

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Í ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LUBRICACIÓN EN LOS MOTORES CATERPILLAR EN PLANTA DE GENERACIÓN EN CAMPO CPF DE PETROAMAZONASÎ

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GONZALO XAVIER VIZUETE FIALLOS

DIRECTOR: ING. EDGARDO FERNÁNDEZ

CODIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA

Sangolquí Ë Ecuador

Mayo 15, 2009



CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Í Análisis y optimización del sistema de control de lubricación en los motores Caterpillar en planta de generación en campo CPF de PetroamazonasÎ fue realizado en su totalidad por Gonzalo Xavier Vizuite Fiallos, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Edgardo Fernández

DIRECTOR

Ing. José Guasumba

CODIRECTOR

Sangolquí, 2009-05-15

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

Í ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LUBRICACIÓN EN LOS MOTORES CATERPILLAR EN PLANTA DE GENERACIÓN EN CAMPO CPF DE PETROAMAZONASÎ

ELABORADO POR:

Gonzalo Vizuite

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR

Sangolquí, 2009-05-15



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres Gonzalo y Martha por su gran esfuerzo, junto a mi hermana Gabriela por sus buenos consejos, motivación y apoyo. Y especialmente al inmenso cariño de mis abuelitos Gonzalo y Esmeralda, por ser ellos quienes han impulsado mis sueños en cada momento. Por la guía y fortaleza que en ellos obtengo a cada instante necesario.

AGRADECIMIENTOS

- Gracias a Dios por cada bendición que recibo cada día de mi vida junto a mi familia.
- Agradezco a quienes conforman la Carrera de Ingeniería Mecánica, por sus experiencias y conocimientos impartidos en esta hermosa institución durante mi etapa de formación.
- A mi director de tesis Ing. Edgardo Fernández por sus consejos y enseñanzas, que lograron dirigirme, para lograr alcanzar la culminación del proyecto de una manera gratificante.
- A mi codirector de tesis Ing. José Guasumba por la ayuda brindada con prontitud para el desarrollo y finalización del proyecto.
- A todos quienes conforman el departamento de Mantenimiento de Petroamazonas, ya que con su ayuda logré realizar este proyecto y adquirí una experiencia personal invaluable.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pág.
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
CAPÍTULO 1	
GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 General	2
1.3.2 Específicos	2
1.4 Hipótesis	3
1.5 Justificación e importancia	3
CAPÍTULO 2	
MARCO TEÓRICO	
2.1 Definiciones	4
2.1.1 Aceite lubricante	4
2.2 Mantenimiento	5

	Pág.
vo (PDM).....	6
2.2.2 Tipos de desgaste.....	6
2.3 Análisis de aceite.....	10
2.3.1 Parámetros de evaluación de condición y pruebas de laboratorio.....	10
2.4 Prueba de conteo de partículas.....	26
2.4.1 Código de limpieza ISO 4406:99.....	27
 CAPÍTULO 3	
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	
3.1 Motores de prueba.....	37
3.1.1 Motor de prueba MG 601-6.....	37
3.1.2 Motor de prueba MG 1001-1.....	38
3.2 Aceite lubricante.....	39
3.3 Puntos de muestreo de aceite.....	40
3.4 Procedimiento de toma de muestra de aceite.....	41
3.5 Historial de análisis de aceite.....	42
3.6 Análisis previo del aceite lubricante.....	43
3.6.1 Análisis de aceite del motor MG 601-6.....	43
3.6.2 Análisis de aceite del motor MG 1001-1.....	44
3.7 Análisis de desempeño del sistema de control de lubricación en los motores Caterpillar.....	46
3.7.1 Sistema de filtrado.....	46
 CAPÍTULO 4	
ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO	
4.1 Propuesta para la optimización del sistema de control de lubricación.....	59
4.2 Selección de la solución tecnológica óptima.....	60

	61
4.2.2 Opción B+	65
4.3 Pruebas de desempeño del sistema seleccionado	69
4.3.1 Seguimiento Opción A+	70
4.3.2 Seguimiento Opción B+	71
4.4 Análisis del aceite lubricante posterior a la implementación	73
4.4.1 Análisis de aceite del motor MG 601-6	73
4.4.2 Análisis de aceite del motor MG 1001-1	74
 CAPÍTULO 5	
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
5.1 Interpretación del análisis de aceite lubricante posterior a la implementación	76
5.1.1 Interpretación del análisis de aceite lubricante del motor MG 601-6	76
5.1.2 Interpretación del análisis de aceite lubricante del motor MG 1001-1	81
5.2 Grado de limpieza del aceite lubricante obtenido	85
5.2.1 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6	85
5.2.2 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 1001-1	87
5.3 Análisis comparativo	89
5.3.1 Análisis FODA	93
 CAPÍTULO 6	
ANÁLISIS ECONÓMICO E FINANCIERO	
6.1 Costo overhaul	95
6.2 Costo filtros submicrón	96
6.3 Análisis costo . beneficio	98
6.4 Valor actual neto (VAN)	99

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones 101

7.2 Recomendaciones 103

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
2.1 Grados de viscosidad ISO	14
2.2 Grados de viscosidad SAE	14
2.3 Condiciones para el TBN	16
2.4 Calibración de tolerancias del tubo cónico de centrifugación	22
2.5 Distancia entre piezas del vaso cerrado Pensky-Martens	25
2.6 Grados de limpieza según la aplicación	28
2.7 Grados de limpieza ISO 4406:99	29
2.8 Factor de alargamiento de vida útil	30
2.9 Espesores dinámicos en los componentes de una máquina	36
3.1 Características típicas Rimula Super 15W40	39
3.2 Análisis de aceite previo del MG 601-6	43
3.3 Análisis de aceite previo del MG 1001-1	45
3.4 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6 a las 0 horas	47
3.5 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 1001-1 a las 0 horas	47
3.6 Fijación de límites de control y de especificación del MG 601-6	48
3.7 Fijación de límites de control y de especificación del MG 1001-1	52
3.8 Calibración del tamaño de partículas según el NIST	57
3.9 Tabla de eficiencia de filtración	58
4.1 Cronograma de opción A+	70
4.2 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6 a las 64 horas	71
4.3 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6 a las 514 horas	71
4.4 Cronograma de opción B+	72
4.5 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 1001-1 a las 51 horas	73

4.7	Análisis de aceite del MG 601-6 posterior a la implementación	73
4.8	Análisis de aceite del MG 1001-1 posterior a la implementación	74
5.1	Fijación de límites de control y de especificación del MG 601-6	75
5.2	Fijación de límites de control y de especificación del MG 1001-1	77
5.3	Eficiencia alcanzada por el sistema de filtrado submicrón %opción A+	82
5.4	Eficiencia alcanzada por el sistema de filtrado submicrón %opción B+	87
5.5	Grados de limpieza previos y posteriores a las implementaciones	89
5.6	Factor de alargamiento de vida útil obtenido	92
5.7	Matriz FODA	93
5.8	Cuadro de estrategias	94
6.1	Modelos de motores Caterpillar a implementar	95
6.2	Costo subtotal de overhaul	96
6.3	Costo total de overhaul	96
6.4	Costo de los filtros	97
6.5	Costo de los elementos filtrantes	97
6.6	Costo de instalación	97
6.7	Costo de cambio de cartuchos filtrantes	98
6.8	Tabla de costo - beneficio	98

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
2.1 Desgaste abrasivo.....	7
2.2 Desgaste adhesivo.....	7
2.3 Desgaste erosivo.....	8
2.4 Cavitación.....	9
2.5 Desgaste por fatiga.....	9
2.6 Principio de funcionamiento de absorción atómica.....	10
2.7 Espectrómetro de absorción atómica.....	11
2.8 Fluido.....	12
2.9 Viscosímetro automático.....	15
2.10 Equipo titulación potenciométrica.....	17
2.11 Kit para titulación por indicación de color.....	19
2.12 Equipo de destilación.....	20
2.13 Tubo cónico de centrifugación.....	23
2.14 Vaso cerrado Pensky-Martens.....	24
2.15 Contador óptico automático por dispersión de luz.....	26
2.16 Niveles de contaminación del aceite lubricante.....	31
2.17 Curva de desgaste.....	31
2.18 Curva de Stribeck.....	33
2.19 Puesta en marcha de un cojinete.....	34
2.20 Condiciones de funcionamiento de un cojinete.....	35
3.1 Motor y generador MG 601-6.....	38
3.2 Motor y generador MG 1001-1.....	39
3.3 Ubicación del punto de muestreo.....	40

	<u>Pág.</u>
Accesorios.....	40
3.5 Tipos de botellas para muestras de aceite.....	42
3.6 Etiqueta con datos informativos sobre la muestra de aceite.....	42
3.7 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 601-6.....	49
3.8 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 601-6.....	49
3.9 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 601-6.....	50
3.10 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 601-6.....	50
3.11 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 601-6.....	51
3.12 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 601-6.....	51
3.13 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 1001-1.....	53
3.14 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 1001-1.....	53
3.15 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 1001-1.....	54
3.16 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 1001-1.....	54
3.17 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 1001-1.....	55
3.18 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 1001-1.....	55
3.19 Multi pass test.....	56
3.20 Filtro de prueba.....	57
4.1 Sistema de filtrado submicrón %opción A+.....	62
4.2 Llave de paso hacia el filtro submicrón.....	63
4.3 Anclaje de base metálica.....	63
4.4 Retorno al cárter.....	64
4.5 Conexión eléctrica del calefactor.....	64
4.6 Instalación %opción A+en el motor de prueba MG 601-6.....	65
4.7 Sistema de filtrado submicrón %opción B+.....	66
4.8 Base metálica.....	67

	<u>Pág.</u>
crón	68
4.10 Toma de presión hacia los filtros	68
4.11 Instalación %opción B+en el motor de prueba MG 1001-1	69
4.12 Cambio de elemento filtrante %opción A+	70
4.13 Cambio de elementos filtrantes %opción B+	72
5.1 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 601-6	78
5.2 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 601-6	78
5.3 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 601-6	79
5.4 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 601-6	79
5.5 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 601-6	80
5.6 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 601-6	80
5.7 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 1001-1	82
5.8 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 1001-1	83
5.9 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 1001-1	83
5.10 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 1001-1	84
5.11 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 1001-1	84
5.12 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 1001-1	85
5.13 Grado de limpieza del aceite lubricante en el motor MG 601-6	86
5.14 Grado de limpieza del aceite lubricante en el motor MG 1001-1	88
5.15 Grados de limpieza previos y posteriores a las implementaciones	90
5.16 Relación entre grados de limpieza del aceite lubricante	91
6.1 Flujo de caja del proyecto puro	99

INDICE DE ANEXOS

<u>CONTENIDO</u>	<u>Pág.</u>
Anexo A. Carta de conversión de la viscosidad a cualquier temperatura.....	107
Anexo B. Presentación gráfica del código ISO 4406:99	108
Anexo C. Teoría hidrodinámica.....	109
Anexo D1. Historial del motor MG 601-6.....	113
Anexo D2. Historial del motor MG 1001-1.....	114
Anexo E. Fórmulas de los elementos de una carta de control.....	115
Anexo F. Agua en el aceite	116
Anexo G. Estándares ISO.....	117
Anexo H. Comparación entre aceites motor (Viscosidad vs. Temperatura)....	118
Anexo I. Gráfico para hallar el índice de viscosidad en función de la viscosidad del aceite en cSt a 40°C y a 100°C. Índice de viscosidad entre 0. 100.....	119
Anexo J. Gráfico para hallar el índice de viscosidad en función de la viscosidad del aceite en cSt a 40°C y a 100°C. Índice de viscosidad entre 100. 400.....	120

RESUMEN

El presente proyecto presenta el análisis y la optimización del sistema de control de lubricación en dos motores de prueba Caterpillar, utilizados para generación eléctrica en el campo CPF perteneciente a Petroamazonas.

Inicialmente en estos motores de prueba se identifica el nivel de limpieza actual del aceite lubricante y las condiciones del equipo, mediante análisis de aceite.

Al obtener estos análisis previos y el desempeño del sistema actual, se procede con la determinación de una solución tecnológica óptima con la que se obtenga el grado de limpieza recomendado por la norma ISO 4406:99. Y simultáneamente se busca el cumplimiento de la hipótesis que tiene relación con el alargamiento de la vida útil del aceite lubricante y la reducción en costos de mantenimiento.

En medio de varios proveedores de estos sistemas que servirán para la optimización del sistema de control de lubricación de los motores de prueba se eligieron dos opciones que poseen distintos principios de funcionamiento. Las cuales entraron a un proceso de verificación y comparación de resultados mediante la eficiencia obtenida en las pruebas realizadas.

Posterior al análisis comparativo se eligió a la solución tecnológica que cumpla los objetivos planteados y que logre un beneficio económico representativo para su implementación.

Cabe recalcar que aunque no se cumplió con una parte de la hipótesis que tiene que ver con alargar la vida útil del aceite lubricante, se alcanzó algo mucho más importante que tiene que ver con la limpieza del aceite lubricante obtenido, ya que tiene relación directa con el alargamiento de la vida útil de los elementos del motor y para este caso en particular se logró un factor de alargamiento igual al doble.



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Petroamazonas posee un campo denominado CPF en la región del oriente ecuatoriano ubicado en la provincia de Orellana, en el cual se encuentran en operación alrededor de 80 motores Caterpillar de distintos modelos en planta de generación de las distintas locaciones. En cada motor se utilizan un promedio de 100 galones de aceite para su lubricación, los cuales son reemplazados por aceite nuevo entre 250 y 1000 horas de funcionamiento del motor. Operación continua las 24 horas del día, durante todo el año.

Actualmente, estos motores cuentan con un programa de mantenimiento predictivo y preventivo, el cual busca aumentar su confiabilidad y disponibilidad. El enfoque de este proyecto se orienta hacia el mantenimiento predictivo, el cual realiza diversos análisis a la maquinaria como: vibraciones, termografía, ultrasonido y alineación de precisión; presentando la necesidad de realizar un estudio del sistema de control de lubricación actualmente utilizado. Posteriormente, se analizará la factibilidad de implementar una nueva tecnología de filtración que pueda prolongar la vida útil del lubricante.

OBLEMA

Los motores Caterpillar que posee Petroamazonas son indispensables para la generación de energía y sobre todo para el proceso de extracción de petróleo. La inversión en éstos equipos es alta y su mantenimiento es primordial debido a que deben poseer una alta disponibilidad y para ello una de las variables importantes es la frecuencia a la cual se realizan los cambios de aceite.

Actualmente se tiene poca información sobre el funcionamiento del sistema de control de lubricación de los equipos, en el cual está inmerso el grado de limpieza que logra del aceite lubricante, así como también la información del estado del equipo mediante análisis de aceite y los beneficios en cuanto al alargamiento de la vida útil del mismo. Para lo cual se realizará un análisis y una optimización del sistema de lubricación para lograr aumentar la disponibilidad de los motores y la reducción en costos de mantenimiento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Optimizar el sistema de control de lubricación en los motores Caterpillar utilizados en planta de generación del campo CPF perteneciente a Petroamazonas.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Identificar el grado de limpieza según la norma ISO 4406:99 que posee el aceite lubricante actualmente utilizado en los motores Caterpillar y verificar el grado de limpieza recomendado por la norma para esta aplicación.

el desempeño del sistema de control de lubricación
ente en los motores Caterpillar.

- Determinar la solución tecnológica para obtener el óptimo nivel de limpieza del aceite lubricante para esta aplicación.
- Realizar un análisis costo . beneficio para la aplicación de la solución óptima.

1.4 HIPÓTESIS

Se plantea que la implementación de la solución tecnológica óptima tenga como resultado que el grado de limpieza del aceite que se utiliza en los motores Caterpillar sea el recomendado por la norma ISO 4406:99, de acuerdo a la aplicación, obteniendo como beneficios el alargamiento de la vida útil del aceite lubricante y la reducción en costos de mantenimiento.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente proyecto tiene como justificación, el satisfacer la necesidad de Petroamazonas de obtener un aceite lubricante para motores Caterpillar de planta de generación del campo CPF que cumpla con estándares de limpieza acorde a la aplicación, para optimizar el funcionamiento de dichos equipos.

Además, de una reducción en los mantenimientos programados de estos equipos y evitar cualquier intervención inesperada, ya que puede significar una alta pérdida en la producción. Por lo cual se requiere lograr la máxima eficiencia en los componentes de los equipos con un óptimo desempeño.

Todo esto, favorece para lograr alcanzar una disminución en los costos de mantenimiento y poder ver reflejado dicho beneficio en el análisis económico.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIONES

2.1.1 ACEITE LUBRICANTE

Es una sustancia que se utiliza entre dos superficies para disminuir el rozamiento, además sirve para disipar el calor que genera la fricción, formando una fina película y evitando que las piezas metálicas entren en contacto.

2.1.1.1 Aceite Básico

- Aceites minerales.- Proceden del petróleo y son productos elaborados después de procesos de refinado, predominan en su formulación por sus cualidades, facilidad de obtención y costos moderados.
- Aceites sintéticos.- En procesos de laboratorio se combinan con subproductos del petróleo para obtenerlo, sirven para soportar altas y bajas temperaturas y por su compleja elaboración su costo es elevado.

Son compuestos químicos que refuerzan ciertas características de los aceites base. Entre las funciones que desempeñan tenemos:

- Antioxidante.- contrarresta el proceso de oxidación del aceite.
- Detergente.- ayuda a limpiar los depósitos que se acumulan en las superficies metálicas.
- Dispersante.- evita que las partículas contaminantes se aglomeren y los mantiene en suspensión.
- Antidesgaste.- forman una película entre dos superficies que están en movimiento, disminuyendo la fricción.
- Mejorador índice de viscosidad.- evita que cuando el aceite llegue a alcanzar altas temperaturas se reduzca su viscosidad.

2.2 MANTENIMIENTO

En la actualidad las empresas deben adaptarse a los cambios, ser más eficientes y flexibles. Esto implica una nueva filosofía ya que antiguamente se entendía como mantenimiento, al arreglo de equipos en una carrera contra el tiempo, pero hoy en día se lo debe observar como una gestión que se basa en el mejoramiento continuo en la cual están inmersos índices, tendencias, eficiencias, costos, etc.

En conclusión, el objetivo del departamento de mantenimiento es el de preservar de forma económica y segura los equipos de una empresa y mantenerlos en condiciones óptimas para su funcionamiento.

Los tipos de mantenimientos son los siguientes:

- Mantenimiento reactivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento total productivo

REDUCTIVO (PDM)

Se enfoca en monitorear con diferentes técnicas a los equipos y dar seguimiento a sus condiciones de operación. Mediante éstas inspecciones se puede observar el desgaste y el comportamiento del equipo con lo cual se obtiene información para identificar de esta forma la causa raíz del problema si éste fuese el caso.

2.2.1.1 Lubricación en el mantenimiento predictivo

A más de escoger el tipo de aceite lubricante, una adecuada transportación y almacenamiento, junto a una manipulación y aplicación idónea. Debemos entender que el mantenimiento predictivo va más allá, ya que al lubricante se lo considera un medio que nos transmite información mediante análisis de aceite que nos muestran las condiciones del aceite lubricante, así como el estado de los componentes de la máquina.

El programa de monitoreo del lubricante es distinto para cada empresa ya que se deben seleccionar los equipos dependiendo de la importancia que estos tengan en la producción, su costo y dificultad para reemplazarlo ya que en ellos debe centrarse nuestra atención. Si el caso es que se tienen varias máquinas del mismo tipo y características, se debe seleccionar una muestra representativa para realizar el monitoreo y con diferente frecuencia en la toma de muestras.

2.2.2 TIPOS DE DESGASTE

El desgaste se caracteriza por la pérdida de material que se da entre dos superficies en movimiento, lo cual conlleva a que la máquina no funcione correctamente. Aunque es un efecto que no se puede evitar, pero si se lo puede controlar a cierto nivel.

Desgaste entre los cuales tenemos:

- Desgaste abrasivo.- cuando existe deslizamiento entre dos superficies y entre ellas está inmersa una partícula sólida de tamaño igual o mayor al límite del grosor de la película lubricante como se muestra en la figura 2.1 y además tiene una igual o superior dureza que las superficies de los elementos de la máquina. Se provocará un gran desgaste en la superficie más blanda por el desprendimiento de material.

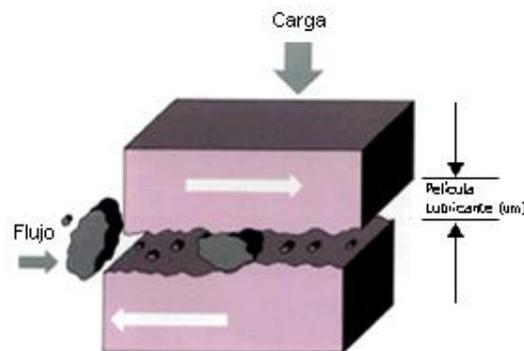


Figura 2.1 Desgaste abrasivo¹

- Desgaste adhesivo.- debido a la disminución o pérdida de la película lubricante se llega al contacto entre las superficies metálicas, provocándose un calor excesivo por razón de fricción y causando que partículas del material de menor dureza se funda en la superficie del material con mayor dureza. En la figura 2.2 se puede observar que la superficie inferior tiene adherida una parte de material de la superficie superior.

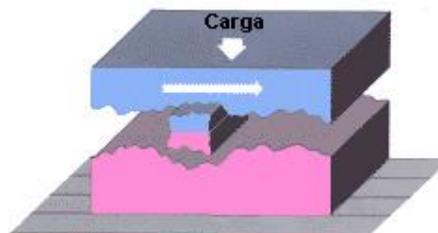


Figura 2.2 Desgaste adhesivo¹

¹ www.pall.com

como la mayoría de elementos están expuestos al oxígeno que se encuentra en el aire y agua, tenemos que cuando un metal está en contacto con el oxígeno reacciona formándose una película de óxido que es un tipo de corrosión. Además con la degradación que se tiene en el aceite se pueden formar ácidos que atacando químicamente producen desgaste en los elementos.

- Desgaste erosivo.- cuando el tamaño de las partículas sólidas presentes en el aceite es menor que el tamaño de la película lubricante, se puede llegar a una pérdida de material de las superficies. Ya que en zonas de alta presión de aceite, las partículas no siguen un movimiento lineal sino más bien chocan de forma desordenada contra las superficies provocando desprendimiento de material en forma lenta como se muestra en la figura 2.3.

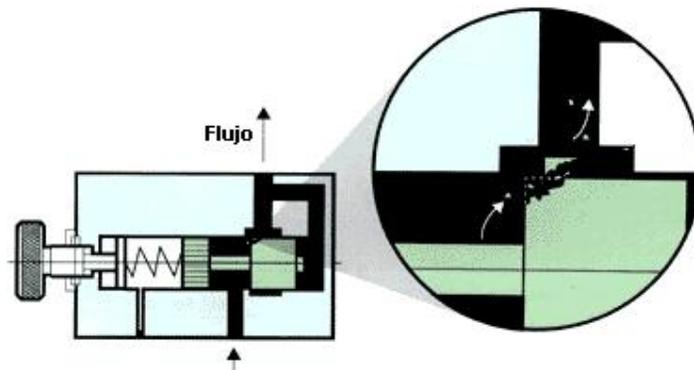


Figura 2.3 Desgaste erosivo¹

- Desgaste por cavitación.- cuando en el aceite se forman burbujas de vapor de agua debido a que en esa región la presión es menor que la presión de vapor. Estas burbujas viajan a zonas de mayor presión en donde implotan, es decir que regresan a estado líquido bruscamente y debido a estas altas presiones se producen picaduras en las superficies. En la figura 2.4 se puede observar éste efecto gracias a cámaras especiales de alta velocidad que pueden capturar este tipo de imágenes.

¹ www.pall.com



Figura 2.4 Cavitación²

- Desgaste por fatiga superficial.- se genera por los esfuerzos de tensión y compresión que presenta la carga que actúa sobre el material donde se forma la película lubricante. Este tipo de desgaste no se puede evitar y al final toca cambiar el componente lubricado. En la figura 2.5 se muestra este proceso debido a la fatiga.

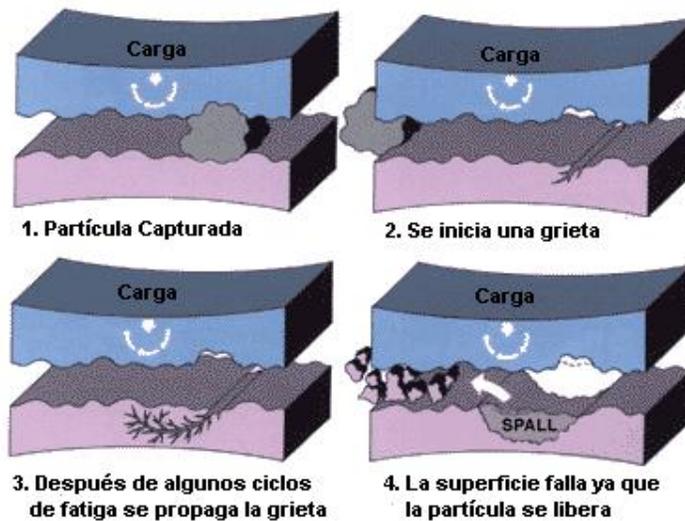


Figura 2.5 Desgaste por fatiga¹

² www.amc.edu.au

¹ www.pall.com

El análisis de aceite es un método muy confiable que trata sobre el estudio de los parámetros presentes en el aceite lubricante. Con estos datos se pueden realizar tendencias a través del tiempo con lo que tendríamos información sobre el estado real del aceite y del desgaste del equipo. Además, con el buen manejo de esta información estaremos en la capacidad de planear las acciones pertinentes que se requiera.

2.3.1 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE CONDICIÓN Y PRUEBAS DE LABORATORIO

2.3.1.1 Análisis espectroquímico. Partículas de desgaste

La técnica más utilizada para éste análisis es la espectroscopía de absorción atómica según la norma ASTM D 5185, cuyo principio de funcionamiento se detalla a continuación.

Se calienta la muestra de aceite a altas temperaturas donde los elementos se atomizan. La llama es irradiada por una lámpara catódica de diversas frecuencias, donde cada átomo absorbe energía luminosa con diferente longitud de onda. Este proceso se lo ilustra en la figura 2.6.

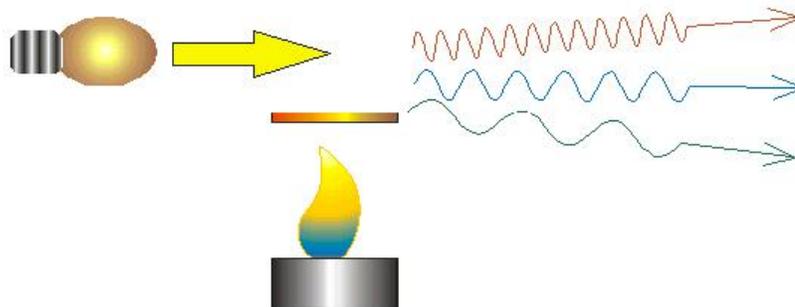


Figura 2.6 Principio de funcionamiento de absorción atómica

En presencia de luz, se tiene una mayor concentración del elemento que se mide el grado de absorción y mediante una computadora se convierte en valores cuantitativos del contenido del metal, expresado en ppm. La figura 2.7 nos muestra un modelo de espectrómetro de absorción atómica.

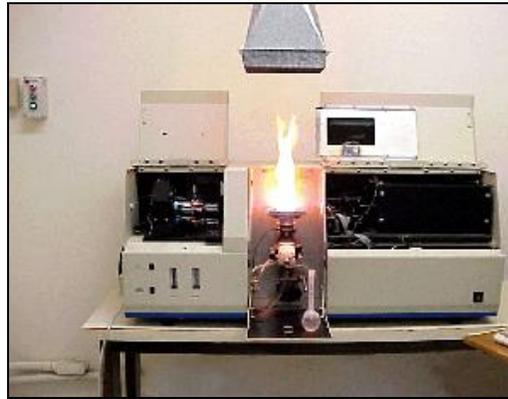


Figura 2.7 Espectrómetro de absorción atómica³

Se pueden monitorear distintas partículas de desgaste como:

- Aluminio.- pistones, cojinetes, engranajes, bombas, rotores.
- Cromo.- de componentes recubiertos como sellos, ejes, revestimiento de cilindros, aros de pistón, pernos.
- Cobre.- bujes, biela, cojinetes, válvulas.
- Hierro.- pistones de fundición revestidos, árbol de levas, engranajes, ejes, cigüeñal, cilindros.
- Plomo.- sellos, cojinetes de bancada.
- Níquel.- válvulas, álabes revestidos de turbos.
- Estaño.- de aleaciones de cojinetes, sellos de aceite, latón.
- Silicio.- de contaminación externa de fluidos a través de entradas de aire.

Además de aditivos que contiene el aceite como: fósforo, calcio, bario, magnesio, boro ó zinc.

³ geologia.cicese.mx

Con esta información sobre la concentración de los lubricantes se puede obtener una tendencia sobre el desgaste del equipo y de sus condiciones, para poder tomar las acciones pertinentes.

2.3.1.2 Determinación de viscosidad cinemática

La viscosidad dinámica tiene una relación con la resistencia a fluir. Es una propiedad muy importante, ya que de ello depende que se tenga una adecuada película lubricante para separar las superficies que puedan entrar en contacto. Se debe tener presente que mientras aumenta la temperatura a la que está expuesto el aceite, la viscosidad del fluido disminuye.

En la figura 2.8 se muestra una superficie fija y otra móvil separadas por una película lubricante.

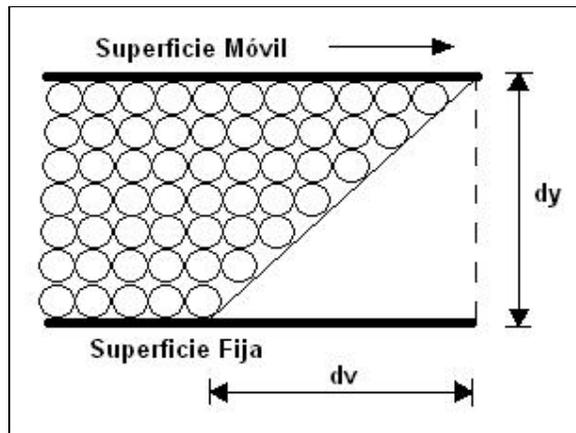


Figura 2.8 Fluido

La ley de Newton señala que cuando las capas de un fluido se deslizan entre sí, la resistencia a moverse depende de la superficie y del gradiente de la velocidad dv/dx descrita en la ecuación:

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dy} \quad (2.1)$$

proporcionalidad o coeficiente de viscosidad dinámica, tenemos:

$$\eta = \frac{F}{A} \cdot \frac{dy}{dv} \quad (2.2)$$

donde $\frac{F}{A} = \tau$ es el esfuerzo cortante o tensión de cizallamiento que en los líquidos corresponde al rozamiento por unidad de superficie.

Las unidades de la viscosidad dinámica o absoluta son:

$$\eta = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{dv}{dy}} = \frac{\left[\frac{N}{m^2} \right]}{\left[\frac{m}{m.s} \right]} = \left[\frac{N.s}{m^2} \right]$$

aunque su unidad más conocida es el Poise que equivale a $\left[\frac{dina.s}{cm^2} \right]$

La viscosidad cinemática es el resultado de dividir la viscosidad absoluta o dinámica para la densidad, ambas a la misma temperatura.

$$\nu = \frac{\eta}{\delta} \quad (2.3)$$

Las unidades de la viscosidad cinemática son las siguientes:

$$\nu = \frac{\eta}{\delta} = \frac{\left[\frac{dina.s}{cm^2} \right]}{\left[\frac{g}{cm^3} \right]} = \frac{\left[\frac{g.cm.s}{s^2.cm^2} \right]}{\left[\frac{g}{cm^3} \right]} = \left[\frac{cm^2}{s} \right]$$

donde la unidad $\left[\frac{cm^2}{s} \right]$ se denomina Stoke.

40°C está identificada por los grados ISO como se muestra en la tabla 2.1 y la viscosidad cinemática a 100°C está asignada con grados SAE como se muestra en la tabla 2.2. Los grados de viscosidad vienen expresados en centiStokes (cSt).

