La unidad de ventilación genera vacío en un depósito que recolecta fluido producto fugas (producidas en bombas de inyección, tuberías de combustible, tuberías de

aceite y tuberías de agua), este depósito posee un sensor de nivel el cual envía una señal de alarma en caso de alto nivel del mismo.

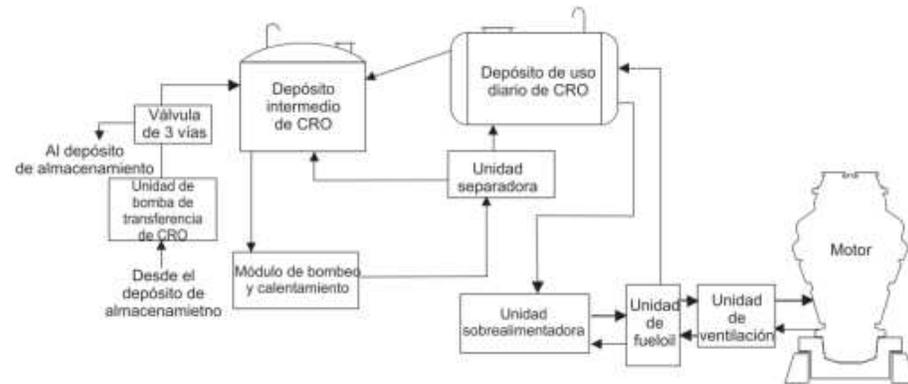


FIGURA 2.8 SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

Sistema de LFO

El motor se cambia de modo crudo a modo diesel por un periodo de 15 minutos antes de realizar mantenimientos para limpiar las tuberías y componentes del sistema de combustible. El combustible se bombea al tanque de uso diario de LFO mediante la unidad de bomba de transferencia de LFO, un esquema de este sistema se muestra en la Figura 2.9. El combustible se bombea desde el depósito de uso diario de LFO hacia la unidad de sobrealimentación de diesel, donde se presuriza. Finalmente, se filtra en la unidad de combustible antes de ingresar al motor. Desde el motor, el combustible de retorno regresa a la unidad de sobrealimentación a través de la unidad de combustible.

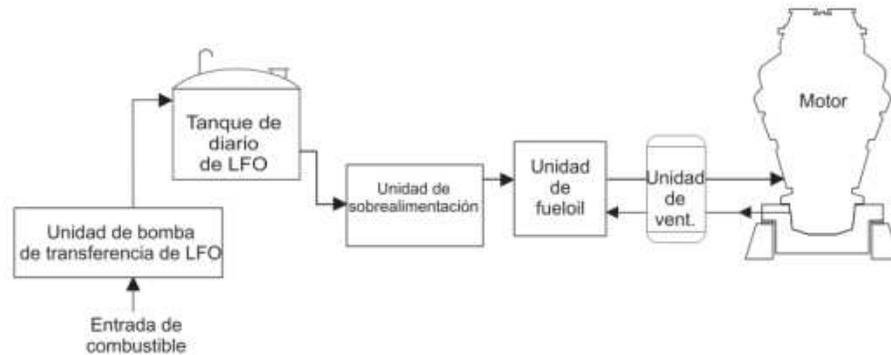


FIGURA 2.9 SISTEMA DE COMBUSTIBLE (LFO).

Sistema de inyección

Esta sección trata de la instalación de alta presión del sistema de combustible incluyendo la bomba de inyección, el tubo de alta presión y la válvula de inyección (Figura 2.10). Las bombas de inyección son bombas mono cilíndricas con seguidor de rodillos incorporados. El cilindro de la bomba se lubrica a presión y el combustible de drenaje va a parar a un sistema de tubos con presión atmosférica fuera de la bomba o regresa al ciclo de baja presión de la bomba de inyección. Cada bomba de inyección está equipada con un cilindro de parada de emergencia acoplado a un sistema electro neumático de protección contra sobre velocidad. La línea de inyección se compone de un tubo de inyección y una pieza de conexión, atornillados lateralmente en el porta inyector. La válvula de inyección se compone de un porta inyector y un inyector (tobera) con múltiples orificios.

Control del inicio de inyección de combustible

El inicio del recorrido de la bomba se determina a través de un método indirecto, observando cuándo el borde del émbolo cierra el paso entre el lado

de baja presión y el lado de alta presión de la bomba de inyección, la llamada "posición de flujo".

Línea de inyección

La línea de inyección consta de dos partes; la pieza de conexión, que va atornillada en el porta inyectores y el tubo de inyección. La pieza de conexión hace junta con superficies metálicas lisas y estas superficies deben verificarse antes del montaje. Apretar siempre la pieza de conexión al par correcto antes del montaje del tubo de inyección. Apretar también la pieza de conexión cuando sólo se ha desmontado el tubo de inyección, pues existe el riesgo de que la pieza de conexión se afloje al soltar el tubo.

Las tuberías de alta presión se suministran completas con las tuercas de conexión montadas. Apretar siempre las conexiones hasta el par correcto. Cuando se extraen las piezas de la línea de inyección es preciso protegerlas contra la suciedad y la oxidación.

Válvula de inyección (Inyector)

La válvula de inyección está situada centralmente en la culata e incluye el porta inyectores y la tobera. El combustible ingresa en el inyector lateralmente a través de una tubería que conduce el combustible desde la bomba de inyección hasta el inyector.

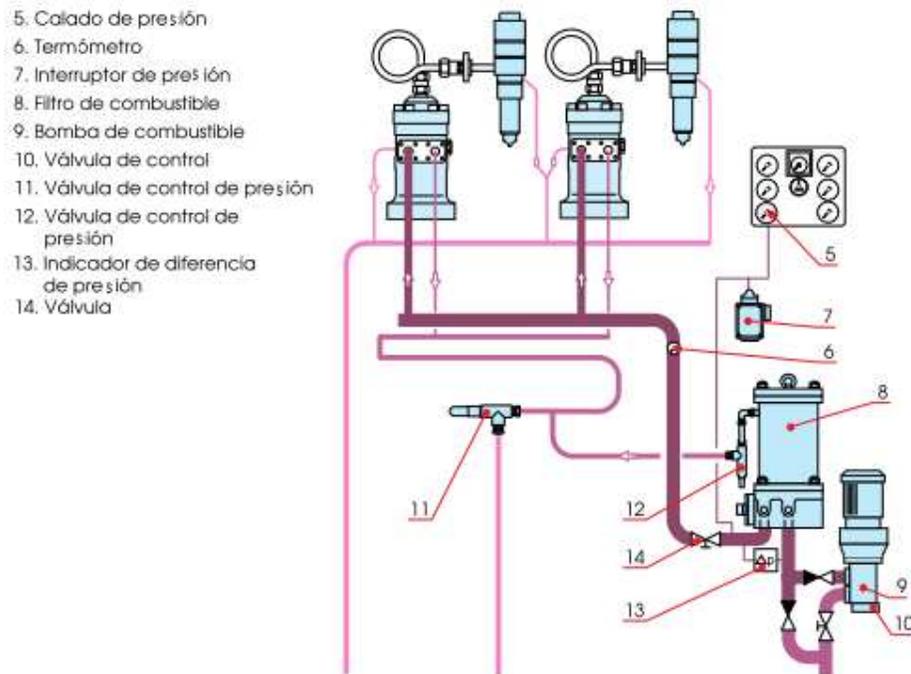


FIGURA 2.10 SISTEMA DE INYECCIÓN.

Sistema de Lubricación

La función principal del sistema de lubricación mostrado en la Figura 2.11 es proporcionar al motor una cantidad suficiente de aceite lubricante (LO) limpio a la presión y temperatura necesarias. Es importante mantener una velocidad de flujo adecuada en todo el sistema. El aceite lubrica el motor y elimina el calor (enfriamiento) y los contaminantes generados por el proceso de combustión.

El funcionamiento adecuado del sistema protege al motor de averías causadas por una presión demasiado baja, temperaturas excesivas, presión de pre lubricación demasiado baja o impurezas en el aceite.

Funcionamiento

La bomba de aceite de lubricación succiona el aceite del recipiente de aceite del motor y lo fuerza a través de un intercambiador de calor (enfriador). La temperatura del aceite se regula con una válvula termostática. El aceite se desviaría del enfriador si la temperatura cae por debajo del valor de la válvula termostática (60 °C).

Después del enfriador, el aceite lubricante pasa a través del filtro fino antes de ingresar al motor. El separador opera de forma continua separando el sedimento y el agua del aceite lubricante.

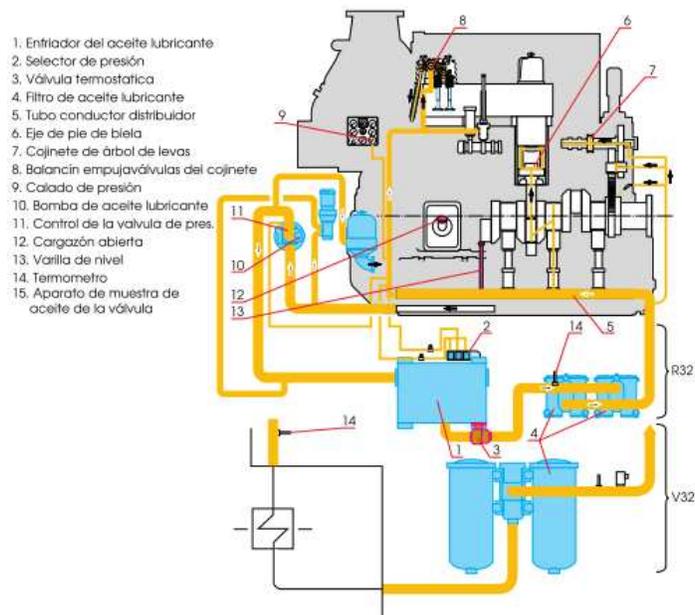


FIGURA 2.11 SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

Sistema de enfriamiento

El motor es enfriado por un sistema de agua dulce en circuito cerrado, Figura 2.12, dividido en un circuito de alta temperatura (HT) y un circuito de baja temperatura (LT). El agua es enfriada en un radiador central separado.

Circuito de HT

El circuito de HT enfría las camisas, culatas y turbo compresores. Una bomba centrífuga (9), accionada directamente por el motor, hace circular el agua a través del circuito de HT. Desde la bomba, el agua fluye hasta el conducto de circulación, en el bloque del motor. Desde los conductos de distribución, el agua circula hasta las camisas, sigue a través de piezas de conexión hasta las culatas donde es forzada a pasar por los asientos y válvulas de escape refrigerando eficazmente todos estos componentes. Desde la culata, el agua circula a través de una pieza de conexión hasta el tubo colector, sigue hasta la válvula termostática manteniendo la temperatura a un nivel en función de la carga.

Paralela a la circulación de los cilindros, parte del agua circula hasta los turbo compresores.

Circuito de LT

El circuito de LT se compone de un enfriador de aire de carga (7) y un enfriador de aceite lubricante (15), no montado sobre el motor, a través del cual una bomba (8) idéntica a la bomba de HT bombea el agua. La temperatura del circuito es controlada por una válvula termostática (10) que mantiene la temperatura del circuito LT a un nivel dependiente de la carga. El

enfriamiento necesario se obtiene del radiador central (14). El sistema del exterior del motor puede variar de una instalación a otra.

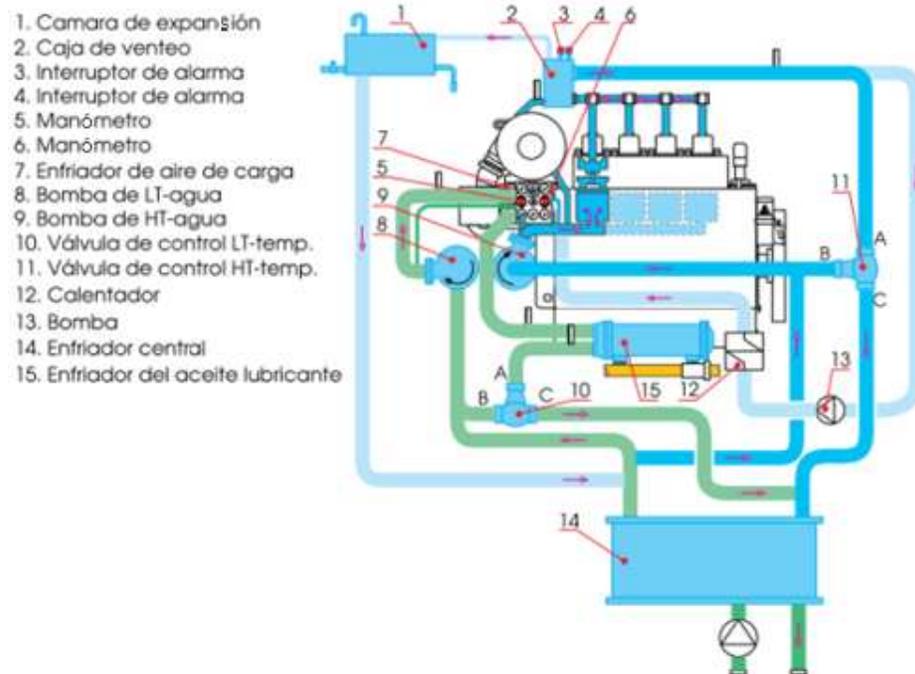


FIGURA 2.12 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

Control de la presión y ventilación

Los tubos colectores procedentes del sistema de refrigeración de los cilindros y la turbo compresores son conectados a una caja (2) para la ventilación del sistema. Desde esta caja, un tubo de ventilación va al tanque de expansión (1) al cual está conectado también la admisión de las bombas (8 y 9). Se requiere una presión estática de 0.7-1.5 bar antes de las bombas. Si el tanque de expansión no puede situarse a suficiente altura para proporcionar esta presión, el sistema debe ser presurizado.

Pre calentamiento

Para el pre calentamiento se conecta un circuito externo con la bomba (13) y el calentador (12), en el circuito de HT antes del motor. Las válvulas de retención en los circuitos fuerzan al agua a circular en la dirección correcta. Antes del arranque, el circuito de HT es calentado entre 70 y 80°C por el sistema de pre calentamiento. Esto es de máxima importancia en el arranque y en la marcha en vacío con combustible pesado.

Sistema de Gases de Escape

Los tubos de escape son de fundición nodular de aleación especial con secciones separadas para cada cilindro, fijados con abrazaderas (1). Juntas flexibles metálicas del tipo de capas múltiples absorben la dilatación térmica. El sistema de escape completo mostrado en la Figura 2.13, va encerrado en una caja metálica con aislamiento térmico montada flexiblemente en la estructura del motor. Las temperaturas de gases de escape pueden ser controladas con termómetros después de cada cilindro. Pueden montarse sensores para la medición de la temperatura después de cada cilindro, así como antes y después del turbo compresor.

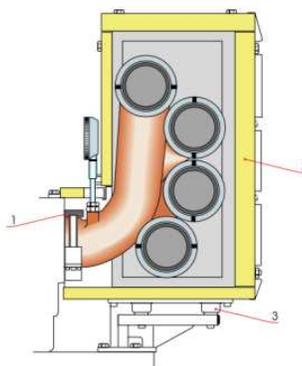


FIGURA 2.13 SISTEMA DE GASES DE ESCAPE.

Sistema de Aire de Arranque

Un esquema del sistema de aire de arranque se muestra en la Figura 2.14. El motor se arranca con aire comprimido a una presión máxima de 30 bares. La presión mínima requerida es de 15 bares. Un manómetro (1) montado en el panel de instrumentos indica la presión antes de la válvula de arranque principal.

El tubo de admisión de aire procedente de la botella de aire de arranque está provisto de una válvula de retención (2) y una válvula de alivio (3) antes de la válvula de arranque principal. La válvula de arranque principal puede ser maniobrada con el botón pulsador (4) en arranque manual ó neumáticamente por una electroválvula montada en la botella de aire para el dispositivo de desconexión por sobre velocidad en el arranque a distancia ó automático del motor.

Cuando se abre la válvula de arranque principal, el aire de arranque pasa parcialmente a través del arresta llamas (13) y el tubo de distribución de aire de arranque, a las válvulas de arranque en las culatas y parcialmente al distribuidor del aire de arranque que, guía el aire de control a las válvulas de arranque que se abren y dan paso al aire de arranque a los diferentes cilindros en el orden requerido. Los motores con cilindros en V tienen válvulas de arranque solamente en los cilindros del lado A.

Como medida de precaución, el motor no puede arrancarse con el virador embragado. El aire de arranque al distribuidor pasa a través de una válvula de cierre (15), bloqueada mecánicamente cuando está embragado el virador, impidiendo así el arranque.

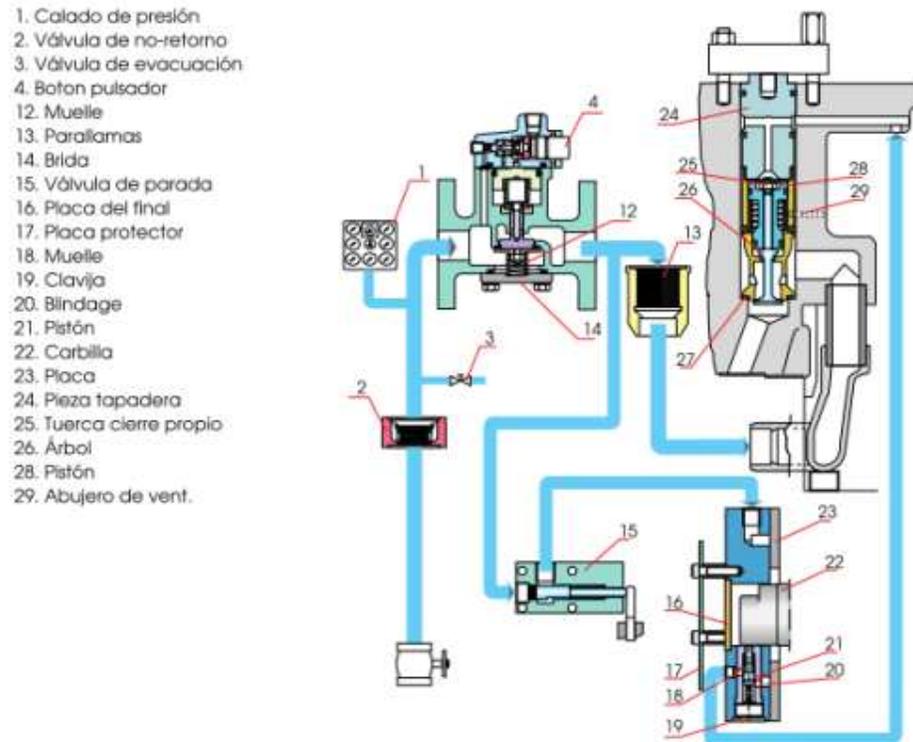


FIGURA 2.14 SISTEMA DE AIRE DE ARRANQUE.

