

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**MANTENIMIENTO DE UN GRUPO ELECTROGENO DE
360 KW EN EL PROYECTO BAYOVAR BASADO EN EL
ANALISIS DE ACEITES**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

JOSE ENRIQUE VILCA CHAVEZ

PROMOCION 2007-II

LIMA-PERU

2011

Agradecimientos

A Dios y a mis padres Edith y José por darme la oportunidad de crecer profesional y personalmente.

TABLA DE CONTENIDOS

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 OBJETIVO.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 ALCANCES.....	4
CAPÍTULO 2	
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	5
2.1 DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	5
2.2 METAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	7
2.3 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	7
2.4 TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	8
2.4.1 Inspección visual.....	8
2.4.2 Análisis Vibracional.....	8
2.4.3 Análisis de aceites.....	9
CAPÍTULO 3	
ANÁLISIS DE ACEITE	10
3.1 CONCEPTO.....	10
3.2 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE ACEITE.....	11
3.3 PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE.....	12

3.4	ENSAYOS IN-HOUSE – PRUEBAS DE PRIMERA LÍNEA.....	17
3.5	LLENADO DE ETIQUETA CON INFORMACIÓN NECESARIA.....	18
3.6	CONSIDERACIONES EN LA TOMA DE MUESTRAS DE ACEITES.....	20
3.7	FRECUENCIA DE MUESTREO.....	20
3.8	ENSAYOS Y ANÁLISIS DE ACEITE.....	24
3.8.1	Viscosidad.....	24
3.8.2	Hollín.....	26
3.8.3	Agua.....	27
3.8.4	Oxidación.....	29
3.8.5	TBN.....	33
3.8.6	Partículas de desgaste.....	35

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS DEL GRUPO ELECTRÓGENO OBJETO DEL ESTUDIO.39

4.1	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL GRUPO ELECTRÓGENO CUMMINS C350-D6-4.....	39
4.2	PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	41
4.2.1	Inspección Diaria.....	41
4.2.2	Inspección Semanal.....	42
4.2.3	Tareas de Mantenimiento cada 250 horas (PM - 1).....	42
4.2.4	Tareas de Mantenimiento cada 500 horas (PM - 2).....	43
4.2.5	Tareas de Mantenimiento cada 1000 horas (PM - 3).....	43
4.2.6	Tareas de Mantenimiento cada 2000 horas (PM - 4).....	44
4.3	IMPLEMENTACIÓN DE ANÁLISIS DE ACEITES COMO UNA TÉCNICA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	45

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
5.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS LÍMITES DE SERVICIO.....	46
5.2 REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE.....	48
5.3 GRÁFICOS DE TENDENCIAS DE LOS REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE.....	49
5.4 INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	55
5.5 ACCIONES CORRECTIVAS.....	57
5.6 ESTABLECIMIENTO DE NUEVAS FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO.....	59
5.7 ANÁLISIS DE COSTOS.....	59
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	68
ANEXO I : FORMATO DE REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE	
ANEXO II : HOJA TÉCNICA DE ACEITE MOBIL DELVAC MX 15W-40	

PRÓLOGO

En el norte del Perú, GyM S.A. viene desarrollando trabajos de mantenimiento y de asistencia en operación, tanto en Planta Concentradora de Bayovar, en Planta de Secados así como en el Puerto de la Compañía Minera Miski Mayo S.A.C.

En la planta concentradora opera un grupo electrógeno de 360 Kw, en la que su principal función es de alimentar a todo el sistema de iluminación. Además abastece de energía a los talleres de mantenimiento y de soldadura de GyM S.A. Este grupo opera en promedio 680 horas mensuales por lo que la realización de las tareas de mantenimiento es muy importante debido al intenso trabajo que este equipo desarrolla.

Es por eso que al tratarse de un equipo crítico, el presente informe desarrolla un trabajo de monitoreo constante de las condiciones operativas del motor del grupo electrógeno mediante la evaluación de los aceites usados. Esta técnica del mantenimiento predictivo se le conoce como Análisis de Aceite. Para un mayor entendimiento del tema, el informe se divide en 5 capítulos generales.

El capítulo 1 muestra la introducción del informe. Se describe los antecedentes, objetivos, justificación y alcances del presente trabajo.

El capítulo 2 explica las generalidades del Mantenimiento Predictivo, así como las diferentes técnicas aplicadas a los motores de combustión interna.

En el capítulo 3 se desarrolla la explicación de la teoría del Análisis de Aceite como una técnica del Mantenimiento Predictivo. Así mismo la aplicación de esta técnica a las maquinarias de planta industrial, construcción y minería.