Tabla 2.1 Grados de viscosidad ISO

Grado de viscosidad ISO	Viscosidad cinemática (cSt) a 40°C	
	mín	Máx
2	1,98	2,42
3	2,88	3,52
5	4,14	5,06
7	6,12	7,48
10	9,00	11,00
15	13,50	16,50
22	19,80	24,20
32	28,80	35,20
46	41,40	50,60
68	61,20	74,80
100	90,00	110,00
150	135,00	165,00
220	198,00	242,00
320	288,00	352,00
460	414,00	506,00
680	612,00	748,00
1000	900,00	1100,00
1500	1350,00	1650,00

Fuente: Seminario lubricación efectiva. Guayaquil - Ecuador, 2008.

Tabla 2.2 Grados de viscosidad SAE

Grado de viscosidad SAE	Viscosidad cinemática (cSt) a 100°C	
	mín	Máx
20	5.60	9.30
30	9.30	12.50
40	12.50	16.30
50	16.30	21.90
60	21.90	26.10

Fuente: Seminario lubricación efectiva. Guayaquil - Ecuador, 2008.

La norma a utilizar para la viscosidad cinemática es la ASTM D 445, donde se emplea un viscosímetro automático como se muestra en la figura 2.9. En el cual se utiliza un volumen del fluido y se lo hace pasar a través de un tubo capilar calibrado de vidrio en condiciones específicas y a una cierta temperatura que generalmente es a 40°C o 100°C.

tiene el tiempo de flujo al pasar el fluido por dos
factor del instrumento se consigue la viscosidad
cinemática expresada directamente en (cSt).



Figura 2.9 Viscosímetro automático⁴

A la viscosidad del aceite no se considera normal cuando ha disminuido un 20% o ha aumentado hasta un 25% de su valor original. Otros fabricantes consideran que la viscosidad es anormal cuando existe un cambio de 3 cSt.

Además tenemos que cuando disminuye la viscosidad puede deberse a que el aceite se encuentra contaminado por algún solvente que puede ser por combustible. En cambio al aumentar la viscosidad normalmente se debe a la oxidación del aceite, que puede ser por sobrecargas, temperaturas de operación altas, contaminación por agua, contaminación por refrigerante o polvo excesivo.

⁴ www.laboratorioy analisis.com

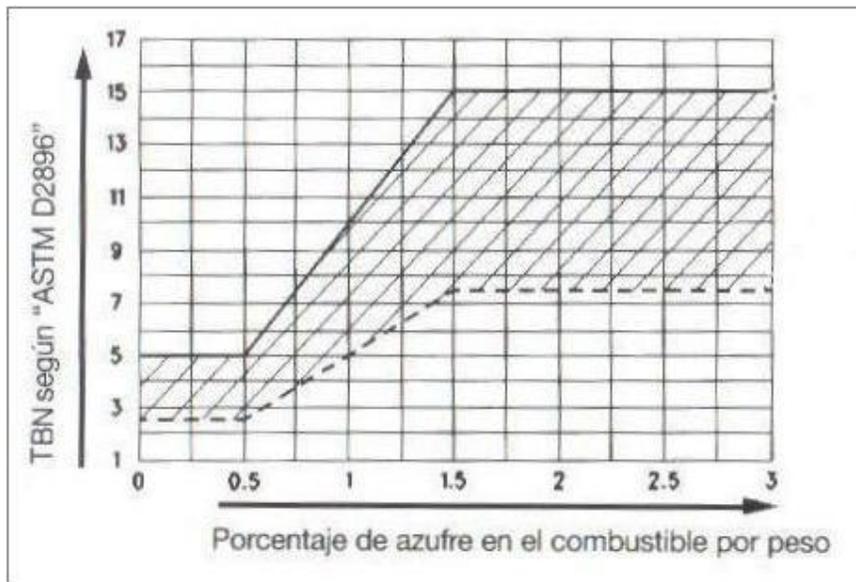
Titulación potenciométrica. TBN (Total Base Number)

El aceite contiene una reserva básica o alcalina que puede llegar a consumirse en su totalidad. Esta reserva o TBN es la que permite neutralizar los compuestos ácidos originados en la combustión y en la contaminación del lubricante.

Los fabricantes de motores recomiendan trabajar con el aceite lubricante como máximo hasta un 50% menos de la reserva alcalina inicial o TBN.

El TBN depende de la cantidad de azufre presente en el combustible y de la capacidad del proceso de refinado para eliminarlo. Por lo que el TBN se ve afectado especialmente por el contenido de azufre como se muestra en la tabla 2.3, la cual describe las condiciones para el TBN de acuerdo a las especificaciones de algunos fabricantes de motores de alta velocidad.

Tabla 2.3 Condiciones para el TBN



Fuente: ASTM D 2896

mediante un análisis químico que el crudo posee sulfuro, por lo cual el combustible es difícil de tratar.

La obtención del TBN se realiza conforme a la norma ASTM D 2896 que consta de titulación potenciométrica cuyo funcionamiento es el siguiente:

La muestra de aceite es disuelta con ácido perclórico que es un solvente de titulación. Las lecturas potenciométricas (conductividad eléctrica) son graficadas de acuerdo a los volúmenes de de la solución titulada.

El TBN o alcalinidad es calculada del gasto de la cantidad de ácido, que se expresa como el gasto de la cantidad equivalente de hidróxido de potasio (KOH) para neutralizar la base contenida en la muestra.

En la figura 2.10 se muestra un modelo de equipo para titulación potenciométrica.



Figura 2.10 Equipo titulación potenciométrica⁵

El resultado se expresa en mg equivalentes de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar a los constituyentes alcalinos presentes en un gramo de muestra, $[mgKOH / g]$

⁵ www.jenck.com

2. TAN (Total Acid Number)

Este índice de acidez total mide la reserva de productos ácidos presentes en el aceite lubricante. El agotamiento de los aditivos alcalinos nos puede dar un índice de acidez alto y puede conducir a la corrosión de los elementos de la máquina.

Otras causas que interfieren para tener un índice alto de acidez pueden ser el excesivo calentamiento del aceite debido a altas temperaturas de funcionamiento o por el alto contenido de azufre presente en el combustible.

Monitoreando éstos niveles se puede determinar cuando es necesario un cambio de aceite, ya que mientras mayor es el TAN, tenemos que mayor es el deterioro del aceite.

La obtención del TAN se realiza por titulación potenciométrica con la norma ASTM D 664 donde la muestra se disuelve en una mezcla de tolueno, alcohol isopropil y agua titulada con hidróxido de potasio alcohólico. La acidez es medida con el cambio en la conductividad eléctrica del equipo de titulación potenciométrica (figura 2.10).

Se representa en *mg* de hidróxido de potasio (*KOH*) necesarios para neutralizar a los ácidos presentes en un gramo de muestra, [*mgKOH / g*]

Titulación por indicación de color (TBN/TAN)

Este método de titulación por indicación de color sirve para encontrar tanto el TBN como el TAN, el cual también se lo utiliza para el reporte de éstos parámetros.

La norma a utilizar es la ASTM D 974 donde la muestra se disuelve en una mezcla de tolueno, alcohol isopropil y agua, titulándola con una solución ácida

diendo el caso. Se agrega una solución de esta un cambio en su coloración, esto se expresa en

$[mgKOH / g]$.

La figura 2.11 nos muestra un kit para realizar este análisis.



Figura 2.11 Kit para titulación por indicación de color

En vista que tanto el TBN y el TAN están relacionados directamente entre la reducción del TBN y el aumento del TAN, se considera más significativo evaluar el número de base total.

2.3.1.4 Contenido de agua

El agua es uno de los contaminantes que afecta al aceite en gran manera ya que acelera el proceso de oxidación, lo cual provoca un aumento en la viscosidad del aceite reduciendo la capacidad de lubricación en los elementos de la máquina. Mientras que con exceso de agua en el aceite, su viscosidad disminuye, provocando mayor fricción entre los elementos y un desgaste excesivo debido al contacto entre metales.

...nación se puede dar por la condensación de la ... gresa al cárter, puede ser también por sellos deteriorados, lavados de los equipos, por un mal almacenamiento del aceite, juntas o tapas defectuosas.

El método utilizado para la detección de agua en el aceite lubricante es ASTM D 95, el cual se basa en un proceso de destilación que se lo realiza con el equipo que se muestra en la figura 2.12 y se lo describe a continuación.

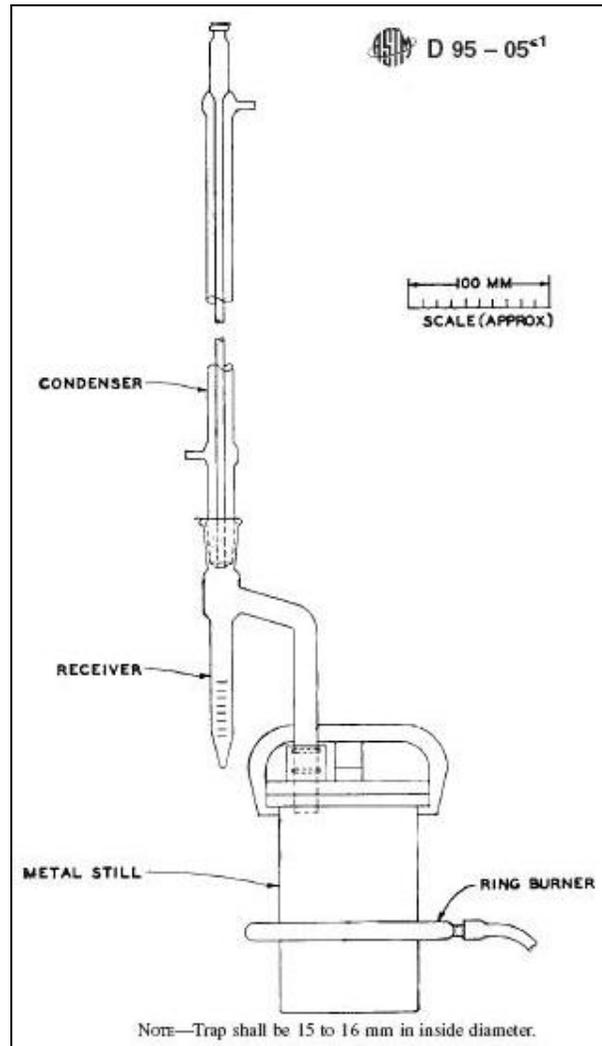


Figura 2.12 Equipo de destilación⁶

⁶ ASTM D 95, 2005

Se añade la muestra más un solvente inmiscible y se lo calienta en un calentador hasta que pasa a evaporarse. Para luego, por medio de condensación el solvente y el agua son separados, en donde el agua es enviada a una trampa con una sección graduada y el solvente retorna al envase metálico.

De acuerdo a la medición en $[ml]$ se reporta el resultado en porcentaje de agua presente en el aceite lubricante.

Algunos fabricantes de motores consideran que el porcentaje de agua máximo que debe estar presente en el aceite debe estar entre 0.2% y 0.3% como límite. Normalmente se trabaja en porcentaje de volumen de agua, pero también se lo puede representar de forma cuantitativa de ser el caso, es decir en $[ppm]$.

2.3.1.5 Porcentaje de insolubles en pentano y tolueno

Los insolubles son producto de la degradación del aceite, una parte de éstos sólidos se disuelve en el aceite aumentando su viscosidad, mientras que el resto forma lodos, lacas y barnices que se depositan en distintos alojamientos y en otras superficies del motor.

Casi la totalidad de los productos insolubles del aceite son los insolubles en pentano, formados por contaminantes externos y por la degradación del aceite.

Los insolubles en tolueno son los productos que provienen de la corrosión, contaminación externa, desgaste de los elementos lubricados y del carbón formado en una combustión incompleta.

La diferencia entre insolubles en pentano y tolueno es una medida de los compuestos de la degradación del aceite como resinas, barnices, etc. Estos compuestos que son insolubles en pentano pero solubles en tolueno provienen normalmente de la oxidación.

mantener el porcentaje de insolubles presentes en el cual consiste de dos procedimientos.

Procedimiento A.- Se refiere a la determinación de insolubles sin el uso de coagulante en el pentano o tolueno. Este provee una indicación de materiales que pueden ser fácilmente separados desde la mezcla aceite y solvente por centrifugación.

Procedimiento B.- Se refiere a la determinación de insolubles en aceites que contienen detergentes y emplea un coagulante, el cual favorece la separación de una fase insoluble, para los insolubles en pentano y tolueno. A más de los materiales separados utilizando el *procedimiento A*, éste procedimiento de coagulación separa finalmente algunos materiales divididos que pueden estar suspendidos en el aceite.

Ambos procedimientos A y B son utilizados para determinar tanto insolubles en pentano como en tolueno.

El aparato que se utiliza para éste método es un tubo cónico de centrifugación como se observa en la figura 2.13, cuya calibración de tolerancias se muestra en la tabla 2.4 y su velocidad de rotación oscila entre 600 y 700 rpm.

Tabla 2.4 Calibración de tolerancias del tubo cónico de centrifugación

Range, mL	Smallest Scale Division, mL	Maximum Scale Error, mL
0 to 0.1	0.05	±0.02
Over 0.1 to 0.3	0.05	±0.03
Over 0.3 to 0.5	0.05	±0.05
Over 0.5 to 1.0	0.1	±0.05
Over 1.0 to 2.0	0.1	±0.10
Over 2.0 to 3.0	0.2	±0.10
Over 3.0 to 5.0	0.5	±0.20
Over 5.0 to 10.0	1.0	±0.50
Over 10 to 25	5.0	±1.0
Over 25 to 100	25.0	±1.0

Fuente: ASTM D 893, 2005

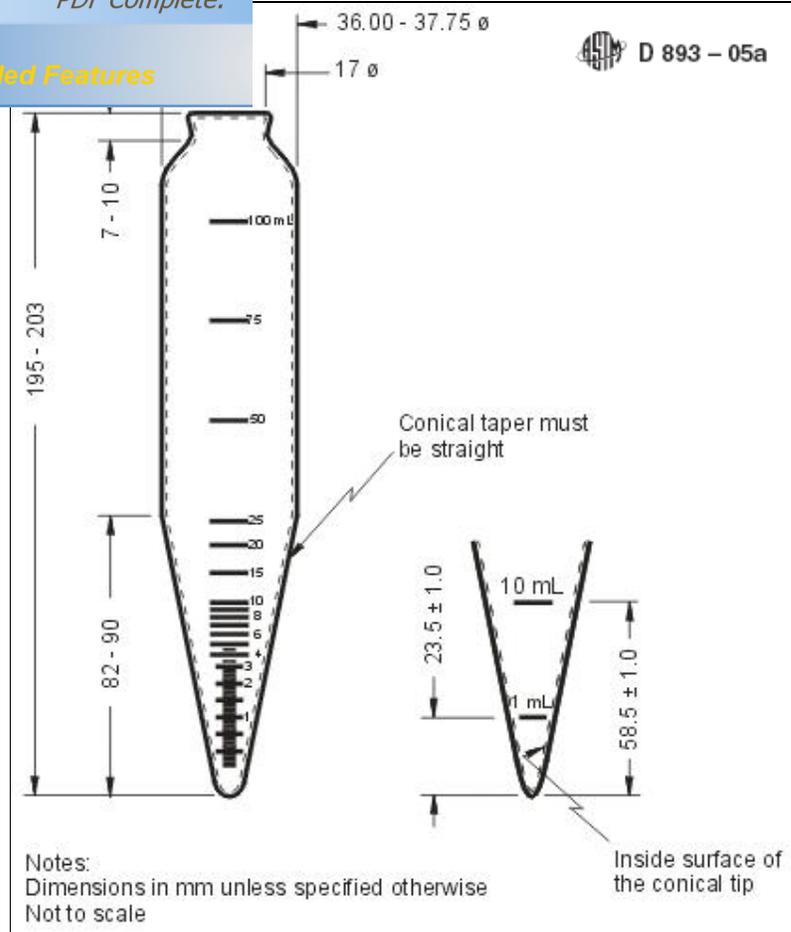


Figura 2.13 Tubo cónico de centrifugación⁷

Para determinar los insolubles, al volumen de los sedimentos sólidos de la parte inferior del tubo se los presenta en porcentaje en peso. Para los fabricantes, el nivel máximo de insolubles en el aceite es del 2% en peso.

2.3.1.6 Puntos de inflamación e ignición

Se denomina punto de inflamación o flash point, a la mínima temperatura en la que el aceite desprende la suficiente cantidad de vapores que mediante una llama se puede inflamar momentáneamente. Esta temperatura se la expresa en grados centígrados °C.

⁷ ASTM D 893, 2005

bio es la temperatura mínima a la cual la llama se enciende y suele estar entre 30°C y 60°C por encima del punto de inflamación.

El método utilizado para determinar el punto de inflamación e ignición es el ASTM D 93 en donde se emplea el aparato denominado vaso cerrado Pensky-Martens que se observa en la figura 2.14, el cual consta de un recipiente cerrado con determinadas dimensiones que se muestran en la tabla 2.5.

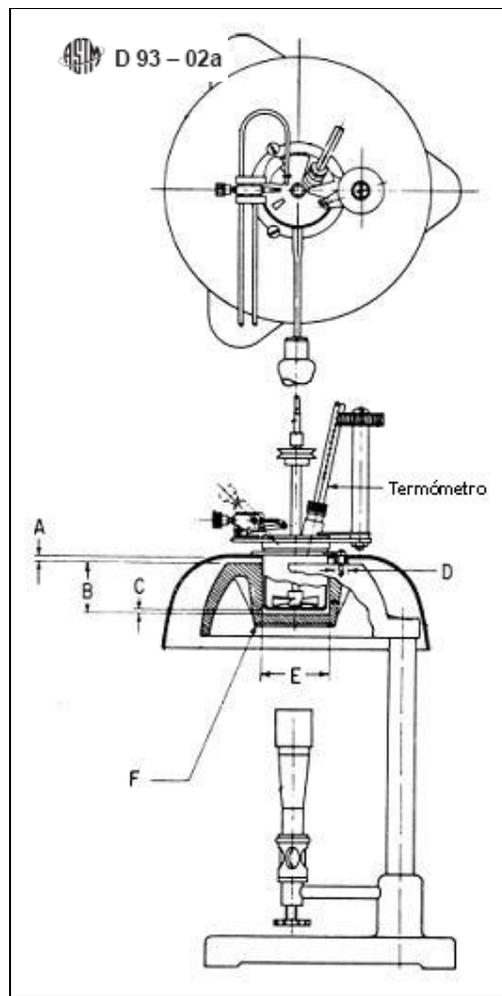


Figura 2.14 Vaso cerrado Pensky-Martens⁸

⁸ ASTM D 93, 2002

entre piezas del vaso cerrado Pensky-Martens

	Mm		in.	
	min	max	min	max
A	4.37	5.16	0.172	0.203
B	41.94	42.06	1.651	1.656
C	1.58	3.18	0.062	0.125
D	Å	9.52	Å	0.375
E	57.23	57.86	2.253	2.278
F	6.35	Å	0.25	Å

Fuente: ASTM D 93, 2002

En el interior de éste recipiente cerrado se coloca la muestra de aceite, la cual se revuelve y se calienta rápidamente hasta que alcance una temperatura cercana al punto de inflamación. Al irse aproximando a ésta temperatura, se sigue calentando de forma lenta y constante.

Posteriormente se acerca una fuente de calor (llama de prueba) en intervalos determinados hasta que un flash o inflamación se detecte, a ésta temperatura se la toma como punto de inflamación. Mientras que para el punto de ignición, se continúa calentando hasta que con la llama de prueba, el líquido arda por lo menos cinco segundos.

Esta temperatura del punto de inflamación observada es la correcta, siempre que la presión atmosférica sea de 760 mmHg (101.3 KPa). Para lo cual si existe diferente presión atmosférica al momento de la prueba, tenemos:

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0.25 (101.3 - K) \quad (2.4)$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0.033 (760 - P) \quad (2.5)$$

Donde:

C punto de inflamación observado [°C]; **K** presión atmosférica [KPa];

P presión atmosférica [mmHg].

En el aceite usado el punto de inflamación aumenta debido a que las partes volátiles del mismo se evaporan por la utilización en el transcurso del tiempo.

reducción del punto de inflamación en el aceite de motor por la presencia de combustible.

Ya que en los aceites actuales se superan los 190°C de punto de inflamación, el punto de inflamación en aceites de motor no debe presentar riesgos de inflamación, teniendo en cuenta que la temperatura límite de trabajo no es mayor a los 110°C y el aceite se encuentra normalmente entre 74°C y 96°C, dependiendo de la recomendación del fabricante del motor.

2.4 PRUEBA DE CONTEO DE PARTÍCULAS

Esta prueba nos muestra la cantidad de partículas presentes en una muestra de aceite sin especificar su material ni composición.

El equipo que se utiliza es un contador óptico automático por dispersión de luz como se muestra en la figura 2.15.

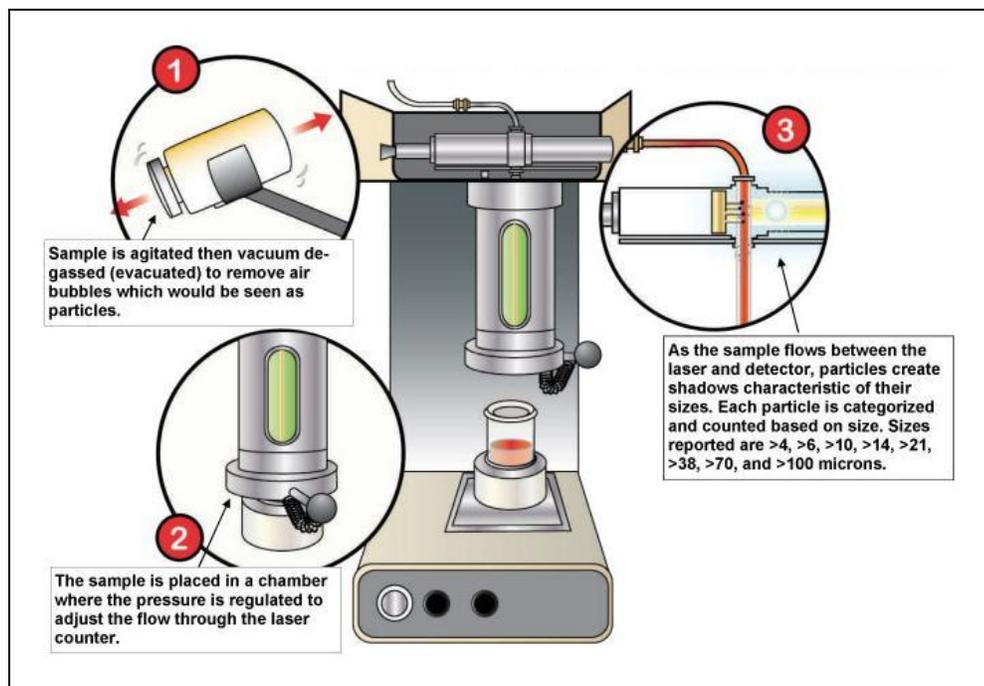


Figura 2.15 Contador óptico automático por dispersión de luz⁹

⁹ www.polarislabs1.com

Este método consiste en hacer circular la muestra de aceite a una velocidad constante de caudal y al pasar las partículas opacas a través del láser se identifica la dispersión de luz. Lo cual es medible en un conteo de partículas de distintos tamaños y cuyos resultados se presentan en partículas/ml o partículas/100ml.

2.4.1 CÓDIGO DE LIMPIEZA ISO 4406:99

El conteo de partículas nos da la información necesaria para obtener el nivel de limpieza de un aceite. El código de limpieza actualmente utilizado para las diversas aplicaciones es el ISO 4406:99.

El propósito de éste código es de simplificar el reporte de cantidad de partículas, asumiendo diversos números que forman parte del mismo. En el cual se tiene un conteo de partículas por unidad de volumen (ml) mayores a un tamaño de 4 micrones, 6 micrones y 14 micrones.

El reporte se obtiene de acuerdo a estos tamaños y se los representa en tres dígitos de esta forma:

R4/R6/R14

El primer dígito representa al número total de partículas igual o mayor a 4 micras (μ m) por mililitro de fluido.

El segundo dígito corresponde al número total de partículas igual o mayor a 6 micras (μ m) por mililitro de fluido.

El tercer dígito representa al número total de partículas igual o mayor a 14 micras (μ m) por mililitro de fluido.

Es muy importante conocer el verdadero nivel de limpieza recomendado por los fabricantes de las diversas maquinarias que existe en el ámbito industrial por lo que en la tabla 2.6 tenemos los grados de limpieza recomendado según la aplicación.

a lo que concierne a motores diesel por lo que el código de limpieza recomendado es el ISO 17/16/13.

Este número se lo obtiene por métodos experimentales realizados en los laboratorios de los diversos fabricantes de motores, el cual se lo determina apoyándose en el conteo de partículas y en base al ISO 4406:99.

Tabla 2.6 Grados de limpieza según la aplicación

Componente	Código ISO
Válvulas de Servo-control	16/14/11
Rodamiento	16/14/12
Válvulas Proporcionales	17/15/12
Cojinetes	17/15/12
Reductoras Industriales	17/15/12
Reductoras Móviles	17/16/13
Motor diesel	17/16/13
Turbina vapor	18/15/12
Bombas/Motores de pistón y paletas	18/16/13
Válvulas de control de presión y direccional	18/16/13
Máquina de papel	19/16/13
Motores/Bombas de engranajes	19/17/14
Válvulas de control de flujo, cilindros	20/18/15
Fluidos nuevos sin usar	20/18/15

Fuente: Wearcheck

Por ello en la tabla 2.7 se presenta una escala en la cual constan los grados de limpieza dependiendo de los rangos en el que se encuentre el número de partículas por mililitro.

Por ejemplo si tenemos un código ISO 17/16/13 significa que:

La cantidad de partículas que tengan un tamaño igual o mayor 4 μ m estará entre 640 y 1300 partículas/ml.

La cantidad de partículas que tengan un tamaño igual o mayor 6 μ m estará entre 320 y 640 partículas/ml.

La cantidad de partículas que tengan un tamaño igual o mayor 14 μ m estará entre 40 y 80 partículas/ml.

En la tabla 2.7 se puede obtener de manera directa el código de limpieza de una muestra de aceite cualquiera llevada a análisis de laboratorio. Se tiene además una representación gráfica del código de limpieza aunque no es usualmente utilizada. (Anexo B).

Tabla 2.7 Grados de limpieza ISO 4406:99

Number of particles per millilitre		Scale number
More than	Up to and including	
2 500 000		>28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0,00	0,01	0

Fuente: ISO 4406:1999(E)

De igual forma se debe tener presente que mientras se mejore el nivel de limpieza del aceite en una maquinaria, se puede alargar la vida útil de sus componentes. Este factor de alargamiento se lo puede obtener con la utilización de la tabla 2.8, la cual nos muestra la prolongación de vida útil dependiendo del equipo utilizado y del código de limpieza actual y futuro.

Factor de alargamiento de vida útil

		w Cleanliness Level (ISO Code)																							
		20/17	19/16	18/15	17/14	16/13	15/12	14/11	13/10	12/9	11/8	10/7	20/17	19/16	18/15	17/14	16/13	15/12	14/11	13/10	12/9	11/8	10/7		
Current Machine Cleanliness (ISO Code)	26/23	5 3 4 2.5	7 3.5 4.5 3	9 4 6 3.5	>10 5 6.5 4	>10 6 7.5 5	>10 7.5 8.5 6.5	>10 9 10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 >10														
	25/22	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	9 4 5 3.5	>10 5 6.5 4	>10 6 8 5	>10 7 9 6	>10 9 10 7.5	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 >10														
	24/21	3 2 2.5 1.5	4 2.5 3 2	6 3 4 2.5	7 4 5 3	9 5 6.5 4	>10 6 7.5 5	>10 7 8.5 6	>10 8 9.5 7	>10 10 >10 8	>10 >10 >10 8	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10											
	23/20	2 1.5 1.7 1.3	3 2 2.3 1.5	4 2.5 3 2	5 3 3.7 2.5	7 3.5 5 3	9 4 6 3.5	>10 5 7 4	>10 6 8 5	>10 8 10 6.5	>10 9 >10 8	>10 10 >10 8.5	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10										
	22/19	1.6 1.3 1.4 1.1	2 1.6 1.8 1.3	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	8 4 5.5 3.5	>10 5 7 4	>10 6 8 5	>10 7 10 5.5	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8.5	>10 10 >10 8.5	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10								
	21/18	1.3 1.2 1.2 1.1	1.5 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.4	3 2 2.2 1.6	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	9 4 5 3.5	>10 5 7 4	>10 7 9 5.5	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8.5	>10 10 >10 8	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10								
	20/17		1.3 1.2 1.2 1.05	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.4	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4 5 3	9 5 6 4	>10 7 8 5.5	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8	>10 10 >10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10								
	19/16			1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.2 1.7	4 2.5 3.5 2.5	5 3 5 3.5	7 4 7 4.5	9 6 9 5.5	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8	>10 10 >10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10								
	18/15				1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4.5 5.5 3.7	>10 6 8 5	>10 7 8 5	>10 8 8 5	>10 9 9 6	>10 10 10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10					
	17/14					1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	6 3 4 2.5	8 5 6 3.5	9 6 9 6	>10 7 >10 6	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8	>10 10 >10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10				
	16/13						1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	6 3 4 2.5	8 5 6 3.5	9 6 9 6	>10 7 >10 6	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8	>10 10 >10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10
	15/12	Hydraulics and Diesel Engines	Rolling Element Bearings						1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	6 3 4 2.5	8 5 6 3.5	9 6 9 6	>10 7 >10 6	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8	>10 10 >10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10
	14/11	Journal Bearings and Turbo Machinery	Gear Boxes and Other							1.3 1.2 1.3 1.2	1.6 1.5 1.6 1.5	2 1.7 2 1.7	3 2 3 2	4 2.5 4 2.5	6 3 4 2.5	8 5 6 3.5	9 6 9 6	>10 7 >10 6	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8	>10 10 >10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10
13/10										1.3 1.2 1.3 1.2	1.6 1.5 1.6 1.5	2 1.7 2 1.7	3 2 3 2	4 2.5 4 2.5	6 3 4 2.5	8 5 6 3.5	9 6 9 6	>10 7 >10 6	>10 8 >10 7	>10 9 >10 8	>10 10 >10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 10	

Fuente: Noria Corporation

En esta tabla 2.8 se tiene un recuadro en la parte inferior izquierda, el cual se subdivide en cuatro cuadrantes y en cada uno de éstos consta el tipo de máquina utilizado. En el primer cuadrante que se encuentra en la parte superior izquierda y en sentido horario tenemos el factor de alargamiento para motores hidráulicos y a diesel; el segundo cuadrante corresponde a rodamientos; en el tercero para caja de engranes y otros; y en el cuarto cuadrante se encuentran los cojinetes y turbomáquinas.

Con lo cual, suponiendo que en un motor a diesel se tiene un nivel de limpieza del aceite con un código ISO 21/18 (ubicado en el eje vertical). Y al realizar un mejoramiento en la limpieza del lubricante se logra alcanzar un código ISO 18/15 (ubicado en el eje horizontal). Al interceptar estos dos códigos con líneas imaginarias nos llevaría a un cuadro, en el cual, si seguimos la secuencia anteriormente descrita se lograría alcanzar un factor de alargamiento de vida útil igual a 2, por lo que la vida útil del equipo se incrementará al doble.

...16 se exponen fotografías a nivel microscópico de contaminación del aceite lubricante.