Válvula de arranque principal.

La presión de admisión pasa a través de conductos a una pequeña válvula con un pistón piloto (7). Esta válvula puede accionarse manualmente con el botón pulsador (4) ó neumáticamente con una electroválvula para el arranque a distancia ó automático. Al abrir la válvula, circula aire a través de los agujeros (9) hasta el pistón (10) que ejerce su empuje por medio de un vástago de válvula (11) directamente en la válvula principal y la abre contra la presión ejercida por un resorte opuesto (12) y la presión de admisión, que

actúa bajo la válvula principal y por lo tanto, ayuda a mantener un cierre estanco con la válvula en posición cerrada.

Distribuidor del aire de arranque.

El distribuidor del aire de arranque es del tipo de pistón con camisas intercambiables mecanizadas con precisión (20). Las camisas, así como los pistones son de materiales resistentes a la corrosión. Los pistones del distribuidor son controlados por una leva (22) en el extremo del árbol de levas. Cuando se abre la válvula de arranque principal, los pistones de control (21) son presionados contra la leva de manera que el pistón de control para el cilindro del motor que está en la posición de arranque admite aire de control al pistón (28) de la válvula de arranque. La válvula de arranque se abre y permite que pase aire a presión al interior del cilindro del motor. El procedimiento se repetirá mientras la válvula de arranque principal esté abierta ó hasta que la velocidad del motor sea tan alta que se produzca el arranque del motor.

Después de que la válvula de arranque principal se ha cerrado, la presión cae rápidamente y los resortes (18) levantan los pistones separándolos de la leva, lo que supone que los pistones tocan la leva solamente durante el ciclo de arranque y por consiguiente, el desgaste es mínimo.

Mecanismo de control

Durante el funcionamiento normal, la velocidad del motor es controlada por un regulador (18) que controla la cantidad de combustible inyectado para que

se corresponda con la carga (Figura 2.15). El movimiento de regulación es transferido al eje de regulación (10) por medio de una varilla accionada por el resorte (16) que permite que las funciones de parada o límite sean transferidas al eje de regulación con independencia de la posición del regulador. En los motores con cilindros en V, los ejes de regulación de las líneas de cilindros están conectados con varillas de tal manera que los dos ejes de regulación trabajan de forma sincronizada entre sí. El movimiento desde el eje de regulación hasta las cremalleras de las bombas de inyección (1) es transferido a través de la palanca de regulación (4) y el resorte (3) que presiona el pasador (2) en el extremo de la cremallera contra la palanca de regulación. El resorte de torsión (3) permite que el eje de regulación y en consecuencia, las otras cremalleras se muevan a una posición de parada aunque una de las cremalleras se haya agarrotado. Del mismo modo, el muelle de torsión (5) permite que el eje de regulación se mueva hacia la posición del combustible conectado aunque una bomba de inyección se haya agarrotado en la posición sin combustible. Esta característica puede ser rotada en la posición sin combustible. Esta característica puede ser importante en una situación de emergencia.

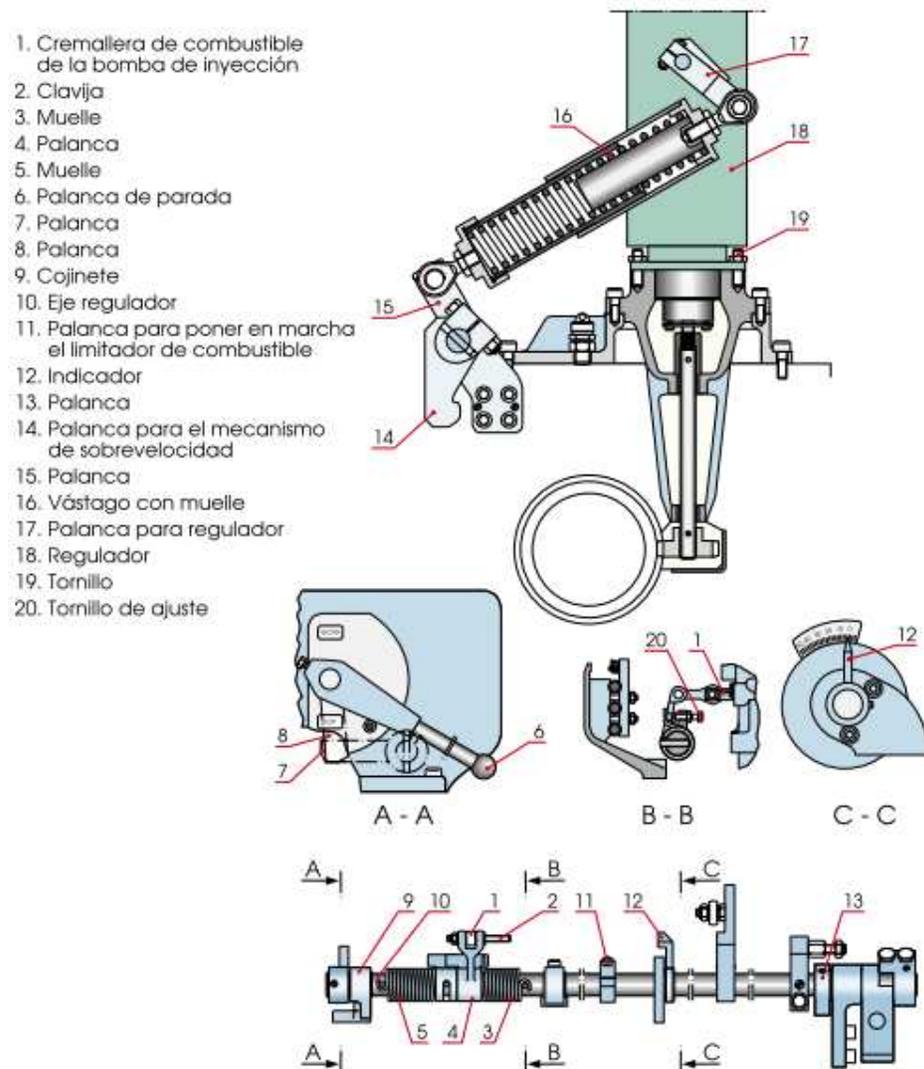


FIGURA 2.15 MECANISMO DE CONTROL.

El motor puede ser parado por medio de una palanca de parada (6). Cuando la palanca de parada se mueve a la posición de parada (8) acciona la parada (7) forzando al eje de regulación a la posición de parada.

El motor está provisto de dos dispositivos de desconexión por sobre velocidad independientes, uno electro neumático con velocidad de disparo

de aproximadamente el 15 % por encima de la velocidad nominal y otro mecánico con velocidad de disparo de aproximadamente el 18 % por encima de la velocidad nominal. El dispositivo electro neumático mueve cada cremallera a la posición sin combustible por medio de un cilindro neumático en cada bomba de inyección. El cilindro acciona el pasador (2) en el bastidor de combustible. El dispositivo mecánico acciona la palanca (14) moviendo el eje de regulación a la posición de parada. Tanto el dispositivo electro neumático como el mecánico pueden ser desconectados también manualmente.

En el arranque, un limitador de combustible limitará automáticamente el movimiento del eje de regulación hasta un valor adecuado. Un cilindro de aire a presión limita la posición de la palanca (11). El indicador (12) indica la posición de la cremallera de combustible. El regulador de velocidad está equipado con un solenoide de parada con el que puede pararse el motor a distancia. El solenoide también está conectado a un sistema electro neumático de protección de sobre velocidad y a un sistema de parada automática, que detiene el motor si la presión del aceite lubricante es demasiado baja, si la temperatura del agua es demasiado alta o en cualquier otra función deseada. Junto al regulador hay un limitador mecánico fijo que actúa sobre el eje regulador a través de la palanca (13).

2.3 Conceptos de Separadoras Centrífugas

La centrífuga se caracteriza por el tipo de tambor, preparado para un campo de aplicación determinado. Antes de dar una descripción detallada del tambor, se explica el principio general de funcionamiento de la centrífuga.

Las mezclas de líquidos o las mezclas líquido/sólidos se pueden separar por gravedad en un recipiente de sedimentación estático, o bien por fuerza centrífuga en una separadora centrífuga siempre y cuando los componentes del producto presenten densidades diferentes.

Como el campo centrífugo de la separadora es mucho más efectivo que el campo gravitacional de un recipiente estático, la separación por centrifugación será mucho más rápida que la separación estática.

Principio de funcionamiento del tambor.

La descomposición de una mezcla de líquidos formada por una fase ligera y otra pesada, p.ej. aceite y agua, en sus distintos componentes se realiza en el tambor purificador en el interior de un juego de platos, un esquema de este proceso se muestra en la Figura 2.16.

El juego de platos consta de gran cantidad de platos cónicos superpuestos. Cada plato dispone de unos nervios distanciadores que forman entre los platos contiguos unos intersticios estrechos exactamente definidos. Por tanto, el recinto de centrifugación está formado por un conjunto de numerosos espacios paralelos de escasa altura. De ahí resulta para el producto un trayecto de sedimentación radial muy corto.

Los sólidos se acumulan en la pared superior de cada uno de los intersticios y se deslizan fácilmente hacia el recinto de sólidos. La superficie lisa de los platos facilita el desplazamiento de los sólidos, favoreciendo la auto limpieza de los platos.

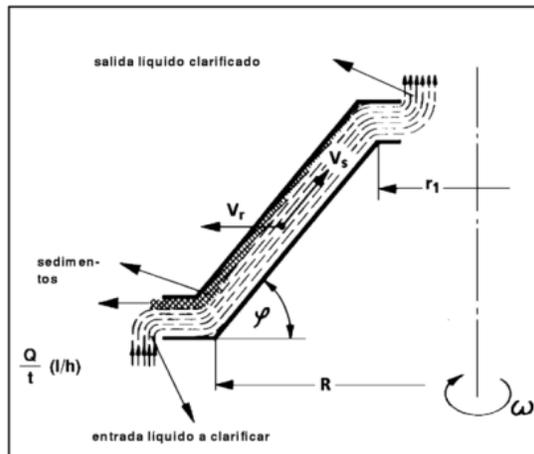


FIGURA 2.16 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA SEPARADORA CENTRÍFUGA.

Partes constitutivas de la instalación y la centrífuga.

Los componentes principales de la instalación de la centrífuga son los siguientes:

- la centrífuga clarificadora/purificadora
- la centrífuga clarificadora con maniobra autónoma
- el filtro
- la bomba
- el pre calentador
- los elementos de conmutación

- las tuberías

La centrífuga comprende:

- el bastidor
- el capó
- el accionamiento
- el tambor
- el rodete centrípeto
- el motor

Cierre del tambor

Una vez arrancada la centrífuga se acciona el dispositivo de cierre de agua de maniobra con ayuda del programador. El líquido de maniobra entra en la cámara de inyección de la parte interior del tambor y pasa de aquella, por unos conductos, a la cámara de cierre.

De esta forma se inicia el cierre del tambor, El pistón anular pasa a posición de cierre. La presión del líquido en la cámara de cierre hace subir el pistón deslizante, lo presiona contra la junta de la parte inferior del tambor y cierra así el tambor.

Apertura del tambor (descarga)

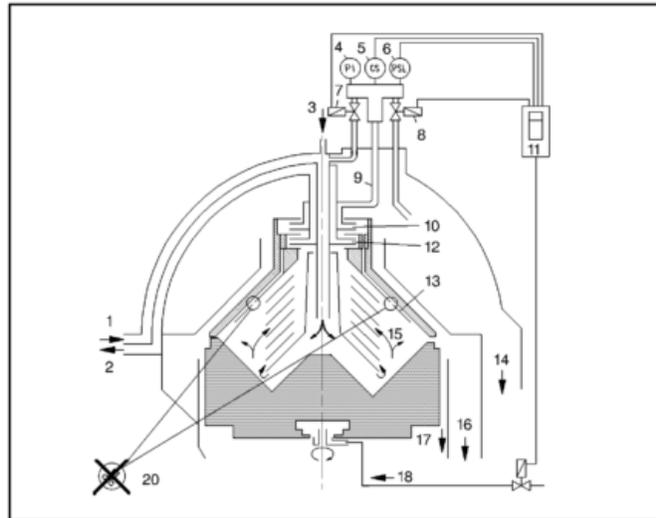
Con ayuda del programador de tiempos se abre el dispositivo de cierre del líquido de maniobra. El líquido de maniobra entra primero en la cámara de inyección y pasa de allí a la cámara de apertura. Es pistón anular sube y vacía la cámara de cierre. El pistón deslizante desciende y deja libres los orificios previstos en la parte inferior del tambor para la descarga de los sólidos eliminados.

Centrífuga con sistema de control del contenido de agua (WMS) para el tratamiento de aceite combustible.

El aceite combustible se envía a la centrífuga con una bomba independiente o con una bomba adosada a la máquina. Un esquema de este sistema de separación centrífuga se muestra en la Figura 2.17.

El aceite limpio clarificado se descarga a presión con el rodete (12) a través de la salida (2). La apertura y el cierre del tambor durante las descargas se efectúan de forma automática y a pleno régimen de revoluciones, mediante una electroválvula teledirigida, incorporada en la conducción de agua de maniobra. El tiempo máximo de apertura de la electroválvula es de 3 segundos. Un sensor de conductancia (5) vigila el flujo parcial (9) desviado del tambor por encima del plato separador (13) y a través del rodete de líquido sonda (10). Si el sensor registra agua, se abre la válvula (8) y el agua se desvía por la salida de agua sucia (14). La centrífuga funciona como purificadora.

Al variar la conductancia porque pasa aceite, se cierra la electroválvula (8) mientras que la electroválvula (7) se abre intermitentemente. El flujo parcial (9) regresa entonces a la alimentación (1). La centrífuga funciona como clarificadora. La instalación del mando y control asegura el funcionamiento desatendido de la máquina.



- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1 Alimentación de aceite sucio | 10 Rodete de líquido sonda |
| 2 Salida de aceite limpio | 11 Programador de tiempos |
| 3 Agua de desplazamiento | 12 Rodete (aceite limpio) |
| 4 Manómetro | 13 Plato separador |
| 5 Sensor de conductancia | 14 Salida de agua sucia |
| 6 Presostato | 15 Recinto de sólidos |
| (sin función en el WMS) | 16 Salida de lodos |
| 7 Electroválvula | 17 Salida de agua de maniobra |
| 8 Electroválvula | 18 Entrada de agua de maniobra |
| 9 Flujo parcial | 20 Orificios de control (abiertos) |

FIGURA 2.17 SISTEMA DE CONTROL DEL CONTENIDO DE AGUA (WMS) PARA TRATAMIENTO DEL COMBUSTIBLE.

Centrífuga con sistema de control del recinto de lodos (SMS) para el tratamiento de aceite combustible

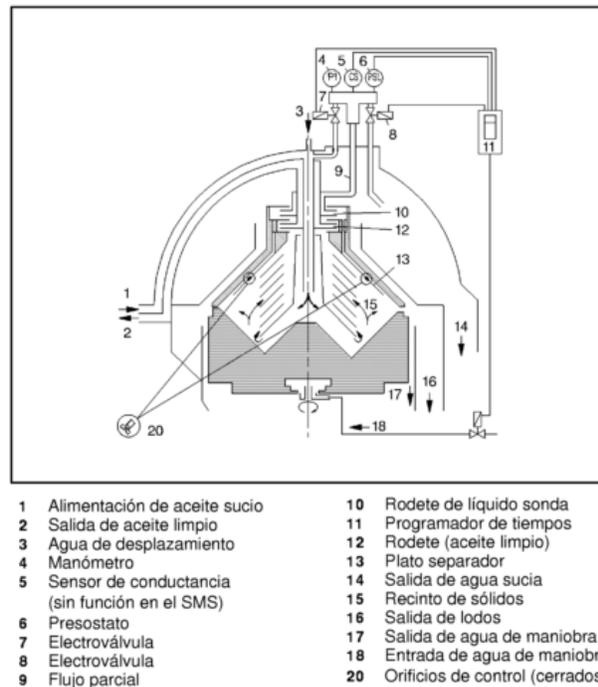
El sistema SMS para el tratamiento de aceite combustible se utiliza para la clarificación en el tratamiento en dos etapas de aceite combustible. Un esquema de este sistema de separación centrífuga se muestra en la Figura 2.18.

El rodete de descarga de la centrífuga purificadora de la etapa precedente envía el aceite combustible a la centrífuga clarificadora. El aceite limpio clarificado se descarga a presión con el rodete (12) a través de la salida (2).

La apertura y el cierre del tambor durante las descargas se efectúan de forma automática y a pleno régimen de revoluciones, mediante una electroválvula teledirigida, incorporada en la conducción de agua de maniobra. El tiempo máximo de apertura de la electroválvula es de 3 segundos.

Una pequeña cantidad de líquido se desvía en un flujo parcial (9) por encima del plato separador (13). Dicho flujo parcial es enviado por el rodete de líquido sonda (10) hacia el presostato (6), regresando luego a la alimentación (1).

Al obstruirse la entrada de este líquido sonda a causa de la acumulación de agua o lodos en el recinto de sólidos (15), el presostato (6) envía un impulso al programador de tiempos, iniciándose el programa automático de descarga.



**FIGURA 2.18 SISTEMA DE CONTROL DEL RECINTO DE LODOS (SMS)
PARA TRATAMIENTO DEL COMBUSTIBLE.**

**Centrífuga con sistema de control del recinto de lodos (SMS) para el
tratamiento de aceite lubricante.**

El sistema SMS para el tratamiento de aceite lubricante se utiliza para la clarificación en la purificación continua de aceite lubricante para motores Diesel. Un esquema de este sistema de separación centrífuga se muestra en la Figura 2.19. El aceite lubricante se envía a la centrífuga con una bomba independiente o con una bomba adosada a la máquina. El producto se alimenta por un sistema de tubería cerrada (1). El aceite limpio clarificado se descarga a presión con el rodete (12) a través de la salida (2).

