



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS  
GENERADORES DIESEL FG WILSON, CUMMINS,  
HIMOINSA DE LA EMPRESA SOCIEDAD MINERA LIGA  
DE ORO S.A. MEDIANTE FERROGRAFÍA ANALÍTICA”**

**SISALIMA JIMÉNEZ WILMER STALIN**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

# **INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

---

2015-03-13

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**SISALIMA JIMÉNEZ WILMER STALIN**

Titulado:

**“MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS GENERADORES DIESEL FG  
WILSON, CUMMINS, HIMOINSA DE LA EMPRESA SOCIEDAD MINERA  
LIGA DE ORO S.A. MEDIANTE FERROGRAFÍA ANALÍTICA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Antonio Granizo  
**DIRECTOR**

---

Ing. Hernán Samaniego Santillán  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** SISALIMA JIMÉNEZ WILMER STALIN

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS GENERADORES DIESEL FG WILSON, CUMMINS, HIMOINSA DE LA EMPRESA SOCIEDAD MINERA LIGA DE ORO S.A. MEDIANTE FERROGRAFÍA ANALÍTICA”

**Fecha de Examinación:** 2016-01-15

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Haro Medina <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. José Antonio Granizo <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Hernán Samaniego Santillán <b>ASESOR</b>			

\*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Dr. Marco Haro Medina  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Sisalima Jiménez Wilmer Stalin**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Wilmer Stalin Sisalima Jiménez, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Wilmer Stalin Sisalima Jiménez**  
Cédula de Identidad: 070394083-3

## **DEDICATORIA**

Todo mi esfuerzo, dedicación y esmero está reflejado en este gran paso de mi vida como estudiante, dedico a un ser tan maravilloso que ha compartido conmigo alegrías, penas, angustias, etc., sus consejos y apoyo incondicional son y serán muy valiosos para mí durante toda mi vida, ya que esto no termina aquí esperando que siempre estés a mi lado TE AMO Mireya Jiménez, Madre de mi Alma.

**Wilmer Stalin Sisalima Jiménez**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Dios todo poderoso quién me ha guiado por el camino correcto de la vida brindándome fuerza y carácter para salir adelante ante las adversidades de la vida.

A un ser tan maravilloso como es mi mamita querida Mireya Jiménez S., por confiar en mí y a la vez por demostrarme que puedo salir adelante cumpliendo con mis metas siendo perseverante.

A mis hermanos Ronald, Vanessa y Jefferson, quienes los admiro y me han apoyado durante toda mi carrera de manera incondicional.

A mi novia Mercy Sanmartín y Sra. Flora Ullaguari, por brindarme el apoyo necesario día a día durante mis estudios.

Al Director de Trabajo de Titulación Ing. José Granizo PhD y al Asesor Ing. Hernán Samaniego, quienes mediante su orientación y sabios conocimientos e desarrollado de manera satisfactoria mi trabajo de titulación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería en Mantenimiento, por la formación impartida en cada una de sus aulas por medio de docentes responsables y llenos de buenas virtudes.

A la empresa Sociedad Minera Liga de Oro S.A., por permitirme ingresar en sus instalaciones y poner en práctica mis conocimientos técnicos en sus equipos de generación eléctrica.

**Wilmer Stalin Sisalima Jiménez**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Importancia de la lubricación en la operación de los motores diésel acoplados a los generadores eléctricos.....	5
2.2 Importancia del mantenimiento basado en la lubricación.....	6
2.2.1 <i>Lubricación en el mantenimiento correctivo</i> .....	7
2.2.2 <i>Lubricación en el mantenimiento preventivo</i> .....	8
2.3 Método de inspección del estado del lubricante.....	8
2.4 Ferrografía.....	9
2.4.1 <i>Ferrografía analítica</i> .....	10
2.5 Software Q Capture x64.....	11
<b>3. MUESTREO DE ACEITE</b>	
3.1 Pasos para la toma de muestra de manera fácil y confiable.....	12
3.2 Planificación de acciones.....	13
3.3 Técnicas de muestreo.....	13
3.4 Selección de puntos de muestreo.....	14
3.5 Control visual de la muestra y su diagnóstico.....	14
3.6 Desgaste interno que presenta un motor acoplado a un generador diésel.....	15
3.6.1 <i>Desgaste</i> .....	15
3.6.2 <i>Desgaste anormal del conjunto camisa-segmentos</i> .....	16
3.6.3 <i>Desgaste anormal del pistón o alojamientos de los segmentos</i> .....	17
3.6.4 <i>Desgaste anormal de cojinetes de deslizamiento</i> .....	17
3.7 Selección del equipo de análisis de muestras.....	18
3.8 Equipo de análisis de muestras.....	18
3.9 Procedimiento de muestreo.....	19
3.9.1 <i>Método del grifo o válvula de muestreo</i> .....	19
3.9.2 <i>Método de la bomba de muestreo</i> .....	19
3.9.3 <i>Método del tapón de drenaje</i> .....	19
<b>4. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS</b>	
4.1 Introducción.....	21
4.2 Ferrógrafo.....	21
4.3 Microscopio bicromático.....	22
4.3.1 <i>Características y beneficios</i> .....	23
4.4 Cámara digital y software.....	25
4.4.1 <i>Características y beneficios</i> .....	25
4.4.2 <i>Software Q Capture X64</i> .....	26

4.4.3	<i>PC de escritorio</i> .....	27
4.5	Generadores diésel o grupo electrógeno .....	28
4.5.1	<i>Clasificación de viscosidad SAE para lubricantes de motor de combustión interna</i> .....	30
4.5.2	<i>Generador diésel o grupo electrógeno FG. WILSON</i> .....	31
4.5.2.1	<i>Ubicación de componentes del motor diésel PERKINS</i> .....	32
4.5.3	<i>Generador diésel o grupo electrógeno CUMMINS</i> .....	33
4.5.3.1	<i>Ubicación de componentes del motor diésel CUMMINS</i> .....	34
4.5.4	Generador diésel o grupo electrógeno HIMOINSA .....	35
4.5.4.1	<i>Ubicación de componentes del motor diésel HIMOINSA</i> .....	36
4.6	Toma de muestras .....	37
4.7	Técnica empleada para la toma de muestras .....	37
4.8	Cantidad de ensayos .....	38
4.9	Imágenes obtenidas por muestra .....	39
4.10	Obtención de ferrogramas .....	40
4.11	Procedimiento del ensayo .....	42
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	
5.1	Interpretación del análisis de muestra de aceite del motor PERKINS del generador diésel FG WILSON. ....	47
5.2	Interpretación del análisis de muestra de aceite del motor CUMMINS del generador diésel CUMMINS. ....	49
5.3	Interpretación del análisis de muestra de aceite del motor MITSUBISHI del generador diésel HIMOINSA. ....	51
5.4	Comparación de resultados obtenidos con el software .....	52
5.4.1	<i>Comparación de imágenes de muestras de aceite realizadas en el motor diésel PERKINS.</i> .....	53
5.4.2	<i>Comparación de imágenes de muestras de aceite realizadas en el motor diésel CUMMINS</i> .....	55
5.4.3	<i>Comparación de imágenes de muestras de aceite realizadas en el motor diésel MITSUBISHI.</i> .....	57
5.5	Discusiones finales .....	59
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones .....	64
6.2	Recomendaciones .....	65

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Especificaciones del microscopio bicromático BX 51 Olympus ..... 24
2	Clasificación de servicio API para motores a diésel ..... 29
3	Clasificación de viscosidad SAE J-300-09..... 31
4	Datos técnicos del motor diésel PERKINS ..... 32
5	Datos técnicos del motor diésel CUMMINS ..... 34
6	Datos técnicos del motor diésel MITSUBISHI ..... 36
7	Fechas cuando se realizó la toma de muestras de aceite ..... 37

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Conjunto camisa-segundo ..... 16
2	Pistón y brazo de biela ..... 17
3	Cojinetes..... 17
4	Equipo de ferrografía analítica..... 18
5	Ferrógrafo T2FM Q500..... 22
6	Microscopio bicromático BX 51 Olympus ..... 23
7	Cámara Q Color 5 Olympus..... 25
8	Programa Q Capture x 64..... 27
9	Imagen predeterminada de muestra de aceite ..... 27
10	Motor a diésel PERKINS, vista lateral izquierda..... 32
11	Motor a diésel PERKINS, vista lateral derecha ..... 33
12	Motor a diésel CUMMINS, vista lateral derecha..... 34
13	Motor a diésel CUMMINS, vista lateral izquierda ..... 35
14	Motor a diésel MITSUBISHI, vista frontal ..... 36
15	Ferrograma-muestra uno-PERKINS ..... 39
16	Imagen Opt. M. 100X-2.5 $\mu\text{m}$ - PERKINS ..... 39
17	Ferrograma-muestra uno-CUMMINS..... 39
18	Imagen Opt. M. 100X-1.5 $\mu\text{m}$ – CUMMINS..... 40
19	Ferrograma-muestra uno-MITSUBISHI..... 40
20	Imagen Opt. M. 100X-2.5 $\mu\text{m}$ – MITSUBISHI..... 40
21	Preparación de ferrograma ..... 41
22	Ferrograma ..... 41
23	Inspección visual..... 42
24	Colector de disolvente..... 44
25	Imagen de muestra de aceite N° 1-PERKINS ..... 47
26	Imagen de muestra de aceite N° 2-PERKINS ..... 48
27	Imagen de muestra de aceite N° 3-PERKINS ..... 48
28	Imagen de muestra de aceite N° 4-PERKINS ..... 49
29	Imagen de muestra de aceite N° 1-CUMMINS..... 49
30	Imagen de muestra de aceite N° 2-CUMMINS..... 50
31	Imagen de muestra de aceite N° 3-CUMMINS..... 50
32	Imagen de muestra de aceite N° 4-CUMMINS..... 50
33	Imagen de muestra de aceite N° 1-MITSUBISHI..... 51
34	Imagen de muestra de aceite N° 2-MITSUBISHI..... 51
35	Imagen de muestra de aceite N° 3-MITSUBISHI..... 52
36	Imagen de muestra de aceite N° 4-MITSUBISHI..... 52
37	Ferrograma N° 1 de lubricante 15W-40, partículas de silicio-PERKINS ..... 53
38	Ferrograma N° 2 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y silicio-PERKINS .... 54

39	Ferrograma N° 3 de lubricante 15W-40, partículas de Agua y óxidos-PERKINS .....	54
40	Ferrograma N° 4 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y silicio-PERKINS ....	55
41	Ferrograma N° 1 de lubricante 15W-40, partículas de aluminio-CUMMINS .....	55
42	Ferrograma N° 2 de lubricante 15W-40, partículas de silicio-CUMMINS.....	56
43	Ferrograma N° 3 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y silicio-CUMMINS..	56
44	Ferrograma N° 4 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y agua-CUMMINS....	57
45	Ferrograma N° 1 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y óxidos metálicos- MITSUBISHI.....	57
46	Ferrograma N° 2 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y óxidos metálicos- MITSUBISHI.....	58
47	Ferrograma N° 3 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y Fe-MITSUBISHI .....	58
48	Ferrograma N° 4 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y fibras- MITSUBISHI.....	59

## LISTA DE ABREVIACIONES

SOMILOR	Sociedad Minera Liga de Oro
SA	Sociedad Anónima
DIN	Instituto Alemán de Normalización
ISO	Normas Internacionales para la Estandarización
KVA	Kilo Voltamperio
MCIA	Motores de Combustión Interna Alternativo
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
mm	Milímetros
min	Minutos
GOST	Gosudarstvenny Standart
cc	Centímetros Cúbicos
ASTM	American Society for Testing of Materials
CD	Corriente Continua
W	Watt
V	Voltios
UIS	Universal Infinity Sistem
DIC	Differential Interference Contrast
ND	Neuter Density
°	Grados
°C	Grados Celsius
API	American Petroleum Institute
W	Winter
SAE	Society of Automotive Engineers
cSt o cS	Centistokes
cP o cps	Centipoise
Kg	Kilogramo
gal	Galón
ECM	Módulo de Control Electrónico
Opt. M.	Optic Measure
GFGW	Generador FG WILSON
GC	Generador CUMMINS
GH	Generador HIMOINSA
Fe	Hierro
Si	Silicio

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Procedimiento de muestreo en los motores diésel de los generadores
- B** Recolección de datos de muestras de aceite en generadores diésel
- C** Programa de muestreo de aceite
- D** Características de aceites SAE 15W-40 y SAE 30
- E** Materiales y herramientas para la realización de los ensayos
- F** Diagnóstico total del motor diésel motor diésel PERKINS-generador FG WILSON
- G** Diagnóstico total del motor diésel CUMMINS-generador CUMMINS
- H** Diagnóstico total del motor diésel MITSUBISHI-generador HIMOINSA
- I** Tabla de conversión de viscosidades y temperatura
- J** Tabla de comparación de viscosidades de aceite
- K** Ubicación de equipos
- L** Tabla de frecuencia de muestreo norma ISO 4021

## **RESUMEN**

El objetivo de este Trabajo de Titulación es desarrollar un mantenimiento predictivo de los generadores diésel FG. WILSON, CUMMINS, HIMOINSA de la empresa Sociedad Minera Liga de Oro S.A. (SOMILOR S.A.) mediante ferrografía analítica. Esta empresa se encuentra situada en el Cantón Camilo Ponce Enríquez, en la Provincia de El Oro, se encargan de la exploración, explotación de las minas y extracción de oro.

En la presente investigación se detalla la evolución de la ferrografía analítica como técnica auxiliar de mantenimiento, la efectividad de la técnica de análisis de aceite como herramienta predictiva en los generadores diésel de la empresa SOMILOR S.A., mediante la descripción de pasos y técnicas de toma de muestras de aceite.

Para el análisis de muestras de aceite se utilizó el preparador de ferrogramas o ferrógrafo dispuesto en la norma ASTM D7690, microscopio bicromático, cámara digital Q Color 5 y el software Q Capture. El análisis y la interpretación de resultados de cada uno de los ensayos realizados en los motores de combustión interna ciclo diésel PERKINS, CUMMINS y MITSUBISHI que se encuentran acoplados a los generadores eléctricos, teniendo en cuenta el estado de los equipos, composición de los elementos internos y un patrón de comparación de imágenes ilustradas en el Wear Particle Atlas TRICO nos ayudarán a la detección de modos de fallos incipientes.

Se recomienda en el caso de realizar monitoreo en los motores diésel, recordar realizar las toma de muestras con las mismas frecuencias según norma ISO 4022, para de esta manera obtener un análisis más exacto de las condiciones del activo a monitorear. Finalmente se adjuntará un manual de procedimientos para el análisis de aceite mediante la ferrografía analítica, conclusiones y recomendaciones respecto a las medidas que deberían tomarse.

## **ABSTRACT**

The objective of this work deals with developing a predictive maintenance of the diesel generators FG. WILSON, CUMMINS, HIMOINSA of the Enterprise Mining Society League of Gold S.A. (SOMILOR S.A.) through analytical ferrography. This enterprise is located in the Camilo Ponce Enriquez Canton, in the El Oro Province; it is in charge of the gold exploration, exploitation and extraction.

This paper describes the evolution of analytical ferrography as an auxiliary maintenance technique, the maintenance importance based on the oil analysis, lubrication as maintenance tasks in the diesel generators of the enterprise SOMILOR S.A., about of the description of the steps and technique of oil sampling.

To the analysis of oil sample the ferrogram preparatory or ferrograph was used in the standard ASTM D7690, bicromatic microscope, digital camera Q Color 5 and Q Capture software. The analysis and interpretation of each essay conducted in the internal combustion motors diesel cycle PERKINS, CUMMINS and MITSUBISHI which are set in the electric generators, taking into account the equipment condition, composition of the internal elements and a pattern of image comparison illustrated in the Wear Particle Atlas TRICO us helped in detecting incipient mode failure.

It is recommended, in the case of performing monitoring in the motor diesel, remember oil sample the same frequency according to standard ISO 4021, to thereby obtain a more accurate analysis of conditions active monitor. Finally, a procedure manual will be enclosed for the oil analysis through the analytical ferrography with conclusions and recommendations on the measures to be taken.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

La Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos de América y otros entes del control de aviación con la finalidad de incrementar la eficiencia, fiabilidad y durabilidad en los motores de las aeronaves realizaron estudios tribológicos de las partículas dispersas en el aceite usado. El lograr la separación de estas partículas y pronosticar el tipo de desgaste que se está dando en los motores de las aeronaves fue una gran incertidumbre, hasta que en la década de 1970 se crea una técnica auxiliar del mantenimiento predictivo de magnetización de partículas denominada ferrografía analítica.

Según la norma DIN 31051, el mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas con el fin de conservar y restablecer la situación ideal, así como las utilizadas para la determinación y evaluación de la situación real de un sistema.

La importancia del mantenimiento basado en el análisis de aceite se enfoca en detectar los síntomas de falla que afectan el estado del lubricante, indicando el nivel de contaminación y el desgaste de los componentes en los motores diésel que trabajan en conjunto con los generadores eléctricos. Por medio de esta técnica de evaluación analítica, y el diagnóstico del estado del equipo se generan estrategias de mantenimiento adecuadas que aportan en la gestión y planificación, específicamente en la eliminación de paradas, a fin de reducir costos y obtener una mayor disponibilidad de los generadores.

El diagnóstico de las condiciones técnicas de los generadores diésel o grupos electrógenos (Generador eléctrico - Motor de combustión interna) ha evolucionado en los últimos años, con ayuda de las diferentes herramientas predictivas entre ellas se encuentran la ferrografía analítica que se basa en el análisis de laboratorio del aceite lubricante brindando así una mayor confiabilidad acerca de lo que sucede en el interior del motor o a su vez en el estado técnico real en que se encuentra.

El análisis de aceite a través de la ferrografía analítica nos permite monitorizar la presencia de partículas metálicas que se encuentran en el lubricante usado empleando la magnetización. De ahí que la toma de muestras de aceite se debe realizar de acuerdo a recomendaciones de la norma ISO 4021 (Observar Anexo L) para motores diésel del equipo electrógeno y así obtener resultados satisfactorios para la toma de decisiones importantes con respecto a los generadores de la empresa SOMILOR S.A.

Cuando se implementa correctamente la técnica de ferrografía cualitativa, esta proporciona una enorme reducción en los costos de inventario. Pero a menudo es excluida de los programas de análisis de aceite por su elevado costo y por una incomprensión general de su valor.

La lubricación es una de las tareas más importantes para la conservación de los generadores acoplados a un motor de combustión interna (MCI) ciclo diésel. En las industrias donde se requiere de un sistema de Standby para la generación de energía y a su vez permitir un desarrollo continuo en el proceso de minería, un programa de análisis de lubricante del motor es muy valioso dentro de las estrategias de mantenimiento. En el siguiente trabajo se presenta una propuesta de mantenimiento predictivo de los generadores diésel a través del análisis ferrográfico del aceite lubricante.

## **1.2 Antecedentes**

La empresa SOMILOR S.A. “Sociedad Minera Liga de Oro” conformada por el Sr. Manuel Rojas y familiares, es una empresa dedicada al negocio de la exploración, explotación y obtención de oro y subproductos de manera responsable, segura, con calidad y cuidando el medio ambiente.