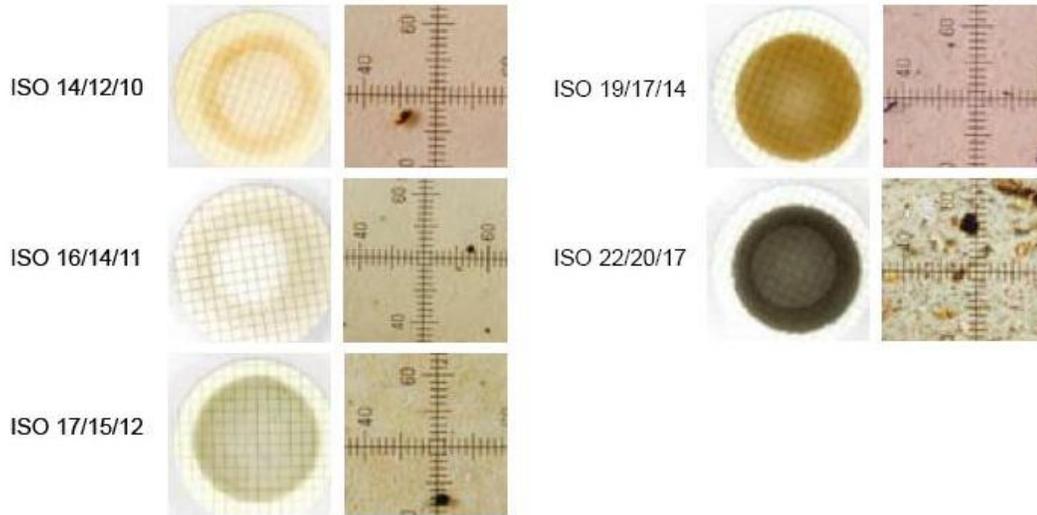


Figura 2.16 Niveles de contaminación del aceite lubricante¹⁰

La vida útil de las máquinas se basa en parámetros que tuvo en cuenta el fabricante. En cuanto a las condiciones operacionales a las que se someten dichas máquinas, su aplicación y sobre el nivel de limpieza del aceite utilizado de acuerdo a la norma ISO 4406.

En la figura 2.17 se observa la curva tribológica conocida como curva de desgaste a través del tiempo y tiene tres etapas, cuya duración se prolonga dependiendo del nivel de limpieza del aceite lubricante.

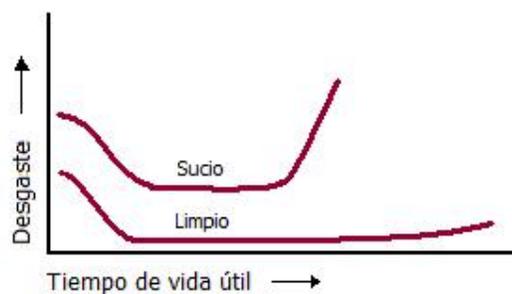


Figura 2.17 Curva de desgaste

¹⁰ www.cjc.dk

el proceso de las superficies no se logra que las sean uniformes. Durante las primeras horas de operación de la máquina aparecerá una elevada cantidad de partículas de desgaste, las cuales se debe evacuar del sistema de lubricación para que no se presente el desgaste abrasivo que disminuirá considerablemente la vida útil del equipo.

- Productiva.- Esta etapa es importante para la vida del equipo ya que se tiene desgaste erosivo y abrasivo a lo largo de éste período, por lo que es de gran importancia la eficiencia de filtración del aceite lubricante.

La cantidad de partículas presentes en el aceite tiene relación directa con el desgaste de los elementos de la máquina. Por lo que si en el grado de limpieza del aceite lubricante se tiene que la cantidad de partículas de $4 \mu m$ y $6 \mu m$ están fuera del rango, entonces se genera el desgaste erosivo mientras que si se tiene el mismo resultado con partículas de $14 \mu m$ se habla de un desgaste abrasivo.

Desgaste erosivo y abrasivo¹¹

El desgaste erosivo es la pérdida lenta de material debido al impacto de partículas sólidas en el aceite que tienen un tamaño menor al mínimo espesor de la película lubricante, ya que cuando entran en la zona de la película lubricante cambian su trayectoria lineal y se desordenan chocando con las rugosidades y fatigando la superficie de a poco hasta lograr un desprendimiento del material. Se debe tener presente que ningún aceite es completamente limpio por lo que el desgaste erosivo se puede minimizar al máximo mediante filtración, pero no se lo puede evitar.

El desgaste abrasivo se da cuando existen partículas de un tamaño igual o mayor al espesor mínimo de la película lubricante y de la misma dureza o mayor a la de las superficies metálicas de los elementos de la máquina,

¹¹ www.ingenierosdelubricación.com

imiento del material. Además las partículas de menor tamaño pueden causar desgaste abrasivo cuando la viscosidad del aceite se reduce por incremento de la temperatura de operación.

Este desgaste se puede controlar con filtración de aceite para mantener el grado de limpieza recomendado por la norma ISO 4406 dependiendo de su aplicación. Esto no quiere decir que no existirá desgaste abrasivo sino que estará en los valores permisibles para alcanzar la vida útil proyectada por el fabricante.

- Vida remanente.- Una vez alcanzada esta etapa final, existe un crecimiento exponencial en el contenido de partículas por lo que se realiza un monitoreo del equipo y se debe parar la máquina para cambiar los elementos que sean necesarios.

Curva de Stribeck

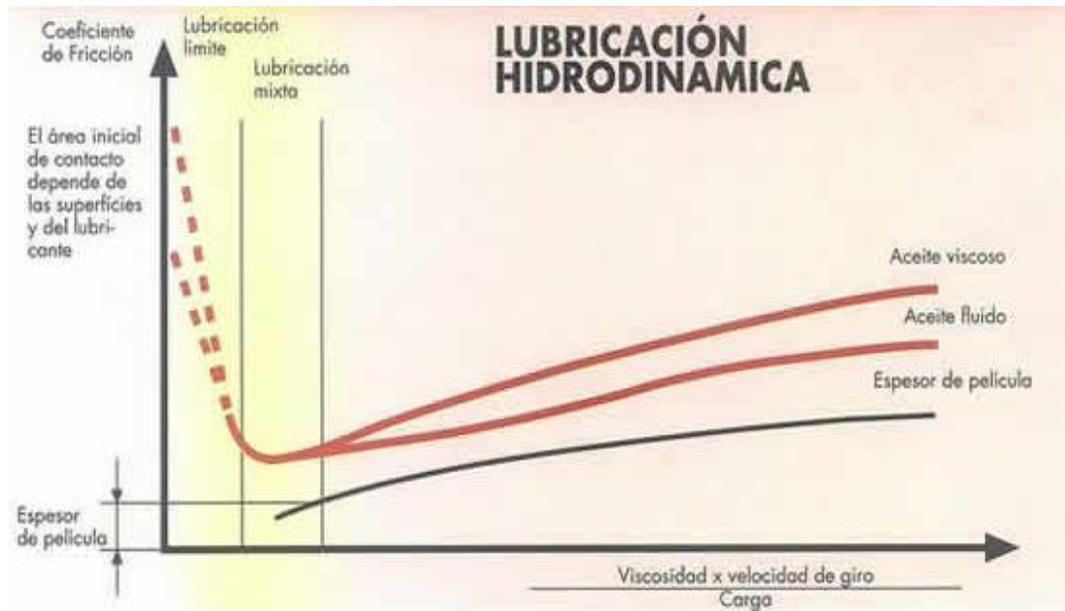


Figura 2.18 Curva de Stribeck¹²

¹² www.predic.com

un estudio de lubricación entre un eje liso y un cojinete. Este estudio se realiza para obtener el espesor mínimo de la película lubricante entre sí.

Donde la expresión $\frac{\mu \cdot N}{P}$ es conocida como el número de Sommerfeld. Siendo: μ viscosidad del fluido; N velocidad significativa; P carga por unidad de área.

Esta curva de Stribeck posee 3 zonas que son:

- Lubricación límite o marginal.- Cuando el lubricante está inmóvil o posee una velocidad casi nula.
- Lubricación mixta o elastohidrodinámica parcial.- Es una lubricación intermedia y se observa generalmente en el arranque o en la parada de la máquina.
- Lubricación hidrodinámica.- Las superficies del cojinete están separadas con un película gruesa de lubricante por lo que no hay contacto directo entre ellas.

En la figura 2.19 se ilustra la puesta en marcha de un cojinete hidrodinámico, que se realiza para lograr obtener el espesor mínimo de la película lubricante.

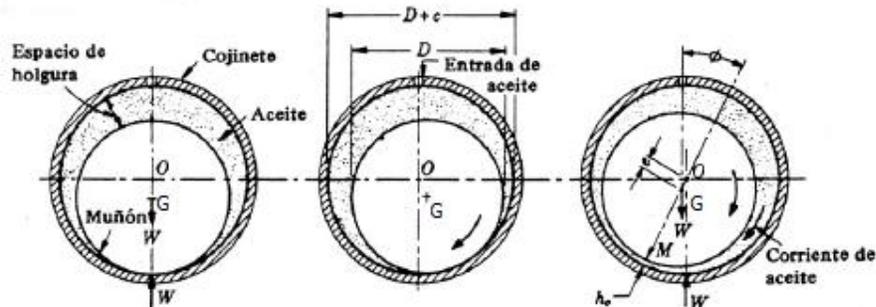


Figura 2.19 Puesta en marcha de un cojinete¹³

A continuación se presenta la forma de obtener el espesor de la película lubricante de acuerdo a la teoría hidrodinámica de la lubricación pelicular.

¹³ www.mcatronic.com

Los componentes es de gran importancia conocer, ya que el desgaste que pueda darse en los elementos de la máquina por las partículas de desgaste presentes en el aceite, lo cual se analizó anteriormente.

En la tabla 2.9 se presentan los espesores dinámicos en algunos componentes de una máquina.

Tabla 2.9 Espesores dinámicos en los componentes de una máquina

Componente	Espacio	Componente	Espacio
Rodamientos (bolas o rodillos)	0.1 - 3 Micrones*	Bomba de paletas	
Cojinetes	0.5 - 100	◦ Lados de la paleta	5 - 13
Engranés	0.1 - 1	◦ Punta de la paleta	0.5 - 1
Motores		Bomba de Pistón	
◦ Anillo - cilindro	0.3 - 7	◦ Pistón a camisa	5 - 40
◦ Metal de biela	0.5 - 20	◦ Plato de válvulas a cilindro	0.5 - 5
◦ Metal de bancada	0.8 - 50	Servo válvulas	
◦ Buje de pistón	0.5 - 15	◦ Orificio	130 - 450
◦ Tren de válvulas	0.0 - 1.0	◦ Pared de aleta	18 - 63
◦ Engranés	0.0 - 15	◦ Carrete a camisa	1 - 4
Bomba de engranes		Actuadores	50 - 250
◦ Diente a tapa lateral	0.5 - 5		
◦ Punta de diente a carcasa	0.5 - 5		

Fuente: Noria Corporation

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 MOTORES DE PRUEBA

Los motores que se considerarán para la implementación del proyecto son motores Caterpillar destinados para generación eléctrica, los cuales forman parte de una planta de generación de una locación del CPF perteneciente a Petroamazonas.

Los dos equipos puestos a prueba son los que se muestran a continuación identificados por una nomenclatura utilizada en el campo.

3.1.1 MOTOR DE PRUEBA MG 601-6

Este motor como se lo puede observar en la figura 3.1, tiene las siguientes características generales:

Modelo:	Caterpillar 3516 . DI
Serie:	10952-01
N° cilindros:	16
Velocidad:	1200 rpm
Potencia:	1100 Hp

Lubricante: Rimula Super 15W40

Capacidad cárter: 110 galones

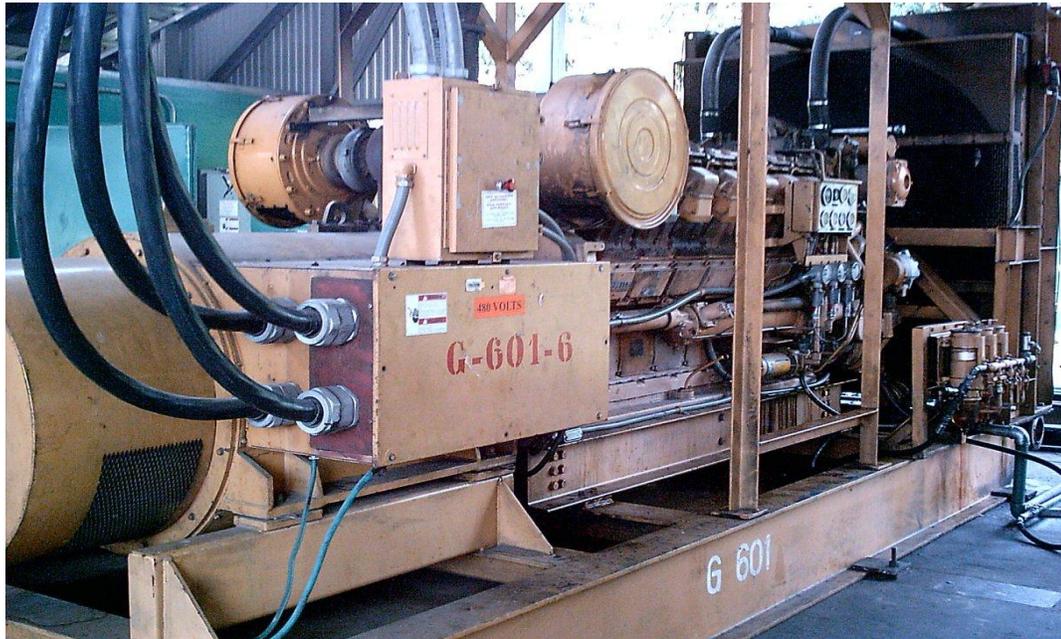


Figura 3.1 Motor y generador MG 601-6

3.1.2 MOTOR DE PRUEBA MG 1001-1

El siguiente motor que se muestra en la figura 3.2, posee las siguientes características generales:

Modelo:	Caterpillar 3512 . DI
Serie:	67Z01536
Nº cilindros:	12
Velocidad:	1200 rpm
Potencia:	1211 Hp
Generación:	903 Kw
Combustible:	Diesel



Figura 3.2 Motor y generador MG 1001-1

3.2 ACEITE LUBRICANTE

Los motores anteriormente descritos son lubricados con aceite Rimula Super 15W40 que tiene las siguientes características específicas para ellos.

Tabla 3.1 Características típicas Rimula Super 15W40

	Método ASTM	Rimula Super
Grado SAE		15W40
Apariencia	Visual	Brillante
Viscosidad a		
40°C, cSt	D 445	109
100°C, cSt		15
Indice de viscosidad	D 2270	142
Punto de inflamación (°C)	D 93	210
Punto de fluidez (°C)	D 97	-30
TBN	D 2896	11

Fuente: Shell

REO DE ACEITE

Los puntos de muestreo de aceite son de gran importancia para obtener un resultado real en el análisis de aceite y evitar la contaminación de la muestra. Además, el sitio en el cual se debe colocar el punto de muestreo debe estar donde el aceite lubricante se encuentre en circulación por el sistema y de esta manera obtener información sobre el estado de la máquina y el nivel de limpieza del lubricante.

Para monitorear el desgaste de los elementos mecánicos, el punto de muestreo se deberá colocar antes del retorno al cárter como se muestra en la figura 3.3.

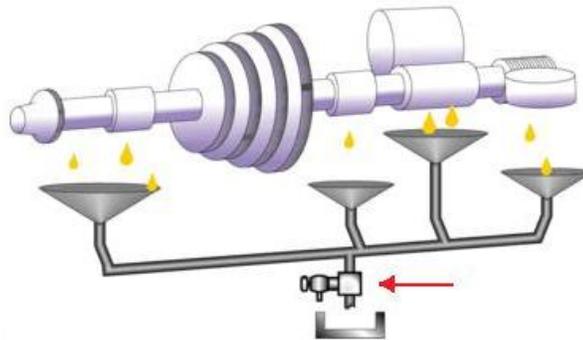


Figura 3.3 Ubicación del punto de muestreo¹²

En este caso se instalará en los motores una válvula para muestreo de aceite que se observa en la figura 3.4, la cual por recomendación del fabricante se la ubicará a un nivel bajo el árbol de levas del motor.



Figura 3.4 Válvula de muestreo y accesorios

¹² Noria Corporation

3.5 TOMA DE MUESTRA DE ACEITE

La toma de muestra de aceite es de gran importancia porque se pueden detectar serios problemas que puedan estar presentes en la máquina y poder tomar una rápida acción para solucionarlos.

Hay que tener presente que para evitar la contaminación externa en el muestreo de aceite, nunca se debe tomar una muestra de aceite de un filtro usado, del chorro de drenaje o de un recipiente de aceite desechado.

A continuación se detallan los pasos a seguir para tomar correctamente una muestra de aceite en los motores de prueba.

- Antes de tomar la muestra de aceite, siempre primero caliente la máquina para alcanzar la temperatura de trabajo del aceite. Para este caso, como los motores de prueba trabajan las 24 horas del día de manera continua, se tiene cubierto este paso.
- Lleve la botella en la cual se va a tomar la muestra de aceite, dentro de una funda plástica sellada para evitar una contaminación externa.
- Limpie la válvula de muestreo con un paño limpio que no suelte pelusa.
- Inserte el capuchón o sonda en la válvula con el acople y recoja una pequeña cantidad de aceite en un envase cualquiera. Con esto se logra limpiar la válvula de muestreo.
- Posteriormente limpie la botella en la cual se va a tomar la muestra de aceite, de la siguiente manera:
Inserte la sonda en la válvula con el acople y llene la botella hasta la mitad, tápela para luego agitar y desechar el aceite.
- Ahora, tome la muestra en la botella que puede ser de diversos tipos como se muestra en la figura 3.5, hasta que alcance los $\frac{3}{4}$ de la botella.



Figura 3.5 Tipos de botellas para muestras de aceite¹²

- Asegure la tapa, coloque sobre la botella la etiqueta llena con los datos informativos que se observan en la figura 3.6 y envíe la muestra de aceite al laboratorio de manera inmediata para su análisis.

SERVICIOS DE ANALISIS DE MUESTRAS USADAS DEPARTAMENTO TECNICO			INFORME A		TOMA DE MUESTRA	
			TELEFONO	FAX	FECHA	
			CAPACIDAD CARTER			
CLIENTE		LUBRICANTE	MUESTRA TOMADA DE			
			<input type="checkbox"/> SISTEMA HIDRAULICO			
HRS. LUBRICANTES	HOROMETRO	COMBUSTIBLE	<input type="checkbox"/> MOTOR			
			<input type="checkbox"/> TRANSMISION			
MAQUINA No.	MODELO	SERIE	<input type="checkbox"/> MANDO FINAL DERECHO			
			<input type="checkbox"/> MANDO FINAL IZQUIERDO			
PERSONA QUE TOMA		SE CAMBIO DE ACEITE		<input type="checkbox"/> DIFERENCIAL ANTERIOR		
LA MUESTRA		SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> DIFERENCIAL POSTERIOR		

Figura 3.6 Etiqueta con datos informativos sobre la muestra de aceite

3.5 HISTORIAL DE ANÁLISIS DE ACEITE

El historial de los motores de prueba tiene un gran valor, ya que nos muestra información de los parámetros del aceite conforme al funcionamiento del equipo a través del tiempo. Con lo cual podemos observar las condiciones en las que se encuentran los motores y tener una idea global de la tendencia normal de dichos parámetros de evaluación.

En el Anexo D1 y Anexo D2 se muestran los historiales de los motores de prueba MG 601-6 y MG 1001-1 respectivamente.

¹² Noria Corporation

EL ACEITE LUBRICANTE

La muestra de aceite tomada en estos motores corresponde al aceite nuevo+ que se introdujo en cada motor de prueba y al ponerlo en funcionamiento se extrajo la muestra al haber alcanzado la temperatura normal del aceite que corresponde a 170°F y una presión de aceite igual a 70 psi.

3.6.1 ANÁLISIS DE ACEITE DEL MOTOR MG 601-6

Los datos presentados en el análisis de aceite para este motor se encuentran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Análisis de aceite previo del MG 601-6

CODIGO MAQUINA	MG 601-6
DESCRIPCION	CAT 3516-DI
COMPONENTE	MOTOR
VOLUMEN DEL CARTER	110 GAL
LUBRICANTE	RIMULA SUPER 15W-40 DHD-1
Solicitud No	
Fecha Muestra	06/08/2008
Horas Aceite	0
Horómetro	11767
CONDICION DEL LUBRICANTE	
Color	NEGRO
Viscosidad a 100 C (cSt)	14,2
Viscosidad a 40 C (cSt)	
Indice de viscosidad	
Punto de Inflamacion (C)	
Insolubles Tolueno (%Wt)	
Insolubles en Pentano (% Peso)	
Contenido de Agua (% Vol)	NEG
TBN (mg KOH/g)	10,07
TAN-C (mg KOH/g)	
CONDICION DEL EQUIPO (ppm)	
Cobre (Cu)	1
Hierro (Fe)	6
Cromo (Cr)	1
Plomo (Pb)	0
Aluminio (Al)	2
Silicio (Si)	3

Fuente: JCC.Shell

análisis de aceite del motor MG 601-6

Se debe tener presente que esta muestra de aceite nuevo se la tomó aproximadamente luego de una media hora de funcionamiento del motor hasta alcanzar la temperatura de aceite adecuada. Esto se lo hizo para poder tener una línea base en lo que corresponde a los parámetros de evaluación del aceite lubricante.

En este motor se puede observar que el la viscosidad de 14,2 cSt se encuentra en rango aceptable tomando en cuenta que la viscosidad de este aceite lubricante sin ningún tipo de contaminación y determinada por su fabricante es de 15 cSt.

De igual forma en TBN se tiene 10,07 *mg KOH/g* y con la cantidad de azufre presente en el combustible, éste es favorable con respecto al TBN original del aceite que es de 11 *mg KOH/g*.

Para la condición del equipo, en lo corresponde al cobre, hierro, cromo y plomo; se encuentra muy por debajo de los límites de desgaste, por lo que no existe ningún inconveniente con estos elementos.

Tomando en cuenta que la cantidad de 3 *ppm* de silicio es normal en un aceite nuevo, la cantidad de aluminio debería ser de 1/3 de silicio aproximadamente. Pero en este caso tenemos que existe 1 *ppm* de aluminio que es proveniente del desgaste, aunque esto puede ser controlado con el cambio de filtros de aire.

3.6.2 ANÁLISIS DE ACEITE DEL MOTOR MG 1001-1

En la tabla 3.3 se presentan los datos del análisis de aceite para el motor de prueba MG 1001-1.

Análisis de aceite previo del MG 1001-1

DESCRIPCION COMPONENTE	MG 1001-1
VOLUMEN DEL CARTER	CAT 3512-DI
LUBRICANTE	MOTOR
	167 GAL
	RIMULA SUPER 15W-40 DHD-1
Solicitud No	
Fecha Muestra	15/08/2008
Horas Aceite	0
Horómetro	79490
CONDICION DEL LUBRICANTE	
Color	NEGRO
Viscosidad a 100 C (cSt)	14,3
Viscosidad a 40 C (cSt)	
Indice de viscosidad	
Punto de Inflamacion (C)	
Insolubles Tolueno (%Wt)	
Insolubles en Pentano (% Peso)	
Contenido de Agua (% Vol)	NEG
TBN (mg KOH/g)	9,97
TAN-C (mg KOH/g)	
CONDICION DEL EQUIPO (ppm)	
Cobre (Cu)	1
Hierro (Fe)	7
Cromo (Cr)	1
Plomo (Pb)	0
Aluminio (Al)	1
Silicio (Si)	3

Fuente: JCC.Shell

3.6.2.1 Interpretación del análisis de aceite del motor MG 1001-1

El procedimiento para tomar la muestra de aceite nuevo fue similar a la del motor anterior, es decir luego de una media hora de funcionamiento del motor para alcanzar la temperatura adecuada del aceite.

Para este caso la viscosidad de 14,3 cSt se encuentra de igual forma en rango aceptable para este tipo de aceite lubricante que su fabricante determina como viscosidad nominal de 15 cSt.

En TBN se tiene 9,97 mg KOH/g, lo cual es favorable con respecto al TBN original del aceite que es de 11 mg KOH/g.

del equipo: el cobre, hierro, cromo y plomo; se de los límites de desgaste, por lo que no existe ningún inconveniente con estos elementos. Así mismo la cantidad de 3 ppm de silicio es normal en el aceite nuevo, junto a 1 ppm de aluminio que corresponde a 1/3 de silicio.

3.7 ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LUBRICACIÓN EN LOS MOTORES CATERPILLAR

3.7.1 SISTEMA DE FILTRADO

Se analiza el sistema filtrado en los motores, ya que éste nos proporciona la información sobre el nivel de limpieza logrado y el desempeño que se obtiene con el aceite lubricante en los motores de prueba.

Con este análisis se obtiene un punto de referencia sobre el cual trabajar posteriormente y poder obtener un mejoramiento en el sistema de control de lubricación con la optimización del mismo.

3.7.1.1 Pruebas con filtros de flujo

Los filtros de aceite están diseñados para eliminar del sistema de lubricación las partículas que son dañinas y perjudiciales, evitando así llevar esta contaminación hacia el motor.

Por ello, estas pruebas tienen relación con el nivel de limpieza del aceite lubricante por lo que con las muestras enviadas al laboratorio se obtiene el número ISO previo, es decir que solamente están inmersos en el sistema los filtros de flujo de fábrica que se encuentran en línea.

A continuación, los grados de limpieza del aceite para cada motor de prueba.

del aceite en el motor MG 601-6

El grado de limpieza de aceite nuevo para este motor de prueba se lo presenta en la tabla 3.4, conociendo que la muestra fue tomada a las 0 horas de funcionamiento del motor en conjunto con la otra muestra que sirvió para realizar el análisis de aceite previo.

Tabla 3.4 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6 a las 0 horas

ISO 4406 (m) por 1 ml	Partículas
ISO > 4	2679
ISO > 6	1459
ISO > 14	248
Código ISO	19/18/15

Fuente: Astriven

3.7.1.1.2 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 1001-1

El grado de limpieza de aceite nuevo de este motor de prueba se observa en la tabla 3.5, teniendo presente que la muestra se tomó a las 0 horas de funcionamiento del motor junto con la otra muestra que sirvió para realizar el análisis de aceite previo y en las mismas condiciones a las que debía estar el aceite lubricante.

Tabla 3.5 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 1001-1 a las 0 horas

ISO 4406 (m) por 1 ml	Partículas
ISO > 4	29462
ISO > 6	16049
ISO > 14	2734
Código ISO	22/21/19

Fuente: Astriven

Para el análisis estadístico se tomará en cuenta la cantidad de partículas de desgaste presentes en los motores de prueba. Por lo cual se utilizará los datos del historial de los equipos con las pruebas realizadas y mediante cartas de control lograr realizar dicho análisis del sistema de filtrado. El cual tiene relación directa con el control de la cantidad de partículas de desgaste y es el que debe evitar que éstas circulen en el sistema y contaminen el mismo.

3.7.1.2.1 Cartas de control de partículas de desgaste en el motor MG 601-6

Es importante recalcar que no se incluirá directamente en este análisis los datos con horómetro menor a 3954 horas del motor, ya que éste salió de overhaul hace pocos meses y por lo tanto la cantidad de partículas de ciertos elementos de desgaste se encuentran superando los límites, lo cual es normal por el asentamiento de los elementos internos del motor.

Se analizará cada elemento de desgaste obtenido en los análisis de aceite que se presentarán en la tabla 3.6 con sus respectivos límites y en las siguientes figuras se verificará mediante cartas de control los rangos de alerta sobre la cantidad de partículas de cada elemento. (Anexo E).

Tabla 3.6 Fijación de límites de control y de especificación del MG 601-6

Cu	Fe	Cr	Pb	Al	Si	
8,14	25,43	1,00	1,14	2,14	3,29	Promedio
6,34	16,40	0,82	1,46	0,69	1,50	Desviación estándar
20,81	58,23	2,63	4,07	3,52	6,28	Alerta (Lcs)
27,15	74,63	3,45	5,53	4,21	7,77	Crítico (Lcs)
25,00	100,00	8,00	10,00	10,00	15,00	Alerta (Les)
30,00	120,00	10,00	12,00	15,00	20,00	Crítico (Les)