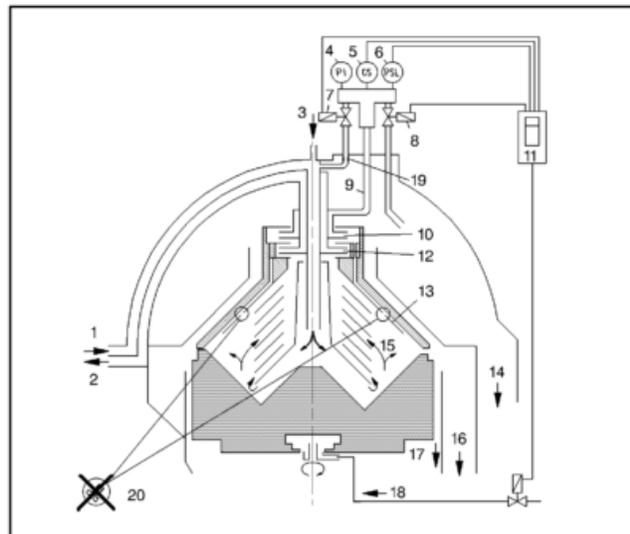
La apertura y el cierre del tambor durante las descargas se efectúan de forma automática y a pleno régimen de revoluciones, mediante una electroválvula teledirigida, incorporada en la conducción de agua de maniobra. El tiempo máximo de apertura de la electroválvula es de 3 segundos.

Una pequeña cantidad de líquido se desvía en un flujo secundario (9) por encima del plato separador (13). Este flujo secundario es enviado por el rodete de líquido sonda (10) hacia el presostato (6), regresando luego a la alimentación (1) a través de la válvula reguladora (19).

Antes de iniciar la centrifugación se llena parcialmente de agua (3) el recinto de sólidos (15). A continuación se introduce el aceite sucio por la alimentación (1). Durante la centrifugación, los sólidos y el agua se separan del aceite, acumulándose en el recinto de sólidos (15). Cuando el agua llega a los orificios de control (20) se interrumpe el flujo secundario (9). Se registra una caída de presión y el presostato (6) envía un impulso al programador (11).

El programa automático de descarga se inicia con un desplazamiento.

La instalación de mando y control asegura el funcionamiento desatendido de la máquina.



- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1 Alimentación de aceite sucio | 13 Plato separador |
| 2 Salida de aceite limpio | 14 Salida de agua sucia |
| 3 Agua de desplazamiento | 15 Recinto de sólidos |
| 4 Manómetro | 16 Salida de lodos |
| 6 Presostato | 17 Salida de agua de maniobra |
| 9 Flujo secundario | 18 Entrada de agua de maniobra |
| 10 Rodete de líquido sonda | 19 Válvula reguladora |
| 11 Programador de tiempos | 20 Orificios de control (abiertos) |
| 12 Rodete (aceite limpio) | |

**FIGURA 2.19 SISTEMA DE CONTROL DEL RECINTO DE LODOS (SMS)
PARA TRATAMIENTO DEL ACEITE LUBRICANTE.**

2.4 Conceptos de Análisis de Aceite

El aceite lubricante en los motores Diesel modernos tiene una variedad de funciones, entre las cuales las más importantes son:

- Reducir la fricción
- Prevenir el contacto de metal a metal
- Prevenir la corrosión
- Servir como medio de enfriamiento
- Mejorar la limpieza del motor
- Actuar como medio para el sellado

Estas instrucciones de operación son una guía para el análisis y los procedimientos de control de calidad del aceite lubricante, con el propósito de mantener el aceite en niveles satisfactorios desde el punto de vista del motor.

Propiedades químicas y físicas deterioradas del aceite pueden afectar el desempeño del aceite en las funciones mencionadas anteriormente, esto puede resultar en una reducción significativa de la vida útil en los componentes del motor, un incremento en el riesgo de fallas catastróficas en los componentes del motor y consecuencias negativas en la operación del motor.

Número Base Total

El número base es una medida de la alcalinidad del aceite lubricante, expresado en mg de KOH/g de aceite. El nivel de azufre en el combustible determina el nivel de alcalinidad requerido en el aceite. El azufre en el combustible es convertido en productos ácidos, principalmente óxidos de

azufre, durante la combustión del combustible. Si estos compuestos ácidos no son neutralizados estos pueden atacar los espacios de combustión y otros componentes del motor.

Niveles demasiados bajos de número base puede conllevar a una corrosión ácida, un incremento en la tasa de desgaste del motor, reducción de la vida útil

de los componentes del motor y por lo tanto un incremento en el costo de operación del motor. Un nivel demasiado alto de número base, puede en teoría, incrementar el riesgo de la formación de depósitos en el motor. En los motores modernos con aceites lubricantes modernos este problema no ocurre frecuentemente.

Se recomienda el uso de aceites con BN entre 50-55 cuando se opera con combustibles pesados con niveles de azufre >2% en peso, especialmente en motores con carter húmedo. Aceites con BN de 30 son recomendados solo para aplicaciones especiales, por ejemplo en el caso de instalaciones con convertidores catalíticos; donde los aceites con altos niveles de BN podrían contribuir a la formación de capas en los catalizadores.

Típicamente el BN del aceite se reduce rápidamente al principio y luego gradualmente se estabiliza a un nivel de equilibrio. El nivel mínimo permitido cuando se opera en HFO es de 20 y para LFO el nivel mínimo permitido es 50% del nivel original del aceite.

El nivel mínimo de BN recomendado para un desempeño óptimo del motor operando en HFO es de 25 y de una reducción del 40% del nivel inicial del aceite en motores operando en LFO.

Viscosidad

Viscosidad es la propiedad de un fluido que causa resistencia al flujo. La viscosidad del aceite depende de la temperatura y presión. La viscosidad es una de las propiedades más importantes para establecer el espesor de la capa de aceite, la presión y la temperatura del aceite. El espesor de la capa de aceite se incrementa con la viscosidad, en consecuencia la fricción y la pérdida de potencia también se incrementan. La viscosidad es un factor importante para predecir el desempeño y la fatiga de cojinetes y engranajes.

La unidad oficial de la viscosidad cinemática del sistema métrico (SI) es m^2/s , pero el cSt (centistoke) es todavía una unidad de medida utilizada comúnmente para expresar la viscosidad del aceite. El índice de viscosidad (VI) es utilizado comúnmente como una expresión del cambio de viscosidad del aceite con temperatura. Un índice de viscosidad alto describe un aceite que tiene un cambio relativo más pequeño de viscosidad en relación con la temperatura. La mayor parte de los motores de velocidad media tienen un aceite con un índice de viscosidad entre 95 y 110.

Se podría esperar que la viscosidad típica del aceite se incrementara gradualmente durante la operación, debido a la oxidación y polimerización de los compuestos en el aceite lubricante, incremento en los contenidos de sólidos en el aceite, etc. Una posible razón para una caída inesperada en la viscosidad del aceite podría ser por ejemplo la contaminación del aceite con LFO.

Los límites para condenar el aceite en motores WÄRTSILÄ de velocidad media, debido a la viscosidad son:

- Máx. -20% o +25% de los niveles originales del aceite nuevo a 100°C
- Máx. -25% o +45% de los niveles originales del aceite nuevo a 40°C

Los cambios de viscosidad del aceite recomendados para el desempeño óptimo del motor son:

- Máx. $\pm 15\%$ de los niveles originales del aceite nuevo a 100°C
- Máx. $\pm 25\%$ de los niveles originales del aceite nuevo a 40°C

Agua

Agua en el aceite es perjudicial a la lubricación, física y químicamente. El agua es un poco soluble en aceites bases y es un poco mas soluble (unas cuantas partes por millón) en aceites formulados. Generalmente la solubilidad del agua en el aceite es baja, debido a la polaridad de las moléculas de agua. Si se incrementa el número de moléculas de agua presente en el aceite, el aceite se satura y agua libre aparece en el aceite. Un aspecto turbio del aceite muchas veces es el resultado de gotas de agua no disueltas en el aceite.

El agua corroe muchos metales comunes y también puede contribuir en varias formas de daños por corrosión y cavitación en las superficies de los cojinetes. Cojinetes compuestos básicamente de plomo y estaño se oxidan fácilmente en la presencia de agua y oxígeno. Productos de la corrosión también pueden contribuir a la formación de desperdicios sólidos en el aceite

y a la formación de picaduras en las superficies del metal. Otra indicación de contaminación de agua en el aceite es el incremento del contenido de sodio y cloro en el aceite, especialmente en instalaciones marítimas.

El agua también cataliza la oxidación del aceite y la formación de ácidos, estos pueden reaccionar o precipitar los aditivos en el aceite, el aceite base con contaminantes en suspensión. Los efectos de estas reacciones son productos secundarios indeseables, tales como barnizado, laqueado, lodos, ácidos orgánicos e inorgánicos, depósitos en las superficies y espesado del lubricante (polimerización). Estos productos secundarios también causan que se consuman los inhibidores de oxidación en el aceite.

Por favor tenga presente que algunos métodos de análisis pueden dar resultados de contenido de agua mayores que si se utilizara el método recomendado por destilación (ASTM D 95). Por ejemplo si se utiliza el método por espectroscopia infrarroja, especialmente para los análisis “rápidos”, se ha encontrado que los resultados de concentración de agua son un poco más altos (0.1 a 0.2 %/Vol.) en comparación con los resultados obtenidos por el método de destilación. El contenido máximo de agua en el aceite es de 0.3% por volumen.

Insolubles

Partículas sólidas duras, la cuales pueden estar presentes en los sistemas de lubricación, pueden tener su origen en partículas del taller tales como residuos de soldadura, lijaduras de metal (en sistemas nuevos), arena, arcilla, materiales de desgaste, etc. Si su tamaño es casi el mismo que la película de aceite estos se pueden adherir o desgastar las superficies que

entran en contacto con ellas, esto a su vez puede reducir la vida útil de los componentes del motor.

La abrasión puede ser detectada en una parte desgastada observando las líneas paralelas de las ralladuras causadas en la dirección en la cual se deslizan las partes o por partículas pequeñas y abrasivas presentes en el aceite usado. Contaminantes semisólidos son generalmente productos de la oxidación y polimerización, productos secundarios del carbón, microorganismos y productos secundarios de la reacción de aditivos del aceite con agua. En los sistemas de lubricación estos y otros productos contribuyen a la formación de lodos, los cuales se acumulan en las tuberías, bombas, orificios y otros pasajes pudiendo causar una reducción en el flujo y un bajo flujo de aceite a partes críticas del motor. Si hay productos de oxidación presente es posible medirlos por el incremento de insolubles de pentano y tolueno (TAN), estos se pueden medir por medio de espectrografía infrarroja y la cantidad de residuos presentes en los filtros.

Pruebas de TAN y los residuos en los filtros no son necesariamente indicadores de la degradación del aceite, pero indican la presencia de materiales semisólidos, la persona evaluando los resultados debe juzgar cual es la procedencia de los productos.

El nivel máximo de insolubles permitido es de 2% por peso (insolubles de n-pentano). El nivel recomendado de insolubles para el desempeño óptimo del motor es de <1% por peso (insolubles n-pentano)

Punto de Inflamación

El análisis del punto de inflamación es por razones de seguridad. Un punto de inflamación bajo indica la presencia de hidrocarburos livianos, lo cuales se pueden evaporar fácilmente. Estos incrementan la posibilidad de una explosión en el carter y la posibilidad de fallos en el motor.

El punto de inflamación mínimo permitido es de 170°C utilizando el método de copa cerrada Pensky Martens (PMCC), si se utiliza el método de copa abierta Cleveland (COC) el punto de inflamación mínimo es de 190°C.

Análisis de Elementos

Los elementos se dividen en cuatro grupos de acuerdo a su origen. Sin embargo, se debe hacer la salvedad que algunos elementos pertenecen a más de un grupo y que diferentes materiales de construcción pueden ser utilizados para diferentes tipos de motores. Las especificaciones de los componentes deben ser verificadas en cada caso antes de llegar a conclusiones definitivas.

Metales de Desgaste

Los metales de desgaste más comunes en el aceite son hierro (Fe), Cromo (Cr), plomo (Pb), Cobre (Cu) y Estaño (Sn). También hay pequeñas cantidades de Aluminio(Al), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni) y Antimonio (Sb) presentes en el motor.

La presencia de hierro en el aceite es el resultado principalmente de desgaste del pistón y la camisa del cilindro. Aceite fresco también puede contener pequeñas cantidades de hierro (<15ppm), esta se pueden originar

de las líneas de transferencia o de los tanques. Si el aceite no se entrega a granel. También es importante el tener presente que el hierro es utilizado como un aditivo en algunas formulaciones de aceite.

El contenido de Cromo en el aceite indica desgaste de los anillos del pistón. Plomo puede estar presente en las capas superiores de los casquillos del bulón, cojinetes del eje de levas, casquillos de los extremos del eje de levas y de las arandelas de empuje.

El Cobre puede contaminar el aceite por medio del desgaste de los cojinetes de las bombas de lubricación, los cojinetes de bronce de los balancines, los rodillos

en los botadores y de los casquillos del cojinete del bulón. Si el contenido de cobre es sumamente alto (>10-15ppm), la causa probable es la presencia de gases de escape en el aire de admisión, por ejemplo debido a una fuga de gases de escape, recirculación o por causas externas. Si hay gases de escape presente en el aire de admisión, los compuestos de azufre eventualmente corroerán los materiales del enfriador de aire de carga, los cuales contienen cobre.

Las posibles fuentes de Estaño son los cojinetes mayores de la biela, cojinetes principales, los casquillos del cojinete del bulón, cojinetes del eje de levas, casquillos de los cojinetes de los extremos del eje de levas y las arandelas de empuje.

Las fuentes más probables de Aluminio y Níquel es el combustible (HFO), pero compuestos de (Al +Si) pueden tener su origen en otras partes del motor.

Elementos que se Originan del Combustible

El combustible pesado (HFO) es normalmente la fuente de Vanadio (V) y Níquel (Ni) en el aceite. También puede haber pequeñas cantidades de estos elementos en el combustible liviano (LFO). Los contenidos de vanadio y níquel en el aceite generalmente llegan a un equilibrio, la cual es 1:2 veces el contenido de V y Ni en el combustible.

El origen del Aluminio (Al) y Silicón (Si) generalmente es el combustible pesado (HFO). Las refinerías de petróleo equipadas con equipos para el refinado por cracking catalítico utilizan zeolitas (compuestos de Silicón y Aluminio) como catalizadores. Ocasionalmente algunos residuos del catalizador ("cat fines"=Al+Si), pueden estar presentes en el combustible y estos contaminan el aceite durante la operación del motor. El Silicón también es utilizado como un antiespumante en los aceites de lubricación.

La fuente principal de Sodio (Na) en el aceite es el combustible pesado (HFO), pero la presencia de Sodio también puede indicar que hay una fuga de agua de mar en los enfriadores centrales o una fuga en el circuito cerrado del sistema de enfriamiento. Los aditivos más comunes para el agua de enfriamiento son productos formulados a base de Nitritos de Sodio + Borato de Sodio y Molibdato de Sodio.

Elementos que se Originan en el Agua

Sodio ver información anterior.

Aditivos de los Aceites de Lubricación

Calcio (Ca), Fósforo (P) y Zinc (Zn) son utilizados normalmente en el paquete de aditivos del aceite. La cantidad de calcio depende del BN, mientras más alto es el BN del aceite mayor será el contenido de Calcio. Por ejemplo un aceite con un BN 30 contiene Ca x 1.0 a 1.1 % por peso y un aceite con BN 50 contiene Ca x 1.8 a 2.0 % por peso.

El contenido de Fósforo y Zinc depende de la química de los aditivos utilizados en el aceite y puede variar significativamente. En la mayoría de los aceites lubricantes utilizados en motores Diesel WÄRTSILÄ® de velocidad media el contenido de Fósforo en los aceites frescos es de 200 a 1000 ppm y el contenido de Zinc es de 200 a 1100 ppm. En los aceites usados estos valores son un poco más bajos.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE OPERACIÓN

En el presente capítulo se realiza un análisis de la situación actual de operación de los motores de combustión interna, del sistema de combustible y lubricación de la planta de generación. El objetivo de este capítulo es encontrar las causas que producen el desgaste de las camisas y coronas de pistones, con el fin de determinar acciones de mejora para disminuir el desgaste y prolongar los periodos de mantenimientos mayores. Se utilizó el método de diagrama de árbol para el análisis de los principales problemas encontrados.

3.1 Análisis de los factores que influyen en el desgaste del motor

El desgaste de los componentes de los motores de combustión interna es normal debido a la fricción que se produce por el trabajo de los mismos, desgastes excesivos tienen diversas causas atribuidas principalmente a la calidad del combustible utilizado, debido a esto se realizó un análisis detallado del combustible utilizado, su proceso de tratamiento, parámetros operativos de trabajo y finalmente el proceso de inyección en el motor, con el fin de determinar posibles anomalías y puntos de mejora.

La Figura 3.1 muestra el diagrama de árbol realizado para el análisis del sistema de combustible.

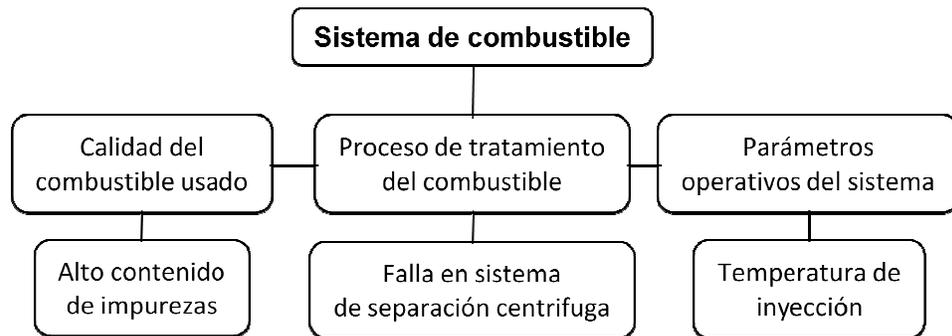


FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE ÁRBOL DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

Otra de las principales causas de desgaste son defectos en la lubricación y en la selección del lubricante, para lo cual se analizó si el lubricante utilizado es el adecuado y se realizó un análisis del aceite lubricante para determinar su desempeño en el motor. El diagrama de árbol realizado para el análisis del sistema de lubricación se muestra en la Figura 3.2.