El mantenimiento predictivo bien gestionado ha demostrado que en cualquier tipo de maquinaria que posea un lubricante, ya sean motores de combustión interna, compresores, turbinas, transmisiones y engranes, es una de las herramientas de diagnóstico más ampliamente usadas conjuntamente con el análisis de aceites ayudarán a la determinación de partículas ferrosas, niveles de contaminación y desgaste existentes en el aceite lubricante. El análisis de las condiciones del aceite tiene como objetivo el alargar al máximo la vida útil del equipo y reducir al mínimo la indisponibilidad de las máquinas debido a tareas de mantenimiento.

La ferrografía analítica se posiciona como una de las técnicas más importantes para el análisis de aceite. Cuando es implementada correctamente provee gran información de causa raíz. A pesar de sus capacidades es frecuentemente excluida de los programas de análisis de aceites, debido a que comparativamente, es bastante costosa. Además, es una prueba que requiere tiempo, paciencia y alta habilidad por parte del analista para interpretar los ferrogramas. Por lo tanto, este análisis representa costos significativos que no se presentan en otros análisis de aceites, pero que nos proporciona información valiosa acerca de la evolución del desgaste en las superficies de fricción de los pares tribológicos.

Por otra parte, los beneficios de la ferrografía analítica son muy representativos al lograr una clara identificación de modos de falla que ningún otro análisis provee. (A-MAQ, 2005).

Esta técnica aísla las partículas metálicas existentes en el lubricante y con la posterior observación de las mismas es posible inferir su composición y el tipo de desgaste sufrido por el motor.

### **1.3 Justificación**

Este trabajo presentará los estudios investigativos realizados de manera objetiva, la información que se proporcionará se basa en una técnica de análisis físico de las partículas que tiene por nombre Ferrografía Analítica.

Las muestras de aceite que son objeto de estudio proceden de los generadores diésel o grupos electrógenos FG. WILSON, CUMMINS e HIMOINSA (Observar Anexo K) de la empresa minera SOMILOR S.A. Se extraen siguiendo los correspondientes protocolos de muestreo recomendados por los fabricantes de cada uno de los grupos electrógenos y a la norma ISO 4021 anteriormente citada.

El estudio ferrográfico de las muestras de aceite en motores diesel se llevarán a cabo íntegramente en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los resultados finales serán estructurados en función del tipo de maquinaria y de los tipos de metales y partículas detectadas, mostrando las ventajas del análisis y a su vez el aporte que presenta para la toma de decisiones en el desempeño de la confiabilidad y el

mantenimiento de los equipos electrógenos de la Sociedad Minera Liga de Oro S.A.

Por tal motivo se justifica la ejecución del Trabajo de Titulación debido a que debemos dejar atrás las malas prácticas donde se tomaban las muestras de aceites después que se encontraba un problema interno sea este un ruido excesivo o el deterioro de un componente. El potencial de la ferrografía como técnica predictiva ayudará a una mejor comprensión de los mecanismos de desgaste y de los efectos del lubricante en las superficies de contacto, convirtiéndola a esta versátil tecnología en una de las herramientas de diagnóstico más poderosas para evaluar el estado técnico de la máquina manteniendo su funcionabilidad y proporcionando información valiosa sobre el pasado, condiciones actuales y futuras de los componentes lubricados. Entre los beneficios que se obtendrán, será una reducción de costos de mantenimiento y el aumento de la fiabilidad de los equipos electrógenos en la industria.

## **1.4       Objetivos**

**1.4.1**       *Objetivo general.* Realizar un mantenimiento predictivo de los generadores diésel FG WILSON, CUMMINS, HIMOINSA de la empresa sociedad minera liga de oro s.a. (SOMILOR S.A.) mediante ferrografía analítica.

**1.4.2**       *Objetivos específicos:*

- Determinar la importancia de la ferrografía en el mantenimiento predictivo.
  
- Realizar un muestreo de aceite para el diagnóstico del estado técnico de los generadores.
  
- Realizar el análisis de muestras.
  
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos.
  
- Diagnosticar el tiempo de vida útil.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 **Importancia de la lubricación en la operación de los motores diésel acoplados a los generadores eléctricos.**

Por medio de la lubricación la Industria se mantiene en movimiento. La lubricación es muy fundamental en la generación de grupos electrógenos que utilizan combustible diésel, con potencias que oscilan entre 20 a 3000 kVA. Marcas como MTU (Mercedes Benz), PERKINS, CUMMINS, MITSUBISHI, HIMOINSA, DOOSAN, se encuentran entre las más representativas y estos grupos están constituidos básicamente por un generador de corriente alterna que va acoplado a un motor alternativo de combustión interna (MCIA).

Dentro de las particularidades más significativas de los grupos electrógenos se puede hablar del sistema de lubricación que poseen los modernos motores alternativos los mismos que son muy complejos y tienen encomendados una multiplicidad de tareas trascendentales para la vida del motor.

El aceite es bombeado desde el depósito del cárter a elevada presión y circula a través de una red de pequeños conductos con cambios repentinos de sentido y sección antes de alcanzar las superficies que requieren lubricación y/o enfriamiento.

La lubricación del motor es quizás el elemento individual más importante de un buen programa de mantenimiento. El aceite del motor lubrica las partes del motor sometidas a fricción, proporciona protección contra la corrosión, absorbe y neutraliza los contaminantes, refrigera algunos elementos como los pistones, controla la formación de depósitos y barnices sobre las paredes del motor y en especial en los alojamientos de segmentos, controla la formación de barros, reduce el desgaste y evita el gripado.

Para que el lubricante pueda cumplir satisfactoriamente con las funciones mencionadas debe mantenerse limpio, estar químicamente estable, sin burbujas, libre de combustible y de cualquier otro tipo de contaminante. La degradación y contaminación del lubricante son síntomas para evaluar y monitorizar el estado técnico del lubricante.

Un aspecto fundamental en los generadores diésel es que la presión, temperatura y caudal de lubricación en el motor de combustión interna se mantengan dentro de los rangos apropiados tomando en cuenta para la función que fueron diseñados y las exigencias de trabajo que el motor desempeñará. Además el empleo de aditivos como detergentes y dispersantes ayudarán a mejorar las propiedades de los aceites lubricantes reduciendo la formación de lodos.

## **2.2 Importancia del mantenimiento basado en la lubricación**

Los motores diésel abarcan la amplia mayoría de los impulsores primarios para los generadores de energía STANDBY debido a su confiabilidad, durabilidad y desempeño bajo carga. Los lugares más estratégicos como hospitales, aeropuertos, edificios gubernamentales, instalaciones para telecomunicaciones e incluso plantas de energía nuclear dependen de los generadores diésel para sistema de energía de respaldo.

En las estructuras modernas de mantenimiento, la lubricación se considera como un área con gestión propia. Su aporte y adecuado tratamiento asegura la calidad. Genera beneficios como el incremento de producción, mayor rendimiento de los equipos, la disminución de averías, reducción de consumos de aceites, sobre todo garantiza el cumplimiento de las políticas de medio ambiente, de seguridad y salud ocupacional.

Hoy en día, debido a la evolución técnica de los lubricantes y de los equipos a lubricar como es el caso de los grupos electrógenos o generadores diésel, la elección del lubricante más adecuado se ha convertido en una difícil tarea para las personas que no tienen esta experiencia o formación. El criterio de selección de un lubricante (Anexo I) basado solo en el precio oculta la magnitud de los costes indirectos por aplicaciones incorrectas. El saber sobre el producto mediante una descripción apropiada nos llevará a tener presente una ficha técnica proporcionándonos así el tipo de lubricante a emplear como una buena solución de mantenimiento a la hora de realizar los cambios de aceite en los motores de combustión interna ciclo diésel. Para poder seleccionar el lubricante correcto buscando la mayor eficiencia en la lubricación de cada uno de los componentes internos que están conformados los motores diesel e incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los mismos se debe considerar los siguientes aspectos:

- Conocer las instalaciones, equipos y mecanismos a lubricar.

- Disponer de un conocimiento a fondo de los lubricantes existentes en el mercado, sus características y cualidades.
- Conocimiento de las exigencias actuales en cuanto a seguridad y salud (Norma OHSAS 18000) y medio ambiente (Norma ISO 14000).

Por otro lado, si tenemos en cuenta que la lubricación aunque constituye una parte pequeña dentro de la actividad de mantenimiento, esta tiene una gran importancia, ya que es un factor vital para el correcto funcionamiento de los grupos electrógenos a diésel, por lo que una correcta gestión y sistematización de plan de lubricación va a asegurar la disponibilidad de los generadores eléctricos y ayudar a reducir los costes de mantenimiento y consecuentemente los de producción de las empresas comerciales e industriales.

Un problema relacionado con el mantenimiento del sistema de lubricación y que se plantea el técnico de Mantenimiento, es cuando debe cambiar el aceite por otro nuevo (Anexo J), es decir, cuando se agotan las propiedades del lubricante. Conocer este aspecto es vital para un buen mantenimiento de los grupos electrógenos a diésel y, a su vez, para evitar costos por cambios prematuros.

**2.2.1** *Lubricación en el mantenimiento correctivo.* La mayor parte de las empresas que usan este tipo de mantenimiento tienen en cuenta el lubricante cuando ocurre las fallas en los generadores diésel, donde esperan que el resultado del análisis del lubricante indique del porqué de la falla sin saber que el aceite lubricante sufre además otras alteraciones al ser expuesto a una situación catastrófica y por lo tanto no indica el origen real del problema.

Esta técnica actualmente está quedando obsoleta, si bien está centrada en solucionar el fallo cuando se produce implicando altos costes por descenso de la productividad. Para ello una manera muy inteligente de mejorar este tipo de mantenimiento es el implementar una técnica eficaz eliminando así los fallos por un mantenimiento no planeado. Este proceso complejo y costoso implica la colaboración de toda la organización, revisiones periódicas y reemplazo de componentes en función de estimaciones estadísticas mejorando la productividad y reducir el consumo de energía.

**2.2.2** *Lubricación en el mantenimiento preventivo.* En el mantenimiento preventivo la lubricación se puede enfocar desde dos puntos de vista interrelacionados entre sí:

- Uso del lubricante como una forma de realizar el mantenimiento preventivo. Teniendo el lubricante adecuado, este se aplica en forma eficiente y en cantidades adecuadas, asegurando el funcionamiento y desempeño de los grupos electrógenos a diésel.
- El lubricante se toma en cuenta como el objeto de las labores de prevención. Desde este punto de vista, el lubricante debe inspeccionarse, verificar su condición y cambiarse de acuerdo al plan de drenajes diseñados con base en las recomendaciones del fabricante del equipo o experiencias afines.

El mantenimiento preventivo para los generadores acoplados a un motor diésel juega un papel esencial para potenciar al máximo la fiabilidad del motor, reducir al mínimo las reparaciones asegurando que su sistema de energía Standby arrancará y funcionará cuando más lo necesite.

### **2.3 Método de inspección del estado del lubricante**

Los métodos de supervisión o inspección del estado técnico del lubricante, en las industrias es muy esencial y se basa en un programa satisfactorio de mantenimiento en donde se convierte en costumbre y cada vez es más aceptada por empresarios principales de las industrias formando un criterio de concientización acerca de la importancia de realizar e implementar un análisis de aceite en las tareas de mantenimiento, el mismo que es decisivo para contar con el buen desempeño de los generadores diésel u otros equipos.

Los métodos de inspección del estado del lubricante dentro de un programa satisfactorio de análisis de aceite conllevan a:

- Asegurar la fiabilidad de los generadores diésel.
- Disminuir los costes de mantenimiento.
- Mantener o prolongar la vida útil de los Generadores Diésel.

Durante el desarrollo de los métodos de inspección del estado del lubricante se debe considerar:

- Determinar el por qué o en qué tiempo se toman las muestras de aceite, para ello una vez que se ha seleccionado el equipo para el programa de inspección definir con qué frecuencia (semanal, mensual, trimestral, semestral, anual o nunca) se realizará la toma de muestras del aceite.
- Los factores de severidad del entorno del aceite, factor de envejecimiento del aceite y factor de envejecimiento del equipo.
- Determinar la tendencia histórica acerca del rendimiento del equipo regulando los intervalos de la toma de muestras que pueden ser recomendadas por el fabricante (cada 150, 200, 250 horas) o de acuerdo a un programa establecido por las horas de operación que realiza el equipo.

## **2.4 Ferrografía**

Es una técnica analítica predictiva que permite la disociación de las partículas pequeñas ( $1 - 20 \mu m$ ) de desgaste que se pueden encontrar en las muestras de aceite usado, con la suficiente resolución espacial que permite estudiar la morfología de la partícula. La ferrografía suspende magnéticamente las partículas ferrosas y por tal razón solo sirve para el estudio de materiales ferromagnéticos, incluidos los que poseen concentraciones bajas de carbono como el aluminio y el bronce, que no siendo magnéticos, al desgastarse contra materiales ferrosos adquieren apariencia de ellos y se comportan como ligeramente magnéticos.

En ferrografía puede distinguirse dos técnicas de análisis: por una parte la llamada técnica cualitativa o ferrografía analítica, que suministra una exacta descripción de la morfología y composición de las partículas, permitiendo identificar los fenómenos de desgaste mediante el análisis global del ferrograma.

Por otra parte, la técnica cuantitativa o ferrografía de lectura directa que determina la concentración de los elementos de la muestra a partir de dos lecturas particulares del ferrograma.

**2.4.1** *Ferrografía analítica.* El desarrollo de esta técnica consiste en diluir la muestra de aceite y así pueda fluir por un capilar y por gravedad llegar a depositarse sobre un plano inclinado (plaqueta de cristal). La plaqueta a su vez descansa sobre un potente electroimán el cual atrae las partículas ferrosas y permite la adherencia en la plaqueta. La muestra diluida con un solvente adecuado, para facilitar la deposición de las partículas fluye por gravedad ligeramente sobre el plano inclinado que se encuentra asentada la plaqueta de cristal. Debido al campo magnético las partículas alinean en cadenas horizontales a lo largo de la plaqueta según su tamaño, las de mayor tamaño se depositan hacia el punto de entrada, mientras que las de menor se depositan hacia el punto de salida debido a las fuerzas gravitatorias.

La distribución de las partículas sobre la plaqueta se conoce con el nombre de ferrograma. Después de que las partículas son depositadas en el ferrograma la plaqueta se coloca sobre una placa de vidrio, esta a su vez en la mesa del microscopio y en ese momento se encuentra lista para la inspección óptica con el microscopio bicromático.

El extremo inicial del ferrograma, se encuentra aproximadamente a 56 mm del final. La fuerza magnética que atrae las partículas es proporcional a su volumen mientras que su resistencia viscosa a desplazarse dentro del fluido es proporcional a su área. En igualdad de forma, su movimiento dentro del aceite hacia abajo es función de su tamaño, dependerá del cociente entre la fuerza viscosa y la magnética; por lo tanto las de mayor tamaño se depositarán primero. Al depositarse alineadas las partículas en el ferrograma presentan una apariencia de líneas perpendiculares a la dirección del flujo, mientras la muestra escurre hasta la posición correspondiente a 50 mm, se depositan todas las partículas mayores de  $2 \mu m$  y a la salida del ferrograma su tamaño esta por debajo del límite inferior de la detección del microscopio óptico ( $0,5 \mu m$ ).

La información más rápida respecto a la morfología y composición de las partículas se obtiene examinando el ferrograma en un microscopio bicromático; llamado así por poseer dos fuentes de luz; una reflejada y otra transmitida que puede utilizar simultáneamente o alternativamente. Se hace uso de este tipo de microscopio óptico por existir distinciones difíciles de conseguir como un haz transmitido o reflejado único. Por ende para determinar de manera rápida si es una partícula metálica, se utiliza la iluminación bicromática por medio de filtros que se componen de una luz roja reflejada

y una luz verde transmitida. Las partículas metálicas adquieren coloración roja brillante y las no metálicas de verde amarilla.

## **2.5 Software Q Capture x64**

El software Q Capture Suite X64 es un sencillo programa de toma de imágenes con visualización previa y funciones de toma de imágenes que permite optimizar la visualización previa de la imagen.

Si bien este software establece el estándar de la industria proporcionando ventajas con un conjunto de herramientas que nos ayudan al control de las funciones que presenta la cámara digital como en la mejora de la vista previa, captura, corrección de color, histogramas en vivo, etc., de cada una de las imágenes durante el análisis de muestras.

El software Q Capture Suite puede ser instalado en computadoras de 32 y 64 bit que dispongan de Windows XP / Vista / 7.

## CAPÍTULO III

### 3. MUESTREO DE ACEITE

#### 3.1 Pasos para la toma de muestra de manera fácil y confiable

Es una actividad que se debe tomar muy en serio y debe ser desarrollada con el mayor cuidado y diligencia. La forma en que la muestra es tomada, la frecuencia, los dispositivos y los procedimientos seguidos ayudarán a una tendencia más precisa con los resultados que se obtendrán después del análisis.

Para la toma de muestras de aceite del grupo de electrógenos Standby en estudio se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

- Verificar las condiciones generales del equipo (acceso para la toma de muestra, si el equipo cuenta con válvula de muestreo, bomba de succión, válvula de drenado, condiciones de la válvula, derrame de aceite, si cuenta con identificación, etc.) y puntos de posibles riesgos (si existen las condiciones de espacio para llevar a cabo la respectiva toma de muestra y que con ello se pueda minimizar el riesgo de generar algún derrame, etc.). (Anexo K)
- La toma de muestras es conveniente realizarla en lo posible con el equipo en funcionamiento estable (temperatura de operación durante 10 min. a 30 min.), luego del tiempo estimado se procede a la detención del equipo y la muestra se realizará después de haber transcurrido un tiempo de 10 minutos. (Anexo K)
- Tener en cuenta la limpieza del recipiente en el cual se depositará la muestra de aceite según norma ISO 3722, este factor es fundamental para evitar la presencia de agentes externos que puedan llevar a resultados erróneos obtenidos de dicha muestra.
- Drenar el aceite retirando el tapón. Para no coleccionar residuos provenientes del fondo del cárter, se deja que escurra uno segundos antes de colocar el recipiente para poder obtener la muestra del chorro de aceite.

### **3.2 Planificación de acciones**

Con el objeto de llevar a cabo las actividades de muestreo en el sitio seleccionado, el personal técnico que llevará a cabo la toma de muestra deberá:

- Contar con la previa autorización y coordinación con el departamento de mantenimiento acerca del trabajo a realizar.
- Sujetarse a los lineamientos de seguridad y medidas especiales requeridas por la empresa, organismo o institución donde se realizará el muestreo. (Anexo K)
- Solicitar acompañamiento de un técnico eléctrico al sitio o área donde se encuentran los equipos de generación eléctrica, el cual nos garantizará las condiciones de seguridad al momento del encendido y apagado del mismo. (Anexo K)

### **3.3 Técnicas de muestreo**

Para lograr que la muestra de aceite contenga la información requerida se debe aplicar cuidadosamente técnicas que nos ayudarán a facilitar la obtención del aceite de manera fiable y certera en los equipos electrógenos:

- Usar consistentemente los métodos de muestreo más vigentes.
- Muestreo en zonas vivas y en operación.
- Muestreo antes de los filtros, después de que el aceite haya pasado por los componentes del equipo.
- Purgar las válvulas de muestreo, los accesorios de muestreo, recipientes limpios y libres de humedad.
- Muestreo a la frecuencia establecida.
- Control de uso del aceite y alguna otra información importante de las inspecciones y detalles operacionales.