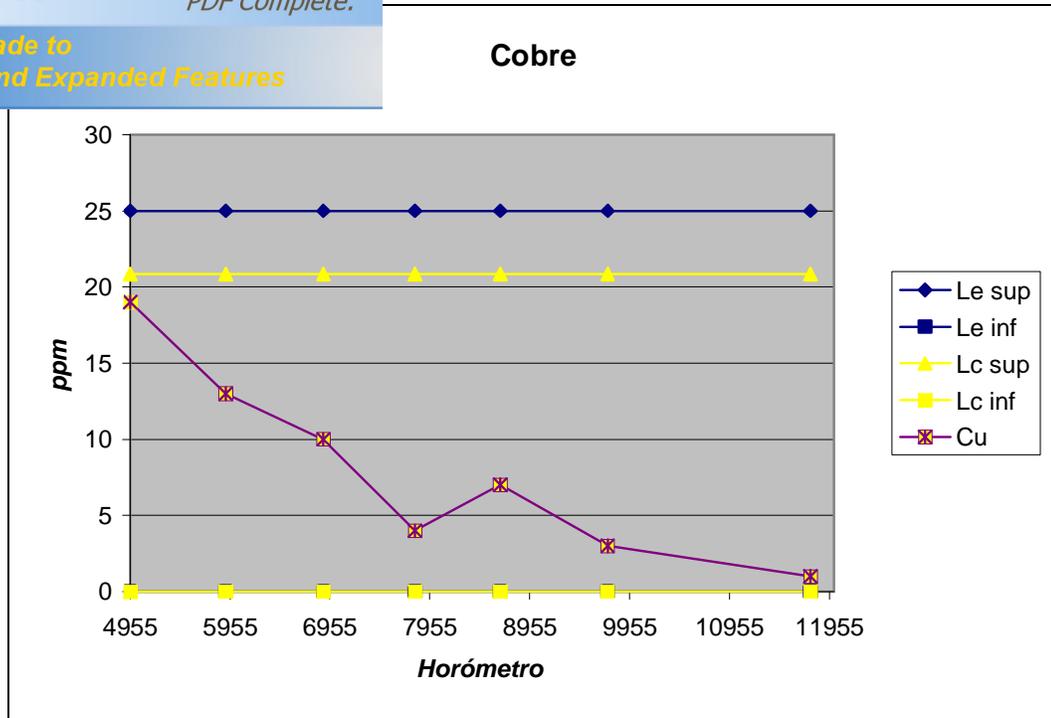


Figura 3.7 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 601-6

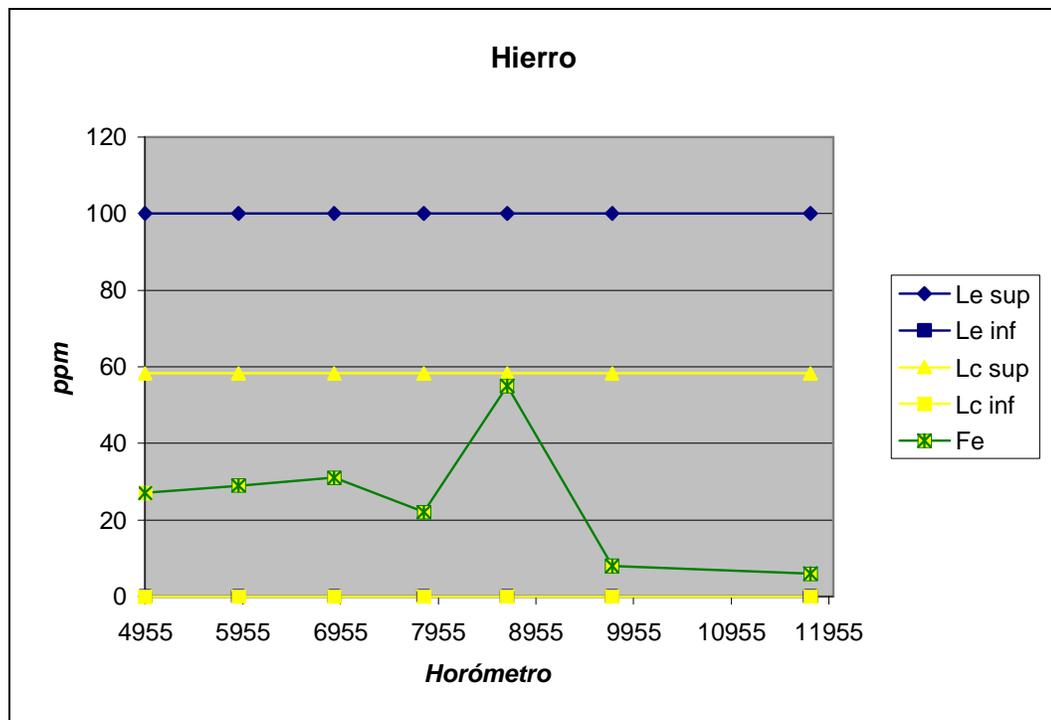


Figura 3.8 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 601-6

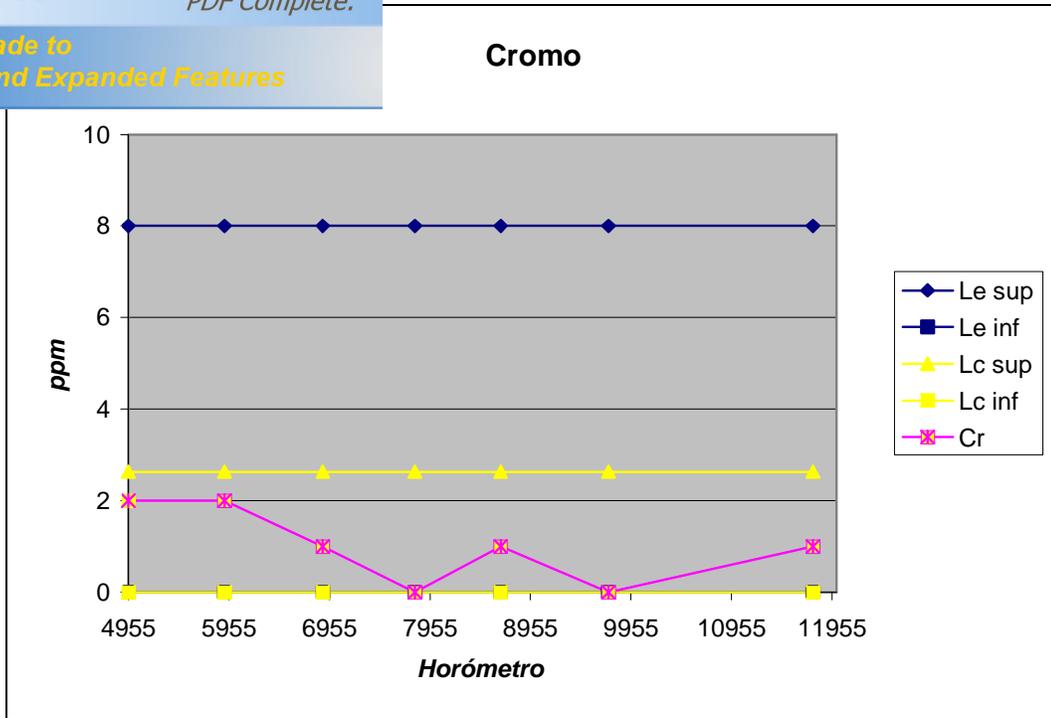


Figura 3.9 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 601-6

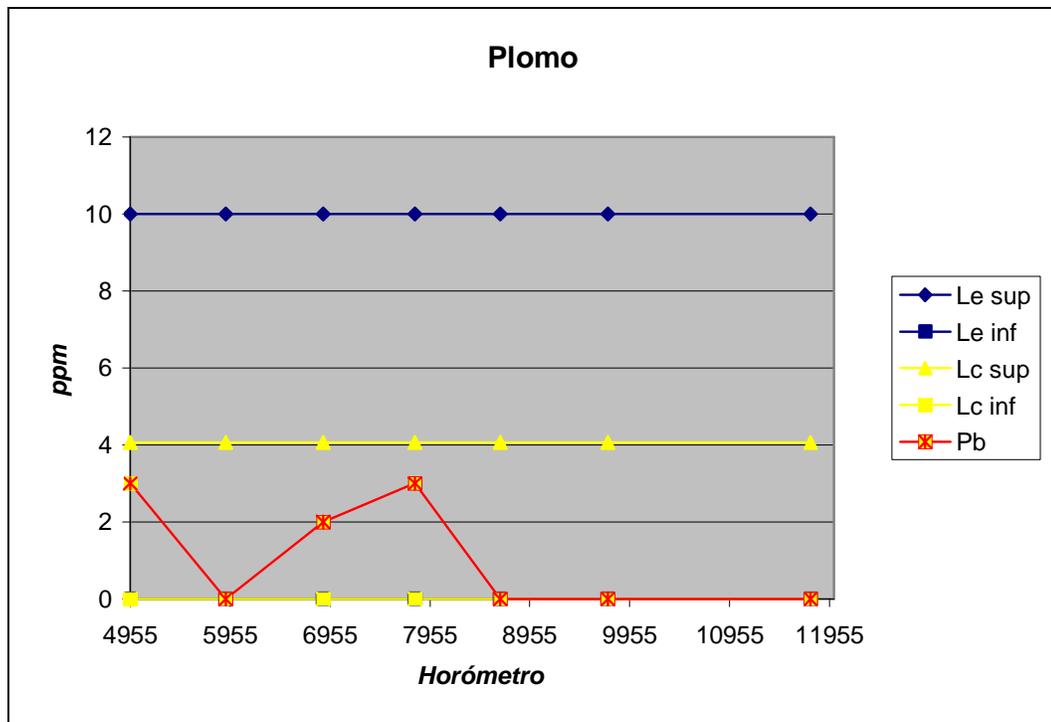


Figura 3.10 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 601-6

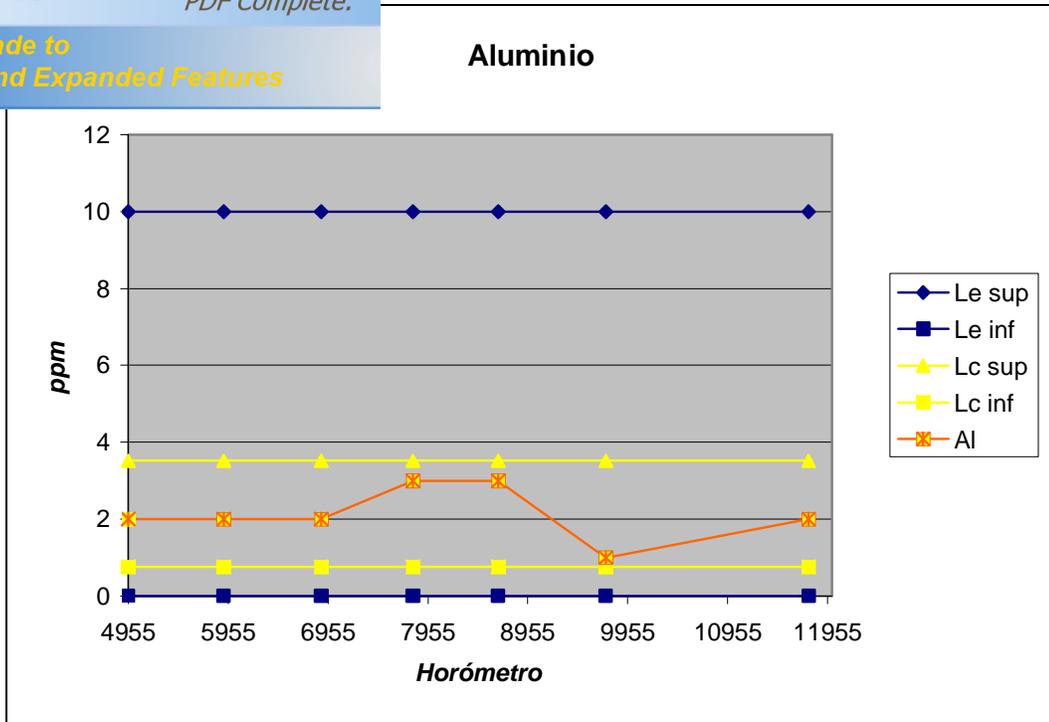


Figura 3.11 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 601-6

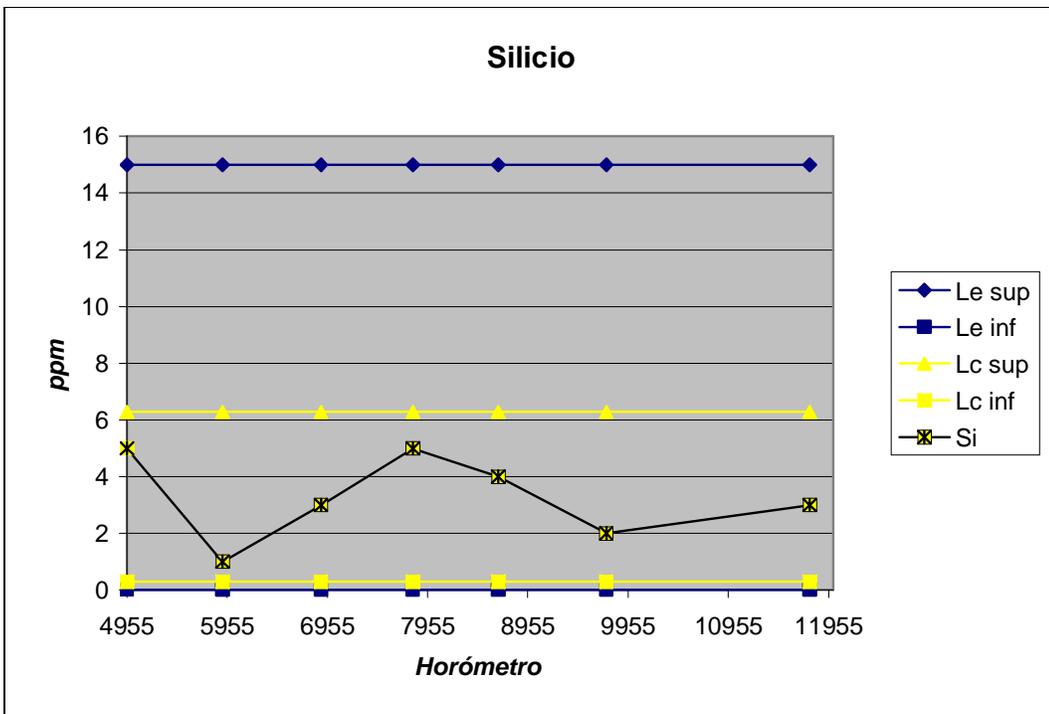


Figura 3.12 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 601-6

mento de los elementos de desgaste del motor MG se encuentran en control estadístico, ya que dichos datos están inmersos dentro de los límites de control y no existen tendencias que demuestren causas especiales de variación. Además cumplen con las especificaciones, que corresponden a una alerta sobre contaminación del sistema.

3.7.1.2.2 Cartas de control de partículas de desgaste en el motor MG 1001-1

Ya que el overhaul de éste motor de prueba se realizó a las 54903 horas, se puede tomar todos los datos del historial para realizar el análisis estadístico de los elementos de desgaste con sus respectivos límites de control y de especificación que se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Fijación de límites de control y de especificación del MG 1001-1

Cu	Fe	Cr	Pb	Al	Si	
4,90	21,20	0,70	0,70	1,80	3,10	Promedio
2,42	7,11	0,82	0,95	0,42	1,79	Desviación estándar
9,75	35,43	2,35	2,60	2,64	6,68	Alerta (Lcs)
12,17	42,54	3,17	3,55	3,06	8,48	Crítico (Lcs)
25,00	100,00	8,00	10,00	10,00	15,00	Alerta (Les)
30,00	120,00	10,00	12,00	15,00	20,00	Crítico (Les)

De igual manera a continuación se graficará las cartas de control de cada elemento de desgaste con sus respectivos límites de control y de especificación, que muestran una alerta de contaminación del lubricante. Verificando si los datos del análisis de aceite de éstos elementos se encuentran en control estadístico y en rangos aceptables para el buen funcionamiento del motor de prueba con este aceite lubricante.

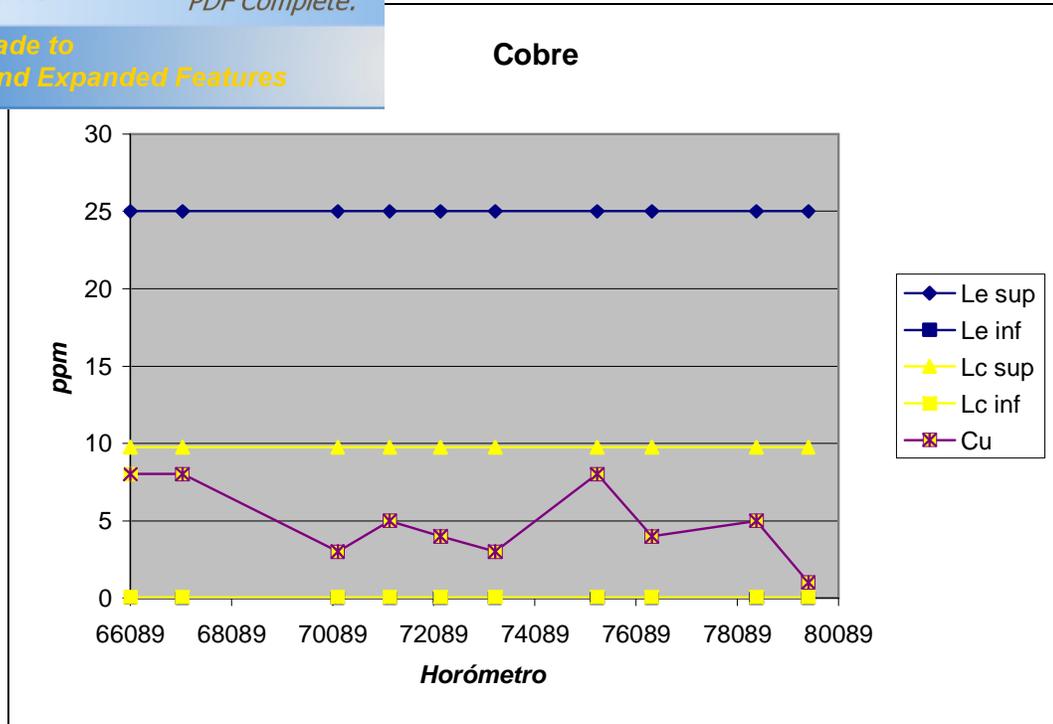


Figura 3.13 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 1001-1

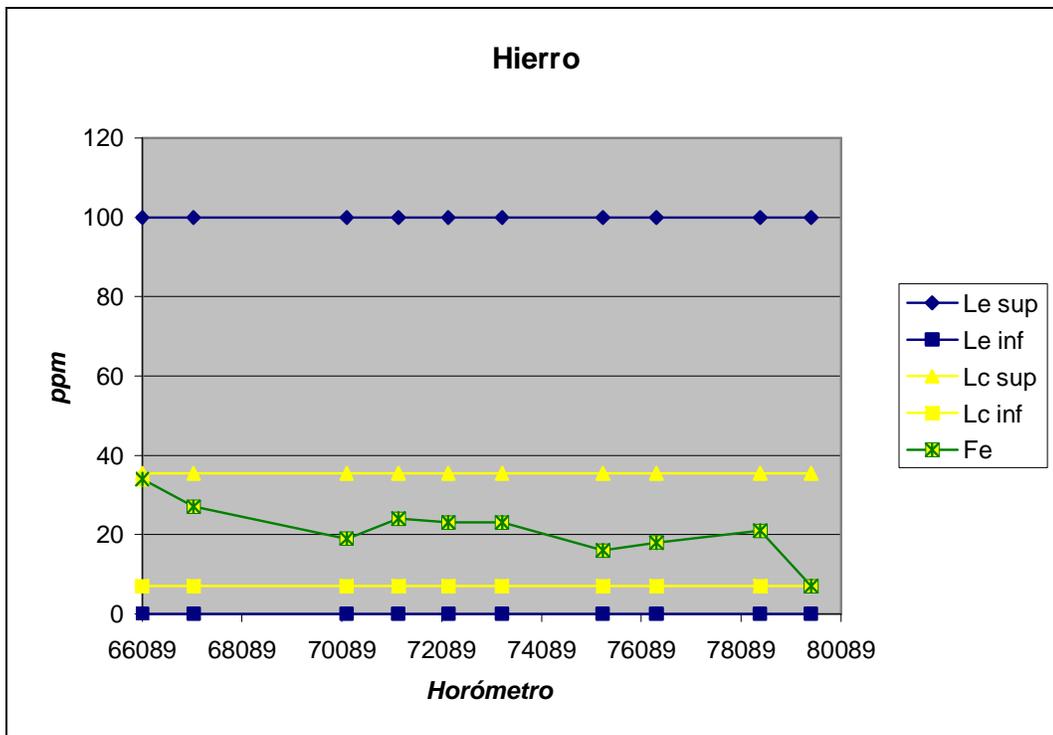


Figura 3.14 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 1001-1

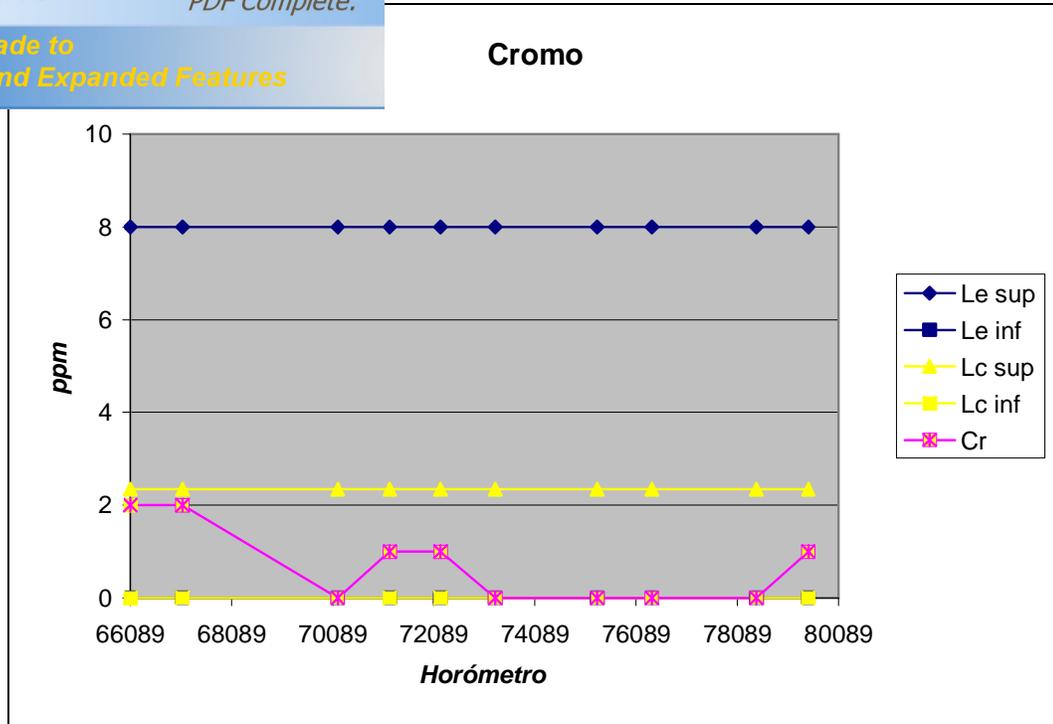


Figura 3.15 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 1001-1

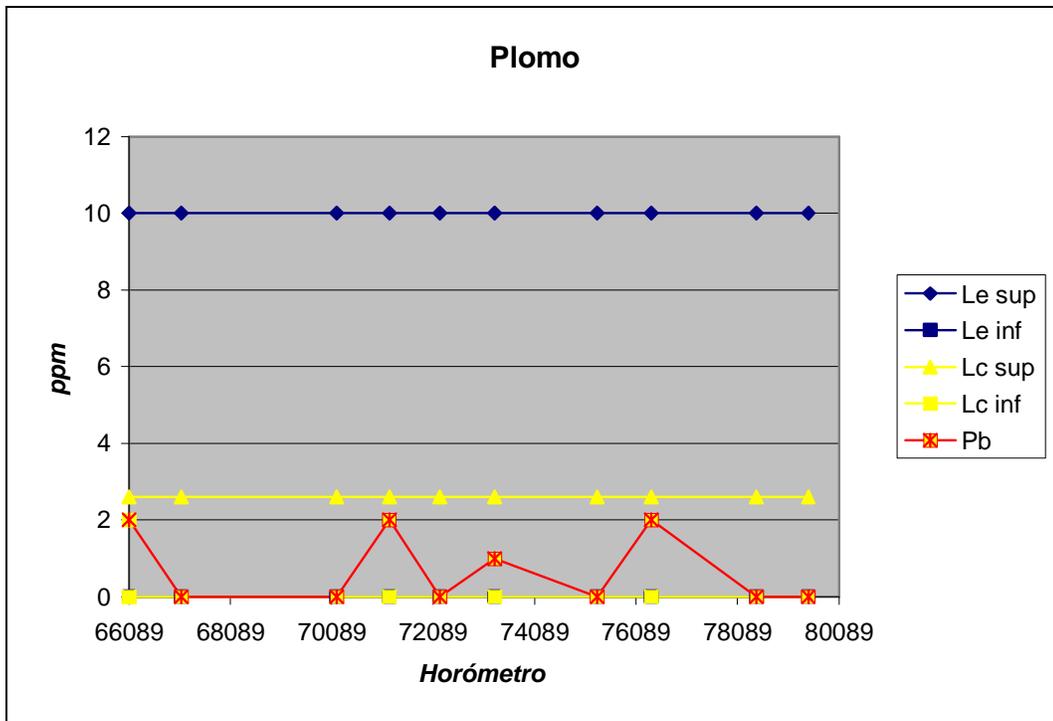


Figura 3.16 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 1001-1

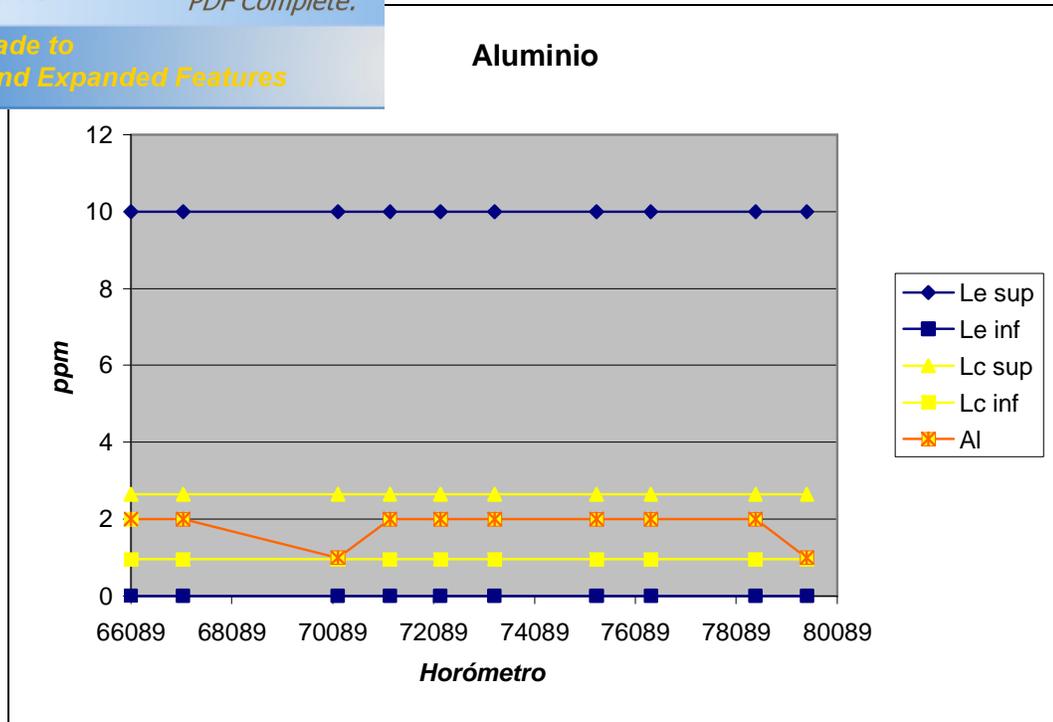


Figura 3.17 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 1001-1

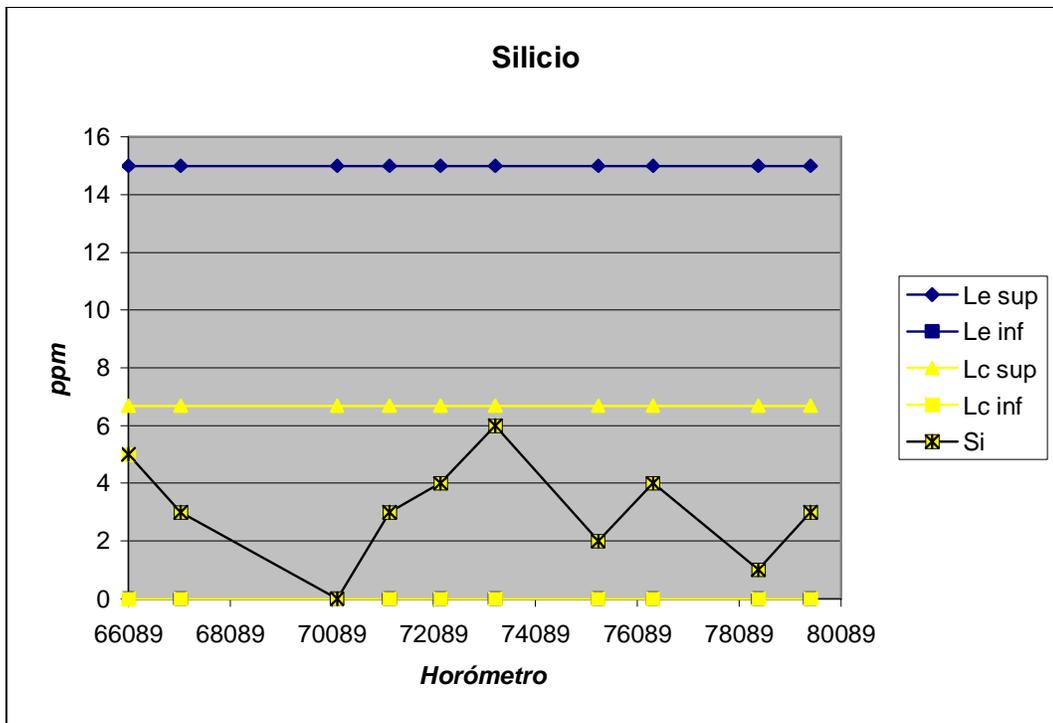


Figura 3.18 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 1001-1

Analizar las cartas de control de los elementos de la MG 1001-1 se observa que todos los datos están dentro de los límites de control y no existen tendencias que demuestren causas especiales de variación, por lo cual se considera que se encuentran en control estadístico.

3.7.1.3 Cálculo de eficiencia

Antes de calcular la eficiencia de los filtros se debe conocer el denominado *multi pass test* para filtros de líquidos cuyo equipo se muestra en la figura 3.19, el cual sirve para evaluar la eficacia de filtración y el método que se utiliza es la norma ISO 16889.



Figura 3.19 *Multi pass test*¹³

Para este test se coloca el elemento filtrante dentro de un filtro de prueba montado en un sistema cerrado y se lo llena con aceite limpio. En otro depósito se coloca aceite con una cantidad de polvo, con lo que se obtiene un aceite contaminado con una cantidad de sólidos determinada. Posteriormente se ingresa el aceite contaminado con un caudal constante en el sistema cerrado y se monitorea con contadores de partículas antes y después del filtro de prueba.

Con lo que las partículas que el filtro no logra retener pasarán una y otra vez por él. Culminando la prueba hasta que el filtro alcance un nivel de saturación específico.

¹³ www.alcion.es

Este polvo de prueba es producido en un pulverizador-clasificador de partículas consistentes en tamaño, forma y distribución. La calibración del contador de partículas está dado por el NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) que provee un patrón de calibración certificado dependiendo del tamaño de partículas que se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Calibración del tamaño de partículas según el NIST

(m)	4,0	4,2	4,6	5,0	5,1	6,0	6,4	7,7	9,8	11,3	13,6	14,0	17,5	21,2	24,9
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------

Luego de realizar el test que nos brinda una estandarización respecto a los datos, la ISO 16889 recomienda presentar a beta (β_x) como una relación entre la cantidad de partículas antes del filtro de prueba con respecto a la cantidad de partículas después de pasar por dicho filtro.

$$\beta_x = \frac{\text{Número partículas antes filtro}}{\text{Número partículas después filtro}} \quad (3.1)$$

Donde el subíndice x representa el tamaño de partículas en micras.

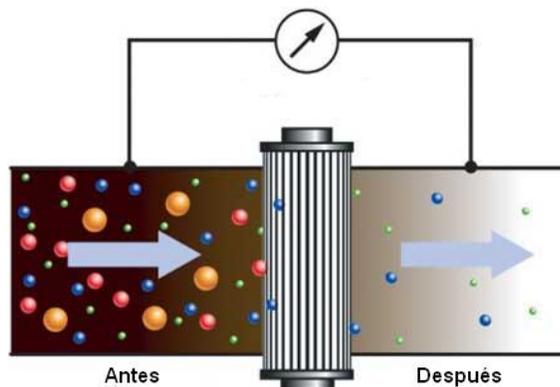


Figura 3.20 Filtro de prueba

¹⁴ Filter Manufacturers Council. Boletín de Servicio Técnico 04-2R. Estados Unidos.

Para nuestro caso β_x del fabricante de un filtro de prueba es de $\beta_4 = 75$, lo cual significa que hay 75 veces más partículas de $4 \mu m$ antes del filtro, que después del filtro. Se puede calcular posteriormente la eficiencia de filtración ($\eta\%$), de la siguiente manera:

$$\eta\% = 100 - \left(\frac{100}{\beta_x} \right) \quad (3.2)$$

Para los filtros de flujo se tendría que la eficiencia de filtración es del 98,67%, la cual se puede verificar en la tabla 3.9, tomando en cuenta que la cantidad de partículas antes del filtro es de 1000000 partículas y que el número de partículas después del filtro alcanza las 13333 partículas.

Tabla 3.9 Tabla de eficiencia de filtración

Relación Beta (x)	Eficiencia de filtración (%)	Partículas después del filtro
1	0,00%	1000000
2	50,00%	500000
10	90,00%	100000
20	95,00%	50000
50	98,00%	20000
75	98,67%	13333
100	99,00%	10000
200	99,50%	5000
1000	99,90%	1000
5000	99,98%	200

Fuente: Filter Manufacturers Council

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO

4.1 PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LUBRICACIÓN

Para lograr la optimización del sistema de lubricación se debe mejorar la filtración del aceite lubricante ya que de éste depende la cantidad de particulado que circula en el motor y de la limpieza del mismo. Por lo que se propone implementar un sistema de filtrado submicrón paralelamente al sistema existente.

Esta propuesta se la efectúa tomando en cuenta que la filtración actual del aceite lubricante se la realiza mediante filtros que tienen una capacidad de filtrado mayor a 15 micras. Estos filtros estándar retienen las partículas grandes pero no logran retener la mayoría de partículas de menor tamaño que son contaminantes.

En cambio con ésta tecnología submicrón se busca alcanzar un superior nivel de limpieza del aceite lubricante ya que se estima una capacidad de filtrado de hasta 1 micra. Esta implementación se la realizará en un circuito secundario paralelo al actual para no afectar de ninguna forma al circuito primario de fábrica, ni a la garantía del equipo.

la selección de los filtros de fábrica tienen su razón de ser ya que son filtros de flujo, es decir están en línea con el sistema de filtrado principal. Por lo que necesitan dejar pasar un caudal determinado para no interferir en la presión que tiene el sistema.

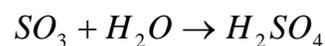
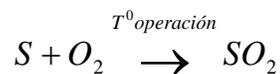
De poseer un sistema de filtrado submicrón en línea, se tendría algunos problemas debido a que éste retiene mayor cantidad de partículas y tiende a saturarse rápidamente. Por éste motivo se busca implementar este sistema de microfiltrado, sin influir en la operación del sistema principal.