En el capítulo 4 se mencionan las características técnicas del grupo electrógeno objeto del estudio. También se presentan los planes de Mantenimiento Preventivo y la implementación de la técnica del Análisis de Aceite.

El capítulo 5 detalla los resultados de los reportes de aceite y las acciones correctivas tomadas luego de analizar los datos. Además se realizó un análisis de costos en la que nos muestra el ahorro de los costos totales de mantenimiento.

Finalmente se presentan las respectivas Conclusiones y Recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, así como la Bibliografía y los Anexos.

Espero satisfacer más allá de las expectativas del lector.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Tradicionalmente a los equipos mayores de GyM S.A. se les realiza trabajos de mantenimiento preventivo, en la que cada cierto tiempo se desarrollan tareas de inspección general, ajustes, pruebas, y cambios de filtros y lubricantes. Sin embargo este tipo de mantenimiento rutinario no es suficiente cuando se trata de equipos críticos como el caso del grupo electrógeno en estudio. Este grupo se considera crítico ya que la ocurrencia de una falla tendría un importante impacto en la operación de la planta concentradora de Bayovar.

Es por ello que se requiere el monitoreo constante de las condiciones operativas para evitar la ocurrencia de paradas no programadas. Una de las formas de monitorear es mediante la implementación del Análisis de Aceite como una técnica de mantenimiento predictivo.

1.2 OBJETIVO

Asegurar la confiabilidad del grupo electrógeno de 360 Kw objeto del estudio mediante la evaluación continua de los parámetros de control del aceite usado y la toma de acciones correctivas antes de que se produzcan las fallas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Al ocurrir paradas no programadas de un equipo crítico como el grupo electrógeno en estudio, la producción de la planta concentradora quedaría afectada y los costos en este tipo de reparaciones de emergencia serían excesivos, ya que un pequeño componente podría afectar a todo un sistema si no se detecta y corrige a tiempo las deficiencias de las condiciones operativas.

Por eso se justifica la implementación del Análisis de Aceite a las tareas de mantenimiento del grupo, para evitar que el equipo en mención falle de manera repentina y para reducir los costos totales de mantenimiento.

1.4 ALCANCES

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado para analizar el aceite de lubricación del motor de un grupo electrógeno de 360 Kw. El mismo procedimiento puede ser aplicado para cualquier equipo o maquinaria que cuente con un motor que utilice aceite multigrado 15W40, ya que los límites de servicio presentados en este informe están determinados para ese tipo de aceites.

Estos límites, que representan los valores en el que los parámetros de aceites deben funcionar, están basados en las especificaciones que brinda el fabricante de aceites Mobil Oil del Perú S.R.L.

CAPITULO 2

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

2.1 DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El Mantenimiento Predictivo, también denominado Monitoreo de Condición, es el proceso para determinar la condición de una máquina mientras está en operación (a plena carga), para detectar fallas, analizarlas, encontrar su causa, y corregir el problema, programando una reparación eficiente y eficaz de los componentes con problemas “antes de que fallen”.

Esta filosofía se basa en el hecho de que cuando un equipo ha empezado a gastarse, sus condiciones de operación, tales como vibración, presión, temperatura, condición del aceite, etc., empezarán a cambiar; razón por la cual este tipo de mantenimiento propone un monitoreo frecuente de la condición del equipo (monitoreo de condición), precisamente para detectar el cambio, analizar la causa del cambio y dar la solución correcta “justo antes” de que se produzca la falla.

Otra definición del Mantenimiento Predictivo refiere lo siguiente: “El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente puede reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.” (1).

El Mantenimiento Predictivo, consta de tres etapas fundamentales:

- **Detección.-** Es la etapa de recolección de datos en los equipos, que nos sirve para poder detectar los problemas existentes en ellos. Los datos tomados por lo general nos sirven para un análisis de la posible causa del problema.
- **Análisis.-** Consiste en encontrar la causa del cambio de condición. En este caso, hay que dirigirse a la máquina y tomar datos adicionales que nos ayuden a analizar el problema detectado en la primera fase.
- **Corrección.-** Es eliminar el problema detectado y analizado, tomando acción adecuada y correcta.