- Procurar que durante el traslado de las muestras lleguen en condiciones apropiadas para su respectivo análisis.

### **3.4 Selección de puntos de muestreo**

Muchos sistemas pueden tener varios puertos para la toma de muestras de aceite. Aquí es donde comienza la discusión de los puertos de muestreo primario y secundario. Donde el puerto primario se encuentra ubicado después que el aceite ha pasado por todos los componentes internos del motor de combustión interna ciclo diesel de generación eléctrica, en el cual con una sola muestra se puede obtener una buena representación del sistema. Mientras se obtengan en este punto y se lleven las tendencias de los resultados, puede llegar el momento en que comenzará a detectar un incremento en las partículas de desgaste. En este punto es donde los puertos secundarios juegan su rol. Los puertos secundarios comúnmente se encuentran en la parte baja de los motores permiten determinar de dónde proviene el incremento del desgaste del sistema. Generalmente estos puertos son instalados en el cárter indiferentemente del modelo del motor, lo que permite monitorear el estado técnico del aceite.

Es muy importante tener presente cuándo, dónde y cómo se tomen las muestras repercutirá en la calidad de los resultados. Por ello para obtener los resultados deseados, tome la muestras siempre a los mismos intervalos y en el lugar correcto, aplicando técnicas de toma de muestras adecuadas.

### **3.5 Control visual de la muestra y su diagnóstico**

Un control visual a simple vista de la muestra nos puede brindar mucha información, el inspeccionar detenidamente todas las muestras antes de proceder a realizar el respectivo análisis nos evitará una mala visualización.

La claridad es un factor muy valioso y define de manera rápida las condiciones del aceite más no las impurezas que presenta. Un lubricante en buen estado presenta un color claro y brillante. Un aspecto oscuro o turbio indica presencia de contaminantes como el agua, refrigerantes de máquina. En muchos casos se debe al ambiente de trabajo expuestos a neblinas, bajas temperaturas o turbiedad que se pueden ver reflejadas en forma de capa en el fondo del cárter o sobre el aceite.

La presencia de sedimentos y partículas también nos pueden brindar una mayor información. Los sedimentos no magnéticos por ejemplo en una muestra se presentan en forma clara y con aspecto brillante delatando así la suciedad existente en el aceite, como polvo o contaminación de arena. Las partículas magnéticas pueden indicar oxidación o un desgaste interno muy importante dentro de los generadores que se debe corregir de manera eficiente mediante acciones preventivas o correctivas.

Durante el control visual si se observa algún tipo de contaminación (suciedad, metales, agua, etc.), se debe tomar medidas de acción correctivas antes de pasar a colocar la muestra de aceite en los equipos de análisis existentes en el laboratorio. Dado que el exceso de contaminación en el aceite puede provocar daños a los equipos de análisis de ferrografía analítica.

Se recomienda no enviar al laboratorio muestras de aceite en donde el ojo humano visualice partículas de desgaste.

### **3.6 Desgaste interno que presenta un motor acoplado a un generador diésel**

**3.6.1** *Desgaste.* De acuerdo a la norma GOST 23.002.78, desgaste es el resultado del deterioro, determinado en unidades prefijadas y su proceso es el deterioro por uso, consecuencia de la separación del material de la superficie de los cuerpos duros durante la fricción.

Grupos electrógenos comúnmente denominados generadores diésel son aquellos que se encuentran conformados por un generador eléctrico y un motor de combustión interna ciclo diésel. Los motores diésel al igual que otros equipos mecánicos sufren un deterioro con el pasar del tiempo. Dependiendo del tipo de trabajo y de las condiciones ambientales es que un equipo se mantiene, y el deterioro mecánico interno puede darse en forma de abrasión, frotamiento, corrosión, fatiga, deslizamiento. Desde una perspectiva macroscópica, el desgaste de partículas que se presenta en estos procesos de deterioro puede aparecer en forma de insignificantes briznas de masa que por lo general actúan de manera similar y tienen el mismo aspecto. Sin embargo, desde un nivel microscópico, este desgaste de partículas tiene una morfología (tamaño y forma) y una topografía de la superficie (textura y rugosidad) únicas, basados en el proceso de deterioro o el modo de desgaste por el cual fue producido.

Las partículas de desgaste en los motores diésel se pueden definir como partículas producidas a partir de una avería en la superficie interna del equipo. Las partículas varían de rango, desde un tamaño sub-micrométrico de trozos de metal hasta grandes dimensiones observadas por el ojo humano.

Los tipos de desgastes más comunes que se pueden presentar en los grupos electrógenos son los siguientes:

**3.6.2** *Desgaste anormal del conjunto camisa-segmentos.* En el tiempo que el motor se encuentra en funcionamiento constante, los pistones suben y bajan raspando los anillos contra las paredes de los cilindros y de por si en las camisas. Si el aceite está contaminado o pierde su viscosidad el desgaste es severo.

Este tipo de desgaste genera partículas de hierro proveniente de la fricción entre las paredes de los cilindros y anillos con las camisas o el bloque mismo, y cromo por desgaste de camisas generando una contaminación en el aceite degradando poco a poco las propiedades del lubricante.

Son los elementos más sometidos a desgaste en un motor de combustión interna, y como la película de aceite entre ambos suele ser de 3 a 7  $\mu\text{m}$ , se deduce que las partículas generadas por este tipo de desgaste tendrán menos de 10  $\mu\text{m}$ .

Figura 1. Conjunto camisa-segmento



Fuente:<http://www.iesmaritimopesquerolp.org/asignaturas/mantenimiento/PRUEBAS,%20AN%C1LISIS%20Y%20VALORES%20ADMISIBLES%20DE%20LUBRICANTES.pdf>

**3.6.3** *Desgaste anormal del pistón o alojamientos de los segmentos.* Actualmente la mayoría de los motores de combustión interna disponen de pistones con aleación de aluminio, el desgaste del pistón se detecta por un aumento de contenido de aluminio en el aceite lubricante.

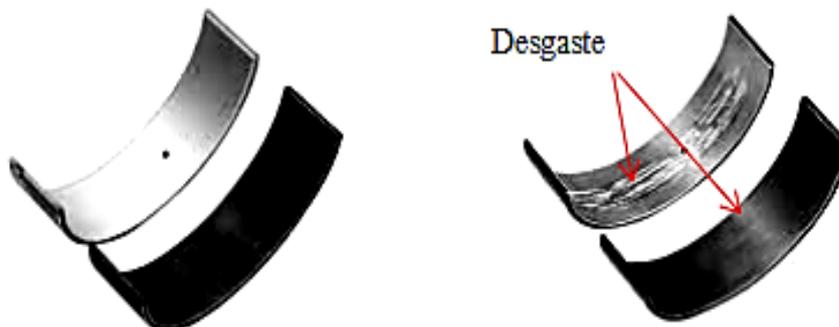
Figura 2. Pistón y brazo de biela



Fuente:<http://www.iesmaritimopesquerolp.org/asignaturas/mantenimiento/PRUEBAS,%20AN%C1LISIS%20Y%20VALORES%20ADMISIBLES%20DE%20LUBRICANTES.pdf>

**3.6.4** *Desgaste anormal de cojinetes de deslizamiento.* Se da por la falta de lubricación hidrodinámica y la forma de desgaste se detecta por la presencia de elementos como el antimonio, plomo, cobre y estaño, componentes del metal antifricción con que se fabrican los cojinetes. Como la película de aceite entre cojinetes y cigüeñal suele estar en el rango de 0.5 a 20  $\mu\text{m}$ , las partículas asociadas a su desgaste son de un tamaño menor a 20  $\mu\text{m}$ .

Figura 3. Cojinetes



Fuente:<http://www.iesmaritimopesquerolp.org/asignaturas/mantenimiento/PRUEBAS,%20AN%C1LISIS%20Y%20VALORES%20ADMISIBLES%20DE%20LUBRICANTES.pdf>

### 3.7 Selección del equipo de análisis de muestras

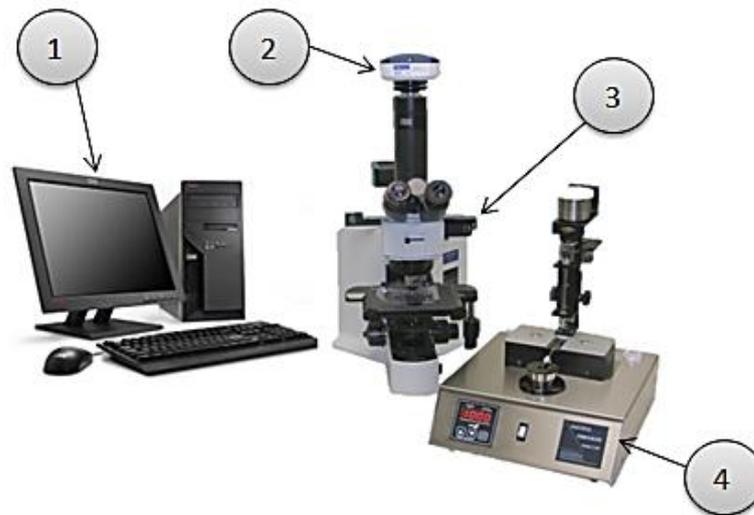
Para el siguiente trabajo de estudio se ha seleccionado un equipo de laboratorio científico de ferrografía analítica modelo T2FM Q500 de acuerdo a la norma ASTM D7690 por ser un sistema completo en la separación e interpretación de partículas de desgaste y contaminantes, el mismo que a su vez forma parte de una las herramientas técnicas predictivas que nos ayudará a una mejor comprensión acerca de los mecanismos de desgaste internos existentes en los generadores.

Equipo de generación en el cual se aplica un método analítico en que se pone de manifiesto la composición de las partículas de desgaste separándolas con la aplicación de un campo magnético en la lámina de vidrio donde se asienta la muestras de aceite y así poder diagnosticar el modo de fallo basado en el tamaño y forma de las partículas.

### 3.8 Equipo de análisis de muestras

El siguiente equipo de ferrografía analítica está constituido por un ferrógrafo o preparador de ferrogramas T2FM Q500, microscopio bicromático Olympus BX 51, cámara digital Q Color 5 Olympus, software para captura de imagen y un PC.

Figura 4. Equipo de ferrografía analítica



- 1 Computador
- 2 Cámara digital Q Color 5 OLYMPUS
- 3 Microscopio Bicromático OLYMPUS BX 51
- 4 Ferrógrafo o Preparador de Ferrogramas T2FM Q500

Fuente: Autor

### **3.9 Procedimiento de muestreo**

Una vez seleccionado los equipos para el estudio (generador- diésel) se identifica el método para la obtención de la muestra de aceite en donde el Generador –Diésel FG. WILSON motor PERKINS dispone el método del grifo, Generador –Diésel CUMMINS motor CUMMINS tiene el método del tapón de drenaje, mientras que el Generador – Diésel HIMOINSA motor MITSUBISHI tienen el método de la bomba de muestreo. (Anexo A)

**3.9.1** *Método del grifo o válvula de muestreo.* Manera más precisa de obtener una muestra de aceite lubricante, la cual se obtiene mediante grifos instalados en el equipo electrógeno.

**3.9.2** *Método de la bomba de muestreo.* Sistema actual y versátil que presentan algunos generadores facilitando así la toma de muestra de aceite. Este accesorio externo se encuentra incorporado al equipo electrógeno.

**3.9.3** *Método del tapón de drenaje.* Manera no tan recomendada para obtener una muestra de aceite lubricante, la cual consiste en retirar el tapón de la parte baja del cárter con ayuda de una herramienta manual.

A continuación se procede a realizar la toma de muestra de aceite teniendo presente los siguientes pasos:

- *Limpieza del punto de la toma de muestra.* Antes de comenzar un proceso de la toma de la muestra de aceite es necesario asegurarse de que el punto de la toma de la muestra de aceite esté limpio, de lo contrario se debe limpiar con un trapo limpio que no desprenda hilachas.
- *Frasco para tomar la muestra de aceite.* Para tomar la muestra de aceite se debe emplear un recipiente de plástico transparente de 120 cc de capacidad, que cuente con una tapa totalmente hermética.
- *Identificación de la muestra de aceite:* El recipiente donde se va alojar la muestra de aceite debe llevar una etiqueta donde especifique lo siguiente:

- Fecha y nombre de la empresa
- Nombre y código del equipo
- Nombre y marca del aceite
- Identificación del punto de muestreo
- Volumen del aceite que contiene el equipo
- Temperatura de trabajo del aceite
- Horas de operación del aceite y del equipo. (Observar Anexo B)

## **CAPÍTULO IV**

### **4. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS**

#### **4.1 Introducción**

Una vez que se ha obtenido la muestra de aceite del motor de combustión interna ciclo diesel de manera correcta aplicando técnicas de muestreo (Observar Anexo A) se procede a llevar cuidadosamente al laboratorio para su respectivo análisis, la presencia de partículas determina las tareas y métodos que el analista empleará para analizar las muestras.

El procedimiento del análisis de muestras de aceite es realizado de manera minuciosa requiriendo de habilidad y paciencia por parte del analista. Pero si se toma el tiempo necesario para la visualización e interpretación de las partículas existentes en los ferrogramas se puede entender que tan valiosa es la ferrografía analítica y los beneficios que representa este tipo de análisis en el diagnóstico del estado en que se encuentra el grupo electrógeno presentando un nivel de contaminación en el aceite lubricante y un desgaste anormal en los componentes internos de un equipo.

#### **4.2 Ferrógrafo**

El ferrógrafo T2FM Q500 es un equipo de laboratorio de análisis de aceites usado para la preparación de ferrogramas de acuerdo al método ASTM D7690, equipo que cumple una función muy importante en el desarrollo de ensayos ferrográficos en muestras de aceites lubricantes, permitiéndonos de manera eficiente la obtención de los ferrogramas a través de un procedimiento bien minucioso de magnetización de partículas ferrosas de desgaste adheridas en la película de aceite.

Este valioso equipo se encuentra conformado por una columna de estructura metálica de acero negro y una base acero inoxidable 304-L16 que permite la estabilidad del mismo, además cuenta con un grupo de componentes fijos, móviles, regulables y electrónicos como: recipiente del solvente, electroválvula reguladora, motor de corriente continua (CD), poleas y banda, cardo de vidrio, base magnética, lámina de vidrio, depósito de residuo de aceite, controlador de tiempo en minutos (pantalla digital) e interruptor.

Figura 5. Ferrógrafo T2FM Q500



Fuente: <http://noria.mx/lublearn/caracterizacion-de-particulas-en-aceites-en-uso/>

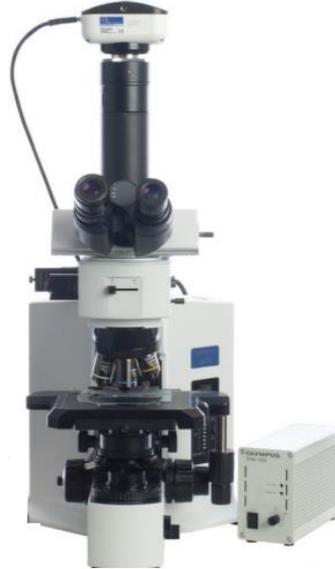
El corazón del ferrógrafo T2FM Q500 es el cardo de vidrio (tubo de vidrio). El nombre proviene de su singular forma parecida a la planta de cardo. El cardo de vidrio proporciona un flujo constante y eficiente del disolvente y de la muestra de aceite lubricante, la muestra después de la dilución con el disolvente apropiado, se vierte directamente por la parte superior del cardo. En segundos la muestra de aceite empieza a fluir de forma descendente por el cardo capilar que de acuerdo a su diámetro y longitud controlará el caudal en el ferrograma.

A medida que la muestra de aceite fluye por la lámina de vidrio especialmente diseñada llamada ferrograma, el imán debajo del mismo empieza hacer su trabajo atrapando las partículas ferrosas. Las partículas tienden a acumularse en forma de cuerda a lo largo del campo magnético.

#### **4.3 Microscopio bicromático**

El microscopio óptico bicromático modelo BX51 Olympus, es un equipo de laboratorio empleado comúnmente en investigaciones científicas, Este equipo consta de dos componentes fundamentales, la parte mecánica que es el pie que permite la estabilidad del microscopio y la parte óptica que está compuesta por tubos porta lentes que en su interior presenta una serie de prismas que desviarán la luz que baña la muestra hasta que llega a nuestros ojos.

Figura 6. Microscopio bicromático BX 51 Olympus



Fuente: <http://www.spectrosci.com/product/t2fm-q500/?fileID=5124bffa44ba96140144c29173160fee>

Este microscopio incluye un sistema óptico incomparable de corrección a infinito UIS (Universal Infinity System) de Olympus, aceptando la tecnología en fluorescencia o el contraste de interferencia diferencial (Differential Interference Contrast) DIC (Nomarski). El sistema óptico UIS Olympus es más que una simple gama de objetivos y filtros, en un concepto óptico es un desarrollo para la microscopía de alta calidad.

Su estativo en forma de “Y” es muy estable y acepta una gran variedad de accesorios y objetivos. El robusto diseño es capaz de aceptar pesados equipos y accesorios requeridos para la demanda actual en las técnicas de microscopía sin sacrificar el confort del operario.

#### 4.3.1 *Características y beneficios:*

- Luz transmitida desde la base con ajuste de foco. Lámpara halógena de 12 V/ 100 W.
- Integra dos filtros de densidad neutra (ND6, ND25), uno de ellos para balance de la luz día, y una bahía vacía para un filtro de fluorescencia opcional.
- Su alta intensidad de luz y el botón de preselección aseguran una óptima brillantez para el trabajo fotográfico.

- Estativo en forma de “Y” que permite ajustarlo a las necesidades del usuario para un fácil acceso a sus controles, previendo también una gran estabilidad.
- El diseño modular y el sistema óptico UIS permiten el fácil intercambio de accesorios sin comprometer la calidad de la imagen.
- El amplio campo de visión de 22 mm reduce el tiempo de observación (opcionalmente se puede lograr un campo de visión de 26.5 mm usando un tubo trinocular de gran campo combinado con los correspondientes oculares).
- Imágenes de amplio campo de visión, brillantes, nítidas y con elevados contraste son posibles gracias a la utilización de los objetivos universales UIS.
- Condensador universal de 8 posiciones que permite observación continua sobre todos los rangos de magnificación 1.25 X -100X para uso en campo claro, campo oscuro, contraste de fase, polarización y contraste de fase diferencial DIC (Nomarski).