4.2 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA ÓPTIMA

Entre las varias opciones que presenta el mercado sobre sistemas de microfiltrado, se seleccionarán dos de ellas que poseen mayor eficiencia de filtración y tienen distintos enfoques de funcionamiento.

Otro de los puntos que se debe tener presente para la selección de los sistemas de de filtrado submicrón, es que sean capaces de retener el agua introducida en el sistema, que puede deberse al proceso de combustión y a una condensación en el cárter. (Anexo F).

Esto ayuda de gran manera a prevenir la contaminación del aceite lubricante debido a que en el proceso de combustión el azufre presente se transforma en dióxido de azufre, el cual entra al sistema de lubricación y cuando se mezcla con el agua pasa a formarse ácido sulfúrico que puede dar lugar a un deterioro prematuro.



remover la humedad del aceite lubricante presente en las características señaladas anteriormente, se implementará esta tecnología de filtrado submicrón como opción A+ para el motor de prueba MG 601-6 y opción B+ para el motor de prueba MG 1001-1.

4.2.1 **OPCIÓN A+**

Es importante tener presente que la eficiencia de filtración de éste sistema en particular es del 99,90% según el fabricante, por lo que puede alcanzar un alto nivel de limpieza del aceite lubricante. Esta alternativa de sistema de filtrado submicrón denominada opción A+ se la implementará en el motor de prueba MG 601-6 para realizar el análisis respectivo y relacionarlo con análisis previos. A continuación se presenta una descripción sobre el funcionamiento interno de éste sistema de microfiltración y sobre la implementación del mismo.

4.2.1.1 **Descripción**

Este sistema de filtrado submicrón consiste de tres fases descritas a continuación y que se muestran en la figura 4.1.

- Posee fibras de algodón de hebras largas compactado a 1500 psi con un recubrimiento químico patentado, que hace que los contaminantes sólidos de hasta 1 micra se adhieran al medio filtrante.
- A las 2/3 partes de la altura del elemento filtrante se encuentra un paquete de aditivos de liberación gradual, cuyo polímero se expande y contrae dependiendo de la temperatura del aceite lubricante.
- Al llegar el aceite a la parte superior del filtro, ingresa por unos pequeños orificios a una cámara de evaporación que se encuentra entre 90°C y 95°C donde se evaporan los contaminantes como combustible, agua o refrigerante.

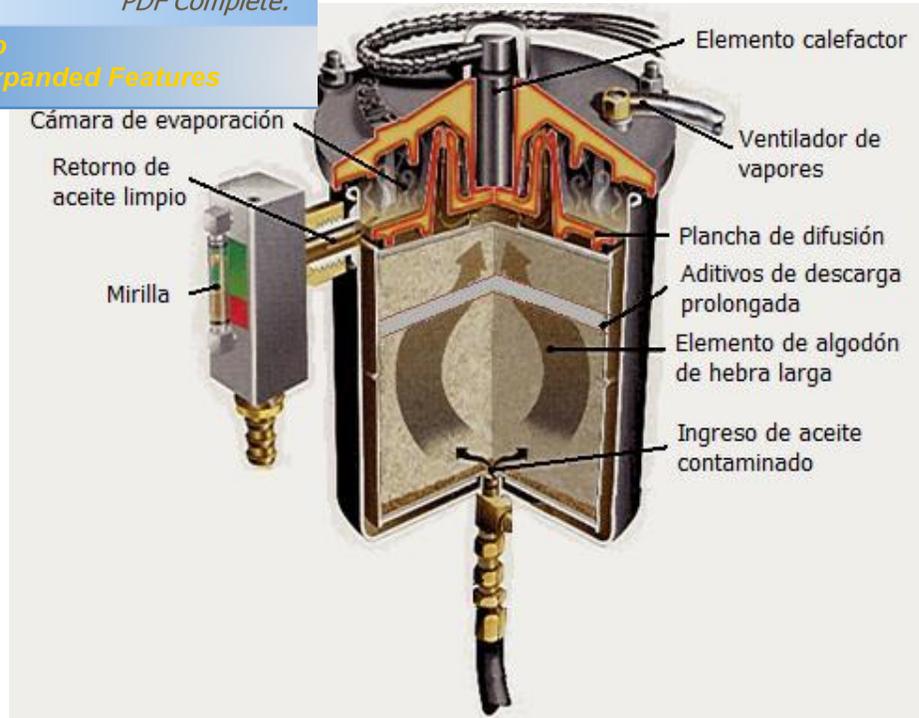


Figura 4.1 Sistema de filtrado submicrón opción A+

4.2.1.2 Proceso de implementación

Como primer paso se procede a una inspección para determinar en acuerdo: el lugar adecuado para instalar el sistema, determinar la cantidad de material, partes y piezas que se requiere para la instalación y verificar el espacio físico, recursos y el motor de prueba MG 601-6.

Es importante realizar la instalación del sistema de filtrado submicrón de manera simultánea con el mantenimiento programado del motor de prueba ya que así no se sacrificará tiempo de producción. Siendo necesario conocer que el tiempo de instalación contempla tres horas aproximadamente.

Es necesario seleccionar el modelo de filtro submicrón adecuado ya que está directamente relacionado con la capacidad del cárter. En éste caso se eligió un filtro diseñado para más de 100 galones cuyas dimensiones son de 27.75x10+ (altura x diámetro), un peso de 22,23 Kg y una tasa de flujo de 6 a 8 gal/h.

colocando una llave de paso en una salida de observa en la figura 4.2. La cual servirá para regular el caudal al filtro y sirve principalmente cuando se realiza el cambio del cartucho, ya que al cerrarla se bloquea la salida del aceite y se puede cambiar el elemento filtrante aún estando en funcionamiento el motor.

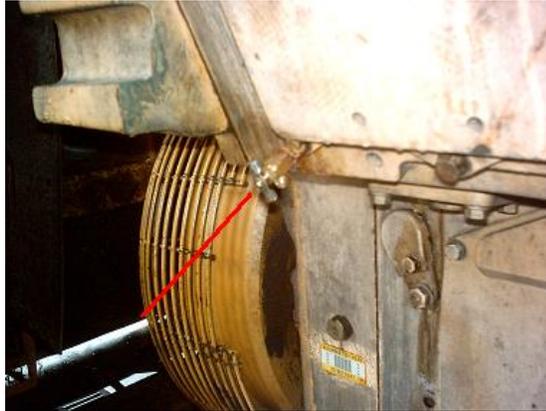


Figura 4.2 Llave de paso hacia el filtro submicrón

Una vez colocada esta llave de paso se procede a conectar una manguera de alta presión de 3/16+ que va desde la toma de presión del motor hacia el filtro submicrón mediante acoples de tuerca.

Posteriormente se realiza cuatro anclajes de la base metálica del filtro hacia el patín donde descansa el generador como se observa en la figura 4.3 y se ajusta firmemente a la estructura.



Figura 4.3 Anclaje de base metálica

En el cárter se realiza un agujero para colocar un acople de $\frac{3}{4}$ " que sale del filtro hacia el cárter, para retornar el aceite luego de su filtración como la figura 4.4 lo muestra.



Figura 4.4 Retorno al cárter

Luego se debe tomar la conexión eléctrica del elemento calefactor, conectando una de las líneas a tierra o al polo negativo de la batería y la otra con un fusible hacia la bobina que se observa en la figura 4.5.



Figura 4.5 Conexión eléctrica del calefactor

Como parte final se procede a ensamblar todos los elementos del filtro como: el elemento filtrante, plato difusor, tapa con empaque plano, válvula de venteo y manguera de ventilación. Culminando así la instalación en paralelo, del sistema de filtrado submicrónico opción A+ en el motor de prueba MG 601-6 como se observa en la figura 4.6.



Figura 4.6 Instalación opción A+ en el motor de prueba MG 601-6

Una vez completada la instalación de éste sistema de filtrado submicrón hay que asegurarse que esté trabajando apropiadamente por lo que una vez encendido el motor se debe esperar entre 15 a 30 minutos hasta que se llene el sistema con aceite lubricante. En ese tiempo verificar que no existan fugas de aceite y revisar la operación del elemento calefactor que deberá calentarse en unos 5 minutos después de encender el motor.

4.2.2 Í OPCIÓN BÎ

Para este caso, el sistema de filtración submicrón se denomina opción B+ y alcanza una eficiencia de filtración del 99,99% según lo presenta el fabricante. Éste se colocará en el motor de prueba MG 1001-1 realizando el análisis respectivo y comparándolo con análisis previos. A continuación se presenta una descripción sobre el funcionamiento interno de éste sistema de microfiltración y sobre la implementación del mismo.

Este sistema de filtración submicrón que se observa en la figura 4.7 utiliza tecnología de compresión patentada cuyo material es de celulosa, la cual retiene el agua presente en el aceite lubricante. Es importante conocer que el aceite ingresa y se dispersa interiormente hacia las paredes del filtro submicrón con lo que el sentido del flujo es radial hacia la línea central del filtro. Una vez que ha atravesado el elemento filtrante se remueven partículas de contaminación de hasta 0,5 micras.

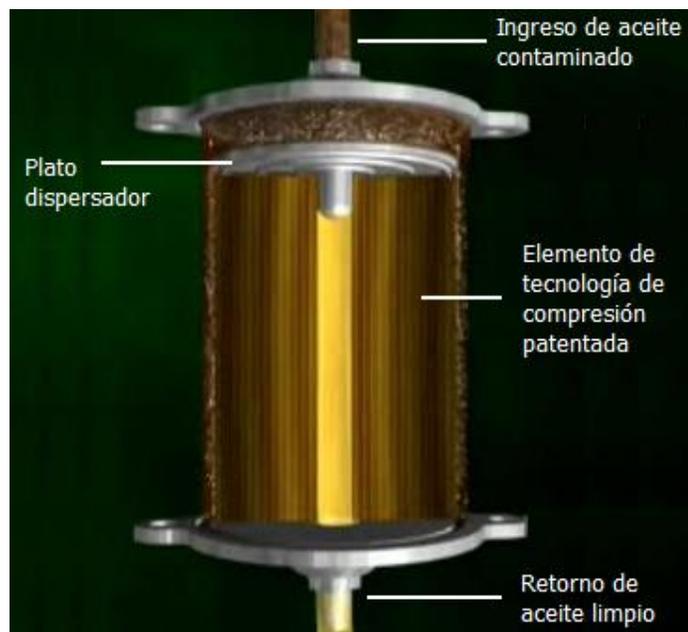


Figura 4.7 Sistema de filtrado submicrón opción B+

4.2.2.2 Proceso de implementación

La inspección previa a la instalación es de gran ayuda para identificar el espacio disponible donde se colocará el sistema, los materiales, herramientas que se necesitan y sobre todo para verificar el motor de prueba MG 1001-1.

De igual manera, en este caso se procederá a realizar la instalación del sistema de filtrado submicrón de manera simultánea con el mantenimiento

de prueba ya que así no se sacrificará tiempo de
muestra que el tiempo de instalación es de 5 horas
aproximadamente.

Debido a la capacidad del cárter del motor se requerirán 6 filtros submicrón ya que cada modelo de éste filtro fue diseñado para 28 galones dando un total para 168 galones. La dimensión de cada filtro es de 4,8x4,8x27,6+ (largo x ancho x altura), un peso de 6,4 Kg y una tasa de flujo de 25 gal/h.

Se construye previamente una base metálica como se muestra en la figura 4,8 para colocar los seis filtros submicrón, la cual será anclada al piso de concreto para evitar la vibración.



Figura 4.8 Base metálica

Se ensamblan los elementos de cada filtro colocando el elemento filtrante, el plato que dispersa el aceite, el empaque y la tapa. Posteriormente se colocan los acoples que van a la entrada y a la salida de cada filtro con las respectivas mangueras de presión de 3/16+.

Para distribuir la cantidad de aceite que ingresará al sistema de filtrado submicrón se realiza paralelamente al sistema principal, dos circuitos de filtrado submicrón y cada uno de éstos con presión dividida en tres partes, para la entrada del aceite lubricante a cada uno de los tres filtros que conforman cada circuito. Así mismo se realiza para la salida del aceite desde cada filtro como se observa en la figura 4.9.

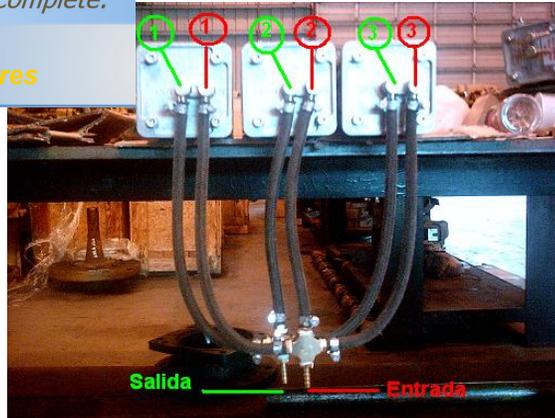


Figura 4.9 Circuito de filtrado submicrón

Una vez anclada la base metálica, se procede a ubicar los seis filtros en ella. Seguidamente se coloca en la toma de presión de aceite del motor un acople en forma de $\frac{1}{4}$ " para distribuir el caudal hacia los filtros mediante dos mangueras, a las cuales se colocarán llaves de paso como se muestra en la figura 4.10, que servirán para bloquear el caudal y realizar el cambio del cartucho filtrante aún estando el motor en funcionamiento o para bloquear la entrada de aceite a estos filtros por alguna necesidad.

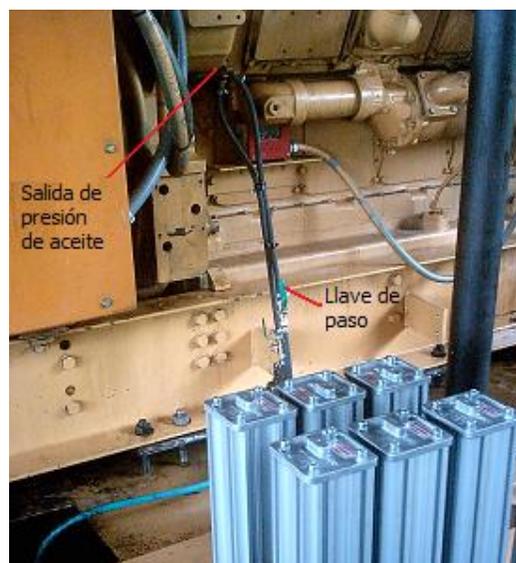


Figura 4.10 Toma de presión hacia los filtros

En un tapón metálico del cárter, se le colocó un empaque y se introdujo un acople roscado para el retorno del aceite al cárter, luego de su filtración.

desde los filtros hacia el cárter, unidades de igual capacidad se realiza el apriete del conjunto. Culminando así la instalación en paralelo, del sistema de filtrado submicrón opción B+ en el motor de prueba MG 1001-1 como se observa en la figura 4.11.

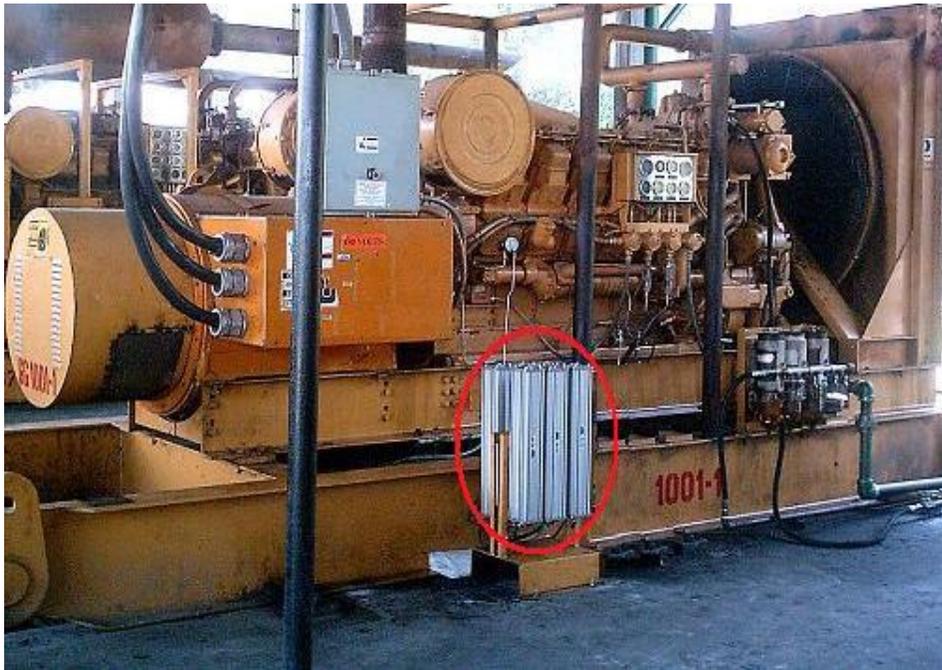


Figura 4.11 Instalación opción B+ en el motor de prueba MG 1001-1

Terminada la instalación del sistema de filtrado submicrón se procede a encender el motor y esperar unos 15 hasta que se llene el sistema con aceite lubricante para asegurarnos no exista ningún tipo de fuga en el sistema.

4.3 PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA SELECCIONADO

Una vez implementados los sistemas, se debe realizar un cronograma para los intervalos de cambio de los elementos filtrantes que se impartirá por cada fabricante del sistema de filtrado submicrón. A más de ello, se tomarán muestras de aceite en rangos determinados para verificar el código de limpieza ISO del aceite lubricante posterior a la implementación de ésta tecnología submicrón en los motores de prueba.

CIÓN AÎ

Para este caso se debe desarrollar un cronograma en conjunto con el proveedor del sistema de filtrado submicrón para el cambio de elemento filtrante que se observa en la figura 4.12, así como la toma de muestra de aceite lubricante para el análisis del código de limpieza ISO. Estos datos se tomarán entre cambio de aceite programado en este motor de prueba.



Figura 4.12 Cambio de elemento filtrante opción A+

En la tabla 4.1 se muestra el cronograma programado para este caso con el sistema de filtrado submicrón opción A+, implementado en el motor de prueba MG 601-6.

Tabla 4.1 Cronograma opción A+

Horómetro	Horas de uso de aceite	Cambio de cartucho	Toma de muestra
11768	1	SI	NO
11832	64	NO	SI
12023	255	SI	NO
12282	514	SI	SI
12727	959	SI	NO

Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6

Una vez realizado los análisis en laboratorio sobre la limpieza del aceite lubricante posterior a la implementación del sistema de filtrado submicrón tenemos los siguientes resultados que se presentarán en la tabla 4.2 y en la tabla 4.3, correspondientes a las muestras tomadas a las 64 horas y 514 horas de uso de aceite respectivamente.

Tabla 4.2 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6 a las 64 horas

ISO 4406 (m) por 1 ml	Partículas
ISO > 4	19731
ISO > 6	10748
ISO > 14	1831
Código ISO	21/21/18

Fuente: Astriven

Tabla 4.3 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 601-6 a las 514 horas

ISO 4406 (m) por 1 ml	Partículas
ISO > 4	4974
ISO > 6	2709
ISO > 14	461
Código ISO	19/19/16

Fuente: Astriven

4.3.2 SEGUIMIENTO Í OPCION BÎ

De igual manera se debe realizar un cronograma de actividades en el cual se consta el período de cambio de los elementos filtrantes de los seis filtros submicrón como se observa en la figura 4.13 y además la toma de muestras de aceite para obtener por medio del laboratorio, el código de limpieza ISO del aceite lubricante.



Figura 4.13 Cambio de elementos filtrantes %opción B+

En la tabla 4.4 se muestra el cronograma programado para este caso con el sistema de filtrado submicrón %opción B+, implementado en el motor de prueba MG 1001-1.

Tabla 4.4 Cronograma %opción B+

Horómetro	Horas de uso de aceite	Cambio de cartuchos	Toma de muestra
79491	1	SI	NO
79542	51	SI	SI
80043	552	NO	SI
80542	1051	SI	NO

4.3.2.1 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 1001-1

Ya implementado el sistema de filtrado submicrón denominado %opción B+ en este motor de prueba, se realizaron los análisis en laboratorio sobre el código de limpieza del aceite lubricante. A las 51 horas de uso y cuyos resultados se presentan en la tabla 4.5, además de los resultados a las 552 horas de uso del aceite lubricante presentados en la tabla 4.6.

a del aceite en el motor MG 1001-1 a las 51 horas

ISO 4406 (m) por 1 ml	Partículas
ISO > 4	14231
ISO > 6	7752
ISO > 14	1320
Código ISO	21/20/18

Fuente: Astriven

Tabla 4.6 Grado de limpieza del aceite en el motor MG 1001-1 a las 552 horas

ISO 4406 (m) por 1 ml	Partículas
ISO > 4	2577
ISO > 6	1403
ISO > 14	239
Código ISO	19/18/15

Fuente: Astriven

4.4 ANÁLISIS DEL ACEITE LUBRICANTE POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN

Los análisis de aceite que se presentan corresponden a los del aceite lubricante antes de realizarse el cambio programado de aceite en cada motor de prueba.

4.4.1 ANÁLISIS DE ACEITE DEL MOTOR MG 601-6

Para el motor de prueba MG 601-6, la toma de muestra de aceite se realizó con un horómetro de 12727 horas. Corresponde a 959 horas de aceite en uso, teniendo en cuenta que la frecuencia de cambio de aceite es cada 950 horas en éste motor.

aceite posterior a la implementación del sistema de filtrado submicrónico, se presentan en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Análisis de aceite del MG 601-6 posterior a la implementación

CODIGO MAQUINA	MG 601-6
DESCRIPCION	CAT 3516-DI
COMPONENTE	MOTOR
VOLUMEN DEL CARTER	110 GAL
LUBRICANTE	RIMULA SUPER 15W-40 DHD-1
Solicitud No	
Fecha Muestra	16/09/2008
Horas Aceite	959
Horómetro	12727
CONDICION DEL LUBRICANTE	
Color	NEGRO
Viscosidad a 100 C (cSt)	13,62
Viscosidad a 40 C (cSt)	
Indice de viscosidad	
Punto de Inflamacion (C)	
Insolubles Tolueno (%Wt)	
Insolubles en Pentano (% Peso)	
Contenido de Agua (% Vol)	NEG
TBN (mg KOH/g)	6,33
TAN-C (mg KOH/g)	
CONDICION DEL EQUIPO (ppm)	
Cobre (Cu)	9
Hierro (Fe)	12
Cromo (Cr)	0
Plomo (Pb)	1
Aluminio (Al)	2
Silicio (Si)	1

Fuente: JCC.Shell

4.4.2 ANÁLISIS DE ACEITE DEL MOTOR MG 1001-1

Para el motor de prueba MG 1001-1, la toma de muestra de aceite se realizó con un horómetro de 80542 horas. Corresponde a 1051 horas de aceite en uso, teniendo en cuenta que la frecuencia de cambio de aceite es cada 1000 horas en éste motor.

Los datos del análisis de aceite después de la implementación del sistema de filtrado submicrónico opción B+, se presentan en la tabla 4.8.

ite del MG 1001-1 posterior a la implementación

DESCRIPCION COMPONENTE VOLUMEN DEL CARTER LUBRICANTE	MG 1001-1 CAT 3512-DI MOTOR 167 GAL RIMULA SUPER 15W-40 DHD-1
Solicitud No Fecha Muestra Horas Aceite Horómetro CONDICION DEL LUBRICANTE	28/09/2008 1051 80542
Color Viscosidad a 100 C (cSt) Viscosidad a 40 C (cSt) Indice de viscosidad Punto de Inflamacion (C) Insolubles Tolueno (%Wt) Insolubles en Pentano (% Peso) Contenido de Agua (% Vol) TBN (mg KOH/g) TAN-C (mg KOH/g) CONDICION DEL EQUIPO (ppm)	NEGRO 13,96 NEG N/D
Cobre (Cu) Hierro (Fe) Cromo (Cr) Plomo (Pb) Aluminio (Al) Silicio (Si)	5 15 0 1 2 1

Fuente: JCC.Shell

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN

5.1.1 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE DEL MOTOR MG 601-6

En el análisis de aceite posterior a la implementación luego de 959 horas de uso de aceite en el motor MG 601-6 se presenta una viscosidad cinemática de 13,62 cSt, la cual se encuentra en rango aceptable debido a que lo mínimo que podría tener son 12 cSt.

En cuanto al TBN de 6,33 mg KOH/g que se obtiene. Significa que aún es puede seguir utilizando dicho aceite por un corto período de tiempo extra ya que se recomienda el cambio de aceite en éste caso, si ha alcanzado un TBN menor de 5,5 mg KOH/g.

Para la condición del equipo, en lo corresponde al cobre, hierro, cromo y plomo; se encuentra muy por debajo de los límites de desgaste, por lo que no existe ningún inconveniente con estos elementos.

están bien controlado al tener solamente 1 ppm, mientras que el hierro es de 3 ppm. Pero en el caso del aluminio con 2 ppm se tiene que estas partículas serían de desgaste, aunque se mantienen en un rango aceptable todavía.

5.1.1.1 Cartas de control de partículas de desgaste en el MG 601-6

Para éstas cartas de control se utilizarán los datos de la cantidad de partículas de los elementos del motor presentados en los análisis de aceite; tanto del historial, del análisis previo a la implementación y del análisis posterior a la implementación.

En la siguiente tabla 5.1 se analizará cada elemento de desgaste obtenido en los análisis de aceite. Se presentarán los límites de control y límites de especificación tomando en cuenta todos los datos de la cantidad de partículas para presentar la información en cartas de control por cada elemento de cobre, hierro, cromo, plomo, aluminio y silicio.

Tabla 5.1 Fijación de límites de control y de especificación del MG 601-6

Cu	Fe	Cr	Pb	Al	Si	
8,25	23,75	0,88	1,13	2,13	3,00	Promedio
5,87	15,91	0,83	1,36	0,64	1,60	Desviación estándar
20,00	55,57	2,54	3,84	3,41	6,21	Alerta (Lcs)
25,87	71,47	3,38	5,19	4,05	7,81	Crítico (Lcs)
25,00	100,00	8,00	10,00	10,00	15,00	Alerta (Les)
30,00	120,00	10,00	12,00	15,00	20,00	Crítico (Les)

En las siguientes figuras se observan las cartas de control de cada elemento, generadas con los datos de los análisis de aceite y conjuntamente con los datos de la tabla 5.1.