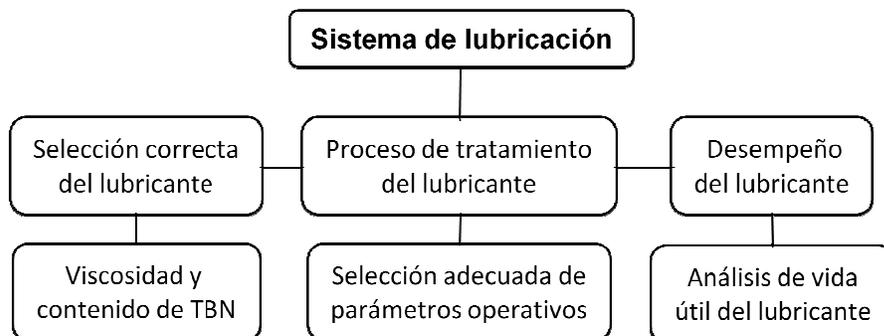


FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE ÁRBOL DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

Los motores que se están analizando se encuentran instalados en varias plantas de generación de los bloques de producción de petróleo del país, en los cuales no se presentan desgastes excesivos en las camisas y coronas, estos elementos en estas plantas tienen un tiempo de vida útil de 48000 horas aproximadamente, por lo que se descarta un posible problema en la calidad del material utilizado para su fabricación.

3.2 Análisis del sistema de combustible

En la siguiente sección se realiza el análisis del sistema de combustible de la planta de generación, el sistema de combustible es el encargado de suministrar combustible limpio de manera ininterrumpida al motor, a la temperatura y viscosidad adecuada para el correcto funcionamiento del mismo.

Para iniciar este análisis se comienza definiendo las características que debe tener el combustible antes de su ingreso al motor, las mismas que aseguran el desempeño óptimo del motor.

La Tabla 1 tomada del manual de instrucciones del fabricante, muestra los límites máximos que deben tener las propiedades del combustible con el cual va a operar el motor, dentro de las mismas se tiene la viscosidad, densidad, porcentaje de agua, punto de inflamación, punto de fluidez y sedimentos.

PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE, LÍMITES MÁXIMOS		
Viscosidad	cSt @ 100 °C	55
	cSt @ 50 °C	730
Densidad	Kg/m ³ @ 15 °C	991
Agua	% vol.	1
Agua ingreso motor	% vol.	0.3
Punto de inflamación	°C	60
Punto de fluidez	°C	30
Sedimentos	% masa	0.1

TABLA 1. PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE.

Otros de los requerimientos básicos que el fabricante establece para el combustible esta dado por el contenido de impurezas del mismo, los límites máximos de impurezas se muestran en la Tabla 2 (manual de instrucciones del fabricante), donde se clasifica el combustible en dos categorías HFO1 (Heavy Fuel Oil) y HFO2 dependiendo de la concentración de impurezas presentes en el mismo. De esta clasificación dependerán los intervalos de mantenimientos programados que se realizan en el motor.

PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE, LÍMITES MÁXIMOS			
		HFO 1	HFO 2
Azufre	% masa	2	2.0 - 5.0
Cenizas	% masa	0.05	0.05 - 0.20
Vanadio	mg/Kg	100	100 - 600
Sodio	mg/Kg	50	50 - 100
Sodio ingreso motor	mg/Kg	30	30
Aluminio + Silicio	mg/Kg	30	30 - 80
Residuos de carbón	% masa	15	15 - 22
Asfaltenos	% masa	8	8 - 14
CCAI		850	850 - 870

TABLA 2. CONTENIDO MÁXIMO DE IMPUREZAS EN EL COMBUSTIBLE.

Una vez definida las características que debe cumplir el combustible, tanto en sus propiedades básicas como en el contenido de impurezas, se requiere que estas sean comparadas con el combustible utilizado por el motor, para lo cual se realizó un análisis detallado del combustible en un laboratorio certificado. El combustible utilizado es crudo y los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 3.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CRUDO		
Viscosidad	cSt @ 50 °C	891,6
	cSt @ 80 °C	141,3
	cSt @ 100 °C	59,45
	cSt @ 120 °C	34,78
	cSt @ 140 °C	19,45
Densidad	Kg/m ³ @ 15 °C	962
Agua	% vol.	< 0.1
Azufre	%masa	2,41
Vanadio	ppm	456
Níquel	ppm	155
Residuos de carbón	ppm	15,32
Asfáltenos	ppm	12,92
Densidad API	°API	15,42

TABLA 3. RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL CRUDO.

De este análisis la primera observación que se encuentra es que la viscosidad a 100 °C es de 59,45 cSt, mientras que el límite máximo descrito en la Tabla 1 es de 55 cSt a 100 °C, aunque la viscosidad del crudo no es una medida de la calidad del combustible, ésta determina la temperatura de calentamiento que debe tener el crudo antes de ingresar al motor.

Otro de los valores que llama la atención es el contenido de azufre que aunque está dentro de los valores límites, se considera un valor elevado si supera el 2% de porcentaje en masa, el azufre en la combustión del combustible produce elementos altamente ácidos los cuales deben ser neutralizados por el aceite, el cual deberá tener aditivos especiales para este propósito.

El vanadio en el proceso de combustión forma óxidos altamente corrosivos para válvulas y turbo compresores, este valor en el combustible utilizado es 456 ppm, los asfaltenos que contribuyen a la formación de depósitos en la cámara de combustión tienen un valor de 12,92 ppm, residuos de carbón forman depósitos en la tobera de inyectores y cámara de combustión tienen un valor de 15,32.

Por lo anteriormente descrito el combustible utilizado se clasifica como HFO 2, y se comprueba que el crudo utilizado es un combustible con un alto contenido de impurezas y que su viscosidad supera el límite máximo establecido por el fabricante.

Luego de conocer las características principales del combustible se realizó un seguimiento del proceso por el cual este debe pasar y las condiciones que debe cumplir antes de ingresar al motor.

Tanque de Sedimentación.

El tanque de sedimentación es donde se almacena el combustible y además el inicio del proceso de tratamiento del crudo, aquí por diferencia de

densidad se lleva a cabo la separación de agua del crudo, la cual se extrae periódicamente del fondo del tanque. Luego del tanque de sedimentación el crudo pasa por un proceso de separación centrífuga para ser almacenado en el tanque de uso diario.

Proceso de Separación Centrífuga

Como se mencionó anteriormente el proceso de separación centrífuga sirve para remover la mayor cantidad de impurezas presentes en el combustible tales como compuestos metálicos, azufre, residuos de carbón, agua etc.

Para realizar este proceso la planta cuenta con 3 separadoras marca Westfalia modelo OSD-50-91-166 de procedencia alemana las cuales operan continuamente.

Para determinar la situación actual de operación del grupo de separadoras se tomaron muestras al ingreso y salida del proceso, se realizaron análisis para determinar la eficacia de las mismas, los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 4.

SEPARADORA DE CRUDO		ENTRADA	SALIDA
Densidad g/l	ASTM D-1298	0.9634	0.9631
Densidad a 122°C	ASTM D-1250	0.8891	0.8888
Densidad a 140°C	ASTM D-1250	0.8764	0.8761
Densidad API	ASTM D-1298	15.38	15.42
Azufre, %peso	ASTM D-4294	2.43	2.41
Punto de Vertido, °C	D-97	-12	-15
Residuo Carbón, %p	ASTM D-4530	15.21	15.32
Agua destilación, %vol.	ASTM D-4006	< 0.10	< 0.10
Asfaltenos, % peso	ASTM D-3279	12.78	12.92
%C	Analítica	85.02	85.06

%H	Analítica	10.66	10.63
%N	Analítica	0.81	0.78
%S	Analítica	2.71	2.65
Cuantitativo			
Al	ppm	0.3	2
Fe	ppm	4	5
Na	ppm	24	4.9
Ni	ppm	145	143
Si	ppm	< 0.4	< 0.4
V	ppm	431	419

TABLA 4. ANÁLISIS DEL CRUDO A LA ENTRADA Y SALIDA DE LAS SEPARADORAS.

Como se puede observar en los resultados obtenidos, las propiedades del crudo a la salida de las separadoras no varían con respecto a las propiedades al ingreso, lo cual muestra la ineficacia de estos equipos para cumplir su función básica.

La eficiencia de remoción de impurezas esperada varía de acuerdo al elemento que se desea separar, además está ligada al tamaño de las partículas, temperatura de separación, flujo, tamaño del tambor de separación y velocidad de giro. La Figura 3.3 muestra el porcentaje de separación esperado para varios elementos a ser separados del crudo.

Comparando los resultados obtenidos con los valores esperados se puede notar la baja eficiencia de estos equipos, por ejemplo el caso del hierro el valor esperado a ser removido es del 52%, mientras que los resultados muestran que no se removió ninguna partícula de hierro. En el caso del

aluminio el porcentaje removido esperado es de 91%, mientras el porcentaje removido según los resultados es de 0% muy por debajo del valor esperado.

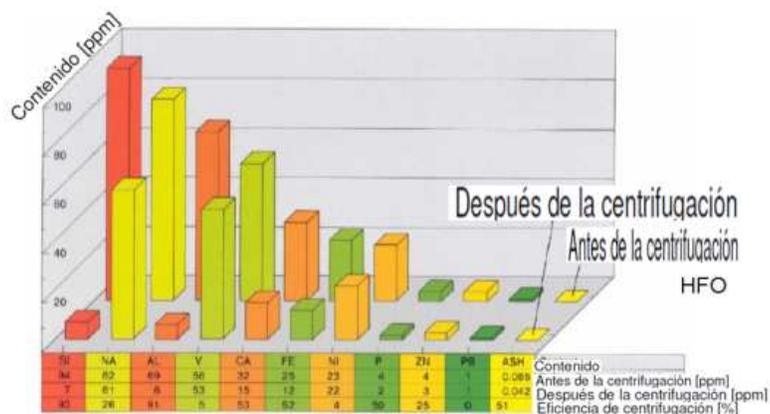


FIGURA 3.3 PORCENTAJE ESPERADO DE REMOCIÓN DE IMPUREZAS.

De los factores que influyen en la eficiencia de separación mencionados anteriormente, no se puede tener control de los parámetros que son propios del diseño del equipo tales como la velocidad de giro y tamaño del tambor, pero se puede controlar la temperatura y caudal de trabajo, para lo cual se realizó una inspección de los parámetros operativos del grupo de separadoras, la Tabla 5 muestra los resultados obtenidos de esta inspección.

	PBB 901	PBB 902	PBB 903
Temperatura °C	86	86	86
Caudal (litros/hora)	6200	6000	6100
Desenlodados (seg)	3600	3600	3600
Presión agua (bar)	4,5	5	5
Presión descarga (bar)	2	2	1,9

TABLA 5. PARÁMETROS OPERATIVOS DEL GRUPO DE SEPARADORAS CENTRÍFUGAS DE CRUDO.

Para determinar la temperatura y caudal óptimo de separación se utilizó la Figura 3.4 tomada de un curso de entrenamiento de separadoras Westfalia, la cual muestra la temperatura y caudal de separación en función de la viscosidad del fluido a centrifugar. Se conoce de la Tabla 3 que la viscosidad del crudo a 100 °C es de 59,45 cSt, por lo cual ingresando a la Tabla (modelo OSC 50/45) y realizando un cálculo de extrapolación se obtiene el valor del caudal óptimo **4700 lt/hora**, del mismo gráfico se obtiene el valor de la temperatura de separación optima **98°C**.

GEA Westfalia Separator AG Mineröltechnik Mineral Oil Technique		Optimalleistungen von Mineralöl- Separatoren in Schiffs- und Kraftwerkanlagen Optimum Capacities of Mineral Oil Separators in Marine and Power Plants									
		Dieselöl (D) Diesel Oil		Schweröl (S) Heavy Fuel Oil							
Kinematic Viscosity (mm ² /s)		GO/HDO	HDO	IF 40	IF 80	IF 180	IF 380	IF 420	IF 500	IF 600	IF 700
Kinematic Viscosity at 40°C		<7.5	<15	-	-	-	-	-	-	-	-
Kinematic Viscosity at 50°C		-	-	40	80	180	380	420	500	600	700
Kinematic Viscosity at 100°C		-	-	10	15	25	35	40	45	50	55
ISO (Standard 8217) ISO- F		DMX DMA	DHB DMC	RHA 10 RHB 10 RHC 10	RHD 10	RHE 25 RHF 25	RHG 35 RHH 35 RHI 35		RHK 45 RHL 45 RHM 45		RHN 55 RHO 55 RHP 55
BSI (BS MA 100:1982) Class		H1	H2 H3	N4	N5	M6	M7 M10		H8 H11		M9 M12
CINAC (Recommendations)			Like ISO 8217	10 15	D 15	E 25 F 25	G 35 H 35		H 45 K 45		H 55 K 55
Separierungstemperatur, empfohlene Separating Temperature, recommended		20°C	60°	75°C	80-98°C	98°	98°	98°C	98°C	98°C	98°C
Separator Typ Modell	Trommel- Bowl	Nennleistung Rated Capacity		Einstufen- Separierung Single-Stage Separation							
		L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h	L/h
OTB 3	nicht selbstreinigend Non- Cleaning Type	2000	1570	1220	1220	-	-	-	-	-	-
OTB 9		5700	4400	3400	3400	-	-	-	-	-	-
QTA 18		9300	7100	5500	5500	4500-5500	4500	2750	-	-	-
OSC 4/ 3	selbstreinigend Self- Cleaning Type	2000	1450	1100	1100	950-1100	950	580	500	390	360
OSC 4/ 4		2400	1800	1400	1400	1200-1400	1200	700	600	480	440
OSC 4/ 5		3100	2300	1800	1800	1500-1800	1500	890	770	620	570
OSA 7/ 7		4400	3100	2400	2400	2000-2400	2000	1200	1100	850	780
OSA 7/ 8		6000	3900	3300	3300	2800-3300	2800	1650	1470	1150	1040
OSA 20/ 14		8900	6300	4900	4900	4000-4900	4000	2400	2200	1700	1600
OSA 20/ 20		12000	8500	6600	6600	5600-6600	5600	3350	3000	2300	2100
OSA 20/ 25		16100	10500	8050	8050	7500-8050	7500	4400	4000	3100	2800
OSB 30/ 30		18400	13000	10000	10000	8300-10000	8300	4950	4500	3450	3150
OSB 35/ 35		22600	16800	12300	12300	10500-12300	10500	6300	5850	4400	4000
OSB 35/ 40		30200	21400	16600	16600	14000-16600	14000	8400	7800	6000	5300
OSC 50/ 45		33500	23700	18200	18200	15600-18200	15600	9300	8400	6500	5900
OSC 50/ 50		39200	27700	21400	21400	18200-21400	18200	11200	9800	7600	7200

FIGURA 3.4 SELECCIÓN DEL CAUDAL Y TEMPERATURA DE SEPARACIÓN ÓPTIMAS.

Comparando los valores obtenidos con los datos actuales de operación se puede determinar que la temperatura y caudal de trabajo no son los adecuados, esta es la causa de la baja eficiencia de separación de los equipos.

Proceso de calentamiento

El proceso de calentamiento se lo realiza en la unidad booster, las principales funciones de esta unidad es controlar la viscosidad con la que

ingresa el combustible al motor (controlar la temperatura) y mantener la presión de combustible constante en el sistema.

El calentamiento del combustible se lo realiza por medio de calentadores eléctricos, controlados por un viscosímetro instalado en la unidad, el cual asegura que la viscosidad del combustible a la entrada del motor este dentro del rango correcto. La Tabla 6 tomada del manual de instrucciones del fabricante del motor muestra la viscosidad correcta según el tipo de combustible utilizado y el modelo del motor, en nuestro caso el combustible principal utilizado es el crudo y el modelo del motor Wartsila Vasa 32LN, por lo cual el rango de viscosidad correcto es de **16-24 cSt**.

LÍMITES DE VISCOSIDAD (cSt)			
Combustible	Wartsila 20	Wartsila Vasa 32 LN	Wartsila 46
Diesel	1.8	2.0	2.8
Crudo	16 - 24	16 - 24	16 - 24

TABLA 6. LÍMITES DE VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE.

Para determinar la viscosidad actual de trabajo de los motores se revisó en el WOIS (Wartsila Operator Interface System), que es el sistema de interface del operador de donde se controlan los parámetros operativos de la planta, esta revisión se muestra en la Figura 3.5 la cual muestra que el crudo ingresa al motor con una viscosidad de 24 cSt a una temperatura de 125 °C.

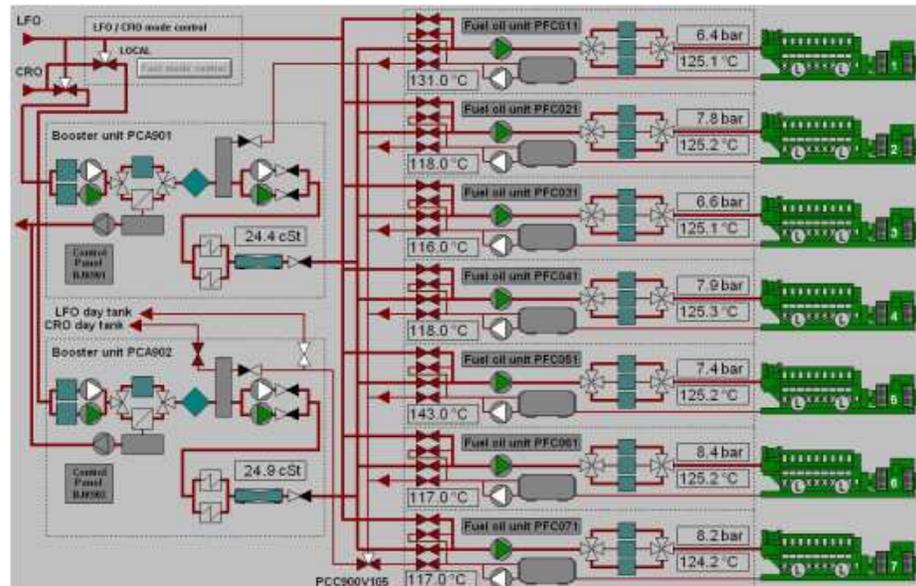


FIGURA 3.5 VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE.

Aunque la viscosidad está dentro del límite del rango de operación, se verá a continuación, gracias al análisis detallado del combustible, que los motores se encontraban operando fuera de las especificaciones descritas por el fabricante. Del análisis del combustible realizado se tomaron los valores de viscosidad a diferentes temperaturas con lo cual se realizó la Tabla 7, que muestra el comportamiento de la viscosidad del combustible a diferentes temperaturas.