2.2 METAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- Ayudar al personal a eliminar la posibilidad de una falla catastrófica, evitando de esta manera que otros componentes puedan ser dañados.
- Planificar anticipadamente la compra de repuestos, con lo cual el departamento de logística tendrá el tiempo suficiente para encontrar el repuesto que cumpla con las especificaciones requeridas y a un precio real.
- Programar las horas - hombre, con lo cual el personal va a estar sobre aviso del día que hay que trabajar en el equipo y esté preparado para ello, evitando tener que trabajar intempestivamente lo cual tiene un costo social (familiar) y económico para la empresa.
- Planificar reparaciones múltiples mientras dura la parada.

2.3 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- Maximiza la productividad.
- Extiende los intervalos entre paradas.
- Reduce los tiempos de reparación.
- Incrementa la vida de la máquina.
- Ayuda al planeamiento de las reparaciones.
- Mejora la calidad del producto.
- Baja los costos del Mantenimiento.

2.4 TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

A continuación se mencionan las principales técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo aplicado a motores de combustión interna:

2.4.1 Inspección visual:

Las inspecciones visuales consisten en la observación del equipo, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Los problemas habituales suelen ser: ruidos anormales, vibraciones extrañas, fugas de aire, agua o aceite, corrosión, grietas, etc.

Estas inspecciones y lecturas, por su sencillez y economía, son normalmente realizadas a diario, en algunos casos varias veces al día dependiendo de la complejidad de las maquinarias y/o equipos. Suele llevarlas a cabo el personal de operación a través de los Check List elaborados por el Área de Mantenimiento.

2.4.2 Análisis Vibracional:

Esta técnica se basa en la detección de fallas de comportamientos mecánicos en los componentes de máquinas rotativas principalmente.

Todas las máquinas generan algún nivel de vibración como parte de su funcionamiento normal. Esto es medible estableciendo la magnitud y la frecuencia de vibración con los diferentes instrumentos de medición existentes.

Las vibraciones son causadas debido a las tolerancias con que las máquinas fueron diseñadas. Estas tolerancias dan a la máquina nueva una

“firma” de vibración característica y provee una base para contrastar las futuras mediciones. Cualquier variación futura de estas vibraciones nos indicará que un defecto incipiente está comenzando.

2.4.3 Análisis de aceites

El análisis de aceite consiste en una serie de pruebas de laboratorio que se utilizan para evaluar la condición de los lubricantes usados. Estas pruebas se dividen en:

Análisis espectrográfico de aceite:

Permite analizar el estado de las propiedades del aceite usado, como la viscosidad, la oxidación y el TBN (Número Total Básico), además identifica la presencia de contaminantes como agua, hollín, lodos, etc.

Análisis ferrográfico de partículas:

Mediante esta prueba se identifica las diversas partículas de desgaste, ferrosas y no ferrosas, sobre los que se puede determinar qué componentes de un sistema mecánico se están desgastando de una manera anormal al superar los límites de control de la cantidad máxima permisible en un aceite.

CAPITULO 3

ANÁLISIS DE ACEITE

3.1 CONCEPTO

El análisis de aceite consiste en una serie de pruebas de laboratorio que se usan para evaluar la condición de los lubricantes usados. Al estudiar los resultados del análisis se obtiene la información suficiente que permite tomar decisiones en cuanto a la necesidad de cambiar el lubricante o de someterlo a un proceso de filtración o de diálisis. Con este análisis también se puede elaborar un diagnóstico sobre la condición de desgaste del equipo y sus componentes.

El análisis de aceite conlleva la siguiente secuencia:

- Toma de muestra.
- Documentación de los detalles de la muestra.
- Envío de la muestra al laboratorio.
- Realización de los análisis.
- Interpretación de resultados.
- Emisión de un reporte de diagnóstico.
- Toma de acciones.

3.2 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE ACEITE

La implementación del Análisis de Aceite como una técnica del Mantenimiento Predictivo nos permite saber lo que está ocurriendo en el interior de cada uno de los sistemas de los equipos móviles, como el motor, sistema hidráulico, sistema de transmisión, etc., ayudándonos a detectar rápidamente problemas de desgaste excesivo de los componentes de estos sistemas, así como la contaminación y degradación del aceite lubricante.

Entre los beneficios del uso del análisis de aceite podemos mencionar:

- Identificación de fallas potenciales antes de que ocurran.

Mediante los reportes de los análisis de aceite se puede identificar una serie de fallas potenciales, como por ejemplo presencia de glicol (aditivo anticongelante del agua en los radiadores) en motores, desgaste de cojinetes en equipos industriales, contaminantes de proceso, etc.

Al estar identificados estas fallas potenciales, se puede tomar las acciones correctivas del caso antes de que ocurra la falla funcional.