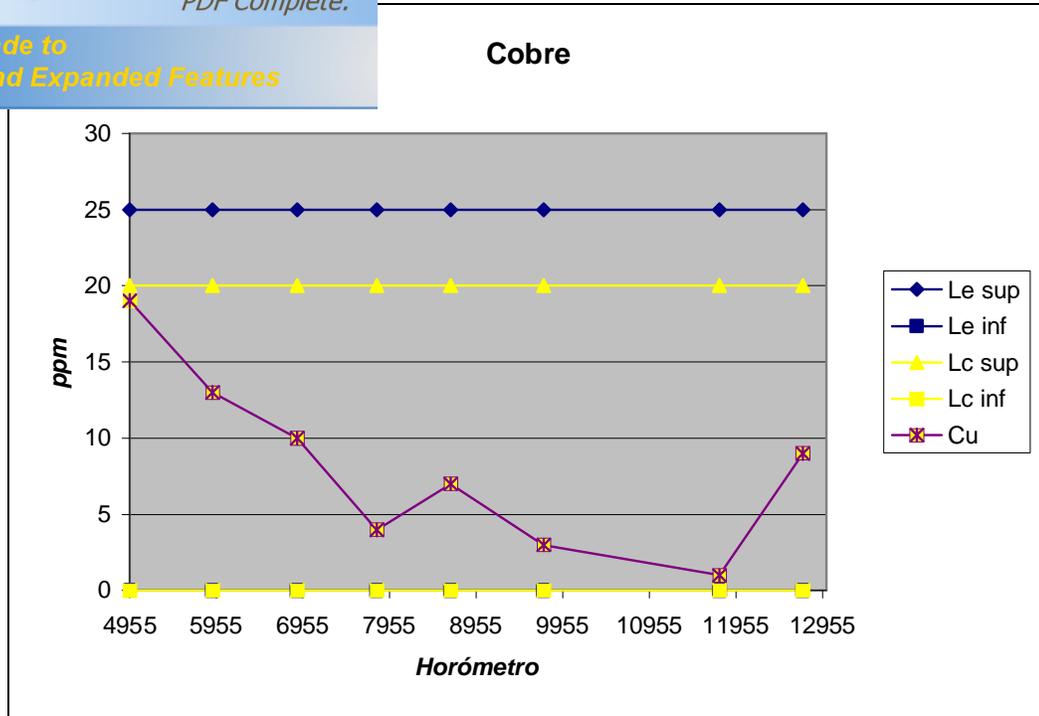


Figura 5.1 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 601-6

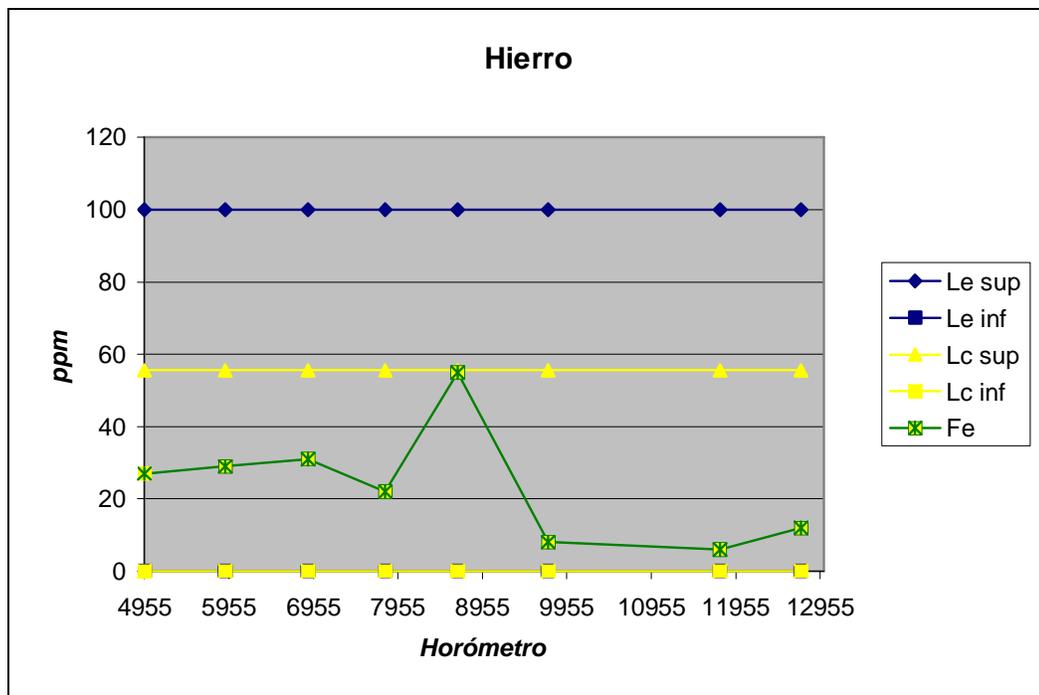


Figura 5.2 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 601-6

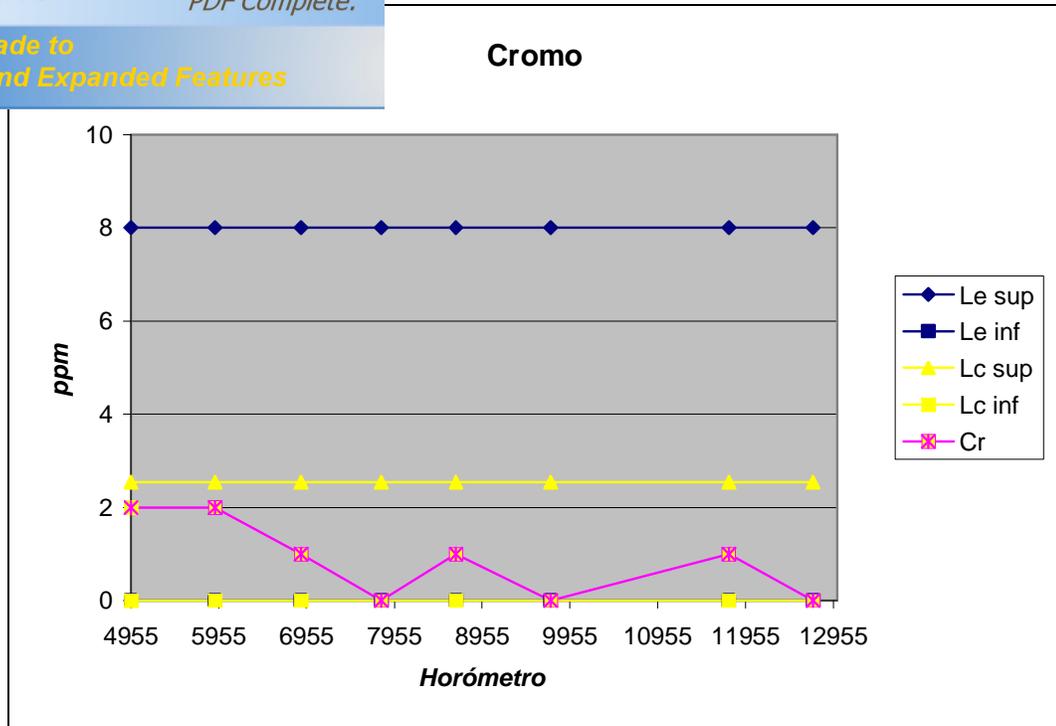


Figura 5.3 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 601-6

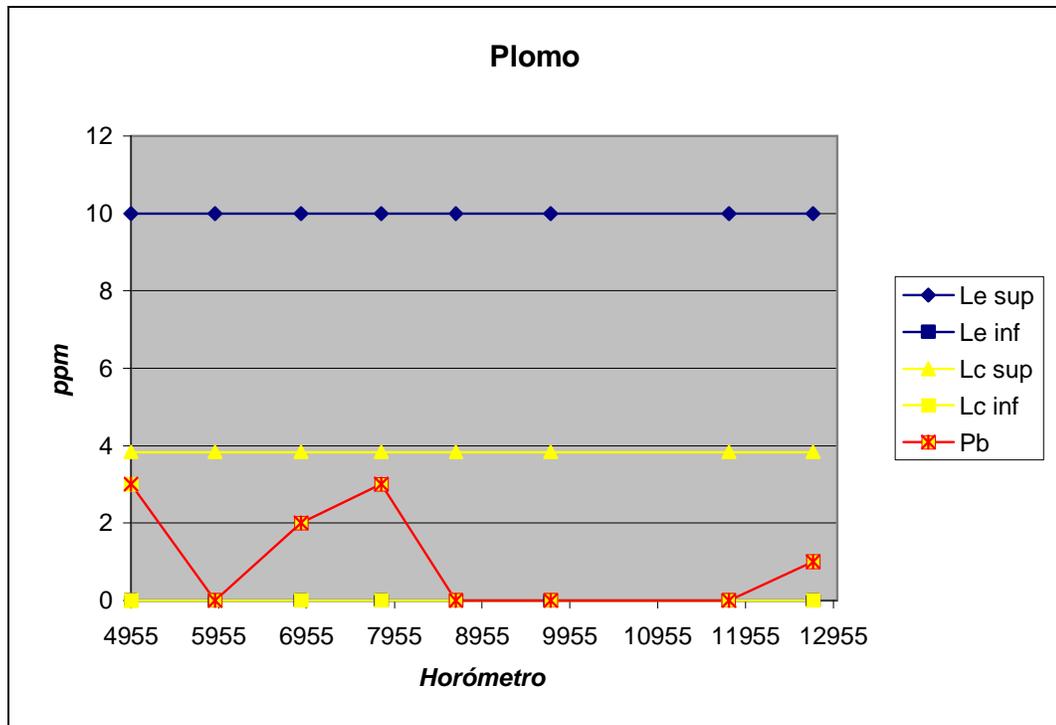


Figura 5.4 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 601-6

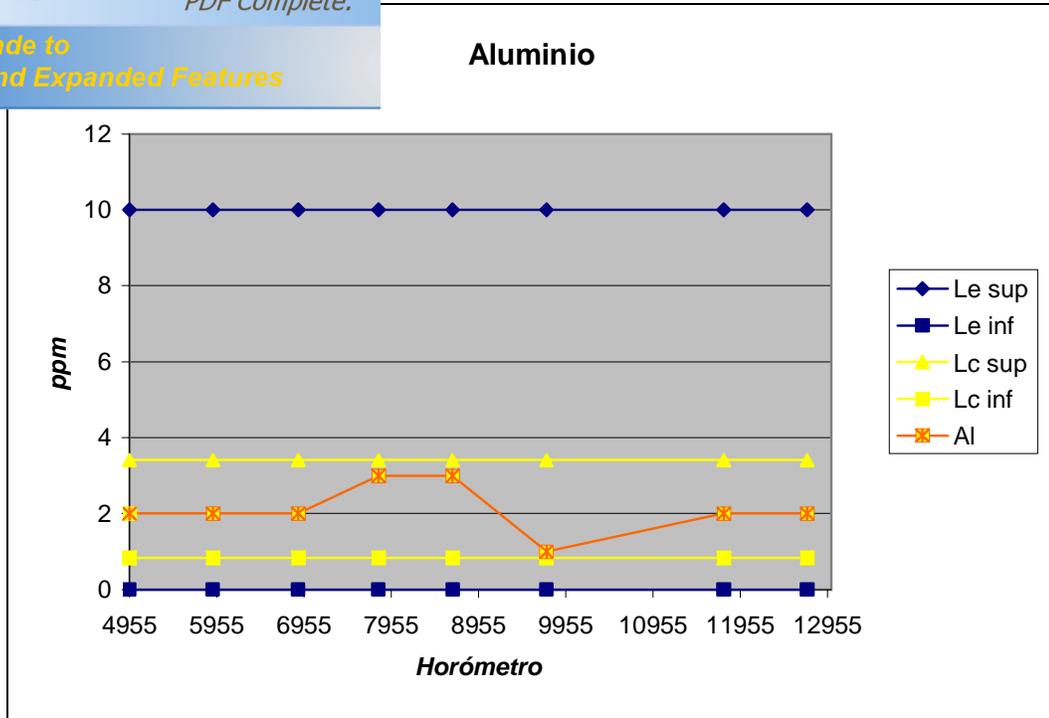


Figura 5.5 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 601-6

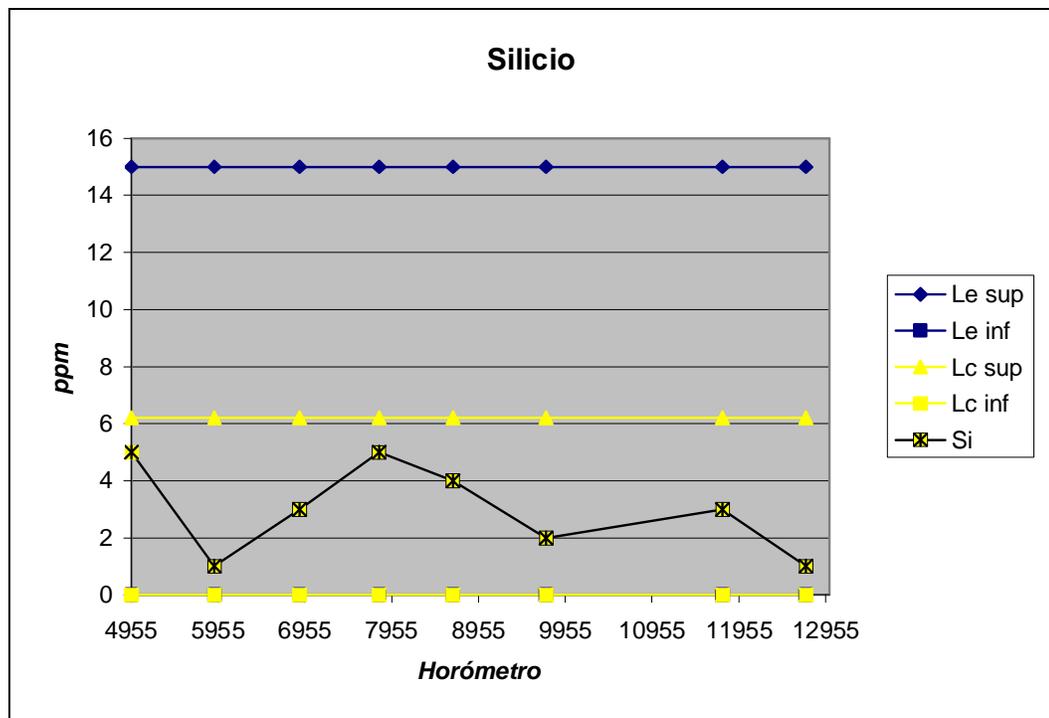


Figura 5.6 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 601-6

imiento de los elementos de desgaste del motor MG se encuentran en control estadístico, ya que dichos datos están inmersos dentro de los límites de control a pesar de que éstos variaron con los nuevos datos y no existen tendencias que demuestren causas especiales de variación. Además cumplen con las especificaciones, que corresponden a una alerta sobre contaminación del sistema.

5.1.2 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE DEL MOTOR MG 1001-1

En el análisis de aceite posterior a la implementación luego de 1051 horas de uso de aceite en el motor MG 1001-1 se tiene una viscosidad cinemática de 13,96 cSt, la cual es aceptable teniendo en cuenta que un valor crítico para cambiar el aceite es 12 cSt.

En lo que respecta al TBN, no se dispone de la reserva alcalina por lo que el cambio de aceite se lo debe realizar acortando el período en el cual se realiza actualmente.

Esto se lo puede verificar con el historial de análisis de aceite de éste motor ya que puede deberse también a que éste motor ha sufrido un considerable desgaste, tomando en cuenta que está próximo a su overhaul.

En cuanto a la condición del equipo: el cobre, hierro, cromo y plomo; se encuentra muy por debajo de los límites de desgaste, por lo que no existe ningún inconveniente con estos elementos.

Como anteriormente con el aceite nuevo se obtuvo 3 ppm de silicio, existe actualmente un mejoramiento al tener solamente 1 ppm.

En el caso del aluminio con 2 ppm se tiene que estas partículas serían de desgaste, aunque se mantienen en un rango aceptable todavía.

de partículas de desgaste en el MG 1001-1

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

En la tabla 5.2 se analizará cada elemento de desgaste obtenido en los análisis de aceite: del historial, previo y posterior a la implementación con sus límites de control y límites de especificación para realizar las cartas de control.

Tabla 5.2 Fijación de límites de control y de especificación del MG 1001-1

Cu	Fe	Cr	Pb	Al	Si	
4,91	20,64	0,64	0,73	1,82	2,91	Promedio
2,30	7,00	0,81	0,90	0,40	1,81	Desviación estándar
9,51	34,64	2,25	2,54	2,63	6,54	Alerta (Lcs)
11,81	41,65	3,06	3,44	3,03	8,35	Crítico (Lcs)
25,00	100,00	8,00	10,00	10,00	15,00	Alerta (Les)
30,00	120,00	10,00	12,00	15,00	20,00	Crítico (Les)

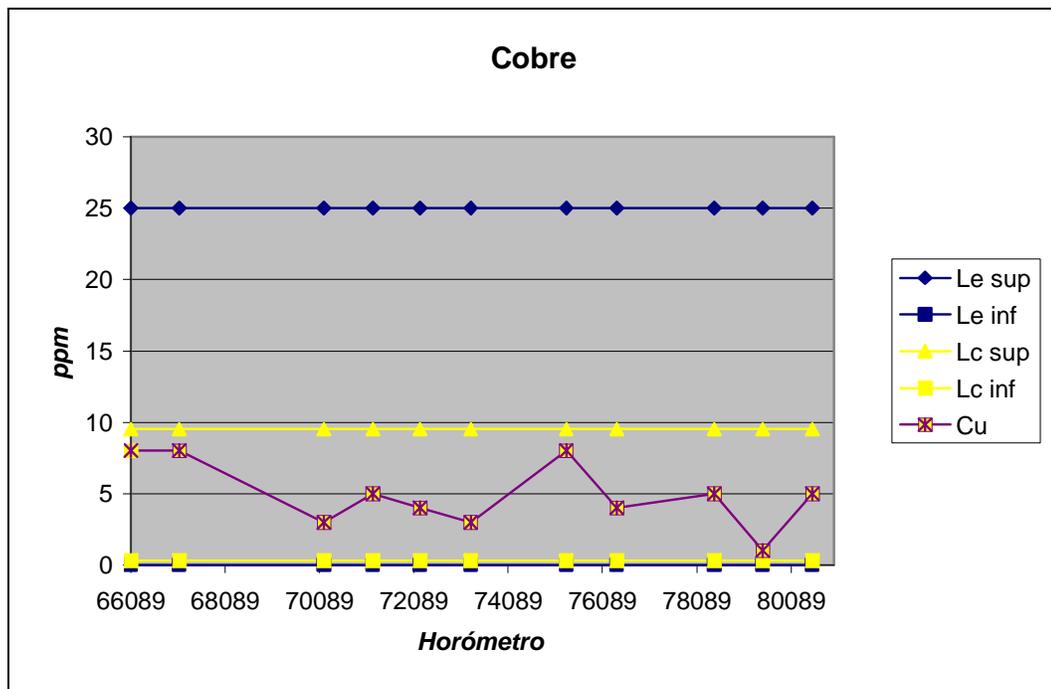


Figura 5.7 Carta de control de partículas de cobre del motor MG 1001-1

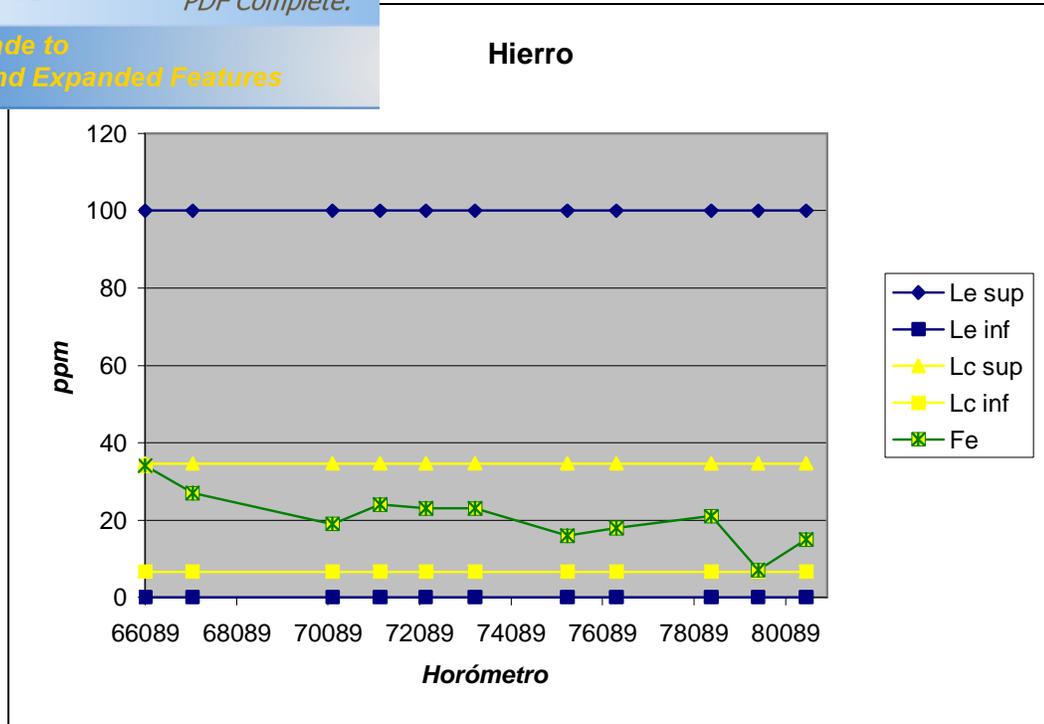


Figura 5.8 Carta de control de partículas de hierro del motor MG 1001-1

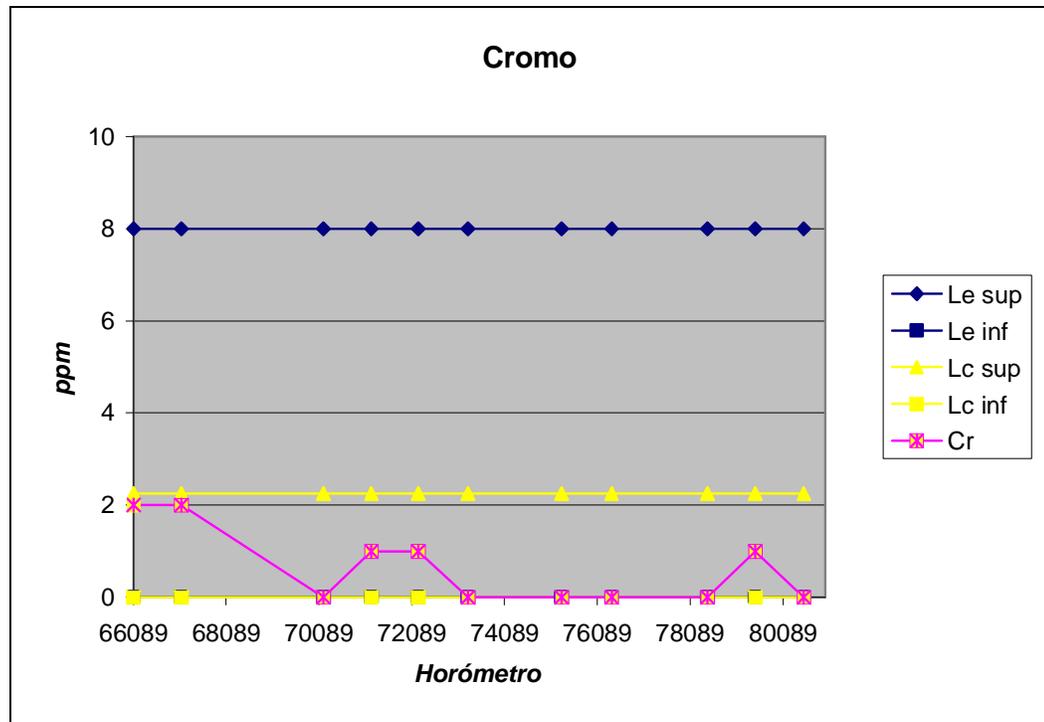


Figura 5.9 Carta de control de partículas de cromo del motor MG 1001-1

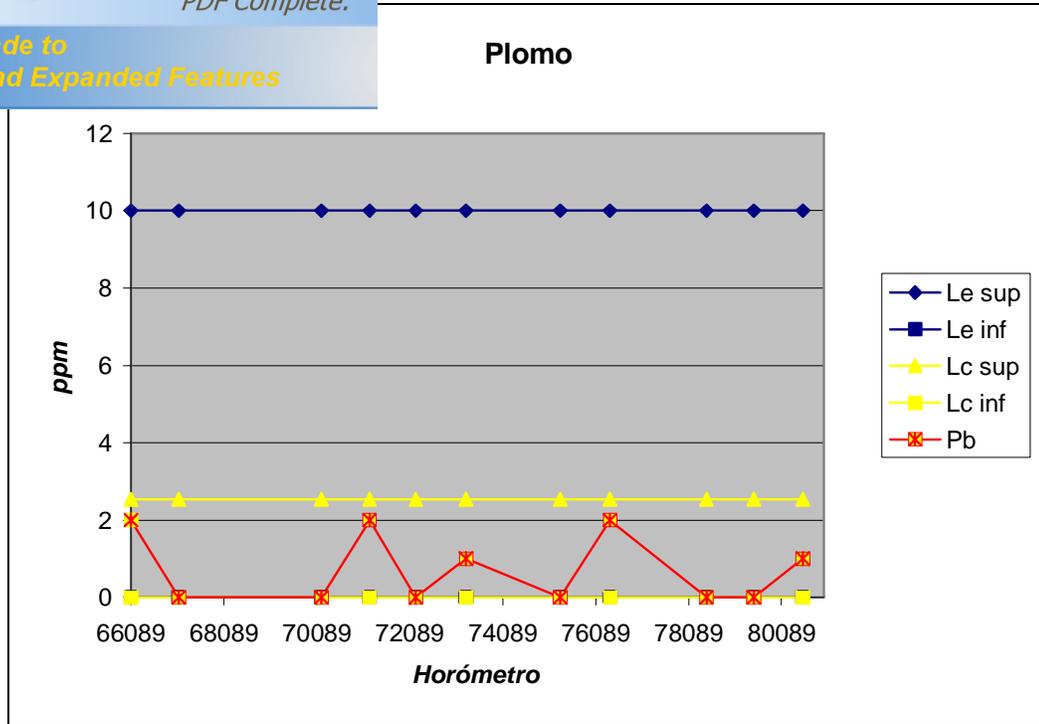


Figura 5.10 Carta de control de partículas de plomo del motor MG 1001-1

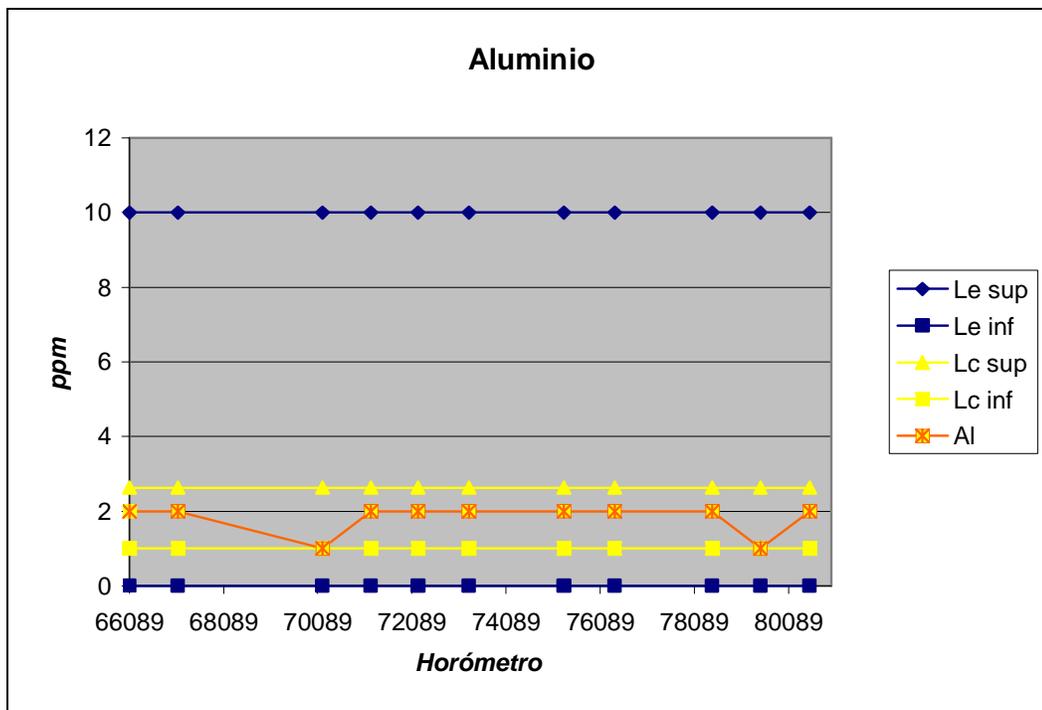


Figura 5.11 Carta de control de partículas de aluminio del motor MG 1001-1

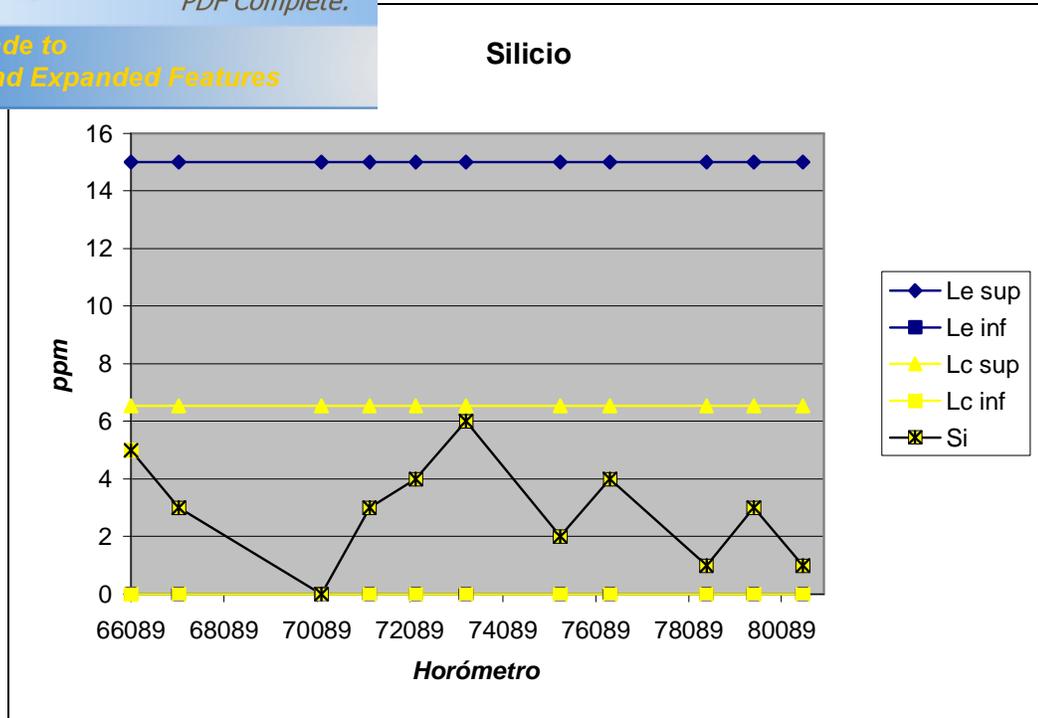


Figura 5.12 Carta de control de partículas de silicio del motor MG 1001-1

Al analizar las cartas de control de los elementos de desgaste del motor de prueba MG 1001-1 se observa que todos los datos están dentro de los límites de control a pesar de que éstos variaron con los nuevos datos y no existen tendencias que demuestren causas especiales de variación, por lo cual se considera que se encuentran en control estadístico.

5.2 GRADO DE LIMPIEZA DEL ACEITE LUBRICANTE OBTENIDO

5.2.1 GRADO DE LIMPIEZA DEL ACEITE EN EL MOTOR MG 601-6

Antes de proceder con el grado de limpieza obtenido, es importante establecer que éste sistema de filtrado submicrón según el fabricante alcanza una eficiencia de filtración del 99,90% que nos sirve para obtener el β_x , el cual es importante para relacionarlo con la cantidad de partículas que pasarán a través del filtro submicrón.

2.) de la eficiencia según el multi pass test

$$\beta_x = \left(\frac{100}{100 - \eta\%} \right)$$

Por lo que el $\beta_4 = 1000$, lo cual significa que hay 1000 veces más partículas de 4 μ m antes del filtro, que después del filtro. Tomando en cuenta que la cantidad de partículas antes del filtro de prueba es de 1000000 partículas, se obtendrían 1000 partículas después del filtro.

A continuación se presenta en la figura 5.13, los datos del grado de limpieza del aceite: previo a la implementación del sistema de filtrado submicrón opción A+y posterior a la misma.

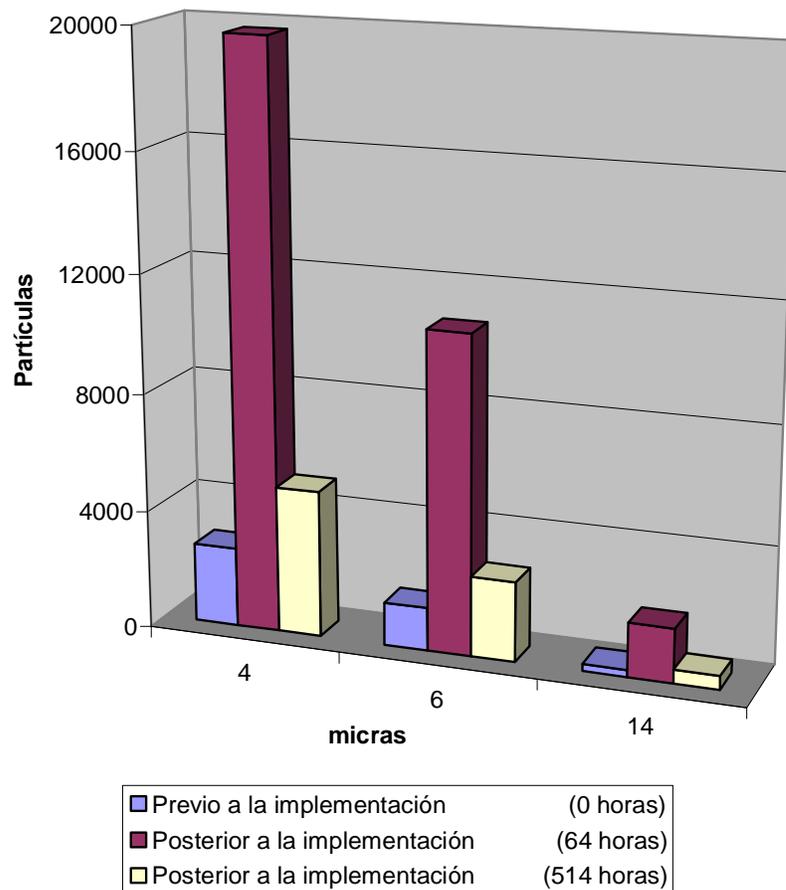


Figura 5.13 Grado de limpieza del aceite lubricante en el motor MG 601-6

eficiencia del sistema implementado Ópción A+

Para el cálculo de la eficiencia respecto al contenido de partículas antes y después de utilizar el sistema de filtrado submicrón Ópción A+, se tomarán dos datos del grado de limpieza ISO del aceite lubricante, que serán a las 0 horas (antes de la implementación) y a las 514 horas (después de la implementación).

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(\frac{V_{\text{previo}} - V_{\text{posterior}}}{V_{\text{previo}}} \right) * 100 \quad (5.1)$$

En la tabla 5.3 se presenta la eficiencia dependiendo del tamaño de partículas.

Tabla 5.3 Eficiencia alcanzada por el sistema de filtrado submicrón Ópción A+

Tamaño micras	Previo a la implementación	Posterior a la implementación	% Eficiencia
4	2679	4974	-85,67%
6	1459	2709	-85,68%
14	248	461	-85,89%
			-85,74%

Para este caso del sistema de filtrado submicrón Ópción A+ no existe una eficiencia de limpieza del aceite lubricante, ya que la cantidad de partículas en vez de disminuir se incrementó en un 85,74% en promedio. Esto se puede verificar en la figura 5.13.

5.2.2 GRADO DE LIMPIEZA DEL ACEITE EN EL MOTOR MG 1001-1

De igual manera para este caso, el sistema de filtrado submicrón según el fabricante alcanza una eficiencia de filtración del 99,99% que nos sirve para obtener el β_x y relacionarlo con la cantidad de partículas que pasan a través del filtro submicrón.

=10000, lo que significa que hay 10000 veces más partículas antes del filtro, que después del filtro. Tomando en cuenta que la cantidad de partículas antes del filtro de prueba sería de 1000000 partículas, se obtendrían 100 partículas después del filtro.

En la figura 5.14, se encuentran representados los datos del grado de limpieza del aceite: previo y posterior a la implementación de la opción B+.