ANÁLISIS DE VISCOSIDAD DEL CRUDO		
Viscosidad cSt@50°C	ASTM D-445	902,4
Viscosidad cSt@80°C	ASTM D-445	143,1
Viscosidad cSt@100°C	ASTM D-445	60,1
Viscosidad cSt@120°C	ASTM D-445	34,6
Viscosidad cSt@140°C	ASTM D-445	19,9

TABLA 7. ANÁLISIS DE LA VISCOSIDAD DEL CRUDO.

Con esta tabla se elaboró la Figura 3.6, que es la curva de viscosidad-temperatura del crudo, se puede observar que a 125°C (temperatura actual de operación) la viscosidad del crudo es de 31 cSt, este valor se encuentra fuera del rango recomendado.

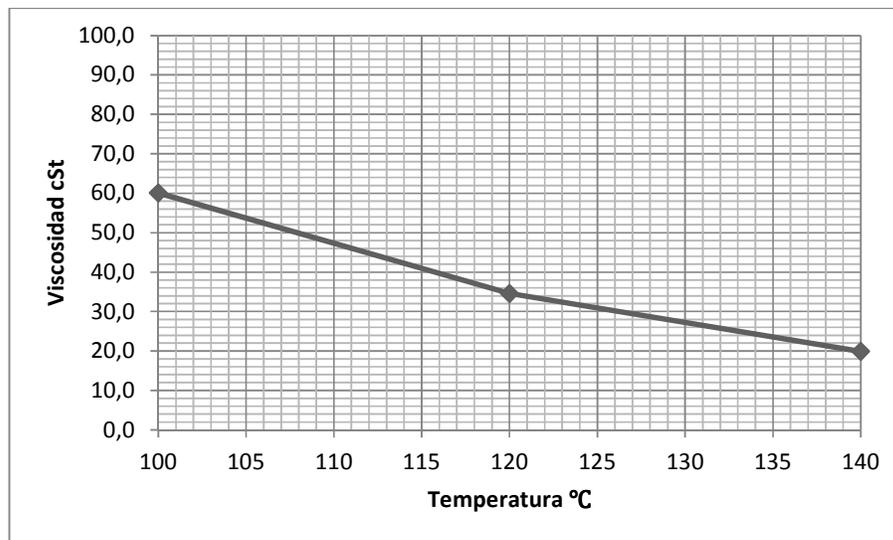


FIGURA 3.6 CURVA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA DEL CRUDO.

De la Figura 3.6 se puede inferir además que para obtener una viscosidad dentro del rango correcto (16-24 cSt) se debe calentar el crudo como mínimo a 135°C, esta será una de las modificaciones más importantes a realizar.

Se debe considerar además que 135°C es la máxima temperatura a la cual se puede calentar el crudo, según lo indica la Figura 3.7 tomada del manual de instrucciones del motor, calentar el crudo por encima de este valor puede traer como consecuencia atascamiento de elementos del sistema de inyección y fugas de combustible lo cual produce riesgos de incendios.

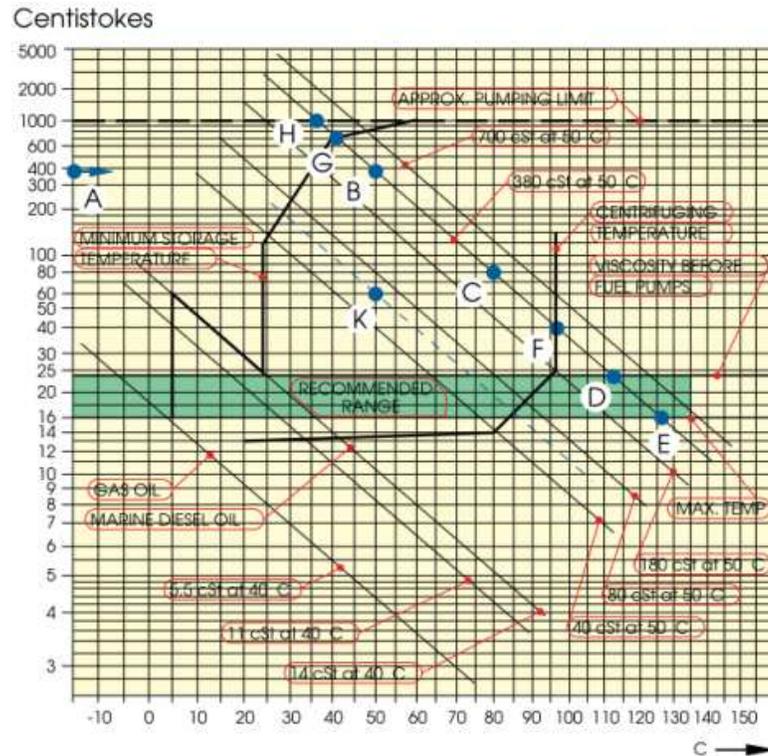


FIGURA 3.7 TEMPERATURA MÁXIMA DE CALENTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE.

3.3 Análisis del sistema de inyección

El sistema de combustible analizado en la sección anterior opera con una presión menor a 10 bares, este sistema alimenta de combustible al sistema de inyección el cual eleva la presión por encima de 500 bares para que el combustible sea atomizado en la cámara de combustión. El sistema de inyección está conformado por bombas de inyección, tuberías de alta presión, cánulas de combustible e inyectores, todos estos elementos individuales para cada cilindro.

Las bombas de inyección son las encargadas de elevar la presión de combustible hasta la presión de inyección del mismo, las tuberías de alta presión y las cánulas transportan el combustible hacia los inyectores en los cuales el combustible es atomizado e inyectado en la cámara de combustión.

Otro aspecto importante a considerar es el tiempo de inyección, el combustible debe ser inyectado en el momento preciso, para esto el proceso de inyección comienza antes que el pistón alcance el punto muerto superior, este tiempo medido en grados es llamado tiempo de inyección.

En el análisis del sistema de inyección se revisó el funcionamiento de las bombas de inyección e inyectores, para esto se revisó el proceso y plan de mantenimiento de estos elementos, además se midió el tiempo de inyección con el cual están trabajando los motores.

Para determinar el estado de funcionamiento de las bombas de inyección se midió el tiempo de inyección y se determinó el grado de desgaste de los componentes internos de las bombas a través de un instrumento proporcionado por el fabricante el cual se muestra en la Figura 3.8. Este instrumento simula la inyección de combustible y por medio de manómetros determina el grado de desgaste de los elementos. La medición de estos valores se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por el fabricante.



FIGURA 3.8 MEDICIÓN DEL TIEMPO DE INYECCIÓN.

Las lecturas realizadas se muestran a continuación en la Tabla 8, fueron tomadas en el mantenimiento de 2000 horas del motor número 6.

NÚMERO CILINDRO	BANCO A		BANCO B	
	PRESIÓN SECUNDARIA(bar)	TIEMPO INY (°BTDC)	PRESIÓN SECUNDARIA(bar)	TIEMPO INY (°BTDC)
1	2,5	11,8	2,4	11,5
2	2,5	11,2	2,5	11,5
3	2,4	11,2	2,1	11,6
4	2,6	12	2,3	11,8
5	2,6	12	2,6	12
6	2,5	11,8	2,5	12
7	2,5	11,5	2,2	11,5
8	2,5	11,6	2,5	11,5
9	2,6	12	2,7	12

TABLA 8. MEDICIÓN DE TIEMPO DE INYECCIÓN.

El criterio para describir la condición del desgaste de los elementos internos de las bombas de inyección está dado en la Tabla 9.

CONDICIÓN	PRESIÓN SECUNDARIA
Elementos nuevos	3-4
Desgaste normal	2-3
Reemplazo	<2

TABLA 9. CRITERIO DE DESGASTE DE ELEMENTOS DE BOMBAS DE INYECCIÓN.

Como se puede apreciar claramente todos los datos obtenidos se encuentran dentro del rango de desgaste normal de trabajo en las 18 bombas de inyección revisadas.

Con respecto al tiempo de inyección por especificaciones debe estar entre 11-12°BTDC, según las lecturas realizadas todas las bombas de inyección cumplen con esta condición también. Desviaciones de este rango causarían una combustión deficiente, produciendo que el combustible no se queme en su totalidad y éste sea absorbido por el aceite lubricante causando su degradación y disminuyendo su capacidad para lubricar.

Con respecto al mantenimiento preventivo de las bombas de inyección éste se realiza cada 16000 horas acorde al plan de mantenimiento propuesto en el manual de instrucciones del motor.

Del análisis realizado a las bombas de inyección se concluye que éstas trabajan adecuadamente, el plan de mantenimiento de las mismas se cumple a cabalidad, por lo tanto éstas no contribuyen al desgaste de las camisas y pistones.

Inyectores.

El inyector es un elemento muy importante tanto para la inyección del combustible, como para el proceso de combustión, de la calidad de atomización depende la eficiencia de la combustión, influye directamente en el consumo de combustible y en la contaminación del aceite lubricante.

La forma de revisar el funcionamiento de los inyectores es desmontándolos y realizando pruebas en un banco, las pruebas consisten en revisar la presión de atomización, calidad de atomización y estanqueidad entre la tobera y cuerpo del inyector. Este trabajo se realizó en el mantenimiento de 2000 horas del motor 6, los resultados se muestran en la Tabla 10 a continuación.

NÚMERO CILINDRO	BANCO A			BANCO B		
	PRESIÓN APERTURA	SPRAY	ESTANQUEIDAD	PRESIÓN APERTURA	SPRAY	ESTANQUEIDAD
1	420	MALA	MALA	420	MALA	MALA
2	420	MALA	OK	420	MALA	MALA
3	420	MALA	MALA	420	MALA	OK
4	420	MALA	MALA	440	MALA	MALA
5	400	MALA	MALA	440	MALA	MALA
6	420	MALA	MALA	420	MALA	MALA
7	400	MALA	OK	420	MALA	MALA
8	400	MALA	MALA	420	MALA	OK
9	400	MALA	MALA	420	MALA	OK

TABLA 10. REVISIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE INYECTORES.

La presión de apertura de los inyectores que es de 500 bares se encuentra en valores inferiores, esto es normal debido al trabajo de los mismos. La observación más importante es con respecto a la calidad de atomización de las toberas, las cuales luego de un periodo de trabajo de 2000 horas

presentan una pobre calidad de atomización. La estanqueidad o sello entre aguja-tobera, cuerpo-tobera se encontró también en malas condiciones.

El plan de mantenimiento que se realiza actualmente con respecto a los inyectores es cambio directo a las 4000 horas de trabajo de las toberas, el fabricante recomienda una inspección de las mismas a las 2000 horas, en la inspección realizada se determinó que por el desgaste de sus partes, los inyectores deben ser reemplazados a las 2000 horas.

3.4 Análisis del sistema de aceite lubricante

Luego de haber estudiado el sistema de combustible y el sistema de inyección, se realizó el análisis del sistema de lubricación. El aceite lubricante es el encargado de lubricar las partes móviles del motor, sirve como medio de enfriamiento, evita la corrosión y sirve como medio de transporte de partículas hacia fuera del motor manteniéndolo limpio.

El sistema de lubricación debe suministrar al motor aceite lubricante a presión y temperatura adecuadas, está conformado por una bomba de alimentación principal acoplada al motor, una bomba de pre lubricación, válvula termostática, enfriador de aceite y separadora centrífuga de aceite.

El principal análisis que se va a realizar es como las impurezas encontradas en el combustible afectan el desempeño del lubricante, deteriorando sus propiedades básicas, y como la degradación del lubricante afecta la lubricación del motor.

El aceite utilizado por los motores es el Mobilgard M50, sus principales propiedades se muestran en la Tabla 11 y su principal característica es la reserva alcalina de este aceite que proporciona protección en la neutralización de ácidos producidos en el proceso de combustión de combustibles con elevado contenido de azufre.

PROPIEDADES ACEITE MOBILGARD M50	
Grado SAE	40
Densidad específica	0,922
Punto de inflamación °C, ASTM D 92	228
Punto de fluidez °C, ASTM D 97	-6
Viscosidad, ASTM D 445	
cSt, a 40°C	142
cSt, a 100°C	14
TBN, mg KOH/g, ASTM D 2896	50
Cenizas, wt%, ASTM D 874	6,5

TABLA 11. PROPIEDADES DEL ACEITE MOBILGARD M50.

Este aceite lubricante cumple con las exigencias dispuestas por el fabricante, que son grado SAE 30 o 40, TBN 50-55 si el combustible supera el 2% en masa de azufre y tener un paquete de aditivos para mejorar el desempeño del mismo.

Para determinar cómo se ven afectadas las propiedades del aceite lubricante debido a los contaminantes del combustible, se realizó un análisis del lubricante, para lo cual se tomaron muestras de aceite con una frecuencia aproximada de 200 horas, para este análisis se tomó como

referencia al motor número 6, dado que este al inicio de los análisis había salido de un mantenimiento mayor.

Las muestras tomadas se enviaron a un laboratorio certificado y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 12. Los principales datos obtenidos son el comportamiento de la viscosidad del aceite, el comportamiento del TBN y la concentración de metales de desgaste provenientes del motor.

	HORAS LUBRICANTE	0	206	399	583	675	771	841
Viscosidad	cSt @ 40 °C	115,5	114,7	117	116	117,6	118,9	121,1
Viscosidad	cSt @100 °C	13,41	13,17	13,31	13,11	13,25	13,38	13,54
TBN	mg KOH/g	52,4	49,9	48,5	47,7	43,6	42,4	41,1
Hierro	ppm	4,2	9,1	10,8	13,5	15,6	16,9	17,6
Níquel	ppm	0	32,6	55,4	81,6	102	111,6	121,3
Vanadio	ppm	0	110,9	187	269,1	321,6	352,8	385
Cobre	ppm	1,1	6,3	10,2	13,5	18,9	21,5	22,5
Silicio	ppm	18,2	14,6	12,7	14,2	19,6	14	13,7
Sodio	ppm	2,4	5,1	6,2	7,3	8,4	9	9,2
Aluminio	ppm	3,3	5,4	6,2	7,2	8,4	8,6	8,9
	HORAS LUBRICANTE	912	1008	1179	1333	1462	1690	1822
Viscosidad	cSt @ 40 °C	121,4	123,4	127	131,8	133,9	137,6	143,7
Viscosidad	cSt @100 °C	13,56	13,72	14,06	14,44	14,62	14,89	15,21
TBN	mg KOH/g	40,6	39,6	37,6	34,4	32,5	29,7	27,3
Hierro	ppm	17,4	18,3	21,5	23,5	25,1	27,7	33,6
Níquel	ppm	123,9	135,8	171,7	198,6	215,7	242,2	296,1
Vanadio	ppm	392,3	436	536	620	669,5	751	975
Cobre	ppm	21,6	22,1	29,2	28,4	29,2	33,1	32,4
Silicio	ppm	13,9	13,4	13,8	13	16,3	13,4	15,5
Sodio	ppm	9,9	11,3	12,5	14,3	15,2	16,8	22,6
Aluminio	ppm	9,4	10,2	11,5	12,9	13,8	14,9	15,9

TABLA 12. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ACEITE.

Los datos obtenidos proporcionan valiosa información del comportamiento del lubricante, ahora estos datos se los compara con los valores límites tolerables establecidos por el fabricante, estos límites para propiedades como la viscosidad y el TBN se describen en la Tabla 13 la cual es tomada de una carta técnica realizada por el fabricante del motor.

Propiedad	Impacto en el funcionamiento del motor	Limite para condenar	Nivel recomendado para el desempeño optimo
Numero Base (BN) (mg KOH/g) ASTM D2896	Previene la corrosión.	Min. 20 (operación en HFO) Máx. 50% de reducción comparado con el aceite fresco (operación en LFO)	Min. 25 (operación en HFO) Máx. 40% de reducción comparado con el aceite fresco (operación en LFO)
Viscosidad (cSt a 100oC) ASTM D445	Provee lubricación hidrodinámica para los cojinetes, etc. Reduce la fricción y por lo tanto el consumo de combustible	Máx. -20% o +25% de los niveles en el aceite fresco a 100°C Máx. -25% o +45% de los niveles del aceite fresco a 40°C	Máx. ±15% de los niveles del aceite fresco a 100°C Máx. ±25% de los niveles del aceite fresco a 40°C
Agua (% por Vol) o (% por Peso) ASTM D95	Produce corrosión. Deteriora las propiedades hidrodinámicas del aceite. Afecta las funciones de los aditivos.	Máx. 0.3% por Volumen o Peso	Máx. 0.3% por Volumen o Peso
Insolubles (% por Peso) ASTM D893b	Deteriora las propiedades hidrodinámicas del aceite. Afecta las funciones de los aditivos.	Máx. 2.0 % por peso, como insolubles de n-pentano.	Máx. 1.0 % por peso, como insolubles de n-pentano.
Punto de Inflamación (oC) ASTM D92 o D93	Riesgo de una explosión en el carter	Min. 170°C (PMCC) Min. 190°C (COC)	Min. 170°C (PMCC) Min. 190°C (COC)

TABLA 13. LÍMITES PERMISIBLES PARA EL ACEITE LUBRICANTE.

La tabla anterior muestra que cuando el motor opera con combustible pesado, para obtener un desempeño óptimo del mismo, **el valor mínimo de TBN es 25**. Mientras tanto la viscosidad medida en centistokes, para un desempeño óptimo del motor puede tener una variación de $\pm 25\%$ del valor del aceite nuevo, esto medido a una temperatura de 40°C. Se tomó este valor ya que es el más cercano a la temperatura del aceite con el cual trabaja en el motor. Dado que la viscosidad del aceite nuevo es de 115 cSt @ 40°C (Tabla 12) el rango de trabajo óptimo es de 86-144 cSt @ 40°C. Dado que el motor trabajo con crudo pesado la viscosidad del aceite se incrementara por contaminación, por lo que el valor límite será de **144 cSt a 40°C**.

Con los resultados obtenidos del análisis de aceite se realizó gráficas para apreciar de mejor manera el cambio de las propiedades del aceite, la Figura 3.9, muestra el cambio del valor de TBN en relación a las horas de funcionamiento del motor, en la misma se ha señalado además el valor límite que es 25 mg KOH/g.