Tabla 1. Especificaciones del microscopio bicromático BX 51 Olympus

<b>BX 51</b>		
Estativo	Sistema Óptico	Sistema óptico universal UIS
	Foco	Movimiento vertical de la platina: 25 mm con limitador de parada. Ajuste de tensión para los controles y Soporte de la platina. Controles de ajustede foco ultra sensitivos (mínima graduación micrométrica en incrementos de 1 $\mu$ m).
	Iluminador	Iluminación tipo Koehler para luz transmitida. Lámpara halógena de 12 V/ 100 W (pre-centrada). Botón de preselección de la intensidad. Indicador luminoso de Alta intensidad. Filtros incluidos (LBD-IF, ND6, ND25, opcional).
Revólver porta objetivos		Intercambiable, quintuple invertido / séxtuple / séxtuple fijo.
Tubo de Observación	Gran campo [F.N. 22]	Binocular, inclinado 30° y Trinocular, inclinado 30° Binocular ajustable, inclinado 5° - 35° Binocular ergonómico, inclinado 0° - 25°
	Super Gran campo [F.N. 26.5]	Trinocular, inclinado 24°
Platina Mecánica		Superficie cerámica con mandos coaxiales a la derecha o a la izquierda; mecanismos de rotación y ajuste de tensión de los mandos.
Condensador		Acromatizo Abatible (N.A. 0,9 ), 1.25X – 100X (abatible: 1.25X – 4X) y Acromatizo Aplanatico (N.A. 1,4 ), 10X – 100X. Contraste de fase, campo oscuro (N.A. 1,1 ), 4X – 100X.

Fuente: <http://www.Olympus%20Latin%20America%20Inc-ESPECIFICACIONES.htm>

#### 4.4 Cámara digital y software

Uno de los accesorios valiosos del microscopio óptico bicromático es la cámara Q Color 5 Olympus, que cuenta con 5 megapíxeles generando imágenes de alta resolución, gran detalle y color fidedigno para todo tipo de documentación y publicación.

Su configuración y utilización se da con una facilidad por medio de un programa que conjuntamente con un software instalado en el computador nos brinda la posibilidad de apreciar imágenes en el instante de la examinación visual. Su conexión se da por la incorporación de la tecnología Fire Wire para lograr transferencias de imágenes más rápidas.

Figura 7. Cámara Q Color 5 Olympus



Fuente: [http://www. Olympus% 20Latin% 20America% 20Inc-CAMARA.htm](http://www.Olympus%20Latin%20America%20Inc-CAMARA.htm)

Las cámaras Q Color 5 Olympus, también incluyen un refrigerado para las aplicaciones de imágenes de luz baja más exigentes. Además son ideales para una amplia gama de aplicaciones científicas de microscopía óptica.

##### 4.4.1 Características y beneficios:

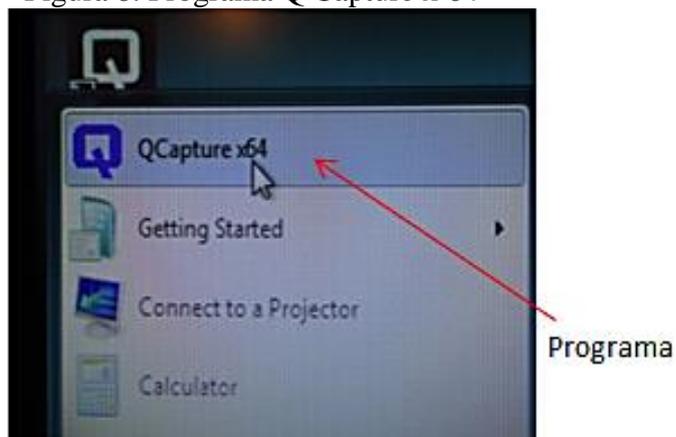
- Cámara digital Q Color 5 megapíxeles que utiliza la tecnología Fire Wire, con sensor de color Bayer 2/3" con alta resolución de 2580 y 1944 píxeles.
- Digitalización de 30/24 bits y opciones de visualización previa.
- Control de exposición / integración desde 1.6 ms hasta 18 minutos.
- Fire Wire es una marca registrada de Apple Computer.

- Unión de píxeles en color; hasta 44 X. Idóneo para visualizaciones previas y enfoques rápidos.
- Selección ROI para lograr mayor velocidad de imágenes.
- Histograma en vivo para optimizar el rango dinámico.
- Ganancia, zoom y compensación en vivo.
- Equilibrio de blancos automáticos o equilibrio de colores en vivo de los canales individuales del rojo, azul y verde.
- Modelo refrigerado opcional refrigerado Peltier de hasta 10°C menos que la temperatura ambiente.
- Software incluido Q Capture Suite.
- PC & Mac o compatible.
- Controlador TWAIN.
- SDK disponible.
- El cabezal compacto de la cámara se conecta directamente al puerto Fire Wire en una Mac con un solo cable (las PC requieren hardware PC Cardbus IEEE 1394 Fire Wire) y permite mantener el orden. No requiere interfaz de digitalización.

**4.4.2** *Software Q Capture X64.* El software Q Capture Suite X64 es un sencillo programa que permite visualizar imágenes, que una vez instalado en el PC se presentará en la lista de programas como se indica en la figura 8, permitiéndonos la visualización previa de las imágenes predeterminadas de las muestras de aceite y con ayuda de sus funciones realizar diferentes tipos de configuraciones como la captura de imágenes que nos ayudarán durante el desarrollo de los ensayos de análisis ferrográficos.

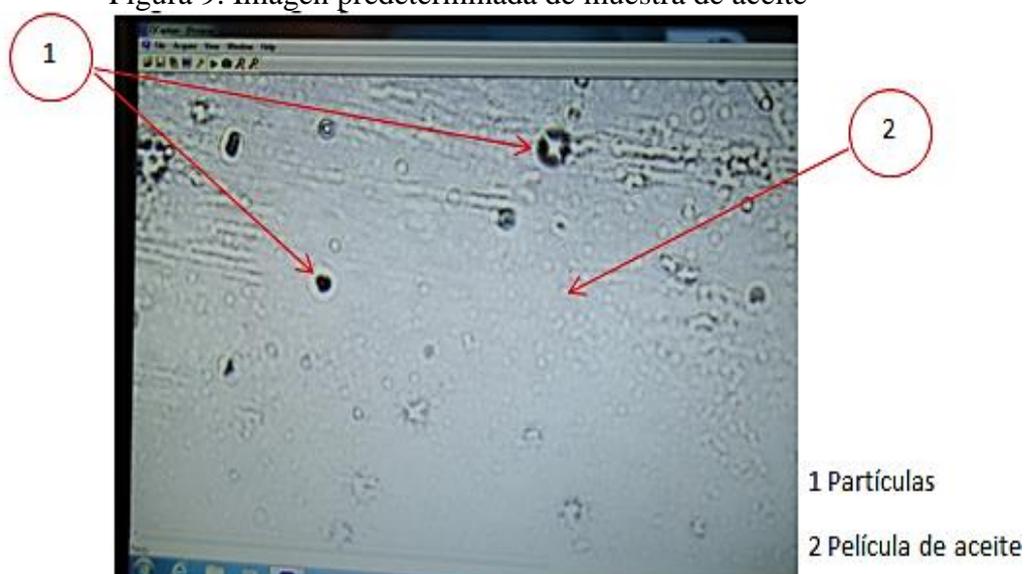
A continuación se puede apreciar el icono del programa y una imagen predeterminada.

Figura 8. Programa Q Capture x 64



Fuente: Autor

Figura 9. Imagen predeterminada de muestra de aceite



Fuente: Autor

**4.4.3** *PC de escritorio.* Es un equipo electrónico, que nos permitirá controlar el proceso de visualización de las imágenes de las muestras de aceites por medio del software Q Capture de manera rápida y efectiva.



- Modelo HP ProDesk 400
- Serie N° MXL4370SL9
- Teclado
- Mouse
- Monitor 18.5”
- Modelo LV1911
- Serie N° 6CM4212XVF

#### **4.5 Generadores diésel o grupo electrógeno**

Un grupo electrógeno o generador diésel está compuesto por una máquina rotativa que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna ciclo diésel, acoplados mediante un eje mecánico mediante un matrimonio capaces de transformar la energía térmica precedente del combustible en energía mecánica conforme gira el eje, y a su vez esta energía eléctrica en forma de corriente alterna. (Observar Fig. 14)

Son utilizados comúnmente cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes de suministro eléctrico como en zonas apartadas con poca infraestructura y muy poco habitadas.

Generalmente estos equipos de generación Standby cuentan con un subconjunto como es el motor de combustión interna ciclo diésel, el mismo que proporciona más cantidades de hollín que los de gasolina formando residuos de materia carbonosa, por tal razón el aceite deberá contar con propiedades como detergentes y dispersantes para mantenerlas en suspensión en forma finamente dividida reduciendo así la formación de estos sólidos negros en el aceite lubricante que se encuentran asentados en el cárter.

Las proporciones de los aditivos inhibidores, detergentes y dispersantes en los motores diésel, se toman según la clasificación API de servicio para aceites de motor. Aceites CI-4 está conformado por componentes especiales para la durabilidad del motor.

Según las condiciones de explotación (nivel de calidad) la clasificación de calidad API de aceites designan para motores a diésel un código de identificación determinado con la letra “C”, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 2. Clasificación de servicio API para motores a diésel

<b>Clasificación “C”</b>	<b>Servicio API</b>	<b>Descripción y Especificaciones militares relacionadas</b>
CA	DG	Servicio típico de motores diésel operados en servicio ligero a moderado con combustibles de alta calidad. Brinda protección contra la corrosión de cojinetes y depósitos en los anillos de motores diésel de aspiración natural. /MIL-L-2104A.
CB	DM	Servicio típico de motores diésel operados en servicio ligero a moderado con combustibles con alto contenido de azufre donde se requiere protección adicional contra el desgaste y los depósitos a alta temperatura. /MIL-L-2104A. Suplemento 1
CC	DM	Servicio típico de motores diésel de aspiración natural, turboalimentados o supercargados operados en servicio moderado a severo que requiere protección contra la corrosión, depósitos y herrumbre, corrosión y depósitos a baja temperatura en motores a gasolina. /MIL-L-2104B.
CD	DS	Servicio típico de motores diésel de aspiración natural, turboalimentados o supercargados donde es fundamental el control de depósitos y desgaste cuando se emplean combustibles de un amplio rango de calidades. /MIL-L-2104B/ MIL-L-45199/CAT Serie 3/ MIL-L-2104D/ MIL-L-2104C.
CD-II	-	Servicio típico de motores diésel de dos tiempos que requieren un control efectivo del desgaste y depósitos. /MIL-L-2104B.
CE	-	Servicio típico de motores diésel fabricados a partir de 1983, turboalimentados o supercargados, operados en condiciones de baja velocidad y alta carga y de alta velocidad y alta carga. /MIL-L-2104E.
CF	-	Servicio típico de motores diésel de inyección directa y de otros motores diésel utilizando combustibles de un amplio rango de calidades, inclusive con contenido de azufre por encima de 0.5%; sustituye efectivamente al servicio API CD
CF-2	-	Servicio típico de motores diésel de dos tiempos que requieren un control sumamente efectivo del desgaste y depósitos en cilindros y anillos, sustituye efectivamente a los aceites API CD-II. Estos lubricantes no cumplen necesariamente con los requerimientos de API CF o CF-4, a menos que hayan pasado las pruebas especificadas para esas categorías.
CF-4	-	Servicio típico de motores diésel de alta velocidad: excede los requerimientos de la categoría API CE, brindando un mejor control de consumo de aceite y formación de depósitos, en especial en aplicaciones de transporte de carga pesada a largas distancias. Formulado para satisfacer los requerimientos de

		motores diésel de cuatro tiempos fabricados a partir de 1990.
CG-4	-	Servicio típico de motores diésel de cuatro tiempos de alta velocidad trabajando en vehículos (0.05% de azufre) o en unidades estacionarias (menos de 0.5% de azufre): excede los requerimientos de la categoría API CE, CD y CF-4, brindando un control efectivo del consumo de aceite, depósitos de alta temperatura, desgaste, corrosión, formación de espumas, estabilidad a la oxidación y acumulación de hollín. Formulado para satisfacer los requerimientos de motores diésel de cuatro tiempos fabricados a partir de 1995.
CH-4	-	Servicio típico de motores diésel de cuatro tiempos, diseñados para cumplir los estándares de emisiones de escape de 01/12/1998 y años anteriores. Están específicamente diseñados para ser utilizados con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 0.5% en peso. Son superiores en comportamiento a los aceites que satisfacen los niveles de calidad API CG-4, CF-4.
CI-4	-	Servicio típico de motores diésel de cuatro tiempos de alta velocidad diseñados para cumplir las regulaciones de emisiones implementadas a partir de Octubre 2002 y que operen con combustibles con un contenido de azufre de hasta 0.5% en peso. Los aceites CI-4 garantizan la durabilidad de los motores con sistemas de recirculación de los gases de escape. Los aceites 0-4 son superiores en comportamiento a aquellos que cumplen con las categorías API CH-4, CG-4 y CF-4, por lo que puede lubricar efectivamente a motores con esos requerimientos.

Fuente: <http://petrolub.com.bo/index.php/clasificacion-de-serv-api-p-motores-a-diesel> y Guía de lubricación Shell para motores diésel.

**4.5.1** *Clasificación de viscosidad SAE para lubricantes de motor de combustión interna. La Sociedad de Ingenieros Automotrices de los Estados Unidos (SAE), estableció una clasificación de viscosidad para los lubricantes desarrollados para su uso en motores de combustión interna (diésel, gasolina y gas), con el propósito de reducir la fricción, el desgaste y así obtener en todo equipo mecánico un óptimo desempeño a través de la lubricación de sus componentes internos.*

Esta clasificación de lubricantes está definida según la especificación SAE J-300-09 y en la actualidad contempla 11 grados de viscosidad, divididos en grados de inviernos que van acompañados de la letra “W”, haciendo referencia a la estación climatológica de invierno (Winter) y se basan principalmente en el cumplimiento de requerimientos

de comportamiento a baja temperatura, y aunque también debe cumplir con requerimientos a alta temperatura, y los grados de verano no van acompañados con ninguna letra y cumplen requerimientos a alta temperatura..

Tabla 3. Clasificación de viscosidad SAE J-300-09

Grado de viscosidad SAE	Viscosidad a baja temperatura [cP]		Viscosidad a alta temperatura [°C]		
	Máx. Arranque	Máx. de bombeo [Sin esfuerzo]	Cinemática cSt a 100 °C min.	Cinemática cSt a 100 °C máx.	Alta tasa de corte [cP] a 150 °C D4683, D4741 y D5481
0W	6200 a -35	60000 a -40	3,8	-	-
5W	6600 a -30	60000 a -35	3,8	-	-
10W	7000 a-25	60000 a -30	4,1	-	-
15W	7000 a- 20	60000 a -25	5,6	-	-
20W	9500 a- 15	60000 a -20	5,6	-	-
25W	13000 a- 10	60000 a -15	9,3	-	-
20	-	-	5,6	< 9,3	2,6
30	-	-	9,3	< 12,5	2,9
40	-	-	12,5	< 16,3	3,5 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	-	-	12,5	< 16,3	3,7 (15W-40, 20W-40, 25W-40)
50	-	-	16,3	< 21,9	3,7
60	-	-	21,9	< 26,1	3,7

Fuente: <http://noria.mx/lublearn/entendiendo-los-grados-de-viscosidad-sae-para-lubricantes-de-motor/htm>.

**4.5.2** *Generador diésel o grupo electrógeno FG. WILSON.* El grupo electrógeno FG. WILSON conformado por un generador eléctrico y un motor diésel marca PERKINS se encuentra ubicado en el área uno de generación eléctrica de acuerdo a la ubicación de equipos de la empresa, el mismo que suministra energía eléctrica a toda el área de mina. (Anexo K)

En este tipo de motores diésel poseen de válvula de esfera para el muestreo de aceite y su estructura está conformada por un sistema abierto. (Observar Anexo A)

En la siguiente tabla se mencionarán algunas de las características técnicas más sobresalientes del motor a diésel PERKINS:

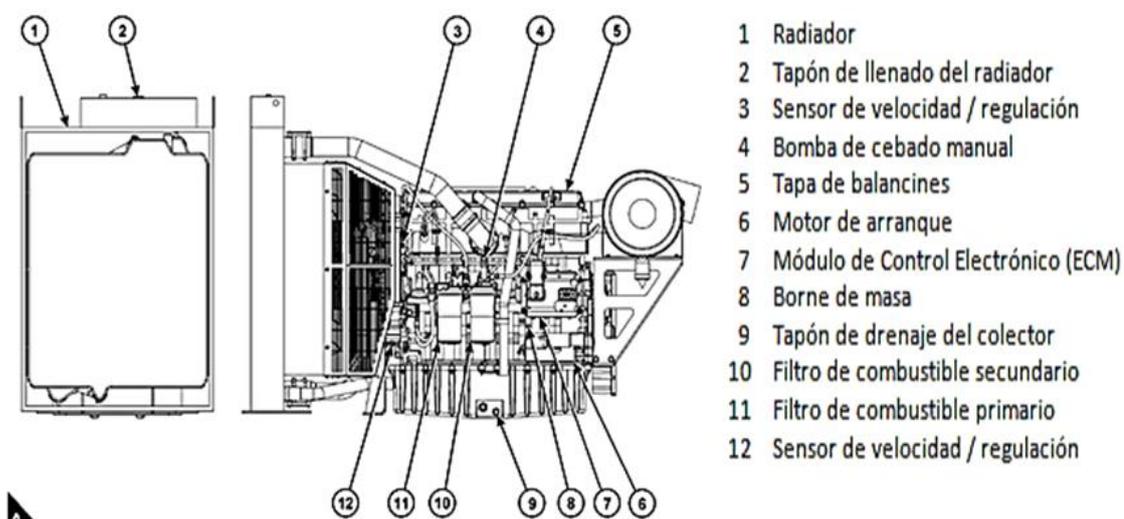
Tabla 4. Datos técnicos del motor diésel PERKINS

ITEM	CARACTERÍSTICAS
Marca	PERKINS
Modelo del motor	1306A-E87TAG4
Número de cilindros	6
Configuración de cilindros	En línea
Ciclo	4 Tiempos
Sistema de admisión	Turbocompresor
Sistema de combustión	Inyección directa
Sistema de enfriamiento	Agua
Diámetro interior nominal mm.	116.6 (4.6 pulg)
Carrera nominal mm.	135.9 (5.4 pulg)
Cilindrada litros	8.7 (530.9 pulg. cúbicas)
Relación de compresión	16:1
Peso en seco Kg	671 (1479 lb)
Peso con líquidos Kg	698 (1539 lb)
Valor del factor de potencia	0.8
Potencia	750 kVA
Capacidad total de aceite en litros	26.4 (7.0 gal.)
Capacidad del cárter en litros	22.7 (6.0 gal.)
Tipo de aceite	API CI-4 (15W-40)