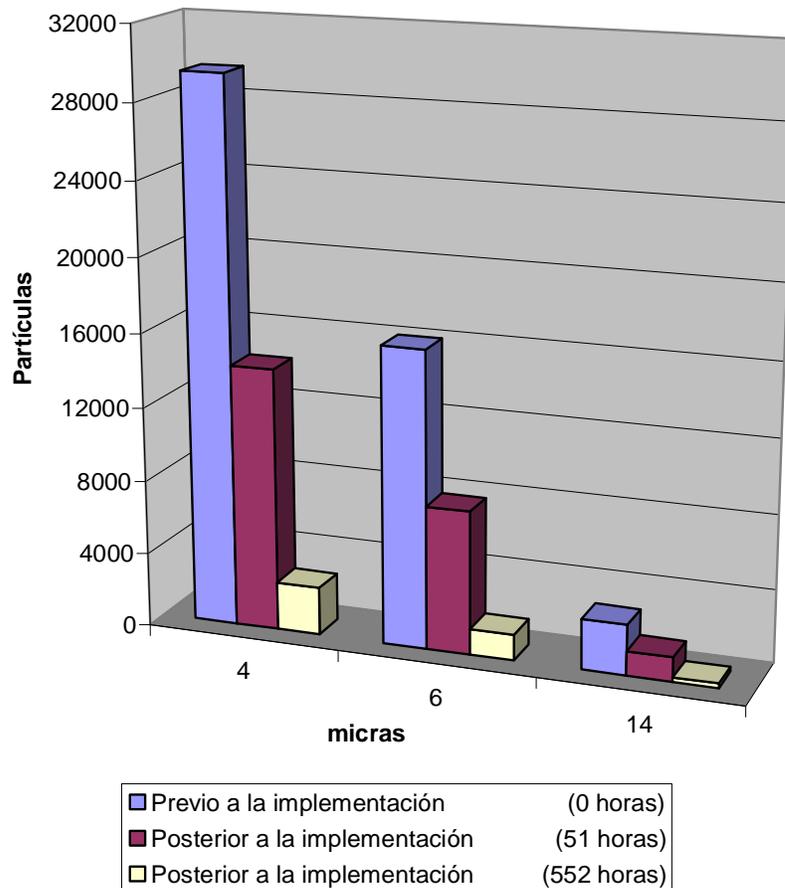


Figura 5.14 Grado de limpieza del aceite lubricante en el motor MG 1001-1

5.2.2.1 Cálculo de la eficiencia del sistema implementado ó opción BÍ

En el cálculo de la eficiencia respecto al contenido de partículas antes y después de utilizar el sistema de filtrado submicrón ó opción B+, se tomarán dos datos del grado de limpieza ISO del aceite lubricante, que serán a las 0 horas

ción) y a las 552 horas (después de la

En la tabla 5.4 se presenta la eficiencia dependiendo del tamaño de partículas, utilizando la fórmula 5.1.

Tabla 5.4 Eficiencia alcanzada por el sistema de filtrado submicrón %opción B+

Tamaño micras	Previo a la implementación	Posterior a la implementación	% Eficiencia
4	29462	2577	91,25%
6	16049	1403	91,26%
14	2734	239	91,26%
			91,26%

Para éste caso de la implementación del sistema de filtrado submicrón %opción B+, se obtiene una eficiencia considerable de limpieza del aceite lubricante del 91,26% en promedio y se puede corroborar dicho resultado con la figura 5.14 donde se muestra la cantidad de partículas retenidas.

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO

En éste análisis se presentará en la figura 5.15 una distribución del grado de limpieza antes y después de la implementación de los sistemas de filtrado submicrón %opción A+ y %opción B+. Tomando como referencia a las muestras de aceite tomadas a las 0 horas de uso del aceite y comparándolas con las muestras tomadas a las 514 y 552 horas de uso de aceite respectivamente. Estos datos de los grados de limpieza se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Grados de limpieza previos y posteriores a las implementaciones

	ISO previo a la implementación	ISO posterior a la implementación	ISO recomendado motor diesel
"Opción A"	19/18/15	19/19/16	17/16/13
"Opción B"	22/21/19	19/18/15	17/16/13

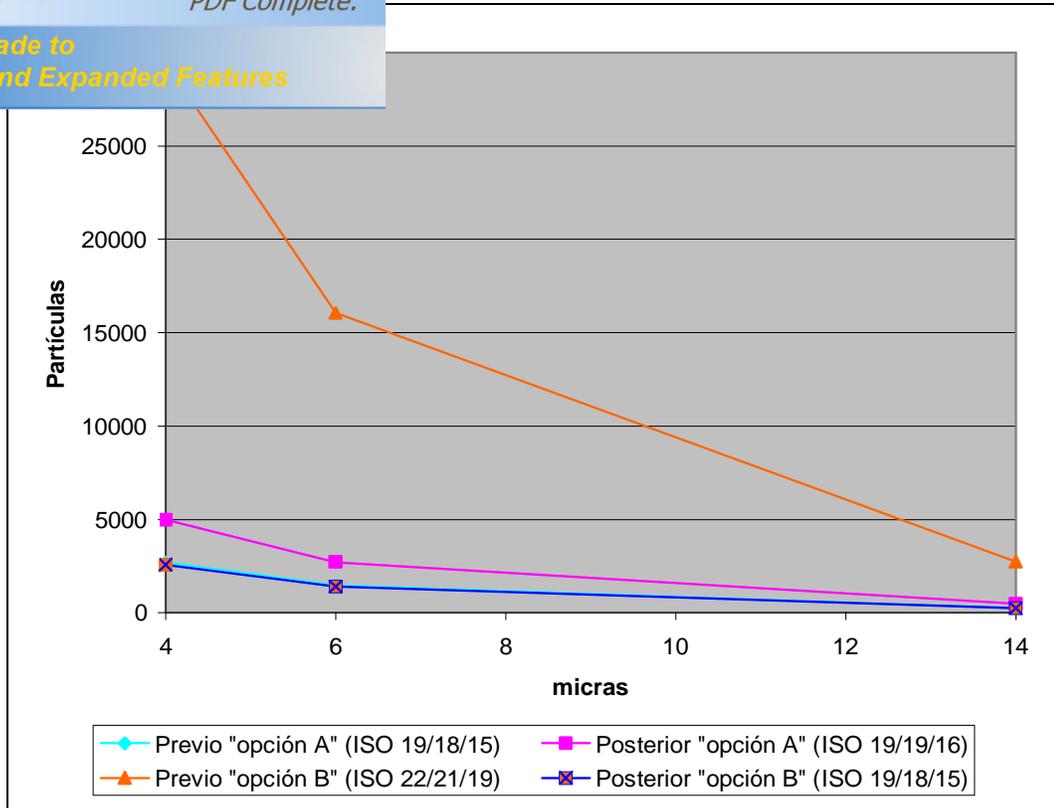


Figura 5.15 Grados de limpieza previos y posteriores a las implementaciones

Al realizar una comparación basándonos en la figura 5.15 se puede observar que el sistema de filtrado submicrón %opción B+ tiene un nivel de contaminación previo mucho más alto que el que presenta la %opción A+, pero sin embargo logra alcanzar posteriormente un nivel de limpieza de aceite lubricante superior al aceite %nuevo+de la %opción A+.

Mientras que luego de la implementación de la %opción A+ se tiene un aceite más contaminado que el aceite lubricante previo a la implementación de éste sistema de filtrado submicrón.

En la figura 5.16 se relacionarán los grados de limpieza alcanzados con ambos sistemas de filtrado submicrón %opción A+ y %opción B+, conjuntamente con el límite superior del código de limpieza recomendado para motores diesel ISO 17/16/13, el cual se obtiene de la tabla 2.7 que presenta el grado de limpieza ISO 4406:99.

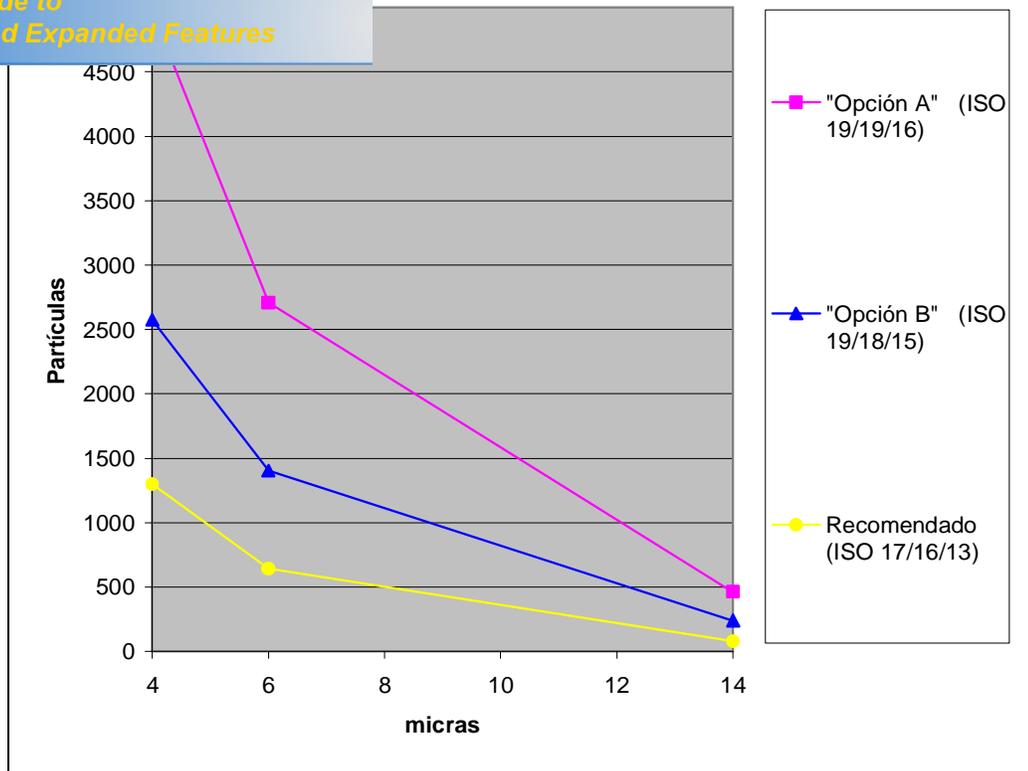


Figura 5.16 Relación entre grados de limpieza del aceite lubricante

Con estos grados de limpieza obtenidos por ambas implementaciones, se puede observar que la **Opción B** es la que mayormente se acerca al número ISO recomendado. Hay que tener presente el punto de referencia del cual partió cada implementación por lo que la eficiencia de filtración en la **Opción B** es considerablemente alta para poder lograr prolongar la vida útil de los elementos del motor.

Es importante considerar el grado de limpieza previo y posterior a la implementación del sistema de filtrado submicrón para lograr alargar la vida útil de los elementos de los motores de prueba. Ya que para obtener éste factor de alargamiento recurriremos a la tabla 2.8 para aplicar su contexto y poder determinar a cuánto asciende o no la prolongación de los componentes del motor. Tomando como referencia que un overhaul en éstos motores de prueba se los realiza cada 35000 horas de funcionamiento, por lo que en la tabla 5.6 se presenta el factor de alargamiento obtenido con las implementaciones de los sistemas de filtrado submicrón.

Hor de alargamiento de vida útil obtenido

		New Cleanliness Level (ISO Code)																		
		26/23	25/22	24/21	23/20	22/19	21/18	20/17	19/16	18/15	17/14	16/13	15/12	14/11	13/10	12/9	11/8	10/7		
Current Machine Cleanliness (ISO Code)	26/23	5 3	7 3.5	9 4	>10 5	>10 6	>10 7.5	>10 9	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10		
		4 2.5	4.5 3	6 3.5	6.5 4	7.5 5	8.5 6.5	10 7	>10 9	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	
	25/22	4 2.5	5 3	7 3.5	9 4	>10 5	>10 6	>10 7	>10 9	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	>10 >10	
		3 2	3.5 2.5	4.5 3	5 3.5	6.5 4	8 5	9 6	10 7.5	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9
	24/21	3 2	4 2.5	6 3	7 4	9 5	>10 6	>10 7	>10 8	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10
		2.5 1.5	3 2	4 2.5	5 3	6.5 4	7.5 5	8.5 6	9.5 7	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8
	23/20	2 1.5	3 2	4 2.5	5 3	7 3.5	9 4	>10 5	>10 6	>10 8	>10 9	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10
		1.7 1.3	2.3 1.5	3 2	3.7 2.5	5 3	6 3.5	7 4	8 5	10 6.5	>10 8.5	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10
	22/19	1.6 1.3	2 1.6	3 2	4 2.5	5 3	7 3.5	8 4	>10 5	>10 6	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7
		1.4 1.1	1.8 1.3	2.3 1.7	3 2	3.5 2.5	4.5 3	5.5 3.5	7 4	8 5	10 5.5	>10 8.5	>10 8.5	>10 8.5	>10 8.5	>10 8.5	>10 8.5	>10 8.5	>10 8.5	>10 8.5
	21/18	1.3 1.2	1.5 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	5 3	7 3.5	9 4	>10 5	>10 7	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10	>10 10
		1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.4	2.2 1.6	3 2	3.5 2.5	4.5 3	5 3.5	7 4	9 5.5	10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8
	20/17		1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	5 3	7 4	9 5	>10 7	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9	>10 9
			1.2 1.05	1.5 1.3	1.8 1.4	2.3 1.7	3 2	3.5 2.5	5 3	6 4	8 5.5	10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7	>10 7
	19/16			1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	5 3	7 4	9 6	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8	>10 8
				1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5	2.2 1.7	3 2	3.5 2.5	5 3.5	7 4.5	9 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6
18/15				1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	5 3	7 4.5	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	>10 6	
				1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5	2.3 1.7	3 2	3.5 2.5	5.5 3.7	8 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	
17/14					1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	6 3	8 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	>10 5	
					1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5	2.3 1.7	3 2	4 2.5	6 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	
16/13						1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 3.5	6 4	>10 4	>10 4	>10 4	>10 4	>10 4	>10 4	>10 4	>10 4	
						1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5	2.3 1.8	3.7 3	4.5 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	>10 3.5	
15/12	Hydraulics and Diesel Engines	Rolling Element Bearings																		
14/11	Journal Bearings and Turbo Machinery	Gear Boxes and Other																		
13/10																				

"Opción A"
"Opción B"

Con la implementación de los sistemas de filtrado submicrón en los motores de prueba se observa que con la opción A+ no se logra una diferencia en la limpieza del lubricante, relacionando el código de limpieza inicial con el aceite nuevo+y el código de limpieza obtenido después de la implementación. Por lo que no existe prolongación de la vida útil de los elementos del motor en este caso.

Mientras que con el nivel de limpieza obtenido con la opción B+, se verifica que la prolongación de la vida útil de los elementos de la máquina que alcanza es del doble. Es decir que se estima poder alcanzar para este caso en particular un overhaul del motor a las 70000 horas de funcionamiento.

Este análisis es importante para conocer las fortalezas y debilidades que tiene internamente cada organización de las opciones de sistema de filtrado submicrón, así como también identificar las oportunidades y amenazas que puedan darse externamente para ambos casos.

Tabla 5.7 Matriz FODA

	"Opción A"	"Opción B"
Fortalezas (F)	F1. Cartucho filtrante con paquete de aditivación gradual.	F1. Eficiencia de filtración del 99,99%.
	F2. Filtro con cámara de evaporación de contaminantes.	F2. Cartucho filtrante con tecnología de compresión patentada de celulosa.
	F3. Se utiliza un solo cartucho filtrante para el motor de prueba.	F3. Mayor intervalo entre cambios de cartuchos filtrantes.
	F4. La instalación del sistema es gratuita.	F4. Filtración nominal de 0,5 micras.
Oportunidades (O)	O1. Obtención de certificaciones de calidad.	O1. Obtención de certificaciones de calidad.
	O2. Cumplimiento normas ISO.	O2. Cumplimiento normas ISO.
	O3. Implementación de sistemas submicrón por leyes ambientales.	O3. Implementación de sistemas submicrón por leyes ambientales.
	O4. Falta de conocimiento de estos sistemas de filtrado submicrón en el mercado.	O4. Falta de conocimiento de estos sistemas de filtrado submicrón en el mercado.
Debilidades (D)	D1. Eficiencia de filtración del 99,90%.	D1. No posee aditivación para el aceite lubricante.
	D2. El cambio de cartucho filtrante es en intervalos menores.	D2. Utiliza varios cartuchos filtrantes para el motor de prueba.
	D3. Filtración nominal de 1 micra.	D3. El costo de instalación es independiente.
	D4. Se basa en la condición del lubricante antes que en la del equipo.	D4. Falta interés por el cliente posterior a la venta del sistema.
Amenazas (A)	A1. Mayor competencia entre los sistemas de filtrado submicrón.	A1. Mayor competencia entre los sistemas de filtrado submicrón.
	A2. Leyes desfavorables para la importación.	A2. Leyes desfavorables para la importación.
	A3. Desarrollo de nuevas tecnologías con mayor eficiencia de filtración.	A3. Desarrollo de nuevas tecnologías con mayor eficiencia de filtración.
	A4. El cliente elegirá a un solo proveedor del sistema.	A4. El cliente elegirá a un solo proveedor del sistema.

El análisis FODA nos brinda una idea de cómo los sistemas de filtrado submicrón pueden aprovechar las oportunidades y minimizar el impacto de las amenazas, lo cual se logra mediante estrategias:

- E1.** Desarrollo tecnológico de materiales utilizados y recubrimientos químicos.
- E2.** Mejoramiento del diseño e innovación del sistema de filtrado submicrón.
- E3.** Implementar gestiones de calidad en la empresa aplicando diversas metodologías.
- E4.** Mejorar el servicio al cliente mediante un asesoramiento previo y posterior a la adquisición del sistema de filtrado submicrón.
- E5.** Lograr alcanzar una mayor eficiencia del personal en base al cumplimiento de objetivos específicos.
- E6.** Involucrarse con responsabilidad en el cumplimiento de las normativas para el cuidado del medio ambiente.

En la tabla 5.8 se muestra un cuadro que contiene las diversas estrategias a seguir; dependiendo de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que puedan afectar a los proveedores de los sistemas de filtrado submicrón.

Tabla 5.8 Cuadro de estrategias

		"Opción A"								"Opción B"							
		Fortalezas				Debilidades				Fortalezas				Debilidades			
		F1	F2	F3	F4	D1	D2	D3	D4	F1	F2	F3	F4	D1	D2	D3	D4
Oportunidades	O1				E4	E1		E2		E3	E1					E3	E4
	O2	E1	E1			E1		E1	E2		E1			E2		E5	E4
	O3	E6	E6	E6		E1	E2	E1	E6	E6	E6	E6	E6	E6	E2		E5
	O4	E2							E6		E1					E3	E4
Amenazas	A1	E1	E2	E2	E4	E1	E2	E1	E5		E1	E4	E1	E2	E2	E3	E4
	A2				E4		E2					E4			E2	E3	E4
	A3	E1	E2	E2		E1	E2	E1	E5	E2	E1		E1	E2	E2	E3	E4
	A4	E1	E2	E4	E4	E1	E2	E1	E3	E2	E1	E4	E1		E2	E3	E4

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO E FINANCIERO

Para éste análisis se tomará en cuenta a los motores que se encuentran en funcionamiento en el campo CPF, con los diversos modelos de motores Caterpillar en los cuales sería posible realizar la implementación del sistema de filtrado submicrón, presentados en la siguiente tabla.

Tabla 6.1 Modelos de motores Caterpillar a implementar

Modelo del motor	Cantidad
3516	35
3512	36
3508	16
3412	6
Total	93

6.1 COSTO OVERHAUL

En éste costo se incluirá el valor de los repuestos y de la mano de obra para realizar el overhaul, dependiendo del modelo del motor Caterpillar como se muestra en la tabla 6.2. Además en la tabla 6.3 se muestra dicho costo por la cantidad de motores que entran a overhaul anualmente y el beneficio que se obtendría con un factor de alargamiento del doble de vida útil.

6.2 Costo subtotal de overhaul

	3516	3512	3508	3412
Costo de repuestos	\$ 146.653	\$ 85.584	\$ 92.868	\$ 70.626
Costo de mano de obra	\$ 12.637	\$ 10.171	\$ 9.324	\$ 7.630
Subtotal overhaul	\$ 159.290	\$ 95.755	\$ 102.192	\$ 78.256

Tabla 6.3 Costo total de overhaul

Modelo del motor	Costo de overhaul	Cantidad por año	Total	Factor de alargamiento = 2
3516	\$ 159.290	9	\$ 1.433.610	\$ 716.805
3512	\$ 95.755	9	\$ 861.795	\$ 430.898
3508	\$ 102.192	4	\$ 408.768	\$ 204.384
3412	\$ 78.256	3	\$ 234.768	\$ 117.384
			\$ 2.938.941	\$ 1.469.471

6.2 COSTO FILTROS SUBMICRÓN

En la tabla 6.4 se observa el costo del filtro dependiendo del modelo del motor y de la cantidad de filtros submicrón a utilizar en los motores previstos para realizar la implementación.

Mientras que en la tabla 6.5 se encuentran los costos de los elementos filtrantes dependiendo de la cantidad de motores Caterpillar y la cantidad de filtros que se utilizan en cada modelo de motor.

En la tabla 6.6 se encuentra el costo de la instalación por cantidad de motores en los cuales se pretende implementar el sistema de filtrado submicrón y en la tabla 6.7 se encuentra el costo para realizar el cambio de cartuchos filtrantes.

Tabla 6.4 Costo de los filtros

Modelo del motor	Costo del filtro submicrón	Cantidad por modelo	Subtotal filtros	Cantidad motores	Total 1
3516	\$ 860	4	\$ 3.440	35	\$ 120.400
3512	\$ 860	6	\$ 5.160	36	\$ 185.760
3508	\$ 860	2	\$ 1.720	16	\$ 27.520
3412	\$ 645	2	\$ 1.290	6	\$ 7.740
					\$ 341.420

Tabla 6.5 Costo de los elementos filtrantes

Modelo del motor	Costo del elemento filtrante	Cantidad por modelo	Número de cambios	Cantidad motores	Total 2
3516	\$ 105	4	9	35	\$ 132.300
3512	\$ 105	6	9	36	\$ 204.120
3508	\$ 105	2	9	16	\$ 30.240
3412	\$ 63	2	12	6	\$ 9.072
					\$ 375.732

Tabla 6.6 Costo de instalación

Precio de instalación	Cantidad motores	Total 3
\$ 800	93	\$ 74.400

En este caso la inversión inicial para implementar los sistemas de filtrado submicrón en los motores Caterpillar será:

$$I_o = total\ 1 + total\ 2 + total\ 3 = \$791.552$$

Costo de cambio de cartuchos filtrantes

Cambio de cartuchos	Cantidad motores	Total 4
\$ 120	93	\$ 11.160

6.3 ANÁLISIS COSTO Æ BENEFICIO

El costo se considerará a partir del primer año, como el costo de los elementos filtrantes y al costo de la mano de obra para el cambio de cartuchos. Mientras que el beneficio será el ahorro en los costos de overhaul de los motores que se da por el factor de alargamiento.

Tabla 6.8 Tabla de costo - beneficio

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Beneficio		\$ 1.469.471	\$ 1.660.502	\$ 1.876.368	\$ 2.120.295	\$ 2.395.934
Costo	\$ 791.552	\$ 386.892	\$ 437.188	\$ 494.022	\$ 558.245	\$ 630.817
Ganancia		\$ 291.027	\$ 1.223.314	\$ 1.382.345	\$ 1.562.050	\$ 1.765.116

En la tabla anterior se puede observar que en el primer año se paga la inversión inicial y además se obtiene ganancia. Por lo que desde el segundo año se puede obtener la relación costo . beneficio de la siguiente manera.

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\$1.660.502}{\$437.188} = 3,8$$

Esto representa que en términos financieros el beneficio es 3,8 veces mayor que el valor del costo anual, luego de haber implementado el sistema de filtrado submicrón.

TO (VAN)

$$TMAR = 0,17$$

$$I_0 = \$791.552$$

En los 5 años el flujo será:

$$F_1 = \$1.082.579$$

$$F_2 = \$1.223.314$$

$$F_3 = \$1.382.345$$

$$F_4 = \$1.562.050$$

$$F_5 = \$1.765.116$$

$$VAN = -I_0 + \sum F_i \tag{6.1}$$

$$VAN = -I_0 + \frac{F_1}{1 + TMAR} + \frac{F_2}{(1 + TMAR)^2} + \frac{F_3}{(1 + TMAR)^3} + \frac{F_4}{(1 + TMAR)^4} + \frac{F_5}{(1 + TMAR)^5}$$

$$VAN = 3529149$$

Como el VAN es mayor que cero entonces lo correcto sería aceptar el proyecto, ya que es rentable y justifica su inversión.

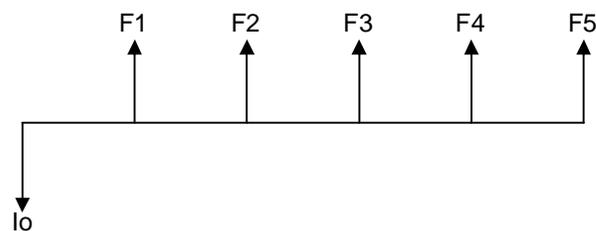


Figura 6.1 Flujo de caja del proyecto puro

RETORNO (TIR)

Para calcular la tasa interna de retorno (TIR) se calcula aplicando la siguiente fórmula:

Si $VAN = 0$ entonces:

$$I_0 = \sum F_i$$

$$I_0 = \frac{F1}{(1+r)^1} + \frac{F2}{(1+r)^2} + \frac{F3}{(1+r)^3} + \frac{F4}{(1+r)^4} + \frac{F5}{(1+r)^5} \quad (6.2)$$

Resolviendo la ecuación tenemos que la tasa interna de retorno:

$$r = 1,47$$

Es decir que el $VAN = 0$ cuando la TIR es $r = 147\%$ anual.

Como la TIR es mayor que la $TMAR$, el proyecto es rentable.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El grado de limpieza del aceite lubricante que posee actualmente uno de los motores Caterpillar puestos a prueba, según la norma ISO 4406:99 alcanzó el ISO 22/21/19, mientras que el grado de limpieza recomendado por la norma para esta aplicación de un motor a diesel es de un ISO 17/16/13.
- Se realizó un análisis de desempeño del sistema de control de lubricación actualmente utilizado, que a pesar de que las condiciones de los equipos se encuentran en rangos aceptables, se comprobó que la eficiencia de filtración según el fabricante del 98,67% que poseen los filtros, no alcanza el nivel de limpieza requerido debido a su capacidad de filtrado.
- Como solución tecnológica para obtener el óptimo nivel de limpieza del aceite lubricante para esta aplicación, se optó por la implementación del sistema de filtrado submicrón paralelo al sistema principal existente. Debido a que se alcanza una capacidad de filtrado nominal de 1 micra.

seleccionados por su alta eficiencia de filtración: el sistema de filtrado submicrón %opción A+no logró resultados positivos en cuanto al nivel de limpieza del aceite, mientras que el sistema de filtrado submicrón %opción B+logró una eficiencia de limpieza del 91, 26%.

- En el análisis costo . beneficio de la aplicación de la solución óptima, se tiene una relación de 3,8; la cual significa que en términos financieros el beneficio es 3,8 veces mayor que el valor del costo anual.

En lo concerniente a la hipótesis planteada inicialmente, tenemos:

- El sistema de filtrado submicrón %opción B+, es el que más se aproxima al nivel de limpieza recomendado para motores a diesel, que es el ISO 17/16/13. Ya que de un ISO 22/21/19 se alcanzó un ISO 19/18/15, logrando una limpieza considerable en el sistema de control de lubricación del motor Caterpillar.
- En el alargamiento de la vida útil del aceite lubricante, con el sistema de filtrado submicrón %opción A+ se verificó un pequeño aumento en el período de tiempo para realizar el cambio de aceite lubricante aunque en el historial se tiene presente dicho aumento con un dato previo a la implementación, por lo que no se considera significativo dicho resultado. Mientras que con el sistema de filtrado submicrón %opción B+no se logró alargar la vida útil del aceite lubricante, aunque existe un factor que puede haber influido ya que ese motor ha sufrido un considerable desgaste, tomando en cuenta que está próximo a su overhaul.
- En cuanto a los costos de mantenimiento se puede estimar una reducción, tomando en cuenta que al mejorar el nivel de limpieza del aceite lubricante se alcanzó un factor de alargamiento de los elementos del motor igual al doble, es decir que cada overhaul se lo realizará cada 70000 horas de funcionamiento.

- Se debe buscar aproximarse al código de limpieza del aceite lubricante recomendado según la aplicación, para poder alcanzar el tiempo de vida útil del equipo según su fabricante.
- Solicitar a los proveedores de los sistemas de microfiltración, los certificados que se consideren necesarios para verificar la capacidad y eficiencia de filtración que se requiere.
- Es importante continuar con las pruebas para verificar posteriormente el nivel de desgaste de los elementos del motor luego de la implementación del sistema de filtrado submicrón.
- Se recomienda adquirir un laboratorio para análisis de aceite, para desarrollar los reportes en el campo y lograr realizar una acción preventiva eficiente.
- Se debe realizar un seguimiento con los análisis de aceite sobre la condición de los motores y del aceite lubricante, para corroborar si se puede lograr extender paulatinamente el período entre cambios de aceite.
- Hay que realizar esta implementación de los filtros submicrón inicialmente en los motores críticos y en los que recientemente hayan salido de su overhaul, para así lograr alcanzar una prolongación de la vida útil de los elementos controlando la contaminación desde la etapa de asentamiento de la máquina.
- Es importante utilizar el equipo de protección personal en cada acción que se realice en los motores al estar en el campo, incluyendo guantes de látex para evitar el contacto de la piel con el aceite lubricante al realizar el cambio del elemento filtrante.