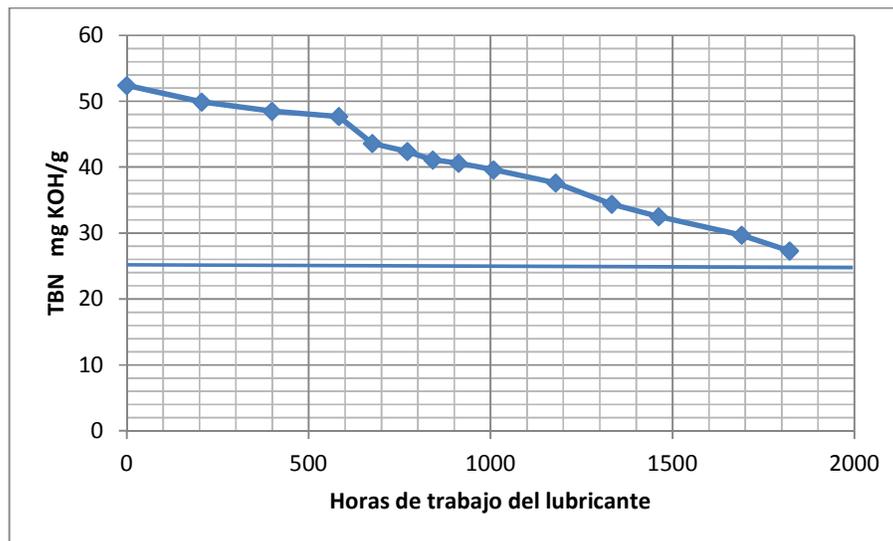


FIGURA 3.9 ANÁLISIS DEL TBN.

Como se puede apreciar en esta gráfica el TBN alcanza el valor mínimo para un desempeño óptimo aproximadamente a las 1900 horas de trabajo, el cambio de aceite se lo realiza según la recomendación del fabricante a las 4000 horas de trabajo, por lo que el motor trabaja 2100 horas con un aceite el cual su reserva alcalina TBN no garantiza la neutralización de ácidos, dando paso al desgaste de elementos por corrosión ácida.

Ahora se analiza el comportamiento de la viscosidad del aceite, para lo cual se realizó una gráfica, la Figura 3.10 muestra el cambio de la viscosidad con respecto a las horas de trabajo del aceite, en la misma se señala el valor límite que puede alcanzar la viscosidad.

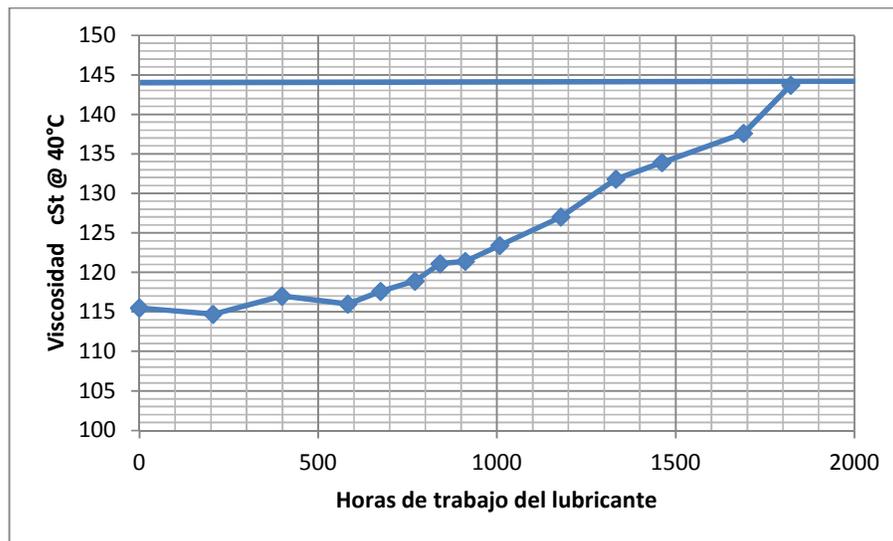


FIGURA 3.10 ANÁLISIS DE LA VISCOSIDAD DEL LUBRICANTE.

La gráfica muestra que la viscosidad aumenta hasta el valor límite aproximadamente a las 1850 horas de trabajo del lubricante, por lo tanto el motor se encuentra trabajando 2150 fuera de las especificaciones recomendadas.

El siguiente análisis que se realizó es el contenido de metales en el aceite lubricante, para lo cual se definen los valores normales esperados que contenga el aceite, mismos que se muestran en la Tabla 14 a continuación.

CONTENIDO TÍPICO Y ANORMALES DE METALES EN EL ACEITE LUBRICANTE			
Elemento	Unidad	Valores Típicos, HFO	Niveles Anormales, HFO
Hierro, Fe	ppm	10-40	>50
Cromo, Cr	ppm	0-3	>5

Estaño, Sn	ppm	0-3	>5
Plomo, Pb	ppm	0-3	>5
Cobre, Cu	ppm	0-5	>10
Silicio, Si	ppm	10-40	<5 o >50
Sodio, Na	ppm	10-50	>100
Aluminio, Al	ppm	0-10	>20
Vanadio, V	ppm	1-2*V Combustible	>2*V Combustible
Níquel, Ni	ppm	1-2*Ni Combustible	>2*Ni Combustible

TABLA 14. CONTENIDO DE METALES EN EL ACEITE LUBRICANTE.

La contaminación del aceite lubricante con vanadio y níquel es producida por el combustible, la tabla muestra que el contenido de estos elementos no debe superar dos veces el contenido de vanadio y níquel en el combustible. La concentración de vanadio y níquel en el combustible según los resultados mostrados en la Tabla 3 son de 456 y 155 ppm respectivamente. Por lo tanto los límites máximos de estos elementos que puede contener el aceite son 912 y 310 ppm respectivamente. La Figura 3.11 a continuación se elabora con los resultados obtenidos de los análisis realizados al aceite lubricante.

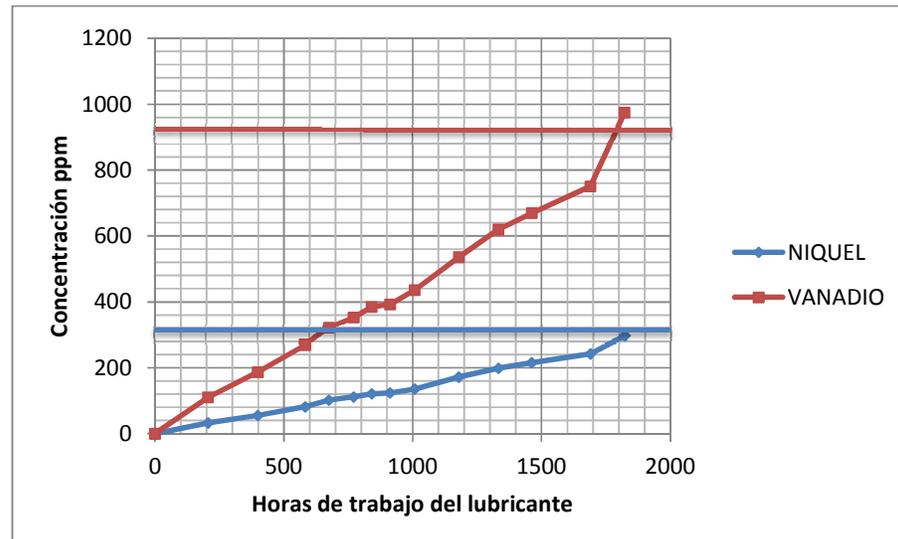


FIGURA 3.11 ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN DEL ACEITE POR NÍQUEL Y VANADIO.

Como se puede observar en la Figura existe una severa contaminación del aceite lubricante con el combustible, la cual da como resultado el elevado contenido tanto de vanadio como níquel en el lubricante. Esto es debido a la mala calidad de atomización de los inyectores, lo cual produce que el combustible no se quemara completamente y pase al aceite lubricante en la cámara de combustión.

Se analiza ahora los metales que provienen del desgaste de elementos del motor, la Tabla 13 muestra los valores típicos y los valores anormales que puede contener el aceite lubricante. Para este análisis nos referimos a los resultados obtenidos del análisis de aceite realizado.

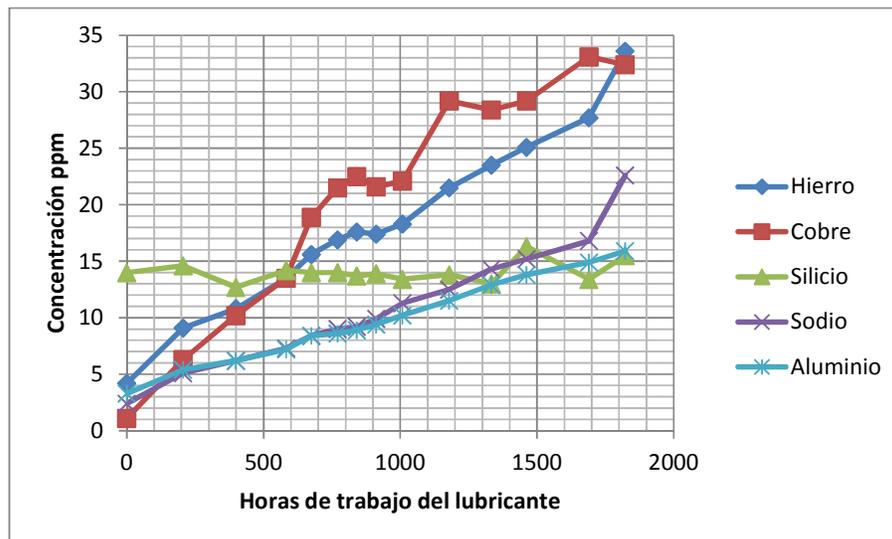


FIGURA 3.12 ANÁLISIS DE METALES EN EL ACEITE LUBRICANTE.

En la Figura 3.12 se puede observar que el contenido de hierro en el aceite llega a un valor de 34 ppm pero no supera el valor límite de 50 ppm, el hierro en el aceite proviene principalmente del desgaste de las camisas y corona de pistones.

Para el caso del cobre el valor límite es de 10 ppm, según nuestra gráfica claramente se supera este valor, las posibles fuentes de cobre en el aceite provienen del desgaste de los bocines de los balancines, y principalmente de la corrosión de los enfriadores de aire (fabricados de cobre) producto del contacto con gases de escape que salen de la cámara de combustión al ducto de admisión de aire, esto ocurre normalmente cuando se montan enfriadores nuevos y en las primeras horas de funcionamiento del motor hasta que se acoplan las válvulas de admisión a los asientos. Elementos como el sodio, aluminio y silicio son provenientes del combustible, según la

gráfica estos elementos se encuentran en pequeñas cantidades y no superan los valores límites.

Del análisis realizado al aceite lubricante se puede concluir que este se encuentra severamente afectado por los contaminantes del combustible, el azufre contenido en el combustible consume rápidamente la reserva alcalina del aceite haciendo que el TBN caiga rápidamente, el alto contenido de hollín en el combustible consume el aditivo dispersante y la viscosidad del aceite se incrementa drásticamente, se encuentra además una elevada contaminación del aceite con vanadio y níquel provenientes del combustible; también se encuentra una tendencia al alza de la concentración de hierro producto del desgaste de las camisas. El aceite lubricante se encuentra fuera de especificaciones aproximadamente a las 1800 horas de trabajo, el cambio de aceite que se realiza a las 4000 horas deberá realizarse en el mantenimiento de 2000 horas cuando mucho.

Proceso de separación centrífuga de aceite

Al igual que en el sistema de combustible el sistema de lubricación posee también un sistema de separación centrífuga encargado de remover impurezas del aceite lubricante como hollín, lodo y agua. Para este propósito cada motor tiene una separadora la cual trabaja continuamente removiendo impurezas, las separadoras instaladas son de procedencia alemana marca Westfalia modelo OSC 15.

Para la revisión del funcionamiento de estos equipos se realizó una inspección de sus principales parámetros operativos como son el caudal y

temperatura de separación, el tiempo entre desenlodados, la presión del sistema de agua y la presión de descarga de aceite purificado. La Tabla 15 muestra los valores obtenidos de la inspección realizada al grupo de separadoras centrífugas de la planta de generación.

PARÁMETROS	QBB 201	QBB 202	QBB 203	QBB 204	QBB 205	QBB 206	QBB 207
Temperatura °C	95	95	95	95	95	95	95
Caudal (litros/hora)	1800	1900	1850	1800	1820	1850	1840
Tiempo eyección (seg)	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
Presión agua (bar)	5,2	4,8	5	4,9	5	5	4,9
Presión descarga (bar)	1,9	2	2,1	2	2	1,9	2,1

TABLA 15. PARÁMETROS OPERATIVOS SEPARADORAS DE ACEITE.

La temperatura de separación está determinada por el fluido a ser centrifugado, en este caso es el aceite lubricante (LO), en la Tabla 16 se observa la temperatura de separación para diferentes fluidos como el diesel, aceite y combustible pesado, la temperatura adecuada para el proceso es de 95°C según la tabla (LO HD). Comparando este valor con los datos obtenidos en la inspección de los parámetros operativos, se puede determinar que este se encuentra correctamente seleccionado.

FLUIDO A PROCESAR	TEMPERATURA DE SEPARACIÓN
DO	20 °C (68 °F)
MDO	40 °C (104 °F)
LO	90 °C (194 °F)
LO HD	95 °C (203 °F)
HFO	98 °C (208 °F)

TABLA 16. SELECCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SEPARACIÓN.

Para el caudal de separación óptimo se hace referencia a una recomendación práctica dada por el fabricante del motor, la misma dice que la totalidad del aceite lubricante debe ser centrifugado de 4 a 5 veces en 24 horas. El carter del motor tiene según la Tabla 17 un volumen de 4020 litros, con lo cual se obtiene un flujo de separación óptimo de 837 litros/hora considerando centrifugar la totalidad del aceite 5 veces al día.

TIPO DE MOTOR	4R32	6R32	8R32	9R32	12V32	16V32
Carter seco	670	1295	1655	1835	1875	2405
Carter húmedo	1110	1910	2435	2700	2825	4020
Volumen de aceite entre marcas litros/mm	2.2	3.1	4.2	4.4	4.6	6.1

TABLA 17. VOLUMEN DE ACEITE EN EL CARTER DEL MOTOR.

Comparando este valor con el dato de trabajo actual de las separadoras (aprox. 1800 lt/h) se puede decir que el mismo no es el adecuado, el caudal de separación es uno de los parámetros que influye directamente en la eficiencia de separación, a mayor caudal de separación la eficiencia del equipo tiende a disminuir, para obtener la máxima eficiencia de los equipos se debe disminuir el caudal al valor de 837 litros/hora.

3.5 Análisis causa-raíz de las principales fallas encontradas.

El análisis de las fallas encontradas en la operación y mantenimiento de la planta de generación nos permitirá realizar los cambios necesarios para que estas fallas no se repitan, para lo cual en esta sección se realiza un análisis causa-raíz de las principales fallas con el fin de determinar el origen de las mismas y proponer acciones de mejora.

La Figura 3.13 muestra el análisis realizado en el sistema de combustible para la temperatura de calentamiento del combustible, en el mismo se pudo determinar que el origen de este problema era el controlador de temperatura (viscosímetro) el cual se encontró descalibrado por falta de mantenimiento. Como solución a este problema se determinó la compra de un nuevo viscosímetro del tipo vibracional el cual es libre calibración y mantenimiento.

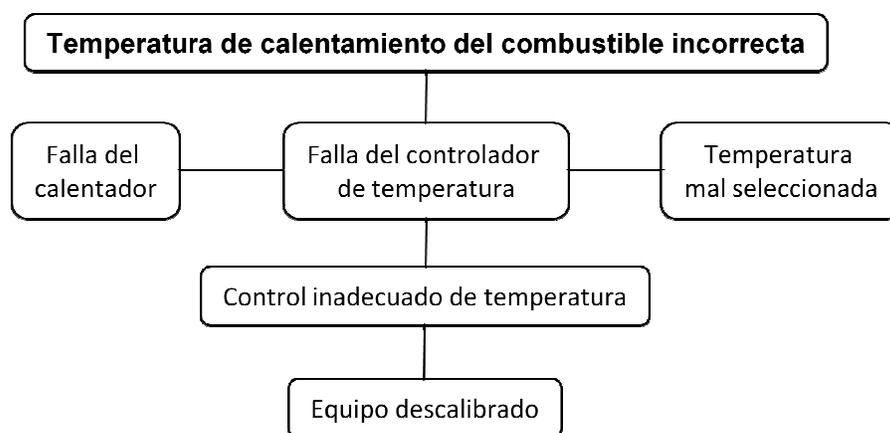


FIGURA 3.13 ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE.

La Figura 3.14 muestra el análisis causa-raíz del proceso de separación centrífuga del combustible, en el mismo se pudo determinar que la ineficiencia de este proceso era debido a que los equipos trabajaban con los parámetros operativos incorrectos, el operador de los equipos, el cual está encargado de ajustar dichos valores desconocía por falta de capacitación los parámetros correctos de funcionamiento.

Para cubrir esta deficiencia se cambia los parámetros operativos y se gestiona la capacitación para el personal de operaciones el cual está encargado de estos equipos.

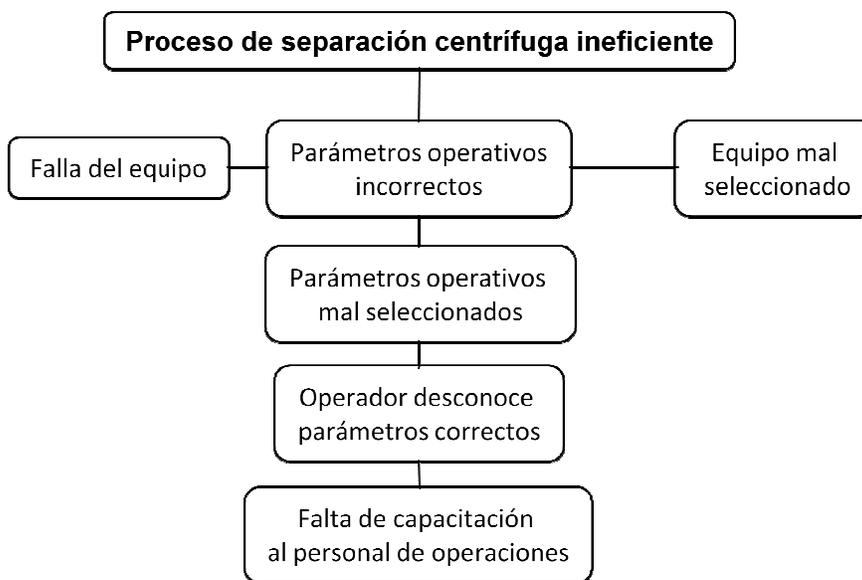


FIGURA 3.14 ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ DEL PROCESO DE SEPARACIÓN CENTRÍFUGA DEL COMBUSTIBLE.