Fuente: Autor

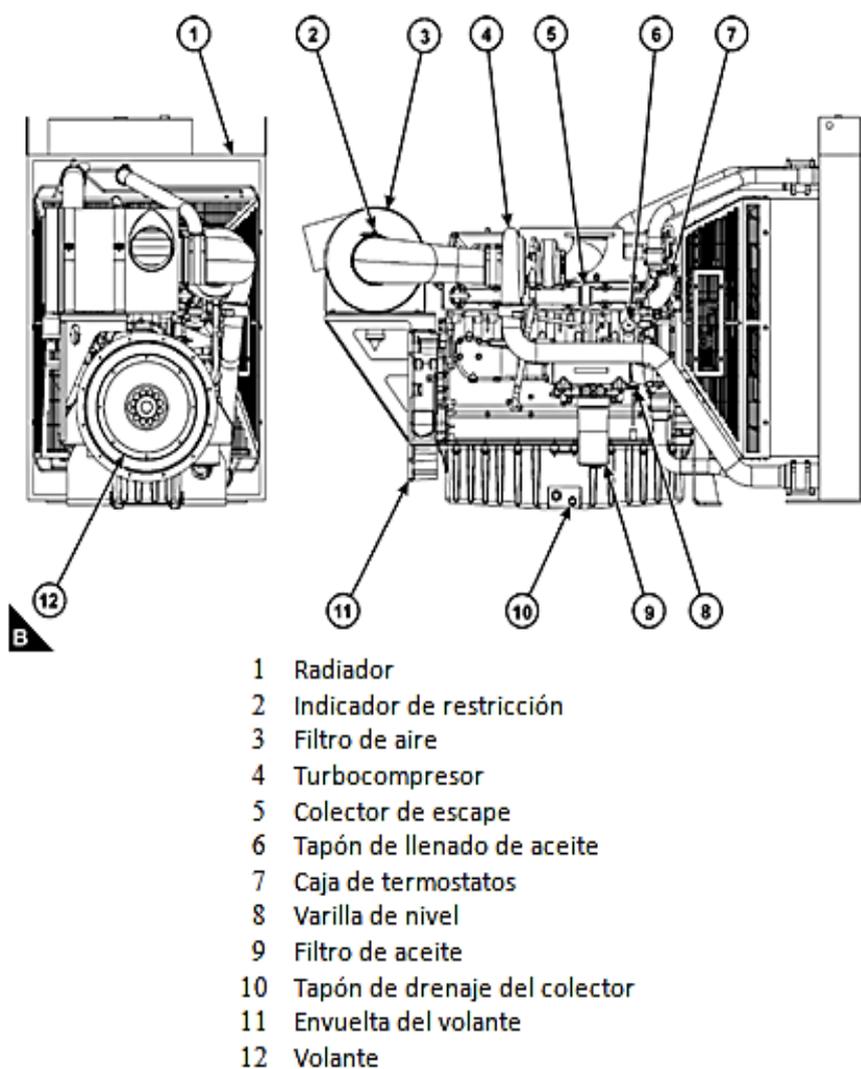
**4.5.2.1** *Ubicación de componentes del motor diésel PERKINS.* Para la siguiente identificación de los componentes se tomarán dos vistas:

Figura 10. Motor a diésel PERKINS, vista lateral izquierda



Fuente: <https://www.perkins.com/manual-del-usuario/TSD3449S.pdf>

Figura 11. Motor a diésel PERKINS, vista lateral derecha



Fuente: <https://www.perkins.com/manual-del-usuario/TSD3449S.pdf>

**4.5.3** *Generador diésel o grupo electrógeno CUMMINS.* El grupo electrógeno CUMMINS conformado por un generador eléctrico y un motor diésel CUMMINS se encuentra ubicado en el área uno de generación de acuerdo a la ubicación de equipos de la empresa, el mismo que suministra energía eléctrica a toda el área de molinos. (Anexo K)

En este tipo de motores a diésel poseen de un tapón de drenado en la parte inferior del cárter para el muestreo de aceite y su estructura está conformada por un sistema abierto. (Observar Anexo A)

A continuación se mencionarán algunas de las características técnicas más sobresalientes del motor a diésel CUMMINS:

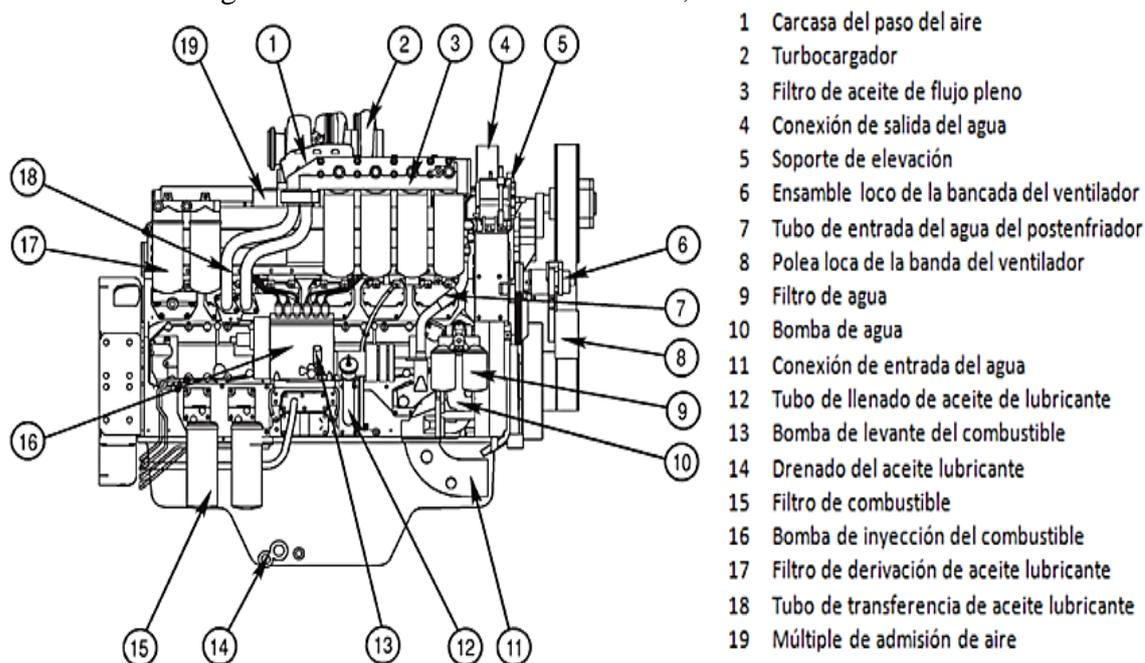
Tabla 5. Datos técnicos del motor diésel CUMMINS

ITEM	CARACTERÍSTICAS
Marca	CUMMINS
Modelo del motor	QST30-G4
Número de cilindros	12
Configuración de cilindros	50 grados en V
Ciclo	4 Tiempos
Sistema de admisión	Turbocargado y postenfriado
Sistema de combustión	Inyección directa
Sistema de enfriamiento	Refrigerante
Diámetro interior nominal mm.	140 (5.51 pulg)
Carrera nominal mm.	165 (6.5 pulg.)
Cilindrada litros	30.5 (1861 pulg. cúbicas)
Relación de compresión	14:1
Peso en seco Kg	7195 (15865 lb)
Peso con líquidos Kg	7374 (16260 lb)
Valor del factor de potencia	0.8
Potencia	1250 kVA
Capacidad total de aceite en litros	90 (24 gal.)
Capacidad del cárter en litros	76 (20 gal.)
Tipo de aceite	API CG-4 (15W-40)

Fuente: Autor

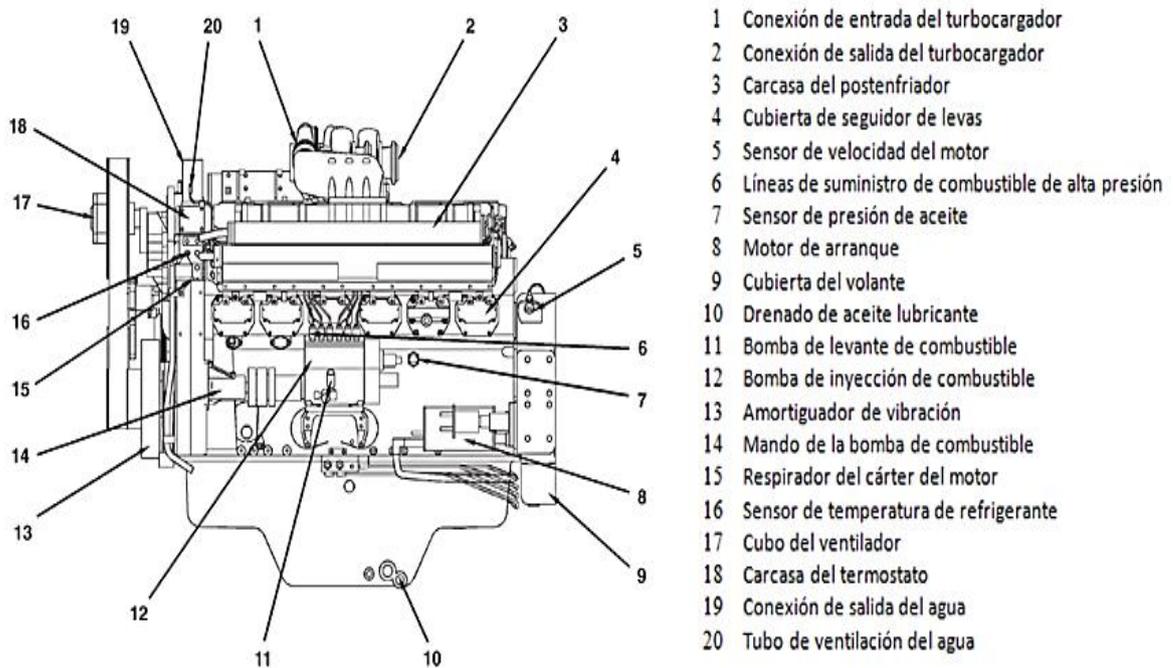
**4.5.3.1** *Ubicación de componentes del motor diésel CUMMINS.* Para la siguiente identificación de los componentes se tomarán dos vistas:

Figura 12. Motor a diésel CUMMINS, vista lateral derecha



Fuente: [https://www.cumminspower.com/manual-operaciones\\_mantenimiento\\_motor-serie-qst30.pdf](https://www.cumminspower.com/manual-operaciones_mantenimiento_motor-serie-qst30.pdf)

Figura 13. Motor a diésel CUMMINS, vista lateral izquierda



Fuente: [https://www.cumminspower.com/manual-operaciones\\_mantenimiento\\_motor-serie-qst30.pdf](https://www.cumminspower.com/manual-operaciones_mantenimiento_motor-serie-qst30.pdf)

**4.5.4** *Generador diésel o grupo electrógeno HIMOINSA.* El grupo electrógeno HIMOINSA conformado por un generador eléctrico y un motor de combustión interna ciclo diésel MITSUBISHI se encuentra ubicado en el área dos de generación de acuerdo a la ubicación de equipos de la empresa, el mismo que suministra energía eléctrica a toda el área de planta de beneficio. (Anexo K)

En este modelo de motores a diésel disponen de una bomba de manivela incorporada, facilitando así la obtención de la muestra de aceite y su estructura está conformada por un sistema cerrado.

Los generador diésel o grupos electrógenos HIMOINSA cuentan con un sistema cerrado que está constituido por una caja metálica en forma de contenedor que contiene en sus paredes internas una especie de colchón aislante con la finalidad de disminuir el ruido cuando este se encuentra en operación. (Observar Anexo A)

En la siguiente tabla se mencionarán algunas de las características técnicas más sobresalientes del motor de combustión interna ciclo diésel MITSUBISHI que trabaja en conjunto con el grupo electrógeno HIMOINSA:

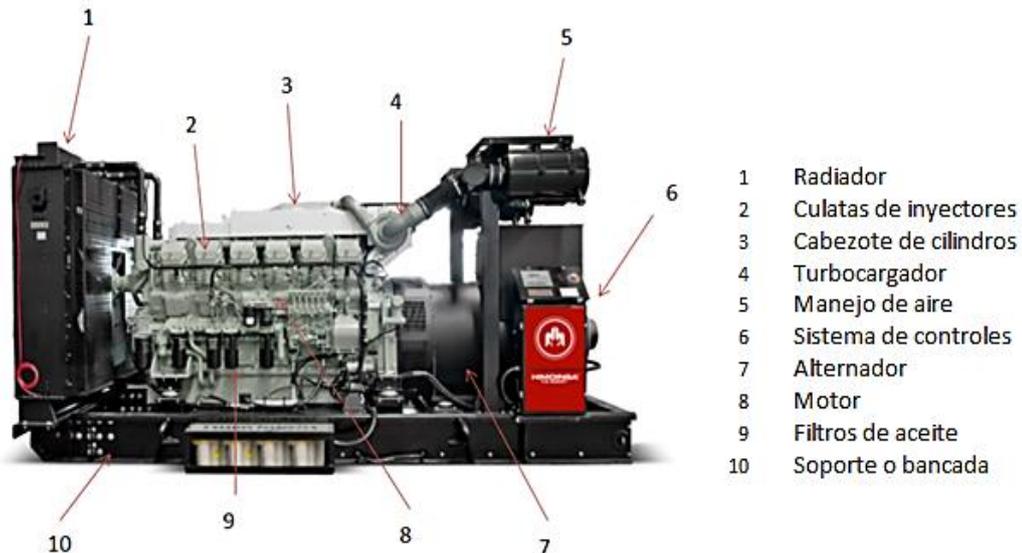
Tabla 6. Datos técnicos del motor diésel MITSUBISHI

ITEM	CARACTERÍSTICAS
Marca	MITSUBISHI
Modelo del motor	S12H PTA
Número de cilindros	12
Configuración de cilindros	en V
Ciclo	4 Tiempos
Sistema de admisión	Turbocargado y postenfriado
Sistema de combustión	Inyección directa
Sistema de enfriamiento	Agua
Diámetro interior nominal mm.	150 (5.90 pulg.)
Carrera nominal mm.	175 (6.88 pulg.)
Cilindrada litros	37.11 (2264 pulg. cúbicas)
Relación de compresión	14:1
Peso en seco Kg	8795 (19393 lb)
Peso con líquidos Kg	9230 (20352 lb)
Valor del factor de potencia	0.8
Potencia	1250 kVA
Capacidad total de aceite en litros	200 (757 gal.)
Tipo de aceite	API CD o CF 30 o 40

Fuente: Autor

**4.5.4.1** *Ubicación de componentes del motor diésel HIMOINSA.* Para la siguiente identificación de los componentes se tomarán en cuenta la parte interna del conjunto:

Figura 14. Motor a diésel MITSUBISHI, vista frontal



Fuente: [http://www.himoinsa.com/grupo-electrogeno-diesel-htw-1025\\_t6-mitsubishi-50hz-gama-pesada-prp\\_1250kva.aspx](http://www.himoinsa.com/grupo-electrogeno-diesel-htw-1025_t6-mitsubishi-50hz-gama-pesada-prp_1250kva.aspx)

#### 4.6 Toma de muestras

Para el desarrollo del estudio de análisis ferrográfico en los motores de combustión interna ciclo diésel ensamblados a los generadores eléctricos de la empresa minera SOMILOR S.A., se procedió al reconocimiento de los equipos de generación eléctrica, se ubica el área donde se encuentran instalados, las condiciones de trabajo a la que están expuestos y a su vez verificar en el motor la existencia de los puntos donde se procederá extraer la muestra del aceite. (Anexo K y A)

Aplicando los pasos indicados en el capítulo anterior para la toma de muestra se obtuvieron cuatro muestras representativas de aceite por generador, siendo en total 12 muestras. (Anexo B)

En la tabla que se adjunta se indica las fechas cuando fueron tomadas las muestras para el análisis.

Tabla 7. Fechas cuando se realizó la toma de muestras de aceite

<b>Generador diésel FG. WILSON [Motor PERKINS]</b>		<b>Generador diésel CUMMINS [Motor CUMMINS]</b>		<b>Generador diésel HIMOINSA [Motor MITSUBISHI]</b>	
Muestra	Fecha	Muestra	Fecha	Muestra	Fecha
1	10/Enero/2015	1	10/Enero/2015	1	10/Enero/2015
2	10/Marzo/2015	2	10/Marzo/2015	2	10/Marzo/2015
3	10/Mayo/2015	3	10/Mayo/2015	3	10/Mayo/2015
4	10/Julio/2015	4	10/Julio/2015	4	10/Julio/2015

Fuente: Autor

#### 4.7 Técnica empleada para la toma de muestras

Para el desarrollo de las técnicas en la toma de muestras primeramente se debe contar con los materiales necesarios de limpieza y los recipientes plásticos limpios de acuerdo a la norma ISO 3722, luego a la identificación de los puertos para la toma de muestras de aceite en cada uno de los grupos electrógenos teniendo presente el modelo del motor.

A continuación se procede a la obtención de la muestra de aceite en el motor Perkins por medio de la técnica de válvula de muestreo que se encuentra en el lado izquierdo del cárter. (Anexo A)

En el motor Cummins se realizó desde el punto de drenado retirando el tapón del cárter en la parte inferior y luego de drenar un tercio del aceite se procedió a tomar la muestra. (Anexo A)

En el motor Mitsubishi se realizó la toma de muestra de aceite con la técnica de bomba de muestreo (bomba de manivela) incorporada en el equipo de generación. (Anexo A)

En cada uno de los puntos de drenado de los motores no se colocó de forma inmediata el recipiente plástico limpio, se esperó un tiempo estimado de 60 segundos para que fluya el aceite en un colector y así descartar la presencia de impurezas o partículas que pueden presentar los hilos de la rosca, componentes internos de la válvula y de la bomba que podrían afectar en el momento del respectivo análisis de las muestras de aceite.

#### **4.8 Cantidad de ensayos**

Obtenidas las primeras muestras de aceites SAE 15W-40 y SAE 30 (Anexo A y D) de cada grupo electrógeno, estas fueron debidamente selladas, etiquetadas y empaquetadas para su traslado al laboratorio de tribología de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica en el Cantón Riobamba.

Se llevaron a cabo cuatro ensayos, para lo cual se estableció un programa de muestreo para los motores de combustión interna ciclo diésel (Anexo C) teniendo en cuenta lo que nos indica la norma ISO 4021(Anexo L), que para realizar un monitoreo sobre el estado técnico de los grupos electrógenos por medio del aceite lubricante se recolectarán muestras de aceite cada 250 horas de funcionamiento por ser un equipo estacionario de acuerdo a la norma ISO 4021. En el caso de ser un equipo nuevo como el motor Mitsubishi, se procederá de manera mensual aunque no complete las horas establecidas por la norma, debido a que de acuerdo a la dinámica del desgaste este equipo se encuentra en su etapa de infancia de acuerdo a la curva de la bañera, en donde presentará un mayor desgaste en sus componentes ya sea por una mala calibración o desgaste normal por acoplamiento de componentes, lo cual se determinará por medio del análisis ferrográfico.

Cómo, cuándo y dónde se tomen las muestras repercutirá en la calidad de los resultados.

#### 4.9 Imágenes obtenidas por muestra

Las imágenes obtenidas por la cámara Q Color 5 (Ver Fig. 7) y proyectadas en la pantalla del computador por medio del software Q Capture durante el desarrollo de los ensayos, nos permiten visualizar lo que está ocurriendo en el interior de los motores de combustión interna como la presencia de partículas de material desprendidas en el aceite, el tipo de desgaste y la contaminación existente del lubricante.

En la siguiente figura se muestra el ferrograma de la muestra N°1 de aceite SAE 15W-40 del motor diésel PERKINS.