- EXXONMOVIL, Manual de mantenimiento y ATL. Bogotá, junio 2001 .
- CATERPILLAR, El aceite lubricante y su motor. Estados Unidos, 2001.
- REPSOL YPF, Seminario de lubricantes para motores estacionarios, 2008.
- ALBARRACÍN, P. Seminario lubricación efectiva. Guayaquil-Ecuador, 2008.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Traducido del inglés por ELLMANN, S. Reino Unido, Aladon, 2004.
- ESPAÑA. UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA. Mantenimiento predictivo - proactivo a través del análisis de aceite, 2002.
- MARTÍNEZ, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España, Reverté, 2005.
- AGUILAR, J. Tecnología Industrial. Hidrafilter. Cambios en la norma ISO para las inminentes tecnologías de filtración. 2000. pp. 75-78.
- Filter Manufacturers Council. Boletín de Servicio Técnico 04-2R. Estados Unidos.
- SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. Traducido por Javier León Cárdenas. Sexta ed. McGraw-Hill, 2005.
- ASTM D 2896
- ASTM D 95, 2005
- ASTM D 893, 2005
- ASTM D 93, 2002
- ISO 4406:1999(E)
- www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm
- www.amc.edu.au



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

- www.cjc.dk
- www.widman.biz
- www.filtercouncil.org
- www.fluidlife.com
- www.noria.com
- www.ingenierosdelubricación.com
- www.predic.com
- www.mcatronic.com
- www.escuelaraggio.edu.ar
- www.alcion.es
- www.scribd.com/doc/2192293/MATRIZ-FODA



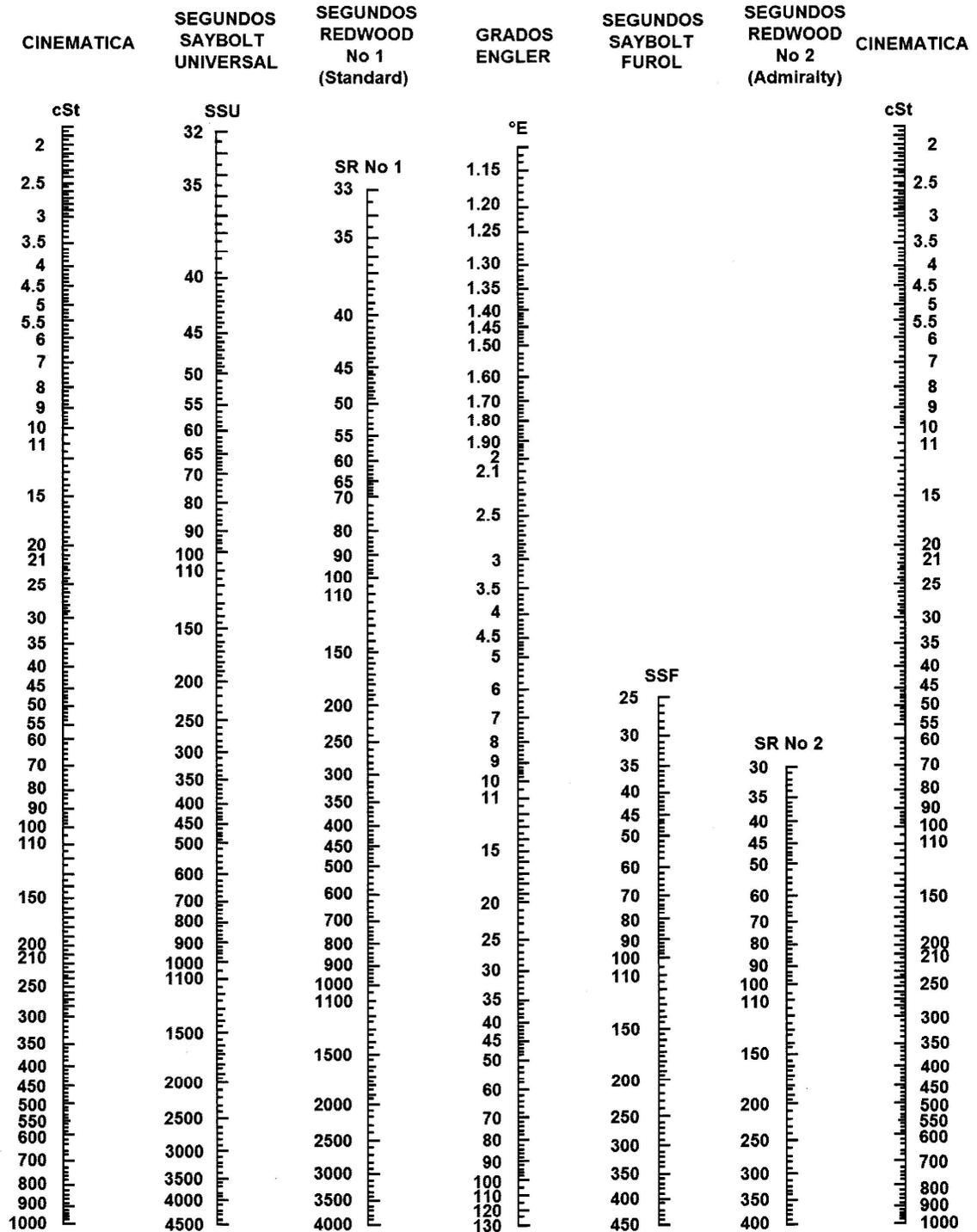
*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ANEXOS

ANEXO A

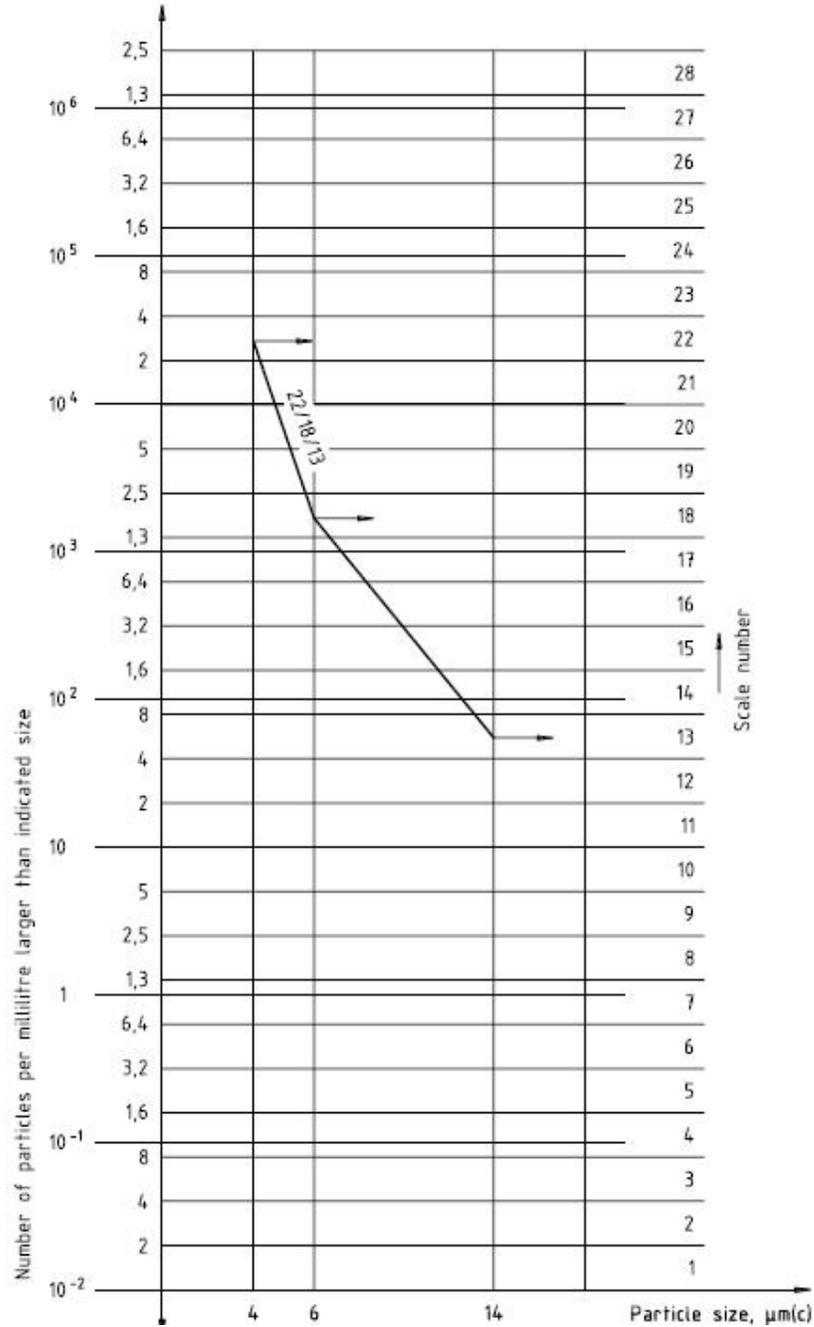
Carta de conversión de la viscosidad a cualquier temperatura



ANEXO B

Presentación gráfica del código ISO 4406:99

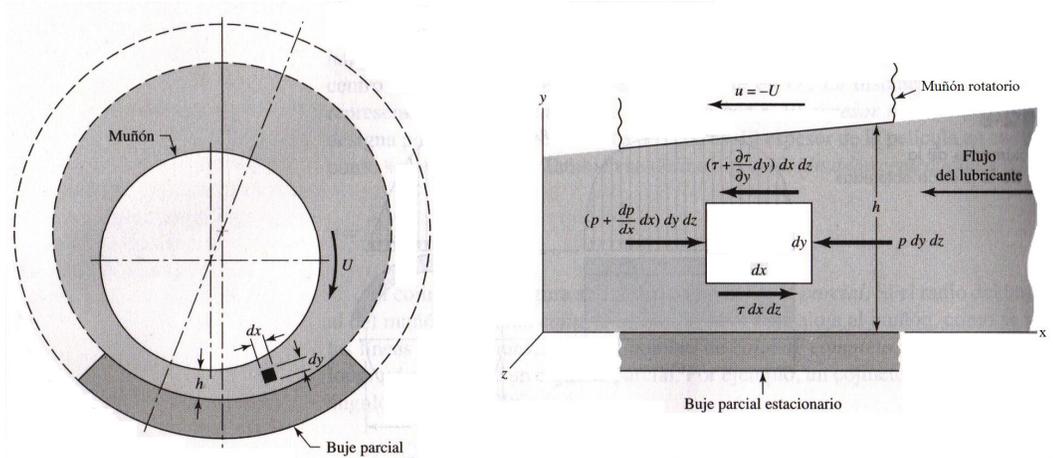
ISO 4406:1999(E)



NOTE: Quote scale number at 4 $\mu\text{m(c)}$, 6 $\mu\text{m(c)}$ and 14 $\mu\text{m(c)}$ levels for automatic particle counters.

ANEXO C

Teoría hidrodinámica¹⁵



Ahora se seleccionan un elemento de lubricante en la película de dimensiones dx , dy y dz y se calculan las fuerzas que actúan en los lados de este elemento. Como aparece en la figura, las fuerzas normales, debidas a la presión, actúan sobre las caras derecha e izquierda del elemento; y las fuerzas cortantes, debidas a la viscosidad y a la velocidad, actúan sobre las caras superior e inferior. Sumando dichas fuerzas se tiene

$$\sum F = \left(p + \frac{dp}{dx} dx \right) dy dz + \tau dx dz - \left(\tau + \frac{d\tau}{dy} dy \right) dx dz - p dy dz = 0 \quad (a)$$

Esto se reduce a

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (b)$$

De la ecuación $\tau = \frac{F}{A}$, se concluye

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (c)$$

Donde la derivada parcial se usa porque la velocidad u depende de x y y . Sustituyendo la ecuación (c) en la (b), se obtiene

$$\frac{dp}{dx} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (d)$$

¹⁵ SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. Sexta ed. McGraw-Hill, 2005. pp 760-765.

ahora se integra dos veces la expresión con respecto

a y . Lo cual da

$$\frac{du}{dy} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} y + C_1$$

$$u = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} y^2 + C_1 y + C_2 \quad (e)$$

Note que al ser x constante, C_1 y C_2 son funciones de x . Ahora se supone que no hay deslizamiento entre el lubricante y las superficies limítrofes. De aquí se originan dos conjuntos de condiciones de frontera para la evaluación de las constantes C_1 y C_2 :

$$\begin{aligned} y=0 & \quad y=h \\ u=0 & \quad u=-U \end{aligned}$$

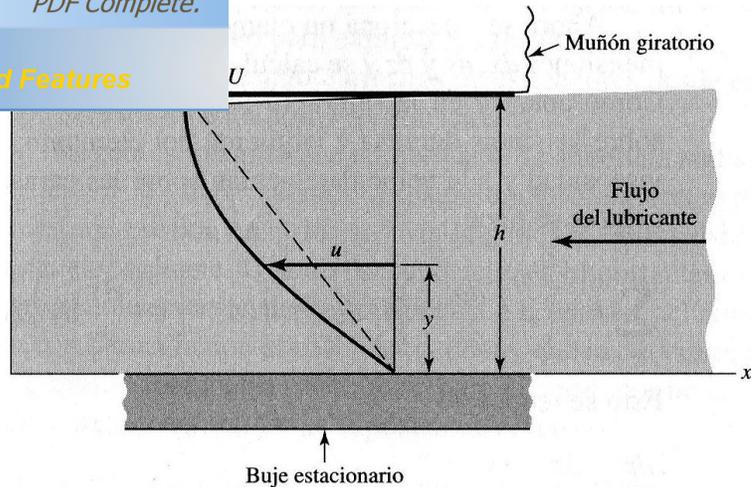
Observe, en la segunda condición, que h es una función de x . Sustituyendo dichas condiciones en la ecuación (e) y despejando para las constantes, se obtiene

$$C_1 = -\frac{U}{h} - \frac{h}{2\mu} \frac{dp}{dx} \quad C_2 = 0$$

o

$$u = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} (y^2 - hy) - \frac{U}{h} y \quad (\text{ec.1})$$

La ecuación proporciona la distribución de la velocidad del lubricante en la película como una función de la coordenada y y el gradiente de presión dp/dx . La ecuación evidencia que la distribución de la velocidad a lo largo de la película (desde $y=0$ hasta $y=h$) se obtiene superponiendo una distribución parabólica (el primer término) en una distribución lineal (el segundo término). En la siguiente figura se ilustra la superposición de los dos términos para obtener la velocidad de valores particulares para x y dp/dx . En general, el término parabólico puede sumarse o restarse al término lineal, según sea el signo del gradiente de presión.



Cuando la presión es un máximo, $dp/dx=0$ y la velocidad está dada por

$$u = -\frac{U}{h} y \tag{g}$$

la cual muestra una relación lineal.

En seguida se define Q como el volumen de lubricante que fluye en la dirección x por unidad de tiempo. Con un ancho en la dirección z , el volumen se obtiene mediante la expresión

$$Q = \int_0^h u dy \tag{h}$$

Sustituyendo el valor de u de la (ec.1) e integrando,

$$Q = -\frac{Uh}{2} - \frac{h^3}{12\mu} \frac{dp}{dx} \tag{i}$$

En el siguiente paso se asume un lubricante incompresible y se establece que el flujo sigue siendo el mismo para cualquier sección transversal. De esta manera,

$$\frac{dQ}{dx} = 0$$

De la ecuación (i),

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) = -6U \frac{dh}{dx} \quad (1)$$

o

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) = -6U \frac{dh}{dx} \quad (\text{ec. 2})$$

la cual es la clásica ecuación de Reynolds para flujo unidimensional. En ella se ignoran las fugas laterales, es decir, el flujo en la dirección z. Un desarrollo similar se aplica cuando no se ignoran las fugas laterales. La ecuación resultante es

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = -6U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (\text{ec. 3})$$

ANEXO D1

Historial del motor MG 601-6

CODIGO MAQUINA MG 601-6 DESCRIPCION CAT 3516-DI COMPONENTE MOTOR VOLUMEN DEL CARTER 110 GAL LUBRICANTE RIMULA SUPER 15W-40 DHD-1		Informe de Análisis Servicio Diagnóstico de Equipos								
Solicitud No.	51233	51226	50575	49951	49547	49212	48671	48153	47905	
Fecha Muestra	11/05/2008	06/05/2008	15/02/2008	08/01/2008	27/11/2007	27/09/2007	24/09/2007	28/07/2007	21/07/2007	
Horas Aceite	958	193	917	1179	957	1000	996	949	266	
Horómetro	9735	8660	7808	6891	5912	4955	3954	2958	2266	
CONDICION DEL LUBRICANTE										
Color	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	
Viscosidad a 100 C (cSt)	13,76	15,2	14,01	12,61	12,86	13,11	13,05	12,95	13,54	
Viscosidad a 40 C (cSt)										
Indice de viscosidad										
Punto de Inflamacion (C)										
Insolubles Tolueno (%Wt)										
Insolubles en Pentano (% Peso)										
Contenido de Agua (% Vol)	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	
TBN (mg KOH/g)	7,62	8,71	0,55	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	3,33	
TAN-C (mg KOH/g)										
CONDICION DEL EQUIPO										
Cobre (Cu)	3	7	4	10	13	19	52	215	66	
Hierro (Fe)	8	55	22	31	29	27	28	32	7	
Cromo (Cr)	0	1	0	1	2	2	2	2	0	
Plomo (Pb)	0	0	3	2	0	3	2	2	0	
Aluminio (Al)	1	3	3	2	2	2	2	2	0	
Silicio (Si)	2	4	5	3	1	5	4	0	0	

Fuente: JCC.Shell

ANEXO D2

Historial del motor MG 1001-1

CODIGO MAQUINA MG 1001-1 DESCRIPCION CAT 3512-DI COMPONENTE MOTOR VOLUMEN DEL CARTER 167 GAL LUBRICANTE RIMULA SUPER 15W-40 DHD-1		Informe de Análisis Servicio Diagnóstico de Equipos								
Solicitud No	51893	50938	50569	49234	48681	48257	47898	46715	46109	
Fecha Muestra	28/06/2008	03/04/2008	18/02/2008	12/11/2007	24/09/2007	08/07/2007	21/07/2007	19/02/2007	30/12/2006	
Horas Aceite	1004	1074	1058	1076	1002	1160	1000	910	1041	
Horómetro	78469	76396	75322	73300	72224	71222	70188	67120	66089	
CONDICION DEL LUBRICANTE										
Color	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	
Viscosidad a 100 C (cSt)	13,66	14,31	13,2	13,49	13,7	13,97	13,1	13,02	13,19	
Viscosidad a 40 C (cSt)										
Indice de viscosidad										
Punto de Inflamacion (C)										
Insolubles Tolueno (%Wt)										
Insolubles en Pentano (% Peso)										
Contenido de Agua (% Vol)	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	
TBN (mg KOH/g)	N/D	6,55	0,34	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
TAN-C (mg KOH/g)										
CONDICION DEL EQUIPO										
Cobre (Cu)	5	4	8	3	4	5	3	8	8	
Hierro (Fe)	21	18	16	23	23	24	19	27	34	
Cromo (Cr)	0	0	0	0	1	1	0	2	2	
Plomo (Pb)	0	2	0	1	0	2	0	0	2	
Aluminio (Al)	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
Silicio (Si)	1	4	2	6	4	3	0	3	5	

Fuente: JCC.Shell

ANEXO E

Fórmulas de los elementos de una carta de control

Promedio

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Límites de control

$$Lc = \bar{X} \pm 2\sigma \quad \text{Alerta}$$

$$Lc = \bar{X} \pm 3\sigma \quad \text{Crítico}$$

Límites de especificación

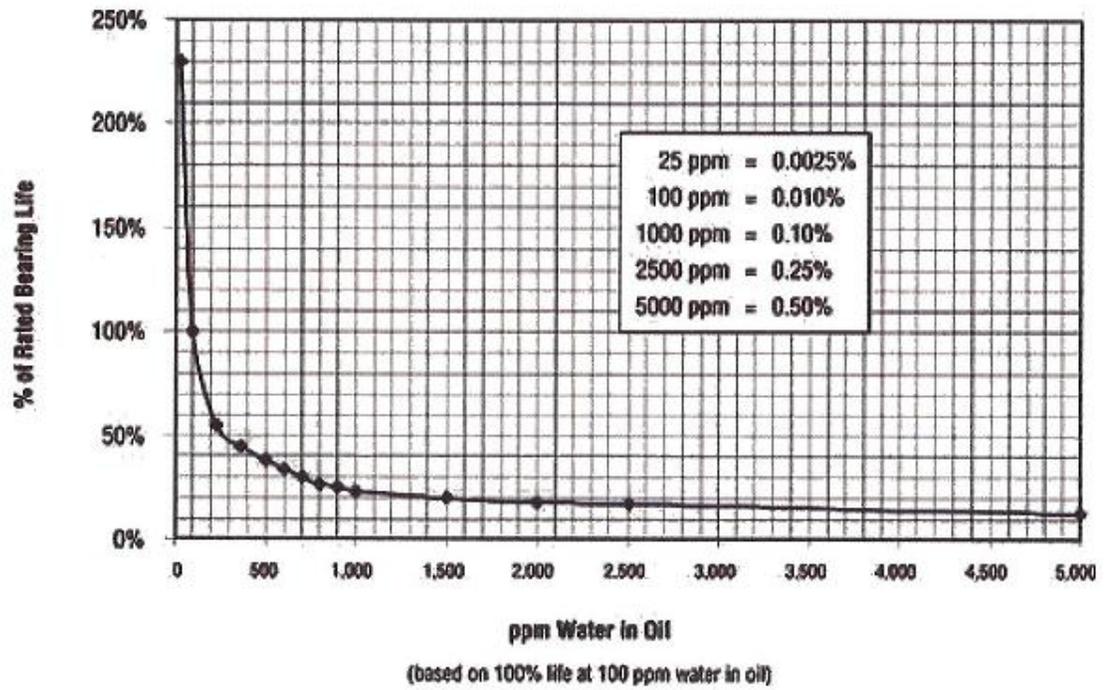
Son límites dados por el fabricante, una norma o tolerancias.

$$\text{Especificación} = Vn_{-(Vn-Lei)}^{+(Les-Vn)}$$

$$Vn = \frac{Les + Lei}{2} \quad \text{Valor nominal}$$

ANEXO F

Agua en el Aceite



ANEXO G

Estándares ISO¹⁶

"¿Aparte de la prueba de filtros "multi-pass", qué otros estándares ISO existen para la evaluación del desempeño de los filtros que se puedan usar objetivamente para la selección de un filtro?"

El estándar de ISO para la prueba multi-pass (ISO 16889) ha cambiado recientemente para requerir que los fabricantes de filtros publiquen sus resultados para la tasa Beta mediante un rango amplio de diferentes tamaños: 2, 20, 75, 100, 200 y 1000 micrones. Históricamente la tasa Beta de filtración podía publicarse ya fuera con tasa Beta 75 o 200 como "Absolutos". El nuevo estándar proporciona una mejor interpretación del desempeño general del filtro y puede ser comparado adecuadamente con otras ofertas de filtros. Además de la información de la nueva prueba multi-pass, considere las siguientes pruebas:

- ISO 2941 - 1974 - Verificación de la resistencia a colapso/estallido
- ISO 2942 - 1994 - Verificación de integridad de fabricación y determinación del primer punto de burbuja.
- ISO 2943 - 1998 - Verificación de compatibilidad de los materiales con los fluidos
- ISO 3723 - 1976 - Método de prueba de carga final
- ISO 3724 - 1976 - Verificación de características de fatiga por flujo
- ISO 3968 - 1981 - Evaluación de caída de presión versus características de flujo

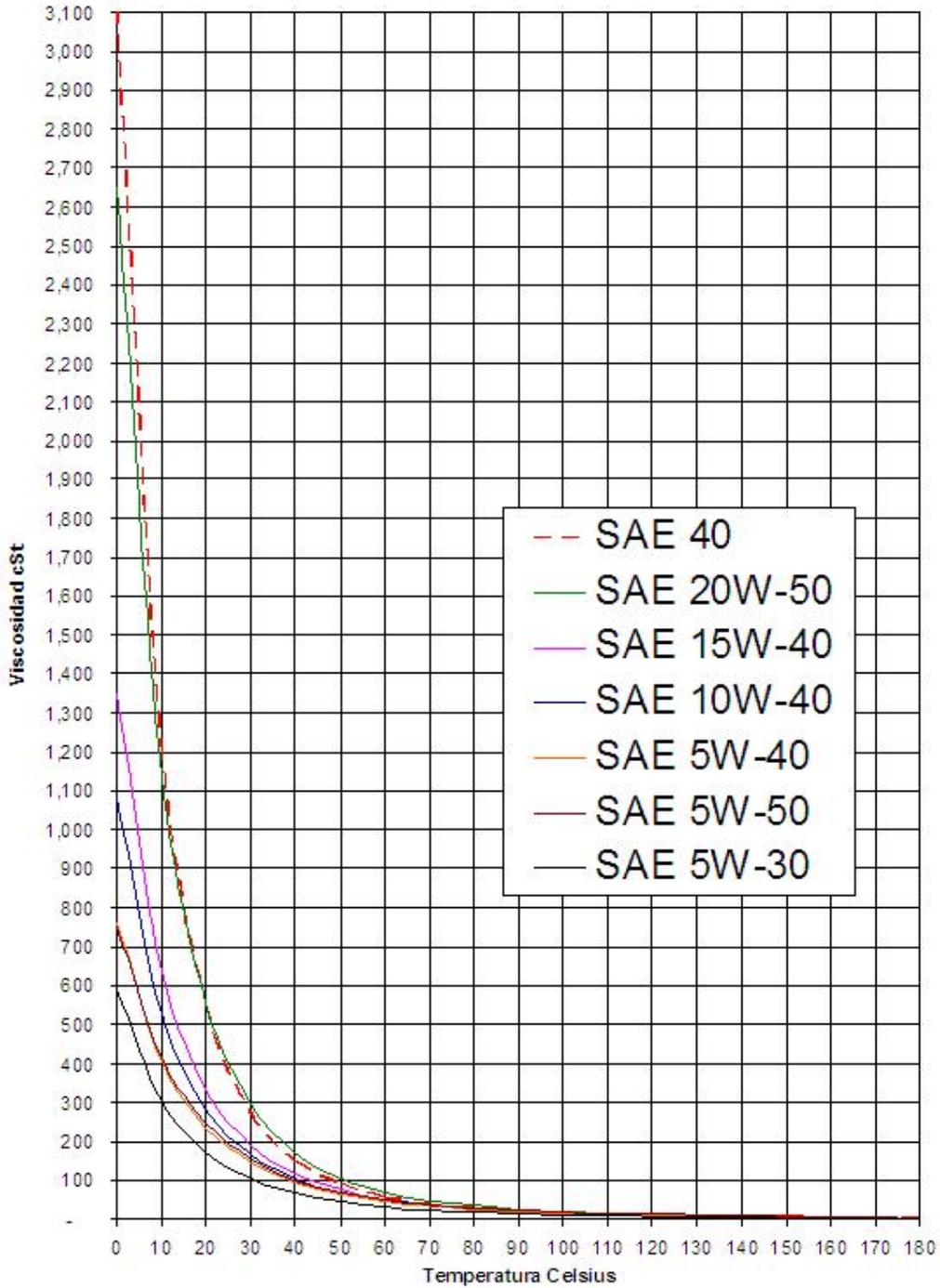
Estas pruebas adicionales son muy útiles para comparación cuando se deba instalar un filtro en una aplicación con un lubricante poco usual o en una condición de contaminación extrema en una pieza de trabajo muy sensible, un sistema de potencia con altas presiones o maquinaria con aplicaciones de seguridad críticas. Cuando seleccione filtros para un sistema no crítico o que no presenta requerimientos especiales, la evaluación deberá centrarse en la información de la Tasa Beta o eficiencia de filtración proporcionada por su proveedor de filtros, adicionalmente a otros criterios de servicio y comerciales.

¹⁶ www.noria.com/sp/recursos/lubetips/v11/lt34.asp

ANEXO H

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Comparación entre aceites de motor (Viscosidad vs. Temperatura)¹⁷

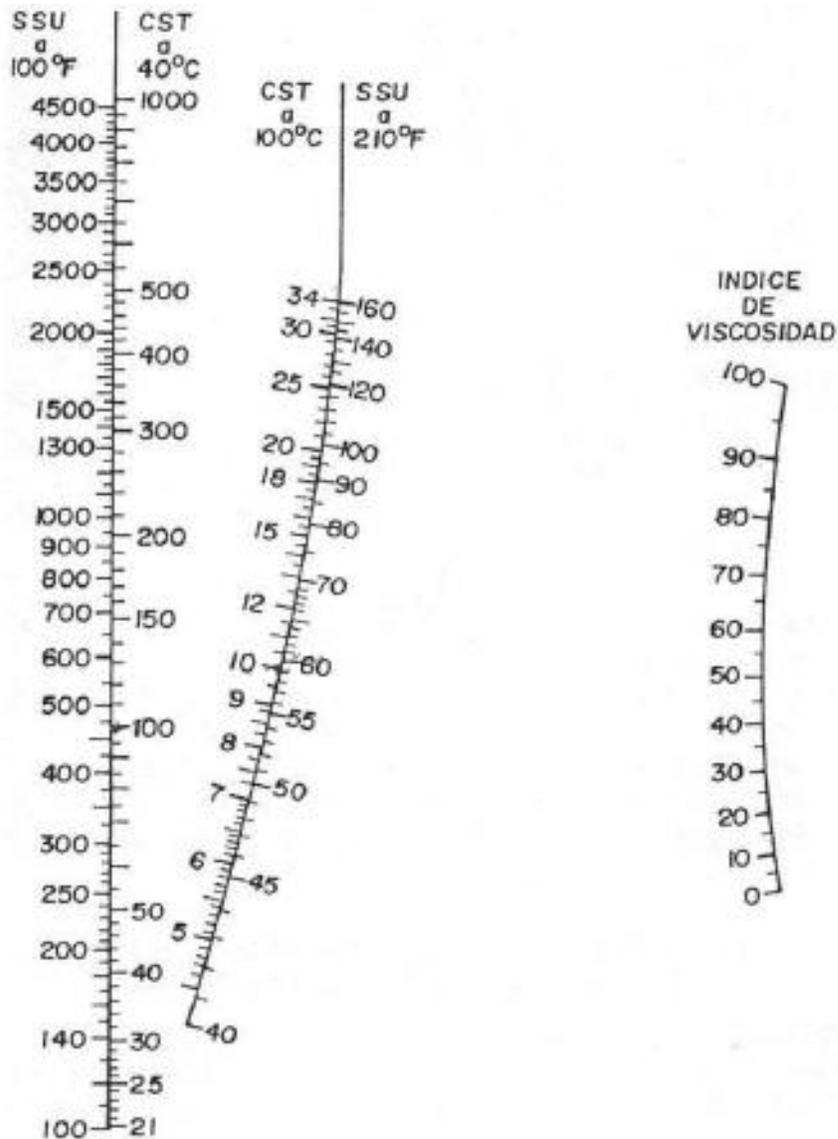


¹⁷ www.lubricantesquique.com.ar

ANEXO I

Gráfico para hallar el índice de viscosidad en función de la viscosidad del aceite en cSt a 40°C y a 100°C. Índice de viscosidad entre 0 Æ 100.¹⁸

Método ASTM 2270

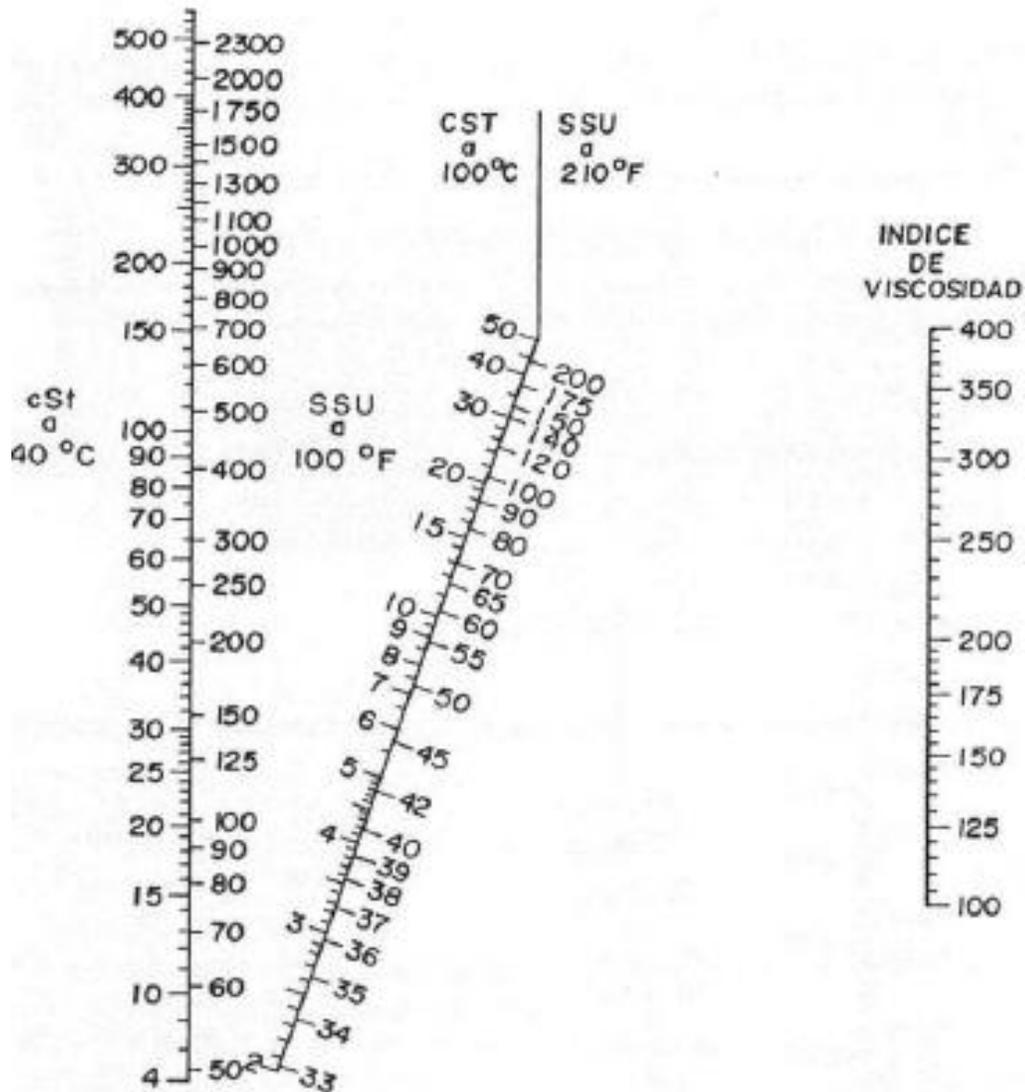


¹⁸ALBARRACÍN, P. Seminario lubricación efectiva. Guayaquil - Ecuador, 2008.

ANEXO J

Gráfico para hallar el índice de viscosidad en función de la viscosidad del aceite en cSt a 40°C y a 100°C. Índice de viscosidad entre 100 Æ 400.¹⁸

Método ASTM 2270



¹⁸ ALBARRACÍN, P. Seminario lubricación efectiva. Guayaquil - Ecuador, 2008.