La Figura 3.15 muestra el análisis causa-raíz de las fallas producidas en inyectores de combustible, una de los motivos de las fallas en inyectores era el mantenimiento inadecuado que se realizaba, el proceso de lapeado de los mismos se lo realizaba manualmente por lo cual no se consigue el pulido correcto de la superficie de sello del cuerpo del inyector con la tobera, otra de las falencias encontradas era el incumplimiento del plan de mantenimiento propuesto por el fabricante, el cual al ser ejecutado revelo

que era inadecuado dado que la vida útil de las toberas no superaba las 2000 horas de trabajo. Por último una de las causas de fallas en inyectores es la acumulación de depósitos de carbón en la tobera de los mismos, esto debido al ineficiente proceso de separación centrífuga del combustible. Para solventar estas falencias se gestiona la compra de una máquina lapeadora de inyectores, el cambio en el plan de mantenimiento de inyectores y el control del proceso de separación por parte del personal de operaciones.

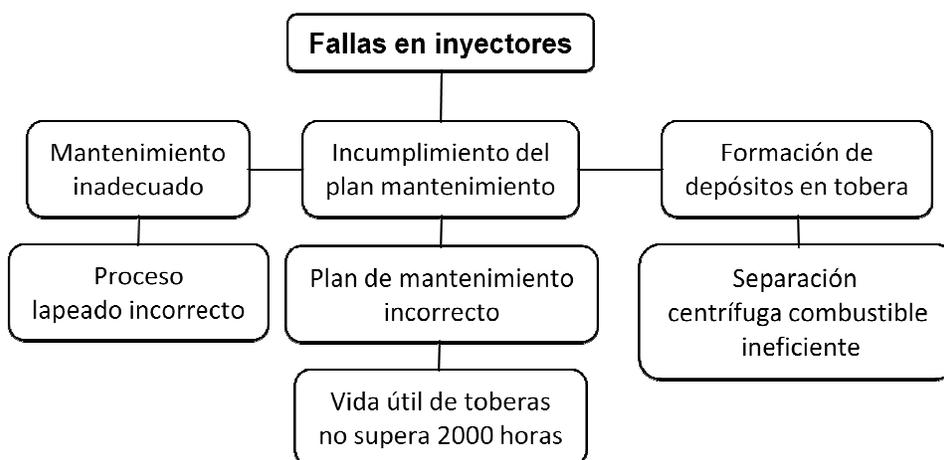


FIGURA 3.15 ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ INYECTORES.

La Figura 3.16 muestra el análisis causa-raíz de las fallas producidas en el sistema de lubricación, una de las fallas encontradas es la rápida degradación del aceite producto de la contaminación con el combustible, la causa de esto es la ineficiente separación del combustible y la temperatura incorrecta de inyección del combustible. Otro origen de las fallas en el aceite es el plan de mantenimiento incorrecto que se estaba ejecutando, esto debido a la falta de seguimiento por medio de análisis de laboratorio de la

calidad del aceite, el cual se pudo demostrar que no supera las 2000 horas de trabajo. Otra de las causas de fallas en el aceite lubricante era el ineficiente proceso de separación centrífuga dado por el flujo de separación incorrecto con el cual operaban estos equipos.

Para cubrir estas deficiencias se cambia la temperatura de ingreso de combustible a los motores, se modifica el plan de mantenimiento con respecto al cambio del aceite y se gestiona cursos de capacitación en separadoras centrífugas.

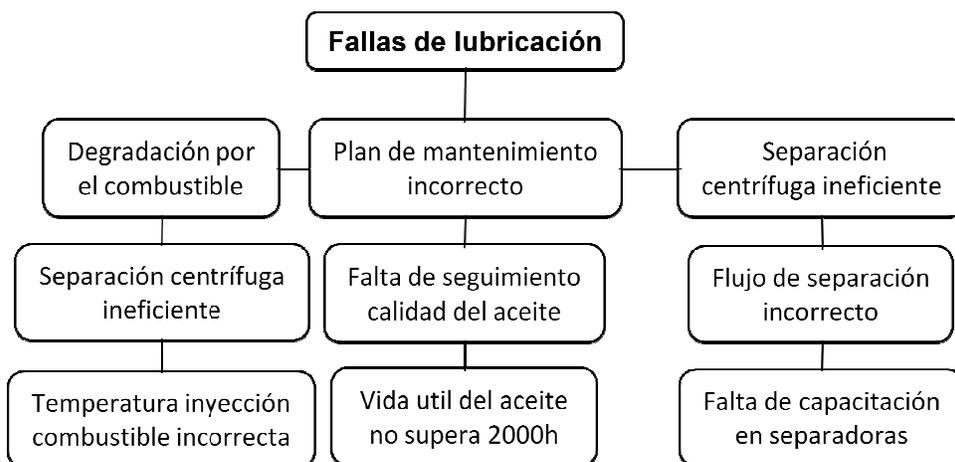


FIGURA 3.16 ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ LUBRICACIÓN.

Las acciones de mejora determinadas en esta sección se implementan en el siguiente capítulo. Con las mismas se pretende reducir el número de fallas y conseguir las mejores condiciones de operación para los motores, con el objetivo de reducir el desgaste prematuro de las camisas y coronas prolongando el periodo de los mantenimientos mayores.

CAPÍTULO 4

4. IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS

En el capítulo anterior se analizó el sistema de combustible, inyección y lubricación de los motores de combustión de interna de la planta de generación, producto de este análisis se encontraron puntos de mejora, la implementación de los mismos se presentan en este capítulo. Las acciones de mejora planteadas en este capítulo son de diversos tipos, tales como cambios en parámetros operativos como son temperatura y flujo, así como también cambios en planes de mantenimientos y adquisición de nuevos equipos.

4.1 Implementación de mejoras en el sistema de combustible.

Una de las falencias detectadas fue la temperatura y viscosidad de ingreso de combustible a los motores, la cual se encontraba en 124°C con una viscosidad de 33 cSt, el rango recomendado para el funcionamiento óptimo del motor es de 16-24 cSt, para corregir esta falencia, se instaló un nuevo controlador de viscosidad de tipo vibracional, con este nuevo equipo la temperatura de ingreso del combustible al motor se modificó a 135°C que es la máxima temperatura permitida por el fabricante, con lo cual se obtuvo una viscosidad de 24 cSt valor que se encuentra en el límite superior del rango recomendado.

La Figura 4.1 muestra el cambio realizado en la temperatura de ingreso de combustible a los motores, con lo cual se obtiene una viscosidad de 24 cSt,

esto permite tener una atomización correcta del combustible en la cámara de combustión mejorando significativamente el proceso de combustión, además reduce los residuos de combustión y evita la contaminación del aceite lubricante.

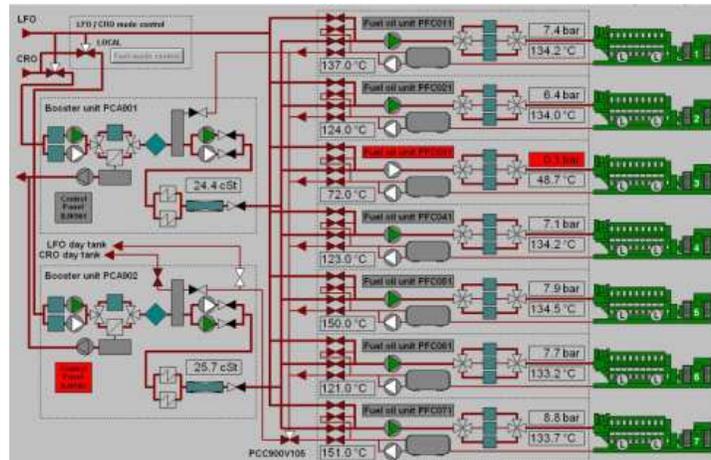


FIGURA 4.1 MODIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE.

En la Figura 4.2 se puede observar el nuevo controlador de viscosidad instalado en la planta.



FIGURA 4.2 CONTROLADOR DE TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE.

Otra falencia encontrada en el sistema de combustible fue el proceso de separación centrífuga, se realizaron análisis del combustible al ingreso y salida de las separadoras en los cuales se pudo constatar baja eficiencia de estos equipos, en la revisión de los parámetros operativos se pudo observar que estos no eran los valores óptimos para obtener el mayor rendimiento de los mismos. Los datos operativos modificados fueron el caudal y la temperatura de centrifugación, los valores actuales de operación se muestran en la Tabla 18 a continuación.

	PBB 901	PBB 902	PBB 903
Temperatura °C	98	98	98
Caudal (litros/hora)	4700	4700	4700
Desenlodados (seg)	3600	3600	3600
Presión agua (bar)	4,5	5	5
Presión descarga (bar)	2	2	1,9

TABLA 18. MODIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS EN LAS SEPARADORAS.

Las modificaciones realizadas mejoran la eficiencia del proceso de separación, con lo cual las separadoras centrífugas contribuyen para que los motores trabajen con un combustible de menor contenido de impurezas.

4.1 Implementación de mejoras en el sistema de inyección.

En el capítulo anterior se realizó el análisis del sistema de inyección, en el mismo se reviso el funcionamiento de las bombas de inyección y se midió el tiempo de inyección, se reviso además el funcionamiento de los inyectores.

No se encontró fallas en el funcionamiento de las bombas de inyección y el programa de mantenimiento programado que se está ejecutando es acorde a lo recomendado por el fabricante, con respecto al tiempo de inyección se determinó que esta correcto y dentro de los parámetros normales de operación.

Con respecto a los inyectores se determinó que el plan de mantenimiento ejecutado no era el adecuado, se realizaba el cambio de inyectores a las 4000 horas de trabajo, se pasaba por alto la recomendación de inspección de las toberas a las 2000 horas de trabajo, en la inspección realizada a este tiempo de trabajo de las toberas, se determinó que las mismas no superaban las pruebas establecidas por el fabricante, por lo cual el programa de mantenimiento se modificó a cambio de inyectores a las 2000 horas de trabajo. Con esta modificación se consigue que los motores trabajen con una calidad de atomización adecuada, reduciendo la formación de depósitos y la contaminación del aceite lubricante.

Una aporte importante realizado fue la adquisición de una máquina rectificadora de la superficie de sellado del cuerpo del inyector, con esto se consigue un mejor acabado de la misma con lo cual la tobera se asienta de una mejor manera y se logra mejorar el tiempo de estanqueidad del combustible en la misma. Esta máquina (Figura 4.3) además mejora el tiempo requerido para el mantenimiento de los inyectores, lo cual es favorable ya que con la modificación del cambio de inyectores más frecuente, se hubiera requerido mayor cantidad de tiempo para preparar estos elementos.



FIGURA 4.3 MÁQUINA LAPEADORA DE INYECTORES.

4.2 Implementación de mejoras en el sistema de aceite lubricante.

En el capítulo anterior se realizó el análisis del sistema de aceite lubricante, en el mismo se determinó que el aceite lubricante según el combustible utilizado es adecuado para los motores, también se encontró que el periodo de cambio del aceite lubricante no es el correcto, el cambio de aceite se realizaba a las 4000 horas de trabajo del lubricante mientras que el análisis de aceite demostraba que el lubricante se degradaba rápidamente y perdía sus propiedades a las 1800 horas de trabajo. Con las modificaciones realizadas en el sistema de combustible se consiguió que el aceite lubricante alcance aproximadamente 2000 horas de trabajo, por lo cual el periodo de cambio de lubricante se modificó para realizarlo en el mantenimiento de 2000 horas.

Otra de las fallas encontradas en el sistema de lubricación fue el caudal de trabajo de la separadora de aceite, el cual se encontraba en 1800 lt/h,

mientras que el valor óptimo calculado fue de 837 lt/h, este valor debe ser ajustado manualmente por el operador después del arranque del equipo y controlado en las rondas de inspección diariamente. El caudal de separación (Tabla 19) se fijo en 900 lt/h por ser un valor más práctico.

PARÁMETROS	QBB 201	QBB 202	QBB 203	QBB 204	QBB 205	QBB 206	QBB 207
Temperatura °C	95	95	95	95	95	95	95
Caudal (lt/h)	900	900	900	900	900	900	900
T eyección (seg)	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
P agua (bar)	5	5	5	5	5	5	5
P descarga (bar)	2	2	2	2	2	2	2

TABLA 19. MODIFICACIÓN DEL CAUDAL DE SEPARACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE.

Modificación de la temperatura de agua de enfriamiento.

Una modificación adicional realiza fue el cambio en la temperatura del agua de enfriamiento del motor, esta se encontraba en 82°C (fuera del rango recomendado) y fue modificado a 93°C (recomendación 91°C a 100°C) con el fin de reducir la condensación del agua y sulfuros provenientes de la combustión. Con esta modificación se consigue la holgura adecuada entre los anillos del pistón y camisa, y se reduce la formación de compuestos ácidos que deterioran la calidad del aceite lubricante.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE COSTOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente capítulo se realiza un análisis de costos, después de realizar el análisis respectivo de la planta de generación surgieron actividades de mejora, estas tienen un costo adicional en el mantenimiento de la planta, el objetivo es determinar si la implementación de estas mejoras generan un beneficio económico en el costo de mantenimiento de la planta.

5.1 Costos de implementación de mejoras.

Las mejoras realizadas e implementadas en este proyecto son de diversos tipos, unas generan un costo adicional y otras son del tipo operacionales las cuales no lo generan. En la Tabla 20 se muestra los costos de implementación de las mejoras realizadas en la planta.

En esta tabla se incluyen los costos de realización externa de análisis químico, tanto del combustible como del aceite lubricante, se incluye la compra de equipos como son el viscosímetro tipo vibracional y la máquina para rectificación de inyectores, además se incluye el costo del cambio de elementos termostáticos para modificar la temperatura del sistema de agua de enfriamiento.

COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS			
MEJORA IMPLEMENTADA	CANTIDAD	COSTO UNIT	COSTO TOTAL
Análisis de combustible	4	600	2.400
Viscosímetro vibracional	2	5.000	10.000
Cambio de inyectores 2000 horas	3	3.048	9.144
Rectificadora de inyectores	1	15.000	15.000
Análisis de aceite	10	600	6.000
Cambio de aceite 2000 horas	3	9.900	29.700
Cambio de temperatura de agua	1	291	291
Costo de equipos y análisis químicos			33.691
Costo de mantenimiento			38.844
COSTO TOTAL			\$ 72.535

TABLA 20. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS.

Los costos adicionales asociados al cambio de aceite e inyectores cada 2000 horas, están calculados para un periodo de 12000 horas de funcionamiento del motor, estos mantenimientos se realizaran a las 2000, 6000 y 10000 horas, por lo cual se calcula el costo adicional de tres mantenimientos. Los valores expuestos en la tabla anterior incluye el costo de repuestos y mano de obra. El resultado obtenido del costo de implementación de **\$ 72.535** es la suma del costo de equipos y los costos adicionales de mantenimiento calculados a 12000 horas de trabajo del motor.

5.2 Beneficio económico obtenido.

Para determinar el beneficio económico obtenido en este proyecto se debe comparar el costo actual de mantenimiento, el cual es más alto producto de

las mejoras implementadas, con el ahorro económico producto de alargar la vida útil de los repuestos debido a la prolongación del periodo de mantenimientos mayores.

Cuando los motores alcanzaban 8000 horas de trabajo entre mantenimientos mayores, se realizaban en este periodo 4 mantenimientos de 1000 horas, 2 mantenimientos de 2000, 1 mantenimiento de 4000 y el mantenimiento mayor aproximadamente a las 8000 horas. La Tabla 21 a continuación muestra el costo unitario de cada mantenimiento y el costo total de mantenimiento de un periodo de 8000 horas el cual fue calculado en **375.200** dólares.

ANALISIS COSTO - BENEFICIO		
MANTENIMIENTO	COSTO UNIT	COSTO TOTAL
1000 horas(4)	5.200	20.800
2000 horas(2)	12.200	24.400
4000 horas(1)	30.000	30.000
8000 horas(1)	300.000	300.000
Costo a 8000 horas		375.200
1000 horas(6)	5.200	31.200
2000 horas(3)	15.200	45.600
4000 horas(2)	30.000	60.000
12000 horas(1)	300.000	300.000
Costo implementación de mejoras		72.535
Costo a 12000 horas		509.335
BENEFICIO ECONOMICO		\$ 53.465
		\$ 87.156

TABLA 21. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.

Con la implementación de las mejoras el motor alcanzó las 12000 horas de trabajo entre mantenimientos mayores, en este periodo se realizan ahora 6 mantenimientos de 1000 horas, 3 mantenimientos de 2000, 2 mantenimiento de 4000 y el mantenimiento mayor aproximadamente a las 12000 horas. Sumado esto al costo adicional generado por la implementación de mejoras se obtiene un valor de **509.335** dólares, que es el costo de mantenimiento de un periodo de 12000 horas de trabajo del motor.

Para determinar el beneficio económico obtenido se considera que en la condición anterior se necesitaría 1,5 veces el costo de mantenimiento de un periodo de 8000 horas, para alcanzar las 12000 horas de trabajo, con lo cual se obtiene un beneficio económico de **53.465** dólares, para calcular este valor se incluyó el costo de equipos, en los motores siguientes este valor no se consideraría y se obtiene una ganancia de **87.156** dólares por cada motor que cumpla un periodo de trabajo de 12.000 horas.

5.3 Análisis de resultados obtenidos.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos luego de haber realizado el análisis del sistema de combustible y lubricación e implementado las acciones de mejora descritas en el capítulo anterior.

Curva de presión del carter.

El problema principal de planta era que los motores no alcanzaban las 12000 horas de trabajo entre mantenimientos mayores, las camisas y coronas presentaban un desgaste acelerado por lo cual los gases de combustión

pasaban al carter llevando a la presión del mismo a superar los niveles de alarma, los mantenimientos mayores se realizaban a las 8000 horas de trabajo.

Los cambios implementados en el sistema de combustible y lubricación han permitido reducir el desgaste acelerado de las camisas y coronas, permitiendo que el motor número 6 Figura 5.1 operando al máximo de carga (6MW) alcance 11.892 horas de trabajo con una presión en el carter de 3 mbar que es el valor de alarma del mismo.