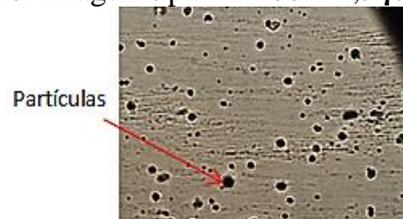
Figura 15. Ferrograma-muestra uno-PERKINS



Fuente: Autor

En la figura 16 se muestra la imagen del ferrograma de la muestra N°1 de aceite SAE 15W-40 de motor diésel PERKINS

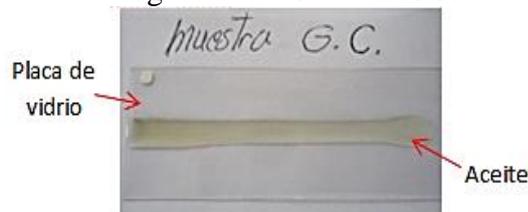
Figura 16. Imagen Opt. M. 100X-2,5  $\mu\text{m}$  - PERKINS



Fuente: Autor

En la siguiente figura se muestra el ferrograma de la Muestra N°1 de aceite SAE 15W-40 de motor diésel CUMMINS

Figura 17. Ferrograma-muestra uno-CUMMINS



Fuente: Autor

En la figura 18 se muestra la imagen del ferrograma de la muestra N°1 de aceite SAE 15W-40 de motor diésel CUMMINS

Figura 18. Imagen Opt. M. 100X-1,5  $\mu\text{m}$  – CUMMINS



Fuente: Autor

En la siguiente figura se muestra ferrograma de la muestra N°1 de aceite SAE 30 de motor diésel MITSUBISHI

Figura 19. Ferrograma-muestra uno-MITSUBISHI



Fuente: Autor

En la figura 20 se muestra la imagen del ferrograma de la imagen de la muestra N°1 de aceite SAE 30 de motor diésel MITSUBISHI

Figura 20. Imagen Opt. M. 100X-2,5  $\mu\text{m}$  – MITSUBISHI



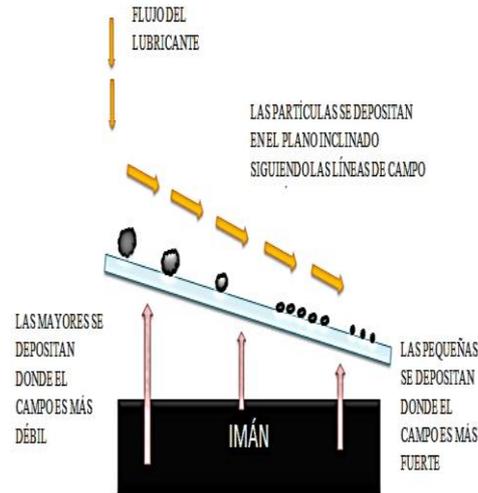
Fuente: Autor

#### 4.10 Obtención de ferrogramas

La obtención de resultados que se presenta en el siguiente estudio se da con ayuda del ferrógrafo T2FM Q500 (Ver Fig. 5), el mismo que mediante un procedimiento muy cuidadoso se coloca el aceite diluido en el cardo de vidrio y por gravedad fluye de manera descendente hasta un plano inclinado (plaqueta de vidrio) en donde las partículas ferrosas son atraídas por un campo magnético que lo ejerce un imán que se

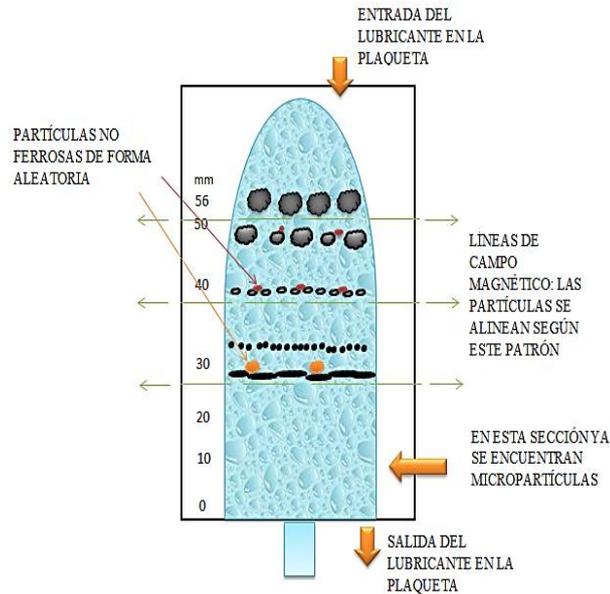
encuentra en la base del equipo. Las partículas ferrosas de mayor tamaño se depositan al inicio de la placa de vidrio y las pequeñas al final como se puede observar en la Fig. 21, formando una especie de cuerda alineada. Mientras que las partículas no ferrosas se depositan en forma aleatoria por toda la placa de vidrio. (Observar Anexo F, G y H)

Figura 21. Preparación de ferrograma



Fuente: Autor

Figura 22. Ferrograma

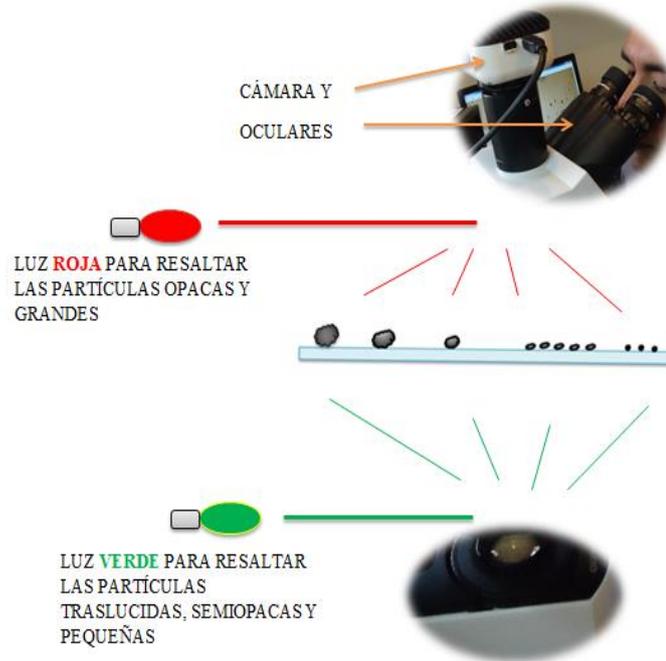


Fuente: Autor

Una vez que se ha realizado este proceso para la obtención del ferrograma se continúa con la inspección visual que se lleva a cabo con el microscopio bicromático BX 51 Olympus equipado con una cámara digital (Ver Fig. 6). Para la examinación de la muestra se coloca una luz (filtro) de color rojo en la parte superior y una luz inferior de

color verde (luz ultra sensitiva) en el microscopio, lo que nos ayudará a distinguir la morfología y geometría de las partículas ferrosas y no ferrosas durante la visualización.

Figura 23. Inspección visual



Fuente: Autor

De manera minuciosa se sigue examinando la muestra de aceite, desplazando el ferrograma lentamente e identificando las partículas de desgaste, el nivel de contaminación y el tamaño de la partícula existente en el lubricante tomando en cuenta el patrón de alineación milimétrica del ferrograma.

Una vez finalizada la examinación, se proyectan las imágenes en la pantalla del computador de cada muestra de los respectivos ensayos (Ver Fig. 9), se las captura y luego se procede al método de comparación de imágenes con ayuda del Wear Particle Atlas TRICO y el Wear Debris Atlas Noria Corporation, que nos proporcionarán una importante información acerca del tipo de desgaste o partículas que se encuentran en los ferrogramas analizados facilitándonos así el diagnóstico. (Observar Fig. 37)

#### 4.11 Procedimiento del ensayo

Para la determinación de un análisis lógico sobre el funcionamiento de los equipos de generación eléctrica constituido por un motor de combustión interna ciclo diésel que se expone en el siguiente trabajo se emplearon métodos de investigación teóricos y

analíticos sintetizados con el fin de mantener en óptimas condiciones los grupos electrógenos. (Observar Anexo K)

Las técnicas aplicadas se basan en la recolección de datos técnicos, revisión de documentación y entrevistas. Toda esta información servirá de mucho para conocer a fondo la estructura y funcionamiento de los grupos electrógenos, y así poder plantear una estrategia de mantenimiento enfocados a mantener la disponibilidad y fiabilidad de los equipos de generación eléctrica.

Los materiales empleados durante el análisis de las muestras de aceite se componen por: (Observar Anexo E)

- Micro - pipeta
- Tubos de ensayo
- Plaqueta de vidrio
- Pipetas de plástico desechables
- Muestras de aceite
- Disolvente (heptano o etanol absoluto)

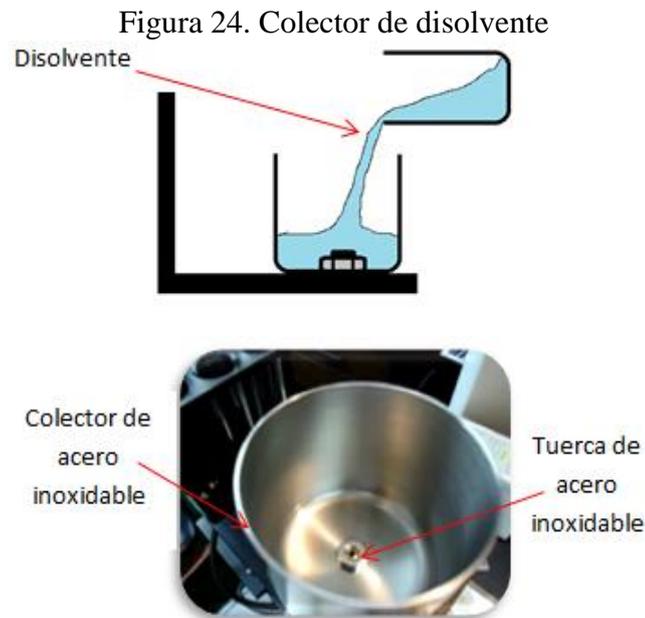
A continuación se detalla el procedimiento del análisis de aceites por medio de la técnica predictiva cualitativa que tiene por nombre de ferrografía analítica, técnica que nos ayudará en el estudio morfológico de las partículas y la composición que se presentan en las muestras de lubricantes así mismo como el diagnóstico sobre la causa y gravedad del desgaste.

Para una correcta realización del ensayo de muestras se ha tomado en cuenta cada uno de los pasos expuestos a continuación:

*Paso 1:* Disponer de todos los materiales y herramientas para la realización de los ensayos, incluyendo la muestra de aceite y el disolvente heptano. (Observar Anexo E)

*Paso 2:* Realizar una leve inspección a los equipos verificando en las condiciones que se encuentran y posteriormente se procede a la energización de los mismos conectando y encendiendo la fuente de alimentación.

*Paso 3:* Realizar la limpieza del cardo y plaqueta de vidrio que se encuentran en el ferrógrafo T2FM Q500 (Ver Fig. 5), con una cantidad de 20 ml de disolvente heptano aproximadamente que se deposita en un colector de acero inoxidable en la parte superior del ferrógrafo. La cantidad depositada debe sobrepasar la altura de la tuerca que se encuentra en el fondo del colector como se indica en la foto.



Fuente: Autor

El disolvente fluirá con ayuda de una pequeña electroválvula calibrada (1gota cada 5 segundo) permitiendo el paso del disolvente de manera controlada. En la base de este equipo posee un display donde se controlará el tiempo de limpieza que es de 10 minutos, procedemos a encenderlo y observaremos como el disolvente recorrerá todo el cardo y la plaqueta de vidrio limpiándolos de toda impureza hasta dirigirse a un colector. Terminada esta fase en el tiempo indicado se encuentra listo para colocar la muestra de aceite.

*Paso 4:* Agitamos la muestra que se encuentra en el recipiente de plástico con la finalidad de no tener partículas asentadas en el fondo del recipiente. Enseguida se toma la muestra de aceite con ayuda de una pipeta de plástico desechable que va acoplada a la micro-pipeta en su extremo inferior, teniendo presente una relación existente de tres a uno (tres medidas de aceite y una de disolvente) de acuerdo a la viscosidad cinemática del aceite que sea menor a 60 centistokes (cSt). En caso de ser mayor a 60 centistokes la relación será dos a dos (dos medidas de aceite y dos de disolvente).

Se colocan las tres medidas de aceite en un tubo de ensayo completamente limpio de impurezas. Después se procede a cambiar la pipeta desechable por una limpia para realizar la toma de la medida de disolvente y colocarla en el mismo tubo de ensayo.

Al encontrarse ambas medidas en un tubo de ensayo se agitan cuidadosamente hasta que se vuelva una sola sustancia y se depositan en la parte superior del cardo de vidrio donde fluirá lentamente por acción de la gravedad hasta llegar a la plaqueta de vidrio y a su vez al colector de residuo.

Durante el recorrido del aceite diluido por la plaqueta de vidrio, el imán mediante su campo magnético irá reteniendo las partículas ferrosas en la plaqueta hasta que se termine la cantidad de aceite depositada en el cardo de vidrio, seguidamente se coloca una cantidad de disolvente en el colector por 10 minutos con el fin de limpiar residuos de aceite en el cardo y en la plaqueta quedando así solamente las partículas sobre la plaqueta porque el disolvente se evaporará.

Hay que tener presente que para cada ensayo en el ferrógrafo se debe proceder con el método de limpieza del cardo de vidrio con la finalidad de evitar la contaminación de la próxima muestra a analizar. También una nueva placa de vidrio será colocada sobre el imán de manera inclinada con el punto blanco al lado izquierdo en dirección al colector que portará el residuo de aceite.

*Paso 5:* Obtenido el ferrograma se continúa con la inspección visual con ayuda del microscopio bicromático BX 51 Olympus (Ver Fig. 6). Se coloca el ferrograma sobre una placa de vidrio de mayor espesor y dimensión que se encuentra en la mesa del microscopio, se realizan calibraciones y aplicaciones de filtros para así poder visualizar lo que está sucediendo en la pequeña película de aceite.

Para una mejor visualización hacemos uso de la cámara digital (Ver Fig. 7) y del software Q Capture para proyectar la imagen de la película de aceite en la pantalla del computador, donde se ira examinando minuciosamente la película de aceite que se encuentra a lo largo del ferrograma que se encuentra sobre la platina del microscopio y al encontrarse partículas ferrosas o de contaminación en el aceite se procederá a capturar la imagen para luego determinar lo que está sucediendo en el ferrograma.

*Paso 6:* por medio de un método de comparación de acuerdo a las imágenes obtenidas en los ensayos realizados con el equipo de ferrografía analítica (Ver Fig. 4), se comparan con las que se encuentran en el Wear Particle Atlas TRICO, determinando así los mecanismos de desgaste encontrados en las muestras y poder diagnosticar lo que está ocurriendo internamente en los motores de combustión interna de los grupos electrógenos. La finalidad de una buena interpretación conlleva a que los resultados sean un beneficioso aporte al mantenimiento preventivo en el momento de realizar la programación de sus tareas como las frecuencias y cambios de aceite.

Para un mayor entendimiento acerca de este procedimiento se adjunta un manual del equipo de ferrografía analítica, descripción, procesos y un CD donde se detalla todo el desarrollo del análisis de muestras de aceite de los motores diésel.

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

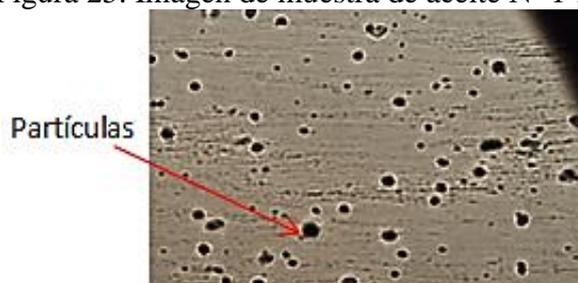
Después de una examinación visual microscópica de cada muestra de aceite (Ver Fig. 23), se procede al análisis e interpretación de las imágenes obtenidas durante el desarrollo de cada ensayo de acuerdo a las formas de las partículas que se detectan en los ferrogramas. Para el proceso de interpretación se procederá a emplear un método de comparación con las imágenes que se encuentran en el Wear Particle Atlas TRICO y en el Wear Debris Atlas Noria Corporation, conjuntamente con los conocimientos y habilidades del analista.

#### 5.1 Interpretación del análisis de muestra de aceite del motor PERKINS del generador diésel FG WILSON.

En esta parte del documento se procede a la interpretación de las imágenes que se obtuvieron del análisis de aceite SAE 15W-40 del motor diésel Perkins que trabaja en conjunto con un generador eléctrico que conforman el grupo electrógeno FG WILSON. El motor acoplado al generador opera en una zona montañosa y húmeda en el sitio La López que suministra energía eléctrica al área de mina perteneciente a la empresa SOMILOR S.A. (Observar Anexo K)

De acuerdo a la muestra uno analizada que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se observa la presencia de partículas de silicio en el aceite lubricante provenientes usualmente del polvo atmosférico e impurezas que se introducen en el sistema de lubricación a causa de filtros en mal estado, orificios, respiraderos, etc. Generando un nivel de contaminación y una leve oxidación del aceite.

Figura 25. Imagen de muestra de aceite N° 1-PERKINS



Fuente: Autor

En la segunda muestra analizada que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se puede contemplar una partícula con apariencia de desgaste cortante producido por contaminantes abrasivos que se forman por la presencia de desgaste en las superficies de las piezas internas del motor y una cierta cantidad de polvo atmosférico e impurezas sólidas.

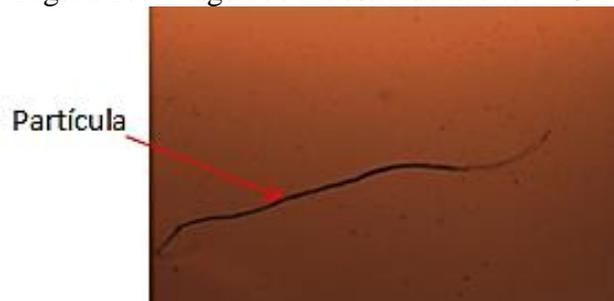
Figura 26. Imagen de muestra de aceite N° 2-PERKINS



Fuente: Autor

En la examinación visual de la tercera muestra que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, existen partículas no ferrosas de corrosión extremadamente pequeñas (por debajo de un micrón) que se presentan por la humedad interna en el cárter creándose microorganismos y a su vez cantidades de hollín por una mala combustión o suciedad en los inyectores.

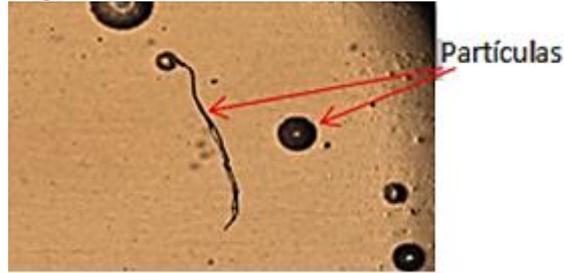
Figura 27. Imagen de muestra de aceite N° 3-PERKINS



Fuente: Autor

En el análisis de la cuarta muestra de aceite que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se puede identificar una gran cantidad de partículas por desgaste cortante por contaminantes abrasivos. Donde las superficies de contacto que presentan los componentes internos son de un nivel elevado de rugosidad, así mismo la presencia de contaminación del lubricante por parte de sólidos en forma de lodos por una mala combustión.