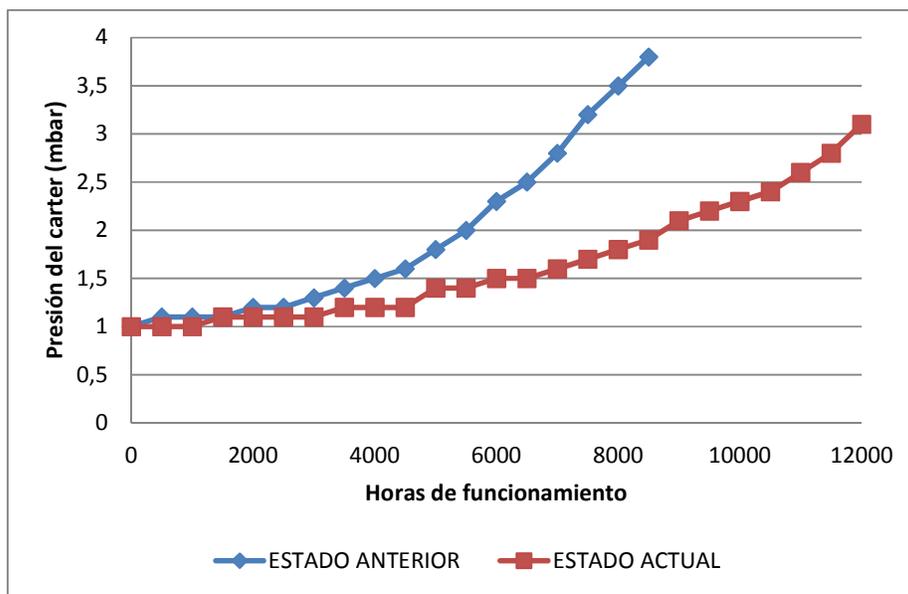


FIGURA 5.1 ESTADO ACTUAL MOTOR NÚMERO 6.

Con este resultado el mantenimiento mayor de este motor se ejecuto después de las 12000 horas de trabajo del mismo, en el cual se realizó la inspección de las camisas y coronas, los datos obtenidos muestran una

disminución del desgaste de estos elementos. Los datos obtenidos se presentan en las Figuras 5.1 y 5.2 a continuación.

Altura de la ranura del anillo del pistón									
Altura nominal (mm)		Límite de desgaste (mm)							
Ranura I	8.18-8.21	8.50							
Ranura II	6.09-6.12	6.50							
Ranura III	8.05-8.07	8.30							
Lado	Número de cilindro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Altura de la ranura del anillo del pistón (mm)									
I	8.41	8.39	8.38	8.35	8.38	8.30	8.35	8.38	8.37
	8.37	8.38	8.34	8.36	8.35	8.38	8.35	8.36	8.37
	8.40	8.36	8.35	8.36	8.34	8.36	8.40	8.37	8.38
	8.38	8.37	8.37	8.35	8.36	8.35	8.42	8.37	8.39

FIGURA 5.2 DISMINUCIÓN DEL DESGASTE DE CORONAS.

Medición de diámetro interno de camisas									
Diámetro nominal (mm)									
320.05-320.107									
Límite de desgaste (mm)									
I	320.80								
II	320.50								
III	320.30								
IV	320.30								
Lado	Número de cilindro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Medición de diámetro interior de camisas (mm)									
I	320.61	320.58	320.62	320.55	320.58	320.62	320.45	320.59	320.54
	320.59	320.58	320.65	320.54	320.60	320.64	320.46	320.61	320.56
	320.62	320.59	320.63	320.55	320.61	320.61	320.43	320.58	320.54
	320.60	320.57	320.63	320.52	320.57	320.62	320.45	320.58	320.54

FIGURA 5.3 DISMINUCIÓN DEL DESGASTE DE CAMISAS.

Otra muestra de los resultados obtenidos es el motor número 2 mostrado en la Figura 5.4, en el cual después de su mantenimiento mayor se ejecutaron las modificaciones realizadas a los planes de mantenimiento, a las 6000 horas de funcionamiento luego del mantenimiento mayor se observa una mejora en la curva de presión del carter con respecto a la curva del periodo de trabajo anterior.

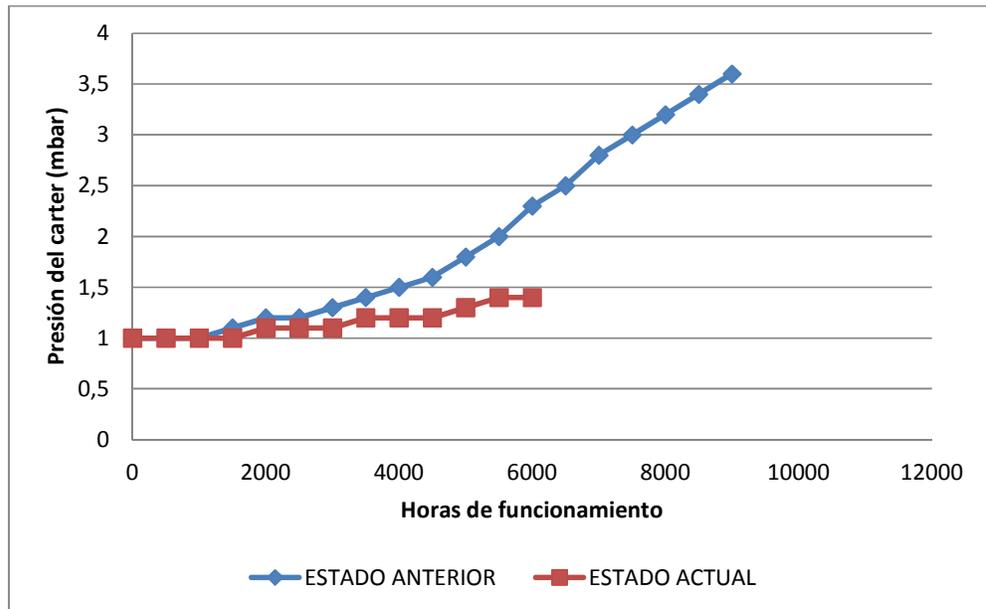


FIGURA 5.4 ESTADO ACTUAL MOTOR NÚMERO 2.

La Figura 5.5 muestra el estado del motor número 3, en este motor las modificaciones empezaron a partir de las 6000 horas de funcionamiento del motor, en la misma se observa un mejor desempeño del motor después de las modificaciones realizadas.

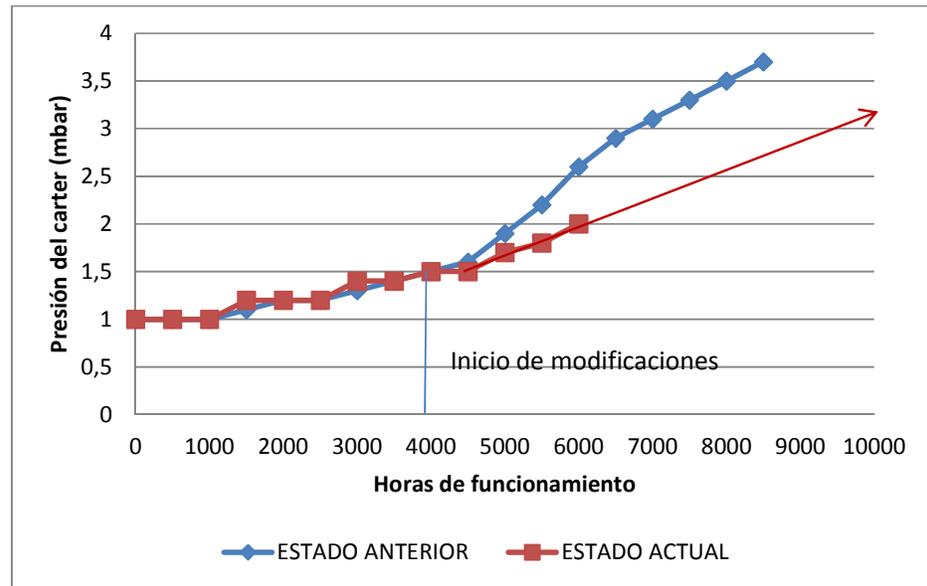


FIGURA 5.5 ESTADO ACTUAL MOTOR NÚMERO 3.

Eficiencia de separación centrífuga del combustible.

Con los cambios realizados en los parámetros operativos del grupo de separadoras centrífugas se logró mejorar la eficiencia de las mismas, esto contribuye a que los motores trabajen con un combustible de menor concentración de impurezas.

SEPARADORAS DE CRUDO		ENTRADA	SALIDA
Densidad a 15°C, gr/ml	ASTM D-1298	0.9707	0.9694
Viscosidad a 50°C, cSt	ASTM D445	751	684.5
Viscosidad a 100°C, cSt	ASTM D445	58.82	56.38
Residuos de carbón, %p	ASTM D-4530	16.31	16.55
Asfaltenos, %p	ASTM D-3279	13.49	12.59
Agua, %vol	ASTM D-95	< 0.10	< 0.10
%C %m/m	Analítica	85.03	84.91
%H %m/m	Analítica	10.67	10.55
%N %m/m	Analítica	0.78	0.76
%S %m/m	Analítica	2.61	2.59
Cenizas	ASTM D-482	0.092	0.09
Cuantitativo			
Al	ppm	0.36	0.22
Si	ppm	3	< 0.1
V	ppm	459	459
Na	ppm	43	8.4
Ni	ppm	161	168
Fe	ppm	8	5.2

TABLA 22. EFICIENCIA DE SEPARADORAS CENTRÍFUGAS DE CRUDO.

En la Tabla 22 se muestra como la eficiencia de remoción de impurezas mejora después de los cambios realizados en los parámetros operativos de dichos equipos, se consigue disminuir la viscosidad del crudo producto de la

eliminación parcial de los elementos más pesados, se reduce también la concentración de varios metales presentes en el crudo.

Reducción del número de paradas.

Con los cambios realizados en el sistema de combustible e inyección se logró disminuir el número de paradas por fallas en turbo compresores, cabezotes e inyectores. La Figura 5.6 muestra que en el año 2011 el número de paradas para estos elementos fue de 11, 16, 37 respectivamente, mientras en el año 2012 (Figura 5.7) luego de los cambios implementados las fallas se redujeron a 1, 10, 31. Esto se dio debido al cambio en el plan de mantenimiento de inyectores y a la mejora en el proceso de centrifugación del combustible.

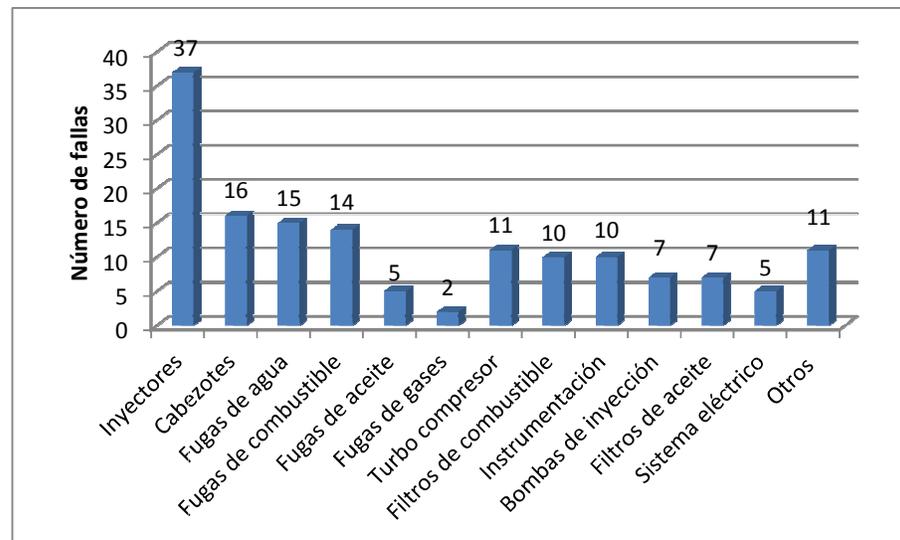


FIGURA 5.6 CAUSAS Y NÚMERO DE PARADAS EN EL AÑO 2011

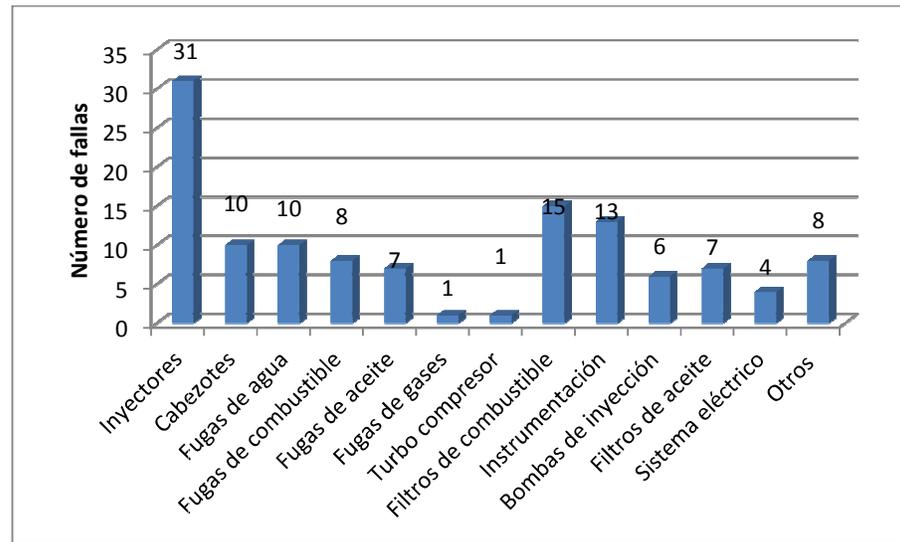


FIGURA 5.7 CAUSAS Y NÚMERO DE PARADAS EN EL AÑO 2012

Reducción de fallas en turbo compresores.

Las fallas que se presentaban en turbo compresores eran principalmente debido al desprendimiento de pedazos de carbón de los ductos de escape los cuales obstruían el ingreso de los gases de escape a la turbina aumentando la temperatura de los cilindros hasta el nivel de alarma y disparo de la máquina. Con el cambio en la temperatura de inyección del combustible, el cambio de inyectores a las 2000 horas y el aumento de la eficiencia de separación centrífuga del combustible, se consiguió mejorar la eficiencia de combustión produciendo menos depósitos en las paredes de los ductos de escape.

Mejora en la vida útil del aceite lubricante.

Con los cambios realizados en el sistema de combustible e inyección, y el cambio del flujo de centrifugación de las separadoras de aceite se consiguió prolongar la vida útil del aceite (Figura 5.8). El aceite lubricante salía fuera de especificaciones a las 1850 horas de trabajo del mismo, mientras que con los cambios realizados el aceite tiene una vida útil de aproximadamente 2000 horas.

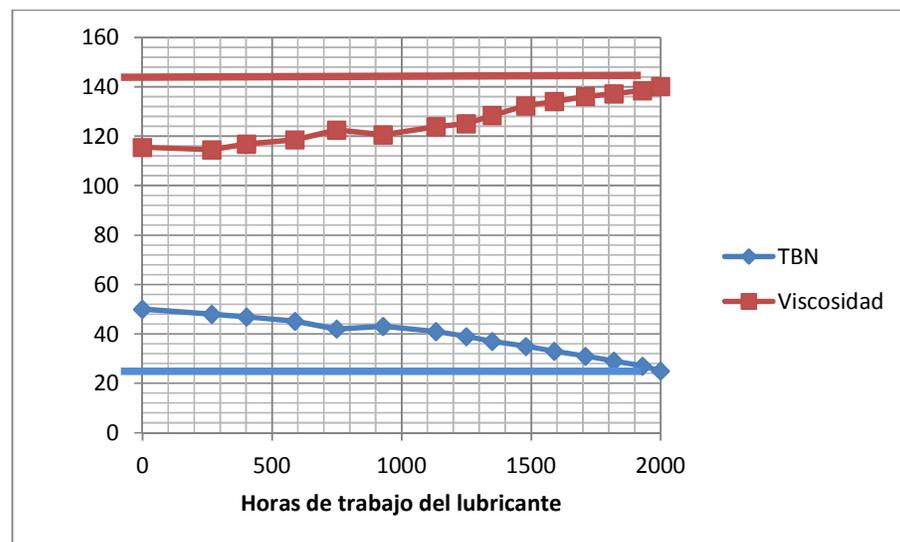


FIGURA 5.8 PROLONGACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL ACEITE LUBRICANTE.

CAPÍTULO 6

6.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Mediante el análisis del sistema de combustible y lubricación de la planta de generación se logró determinar y reducir las condiciones que producían el desgaste prematuro de sus componentes con lo cual se consiguió prolongar los periodos de mantenimientos mayores de los motores de combustión interna de 8000 a 12000 horas.
- Mediante el análisis del combustible realizado se determinó que la mala calidad, alto contenido de impurezas y un proceso deficiente de tratamiento del mismo fueron los factores principales que producían el desgaste excesivo de las camisas y coronas del pistón.
- En el análisis realizado al aceite lubricante se determinó que éste se degradaba rápidamente y se encontraba fuera de especificaciones antes de cumplir su periodo de cambio, esta condición producía desgaste excesivo de las camisas y coronas del pistón.
- La implementación de mejoras en la planta como fueron el cambio en parámetros operativos, modificación de planes de mantenimiento y adquisición de equipos nuevos permitió reducir el costo asociado al mantenimiento y disminuir el índice de fallas referentes a los sistemas de combustible y lubricación.

6.2 RECOMENDACIONES

- Elaborar un estudio para determinar la factibilidad de un sistema de mezcla del crudo con diesel proveniente de la planta de refinación con el objetivo de mejorar la calidad del combustible con el cual trabajan los motores de la planta.
- Realizar un seguimiento diario de los parámetros operativos modificados y cumplir con los cambios propuestos en los planes de mantenimiento con el fin de asegurar las óptimas condiciones de trabajo de los sistemas y equipos de la planta.
- Realizar análisis periódicos del combustible y el aceite lubricante con el objetivo de detectar oportunamente una condición perjudicial para el funcionamiento de los motores de combustión interna de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- Richard Stone, "Introduction to Internal Combustion Engines", SAE, Third Edition, 1999.
- Edward F. Obert, "Motores de Combustión Interna, Análisis y Aplicaciones", CECSA, Segunda Edición, 1997.
- V.L. MALLEV, "Diesel Engine Operation and Maintenance", Mc. Graw-Hill, 1954.
- Wartsila Finland, "Manual de instrucciones del motor Vasa", 2003.
- Wartsila Finland, "Análisis del aceite lubricante y seguimiento de la calidad del aceite", 2003.
- Wartsila Finland, "Sistema de Combustible", 2003.
- Wartsila Finland, "Sistema de Lubricación", 2003.
- Westfalia, "Manual de instrucciones Separadora de crudo", 2003.
- Westfalia, "Manual de instrucciones Separadora de aceite", 2003.
- Westfalia, "Entrenamiento en separadoras centrífugas", 2003.