Figura 28. Imagen de muestra de aceite N° 4-PERKINS



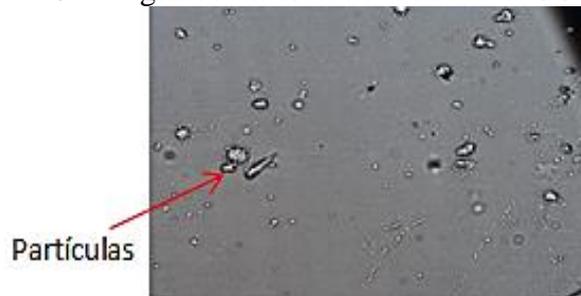
Fuente: Autor

## 5.2 Interpretación del análisis de muestra de aceite del motor CUMMINS del generador diésel CUMMINS.

Una vez realizado los ensayos se procede a la interpretación de las imágenes que se obtuvieron del análisis del aceite 15W-40 del motor diésel Cummins que trabaja en conjunto con un generador eléctrico que conforman el grupo electrógeno CUMMINS. El motor acoplado al generador opera en una zona montañosa y húmeda en el sitio La López que suministra energía eléctrica al área de molinos perteneciente a la empresa SOMILOR S.A. (Observar Anexo K)

En el análisis de la muestra número uno que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se detectaron partículas de desgaste de apariencia blanca no ferrosas de aluminio que se encuentra de manera aleatoria en la plaqueta de vidrio, estas partículas provienen de la superficie de los pistones.

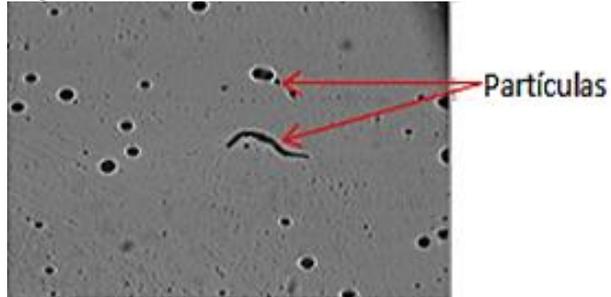
Figura 29. Imagen de muestra de aceite N° 1-CUMMINS



Fuente: Autor

En la segunda muestra que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se contempla la presencia de partículas de silicio de manera aleatoria y algunas en forma de cadena que es por la formación de lodos que se forman por polvo atmosférico e impurezas que se introducen en el sistema de lubricación a causa de filtros en mal estado y hollín proveniente de los inyectores o una mala combustión.

Figura 30. Imagen de muestra de aceite N° 2-CUMMINS



Fuente: Autor

En esta muestra que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se mantiene la contaminación del aceite en bajas proporciones pero empiezan aparecer partículas de desgaste por corte, causadas por la fricción entre dos componentes que no disponen de la rugosidad apropiada y se desprende rizadamente como en un proceso de cepillado de madera, el material tiene una forma de viruta.

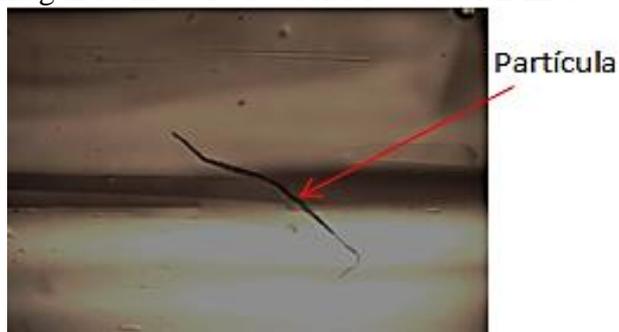
Figura 31. Imagen de muestra de aceite N° 3-CUMMINS



Fuente: Autor

En el análisis de la cuarta muestra que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se presenta un aumento de partículas de desgaste cortante en forma de alambres finos, contaminación del aceite y partículas no ferrosas de corrosión por presencia de humedad interna (microorganismos).

Figura 32. Imagen de muestra de aceite N° 4-CUMMINS



Fuente: Autor

### 5.3 Interpretación del análisis de muestra de aceite del motor MITSUBISHI del generador diésel HIMOINSA.

Con las imágenes obtenidas del análisis del aceite SAE 30 del motor diésel Mitsubishi que trabaja en conjunto con un generador eléctrico que conforman el grupo electrógeno HIMOINSA se procede a la interpretación respectiva. El motor acoplado al generador opera en una zona montañosa y húmeda en el sitio La López que suministra energía eléctrica al área de planta de beneficio perteneciente a la empresa SOMILOR S.A.

En la primera muestra que se realizó en el motor Mitsubishi en la fecha que se indica en la Tabla 7, se encontró una cantidad pequeña de silicio que se basa en concentración de partículas insolubles, presencia de agua y residuos de polvo. También se identificaron óxidos metálicos negros depositados en el lubricante en forma de cadena, formando lodos aumentando la viscosidad del aceite.

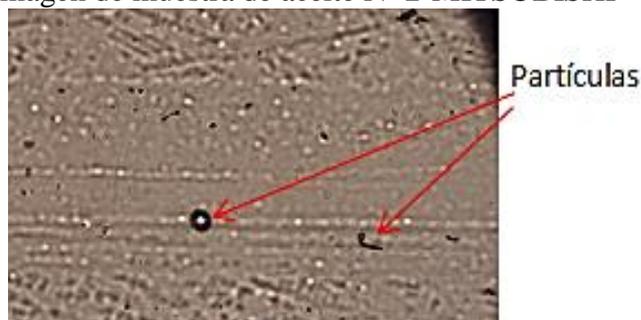
Figura 33. Imagen de muestra de aceite N° 1-MITSUBISHI



Fuente: Autor

En el segundo análisis de muestra que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se puede observar que se mantiene la cantidad de contaminación en el aceite lubricante por la presencia de de partículas insolubles, de agua y residuos de polvo en forma de lodos.

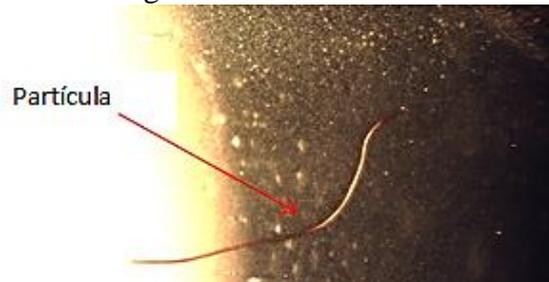
Figura 34. Imagen de muestra de aceite N° 2-MITSUBISHI



Fuente: Autor

Al momento del análisis de la tercera muestra que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se pudo detectar un desgaste por corte observando partículas larga y delgada de color amarillo brillante que tiene forma de alambre, como se puede ver en la figura y esto se puede dar cuando existe un contacto muy duro entre superficies cuando su nivel de rugosidad es muy elevado.

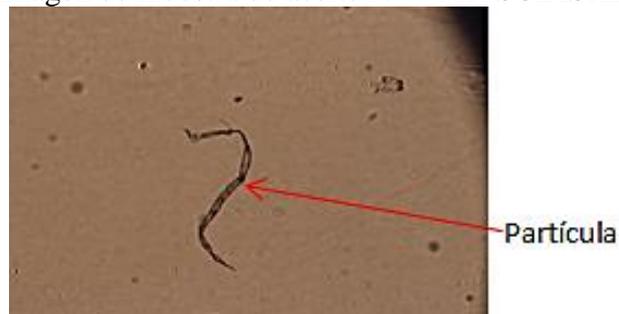
Figura 35. Imagen de muestra de aceite N° 3-MITSUBISHI



Fuente: Autor

En la última muestra que se realizó en la fecha que se indica en la Tabla 7, se puede constatar la presencia de partículas no ferrosas de fibras causadas por desprendimiento del filtro de aire o contaminación externa y además partículas pequeñas de corrosión que se dan por la humedad interna en el cárter y se encuentran agrupadas o individuales a manera de raíces.

Figura 36. Imagen de muestra de aceite N° 4-MITSUBISHI



Fuente: Autor

#### 5.4 Comparación de resultados obtenidos con el software

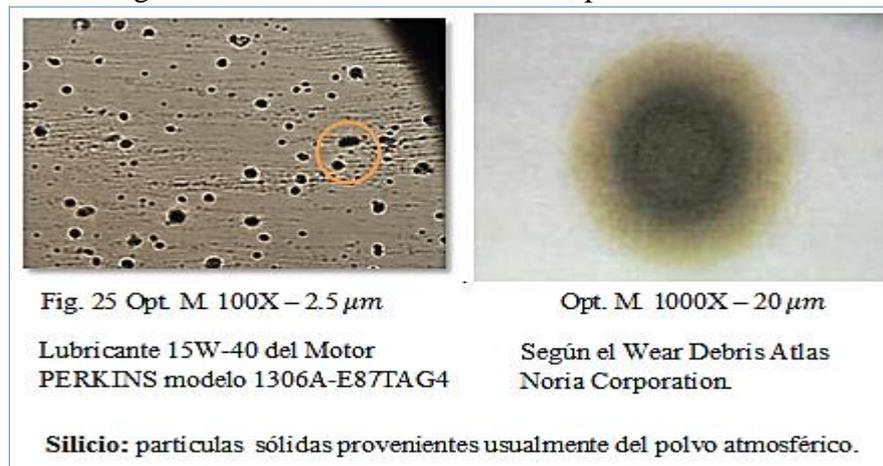
Durante la examinación visual realizada en el microscopio óptico bicromático se emplearon un objetivo seco de 10X, filtros de color rojo para resaltar las partículas opacas y grandes, filtros de color verde para resaltar las partículas translucidas, semiopacas y pequeñas con la finalidad de obtener una mayor visualización de las partículas en cada una de las muestras de aceites (Ver Fig. 23). Enfocando debidamente

la muestra de aceite con el objetivo seco se obtuvo una proyección de imagen nítida y real de 2x100X de cada uno de los ferrogramas analizados. Estas imágenes darán a conocer la forma y tamaño de las partículas, el tipo de desgaste que presentan y el nivel de contaminación que existe en el aceite de los motores. Partiendo de las mismas se definirá los modos de fallos que pudiera presentar cada uno de los motores y diagnosticar los posibles mecanismos de desgaste.

Se analizan detenidamente las imágenes, luego se procede a realizar una comparación donde se identificará elementos nocivos en el aceite. A continuación se detalla los resultados comparativos de cada una de las muestras de aceite por motor, indicados en un recuadro donde se presenta en el lado izquierdo del recuadro las partículas detectadas por medio del análisis ferrográfico, la semejante a la derecha perteneciente al Wear Particle Atlas TRICO y al Wear Debris Atlas Noria Corporation.

**5.4.1** *Comparación de imágenes de muestras de aceite realizadas en el motor diésel PERKINS.* Durante el análisis visual del primer ferrograma en la zona de 50 y 40 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de silicio (Observar Anexo F).

Figura 37. Ferrograma N° 1 de lubricante 15W-40, partículas de silicio-PERKINS



Fuente: Autor

El tamaño de la partícula se obtiene tomando en cuenta la división del condensador 0,25 mm y los aumentos del objetivo seco con el ocular dan 100X. Se divide  $0,25/100=0,0025/0,001=2,5 \mu\text{m}$  que será el valor del tamaño de la partícula analizada en el microscopio bicromático.

En el análisis visual del segundo ferrograma en la zona de 40 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de hierro por desgaste de anillos, paredes de cilindros, camisas, etc. y silicio debido a polvo en el aire, juntas, filtros defectuosos, etc. El tamaño de la partícula es de 3  $\mu\text{m}$ .

Figura 38. Ferrograma N° 2 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y silicio-PERKINS



Fuente: Autor

En la examinación del tercer ferrograma en la zona de 50 y 10 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas no ferrosas sólidas corrosivas provenientes de agua en el cárter y óxidos metálicos negros debido a la oxidación de piezas y desgaste de las mismas. El tamaño de la partícula es de 2,5  $\mu\text{m}$ .

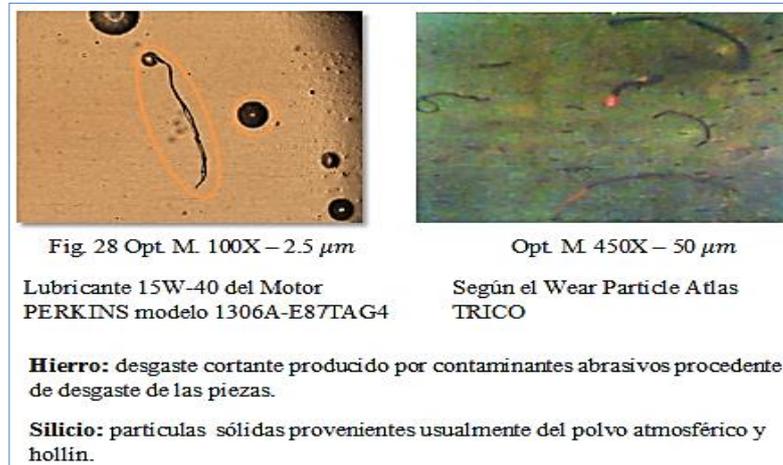
Figura 39. Ferrograma N° 3 de lubricante 15W-40, partículas de Agua y óxidos-PERKINS



Fuente: Autor

En el análisis visual del cuarto ferrograma en toda la escala milimétrica de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de hierro por desgaste de anillos, paredes de cilindros, camisas, etc. y silicio debido a polvo en el aire, juntas, filtros defectuosos, etc. El tamaño de la partícula es de  $2,5 \mu\text{m}$ .

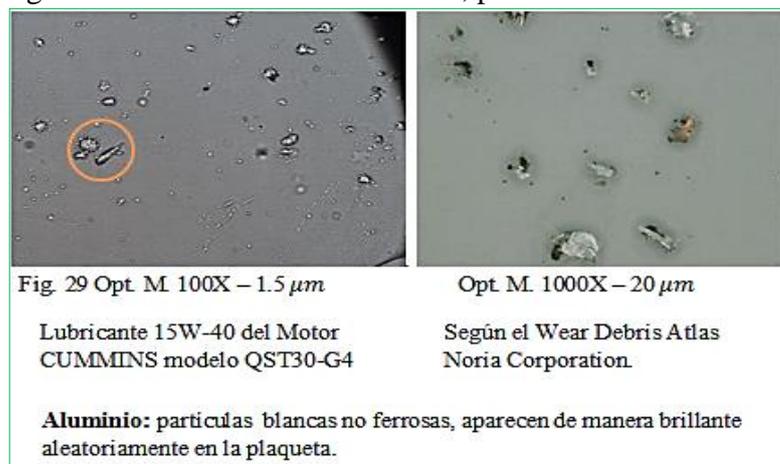
Figura 40. Ferrograma N° 4 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y silicio-PERKINS



Fuente: Autor

**5.4.2** *Comparación de imágenes de muestras de aceite realizadas en el motor diésel CUMMINS.* Durante el análisis visual del primer ferrograma en la zona de 45 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de apariencia blanca no ferrosas de aluminio (Observar Anexo G).

Figura 41. Ferrograma N° 1 de lubricante 15W-40, partículas de aluminio-CUMMINS

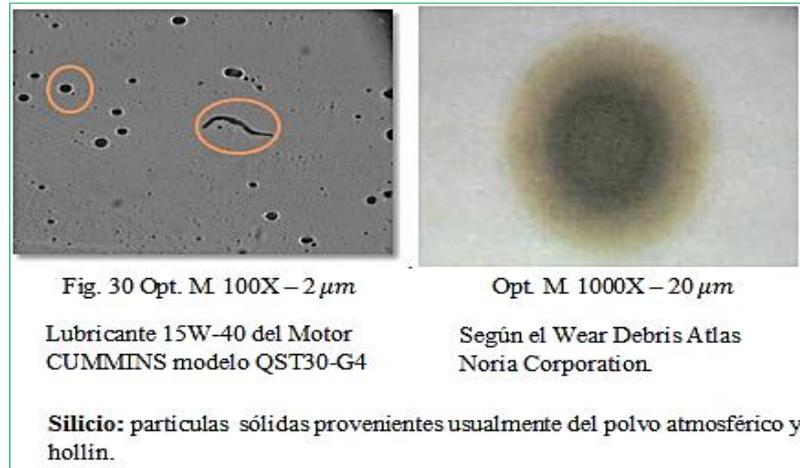


Fuente: Autor

En el análisis visual del segundo ferrograma en la zona de 50, 45 y 40 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de

silicio debido a polvo en el aire, juntas, filtros defectuosos, etc. y de hollín por una mala combustión. El tamaño de la partícula es de  $2 \mu\text{m}$ .

Figura 42. Ferrograma N° 2 de lubricante 15W-40, partículas de silicio-CUMMINS



Fuente: Autor

En el análisis visual del tercer ferrograma en la zona de 45 y 35 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de hierro por desgaste de anillos, paredes de cilindros, camisas, etc. y silicio debido a polvo en el aire, juntas, filtros defectuosos, etc. El tamaño de la partícula es de  $2,5 \mu\text{m}$ .

Figura 43. Ferrograma N° 3 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y silicio-CUMMINS



Fuente: Autor

En el análisis visual del cuarto ferrograma en la zona de 40, 15 y 10 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de hierro por desgaste de anillos, paredes de cilindros, camisas, etc. y partículas no ferrosas

sólidas corrosivas provenientes de agua en el cárter. El tamaño de la partícula es de 1,5  $\mu\text{m}$ .

Figura 44. Ferrograma N° 4 de lubricante 15W-40, partículas de Fe y agua-CUMMINS



Fuente: Autor

**5.4.3 Comparación de imágenes de muestras de aceite realizadas en el motor diésel MITSUBISHI.** Durante el análisis visual del primer ferrograma en la zona de 40 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de silicio y óxidos metálicos negros (Observar Anexo H).

Figura 45. Ferrograma N° 1 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y óxidos metálicos-MITSUBISHI



Fuente: Autor

En la examinación del segundo ferrograma en toda la escala milimétrica de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de

silicio proveniente del polvo en el aire, juntas, filtros defectuosos, etc. y óxidos metálicos negros debido a la oxidación de piezas y desgaste de las mismas. El tamaño de la partícula es de  $1,5 \mu\text{m}$ .

Figura 46. Ferrograma N° 2 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y óxidos metálicos-MITSUBISHI



Fuente: Autor

En el análisis visual del tercer ferrograma en la zona de 40, 30 y 20 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de silicio debido a polvo en el aire, juntas, filtros defectuosos, etc. y de hierro por desgaste de anillos, paredes de cilindros, camisas, etc. El tamaño de la partícula es de  $2,5 \mu\text{m}$ .

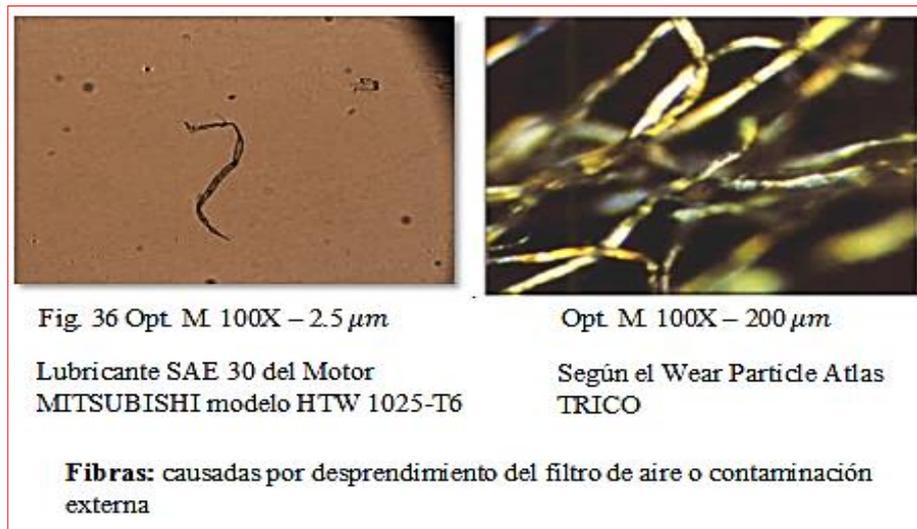
Figura 47. Ferrograma N° 3 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y Fe-MITSUBISHI



Fuente del Autor

En el análisis visual del cuarto ferrograma en la zona de 56 y 15 mm., de acuerdo al croquis de la plaqueta de vidrio indicada en la figura 22 se detectan las partículas de fibras causadas por el desprendimiento del material del cual se encuentran fabricados los filtro de aire o contaminación externa al momento de realizar la limpieza y cambio de los mismos. El tamaño de la partícula es de  $2,5 \mu m$ .

Figura 48. Ferrograma N° 4 de lubricante SAE 30, partículas de silicio y fibras-MITSUBISHI



Fuente: Autor

## 5.5 Discusiones finales

*Motor PERKINS del generador diésel FG WILSON.* Se presenta el diagnóstico del estado técnico del grupo electrógeno FG WILSON que se encuentra conformado por un motor de combustión interna ciclo diésel PERKINS y un generador eléctrico mediante el análisis de aceite SAE 15W-40 (Observar Anexo F). En este motor estacionario se realizó un mantenimiento general (Overhall) a los cinco años desde su adquisición y actualmente se encuentra trabajando como un equipo de generación Standby en la empresa SOMILOR S.A. que suministra energía al área de mina. (Observar Anexo K)

La frecuencia de mantenimiento para este tipo de motores es cada 1000 horas recomendado por el fabricante. Pero el departamento de mantenimiento de la empresa mantiene un proceso de inspecciones que consideran fiable para el buen funcionamiento del equipo.

En la propuesta planteada acerca de un mantenimiento predictivo en el motor PERKINS

del generador diésel FG WILSON mediante la ferrografía analítica cualitativa y en un aporte al mantenimiento preventivo en coordinación con el análisis de aceite realizado durante las fechas indicadas en el reporte muestran una cantidad moderada de contaminación de partículas de silicio en el aceite (Observar Anexo F), durante el monitoreo se ha observado que la contaminación existente a dado lugar para la aparición de partículas de elementos ferrosas producidas por desgaste abrasivo, la forma de las partículas muestran un desgaste normal. Se recomienda un cambio de filtro de aire a la mitad del período del cambio de aceite y revisión de inyectores.

También muestran presencia de agua en el lubricante de acuerdo a la coloración del mismo, posible causa de la condensación interna y formación de óxidos negros. Su contenido se ha incrementado desde la primera muestra hasta la cuarta analizada. Se recomienda algún tipo de protección contra la humedad o aplicación de aditivos ya que puede producir y evolucionar un desgaste corrosivo degradando el aceite.

El tamaño de las partículas encontradas en las muestras de aceite se encuentran en rangos considerables de 2,5 a 3  $\mu m$ , teniendo presente los siguientes valores de rango recomendados < a 10  $\mu m$  para camisas, cilindros y anillos, < a 20  $\mu m$  para cojinetes y bujes, < a 1  $\mu m$  para árbol de levas y arandelas de empuje según el Wear Particle Atlas TRICO. Pero no se debe ignorar los resultados obtenidos en estos ensayos por el contrario se tiene que actuar con medidas de inspección preventivas ante lo que está sucediendo con la finalidad de evitar futuros daños en el equipo y así mantener la vida útil del motor.

Como una última recomendación recuerde que las frecuencias de mantenimiento del motor pueden variar de manera que se amplíe o se acorte el tiempo estimado por el fabricante, es preciso actuar de acuerdo a los resultados de los análisis del lubricante y los parámetros de operación para la modificación de los tiempos de mantenimiento.

*Motor CUMMINS del generador diésel CUMMINS.* Se presenta el diagnóstico del estado técnico del grupo electrógeno CUMMINS que se encuentra conformado por un motor de combustión interna ciclo diésel CUMMINS y un generador eléctrico mediante el análisis de aceite SAE 15W-40 (Observar Anexo G). Es un motor estacionario de generación Standby en la empresa SOMILOR S.A. que suministra energía al área de

molinos. (Observar Anexo K).

La frecuencia de mantenimiento para este tipo de motores es cada 2000 horas recomendado por el fabricante. Pero el departamento de mantenimiento de la empresa mantiene un proceso de inspecciones que consideran fiable para el buen funcionamiento del equipo.

En la propuesta planteada acerca de un mantenimiento predictivo en el motor CUMMINS del generador diésel CUMMINS mediante la ferrografía analítica cualitativa y en un aporte al mantenimiento preventivo en coordinación con el análisis de aceite realizado durante las fechas indicadas en el reporte muestran una cantidad moderada de partículas de desgaste no ferrosas provenientes del pistón que está compuesto por una aleación de aluminio (Observar Anexo G). Esta contaminación junto a la presencia de materia carbonosa en forma de sólidos que se ha observado durante el monitoreo de las muestras de aceite han dado lugar para la aparición de partículas de elementos ferrosos producidas por desgaste abrasivo, la forma de las partículas muestran un desgaste normal. Se recomienda un cambio de filtro de aire a la mitad del período del cambio de aceite y no mantener por mucho tiempo el equipo en frío, procurar realizar un calentamiento del motor durante 30 minutos por semana.

También muestran presencia de agua en el lubricante de acuerdo a la coloración del mismo, posible causa la condensación dentro del cárter. Su contenido se ha incrementado desde la segunda muestra hasta la cuarta analizada. Se recomienda algún tipo de protección contra la humedad o aplicación de aditivos ya que puede producir y evolucionar un desgaste corrosivo degradando el aceite.

El tamaño de las partículas encontrados en las muestras de aceite se encuentran en rangos considerables de 1,5 a 2,5  $\mu m$ , teniendo presente los siguientes valores de rango recomendados < a 10  $\mu m$  para camisas, cilindros y anillos, < a 20  $\mu m$  para cojinetes y bujes, < a 1  $\mu m$  para árbol de levas y arandelas de empuje según el Wear Particle Atlas TRICO. Pero no se debe ignorar los resultados obtenidos en estos ensayos por el contrario se tiene que actuar con medidas de inspección preventivas ante lo que está sucediendo con la finalidad de evitar futuros daños en el equipo y así mantener la vida útil del motor.

Como una última recomendación recuerde que las frecuencias de mantenimiento del motor pueden variar de manera que se amplíe o se acorte el tiempo estimado por el fabricante, es preciso actuar de acuerdo a los resultados de los análisis de lubricante y los parámetros de operación para la modificación de los tiempos de mantenimiento.

*Motor MITSUBISHI del generador diésel HIMOINSA.* Se presenta el diagnóstico del estado técnico del grupo electrógeno HIMOINSA que se encuentra conformado por un motor de combustión interna ciclo diésel MITSUBISHI y un generador eléctrico mediante el análisis del aceite SAE 30 (Observar Anexo H). Es un motor estacionario de generación Standby en la empresa SOMILOR S.A. que suministra energía al área de planta de beneficio. (Observar Anexo K).

La frecuencia de mantenimiento para este tipo de motores es cada 2000 horas recomendado por el fabricante. Pero el departamento de mantenimiento de la empresa mantiene un proceso de inspecciones que consideran fiable para el buen funcionamiento del equipo.

En la propuesta planteada acerca de un mantenimiento predictivo del motor MITSUBISHI del generador diésel HIMOINSA mediante la ferrografía analítica cualitativa y en un aporte al mantenimiento preventivo en coordinación con el análisis de aceite realizado durante las fechas indicadas en el reporte muestran una cantidad moderada de óxidos negros en el aceite posiblemente por una mala combustión (Observar Anexo H), durante el monitoreo se ha observado que la contaminación existente sumada las partículas de silicio han dado lugar para la aparición de partículas de elementos ferrosos producidas por desgaste abrasivo, la forma de las partículas muestran un desgaste Normal. Se recomienda un cambio de filtro de aire a la mitad del periodo del cambio de aceite y consultar con el fabricante acerca de las propiedades el aceite con respecto al ambiente en donde se trabaja.

También muestran presencia de agua en el lubricante de acuerdo a la coloración del mismo, posible causa por la condensación dentro del cárter. Su bajo contenido se mantiene desde la primera muestra hasta la cuarta analizada. Se recomienda algún tipo de protección contra la humedad ya que puede producir y evolucionar un desgaste corrosivo.

El tamaño de las partículas encontrados en las muestras de aceite se encuentran en rangos considerables de 1,5 a 2,5  $\mu m$ , teniendo presente los siguientes valores de rango recomendados < a 10  $\mu m$  para camisas, cilindros y anillos, < a 20  $\mu m$  para cojinetes y bujes, < a 1  $\mu m$  para árbol de levas y arandelas de empuje según el Wear Particle Atlas TRICO. Pero no se debe ignorar los resultados obtenidos en estos ensayos por el contrario se tiene que actuar con medidas de inspección preventivas ante lo que está sucediendo con la finalidad de evitar futuros daños en el equipo y así mantener la vida útil del motor.

Como una última recomendación recuerde que las frecuencias de mantenimiento del motor pueden variar de manera que se amplíe o se acorte el tiempo estimado por el fabricante, es preciso actuar de acuerdo a los resultados de los análisis de lubricante y los parámetros de operación para la modificación de los tiempos de mantenimiento.

*Límites de desgaste normal:* El análisis junto al diagnóstico realizado a los grupos electrógenos demuestran unos valores típicos o límites considerables de silicio y desgaste. Valores por encima de los indicados deberán ser investigados y tomar acciones para evitar acortar la vida útil de los motores diésel, reconociendo que entre más bajo es el desgaste, mayor la vida útil del motor. (Observar Anexo F, G y H)

## CAPITULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

La implementación de un programa de análisis de aceite como herramienta predictiva mediante la ferrografía analítica es muy imprescindible en el monitoreo del estado técnico de los motores de combustión interna ciclo diésel, porque permite identificar, medir y controlar la morfología de los fenómenos de desgastes.

Un solo análisis por motor no ayudará a ver resultados, es la secuencia programada de toma de muestras y análisis lo que generará una reducción de costos de mantenimiento, disponibilidad del equipo y aumento de productividad. El departamento de mantenimiento conjuntamente con el departamento administrativo deberá tomar conciencia de los beneficios que representa esta actividad.

El análisis de muestras de aceite ha permitido en los ferrogramas determinar la existencia de partículas de silicio, aluminio, hierro, óxidos metálicos negros y agua producidos por la presencia de polvo atmosférico, sólidos insolubles, desgaste abrasivos, desgastes adhesivos, filtros defectuosos, condensación en el interior del motor por bajas temperaturas, etc. que caracterizan la contaminación del aceite lubricante.

Los análisis de cada muestra representa la condición del motor y la interpretación de los resultados nos proporcionan la información necesaria para la toma de decisiones y planificación de nuevas tareas de mantenimiento preventivo con la finalidad de mantener la vida útil de los motores diésel.

Los datos del aceite lubricante no solo son la clave para determinar el estado técnico de los motores diésel, sino también para detectar los modos de falla de desgaste existentes en su interior. Al comparar los históricos, usted es capaz de diagnosticar el tiempo de vida útil de los motores de combustión interna entendiendo lo que está sucediendo dentro del equipo por medio del análisis de lubricante.

## **6.2 Recomendaciones**

El programa de análisis de aceite usado basado en el monitoreo debe realizarse de manera continua ejecutando las actividades predictivas y preventivas, debido a que un diagnóstico eficiente depende de un buen historial técnico.

El departamento de mantenimiento conjuntamente con el departamento de talento humano deberá capacitar a su personal en los procedimientos de muestreo y las técnicas existentes que se debe llevar a cabo para obtener una muestra representativa para su análisis.

Para obtener una buena información en el análisis de muestras se debe tener en cuenta las frecuencias de muestreo según norma ISO 4021, los métodos de muestreo, calidad del recipiente plástico según norma ISO 3722 donde se almacenará la muestra de aceite.

Recordar que la identificación de la muestra con los datos completos del motor diésel antes de ser llevada al laboratorio proporcionará una correcta información de las condiciones actuales en las que se encuentra el equipo.

Se deberá elaborar reportes completos del estado técnico de los motores diésel en base al análisis del aceite para llevar consigo un historial completo de actividades realizadas en el equipo.

## BIBLIOGRAFÍA

**A-MAQ, 2005.** Tutorial de Ferrografía Analítica. *www.a-maq.com* [En línea] Enero 2005. <http://www.a-maq.com/tutoriales/Tutorial%20de%20Ferrografia%20A-MAQ%202005.pdf>

**BENNETT, Fitch. 2014.** Anatomía de las Partículas de Desgaste. *www.noria.mx* [trad.] Francisco J. Páez [En línea] 29 de Octubre de 2014. <http://noria.mx/lublearn/anatomia-de-las-particulas-de-desgaste/>

**CATALAN, Cristian. 2014.** Ferrografía Analítica - El Poder de Ver. *www.esource.alstribology.com*[En línea]2014. [http://esource.alstribology.com/SE002\\_June\\_2014/Ferrograf%C3%ADa%20Anal%C3%ADtica%E2%80%94El%20Poder%20de%20Ver.html](http://esource.alstribology.com/SE002_June_2014/Ferrograf%C3%ADa%20Anal%C3%ADtica%E2%80%94El%20Poder%20de%20Ver.html)

**CUMMINS, Inc.** Grupos Electrógenos Diésel. *www.cummins.com*[En línea]

**CUMMINS, Inc. 2001.** *Manual de Operaciones y Mantenimiento de Motores Diésel.* *www.cummins.com 2aEd.* Indiana: [En línea] 2001. <https://www.cummins.com/QST30-G4.pdf>

**CIENCIAS, Holguin. 2014.** Monitorización de Partículas Metálicas en Lubricantes Usados a través de la Magnetización. *revista@ciget.holguin.inf.cu* [En línea] vol. XX, núm4, Octubre-Noviembre2014. <http://www.redalyc.org/pdf/1815/181532583004.pdf>

**COMPANY, MITSUBISHI ENGINES. 2015.** Gama Pesada Estática Estándar HTW-1025 T6. *www.himoinsa.com.* [En línea] 2015.

**COMPANY, PERKINS ENGINES. 2002.** Manual del Usuario. *www.perkins.com.* [En línea] 2002.

**CONFIABILIDAD IND. 2008.** Aclarando Cinco Mitos de los Programas de Lubricación. *revista@confiabilidad.com.ve* [En línea] Noviembre-Diciembre 2008. [http://www.confabilidad.com.ve/revista/samples/edicion\\_3/edicion\\_3.pdf](http://www.confabilidad.com.ve/revista/samples/edicion_3/edicion_3.pdf)

**FG WILSON, Ind.** Grupos Electrógenos Diésel. *www.fgwilson.com*[En línea]

**GARRIDO, García Santiago. 2010.** Técnicas de Mantenimiento Predictivo en Plantas de Cogeneración. *www.wikispaces.com* y *www.renovetec.com* [En línea] 2010 <http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/T%C3%A9cnicas+de+Mantenimiento+predictivo+en+plantas+de+cogeneraci%C3%B3n,+por+Santiago+Garc%C3%ADa+Garrido>

**GUERBER, R. 1989.** *Moteur Diesel*. [trad.] José Company. 2a Ed. Barcelona : Gustavo Gili S.A., 1989. ISBN-84-252-0325-2.

**GRACA, B. SEABRA, J. SOUSA, P. 2011.** *Análisis de Aceite en Turbinas de Vapor*. [trad.] Roberto Trujillo [En línea] 10- 2011.  
<http://www.Revista-Machinery-Lubrication-en-Español-La-Edición-en-Español-de-la-Revista-de-Lubricación-Líder-en-el-Mundo.htm>

**HIMOINSA.** Grupos Electrógenos Dièsel. [www.himoinsa.com](http://www.himoinsa.com). [En línea]

**LOVICZ, Robert. 2015.** Desgaste de Partículas: una Herramienta del Mantenimiento Predictivo. [www.confiableidad.net](http://www.confiableidad.net)[En línea]2015.  
<http://confiableidad.net/articulos/desgaste-de-particula-una-herramienta-del-mantenimiento-predictivo/>

**MACIÁN, Vicente. 2005.** *Mantenimiento de Motores Diesel.1a Ed.* México : Alfaomega S.A., 2005. ISBN-970-15-0883-1.

**MARKS, 1995.** *Manual del Ingeniero Mecánico. 3a Ed.* México : McGraw-Hill, 1995. Obra Completa, ISBN-970-10-0661-5.

**mitsubishi engines company, 2015.** *Gama Pesada Estático Estándar HTW-1025 T6*. [www.himoinsa.com](http://www.himoinsa.com) Murcia : Himoinsa Dto. Ingeniería [En línea] 6 de Julio de 2015.  
[http://www.himoinsa.com/grupo-electrogeno-diesel-htw-1025\\_t6-mitsubishi-50hz-gama-pesada-prp\\_1250kva.aspx](http://www.himoinsa.com/grupo-electrogeno-diesel-htw-1025_t6-mitsubishi-50hz-gama-pesada-prp_1250kva.aspx)

**NORIA, Corporation. 2014.** Entendiendo los Grados de Viscosidad SAE para Lubricantes de Motor. [www.noria.mx](http://www.noria.mx) [trad.] Francisco J. Páez [En línea] 21 de Noviembre de 2013.  
<http://noria.mx/lublearn/entendiendo-los-grados-de-viscosidad-sae-para-lubricantes-de-motor/>

**NORIA, Corporation. 2014.** Toma de Muestras de Lubricantes de Clase Mundial. [www.noria.mx](http://www.noria.mx) [trad.] Francisco J. Páez [En línea] 28 de Abril de 2014.  
<http://noria.mx/lublearn/toma-de-muestras-de-lubricantes-de-clase-mundial-es-posible/>

**PERKINS ENGINES COMPANY, 2002.** *Manual del Usuario*. [www.perkins.com](http://www.perkins.com) 2aEd. Inglaterra : Technical Publications. [En línea] Septiembre 2002.  
<https://www.perkins.com/cda/files/4043743/7/TSL4186S.pdf>

**RAY, Garvey. 2014.** Caracterización de Partículas en Aceites en Uso.  
*www.noria.mx* [trad.] Francisco J. Páez [En línea] 5 de Noviembre de 2013.  
<http://noria.mx/lublearn/caracterización-de-partículas-en-aceites-en-uso/>

**RENOVETEC, 2013.** Ingeniería del Mantenimiento.Mantenimiento Predictivo.  
*www.renovetec.com*[Enlínea]2013.

<http://renovetec.com/libros>

**STAMM, Gerhard.** El Mantenimiento como parte de la Estrategia Corporativa.  
*www.interempresas.net* [En línea] 30 de Noviembre de 2012.  
<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/102860-El-mantenimiento-como-parte-de-la-estrategia-corporativa.html>

**THE HARTFORD STEAM BOILER. 2002.** *Mantenimiento de Motores Diésel para una Operación Confiable.* [En línea] 09-2002.  
<http://www.hsb.com>

**WIDMAN, Richard. 2015.** Widman International SRL. *www.widman.biz* [En línea] 12 de Marzo de 2015.  
<http://www.widman.biz/boletines/html>