- Mejoramiento de la durabilidad de los componentes al monitorear la condición del lubricante, como:
 - Viscosidad adecuada.
 - Nivel de oxidación inferior al límite establecido.
 - Bajo contenido de agua.
 - Bajo contenido de hollín.
 - Conteo de partículas controlado.

- Reducción del consumo y del desecho de lubricantes con períodos de cambio optimizados.

Esto conlleva a reducir las paradas para cambios de aceite, y nos ahorra el costo total de lubricación y por tanto el costo de Mantenimiento.

- Disminución de las paradas no programadas.

La producción es usualmente la mayor pérdida en una falla de equipo, por lo tanto la aplicación de esta técnica de Mantenimiento Predictivo conlleva a asegurar la disponibilidad de los equipos.

3.3 PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE

El proceso de análisis de aceite se inicia con la toma de muestras de aceite para remitir las mismas al laboratorio y poder determinar sus condiciones físico – químicas, conjuntamente con los niveles de presencia de los metales de desgaste.

El análisis de aceite es sumamente importante porque detecta problemas internos antes de que se conviertan en una falla. Por lo tanto es igualmente importante que una muestra de aceite refleje el verdadero estado del fluido que trabaja dentro de un sistema y cuya confiabilidad no sea dañada por contaminación accidental durante el proceso de muestreo. Por ello existe un procedimiento estandarizado para una buena toma de muestra de aceite.

Existen factores que afectan el contenido de una muestra de aceite, como son:

- Aceite lubricante: Si el aceite tiene viscosidad impropia, clasificación API incorrecta y es de baja calidad entonces afectarán los resultados del análisis.

- Contaminación externa: Polvo externo, combustible, agua o anticongelante glicol pueden ingresar a la muestra tomada si no tenemos el cuidado necesario y los resultados serían inexactos.
- Desgaste: Este es causado por los procesos diarios de operación, en la que producen cierta cantidad normal de partículas de desgaste. Sin embargo las muestras de aceites pueden indicar desgaste prematuro o acelerado debido a componentes instalados o ajustados inadecuadamente.
- Periodos de tiempos entre cambios de aceites.
- Compensación o agregado de aceites entre cambios.

Antes de iniciar una toma de muestras de aceites, siempre se debe calentar la máquina hasta que el aceite debe llegar a la temperatura de trabajo. De esta manera nos aseguramos que los contaminantes se mantengan en suspensión y por tanto se pueda tener una muestra representativa.

Existen 2 métodos de muestreo comúnmente utilizados en equipos móviles:

Válvula de muestreo en línea.

Extracción por vacío.

- **Válvula de muestreo de aceite en línea:**

Algunas maquinarias vienen equipadas de fábrica con una válvula para muestreo de aceite en cada sistema de aceite presurizado como el motor, la transmisión y el sistema hidráulico, no necesita usar una bomba manual de vacío. Es más confiable porque la muestra viene de una ubicación conocida

donde el aceite está bien mezclado y circulando, y con un estado preciso y representativo del mismo.

Hay 4 pasos básicos en el procedimiento con válvula de muestreo en línea:

Uno: Caliente la máquina hasta que esté a temperatura de trabajo, luego quite la tapa para polvo de la válvula del compartimiento sujeto a muestreo. Limpie la válvula de muestreo con un paño limpio sin hilachas.

Dos: Inserte una sonda acoplada a una manguera de 15 cm en la válvula y recoja cerca de 100 ml de aceite en un recipiente apropiado para desechos. Este proceso de lavado limpia la válvula y permite asegurar una muestra representativa.

Tres: Antes de que realmente tome la muestra, es importante limpiar la botella con aceite del sistema. Inserte la sonda en la válvula y solo llene la botella para la muestra hasta la mitad. Tape la botella y agítela vigorosamente para quitar los posibles contaminantes dentro de ella. Asegúrese de desechar el aceite en un recipiente adecuado. Ahora está listo para tomar la muestra. Reinserte la sonda en la válvula y nuevamente llene la botella hasta la mitad. No la llene hasta el tope, tampoco permita que ingrese polvo en la botella o en la tapa.

Cuatro: Retire la sonda de la válvula y asegure la tapa de la botella. Luego, ponga la botella con la etiqueta llenada adecuadamente en el cilindro de envío y remita la muestra lo más pronto posible a su laboratorio para el análisis de aceite.

En la figura 3.1 se encuentra una foto en la que nos muestra la manera de cómo se extrae una muestra de aceite en equipos que cuentan con válvula para muestreo.

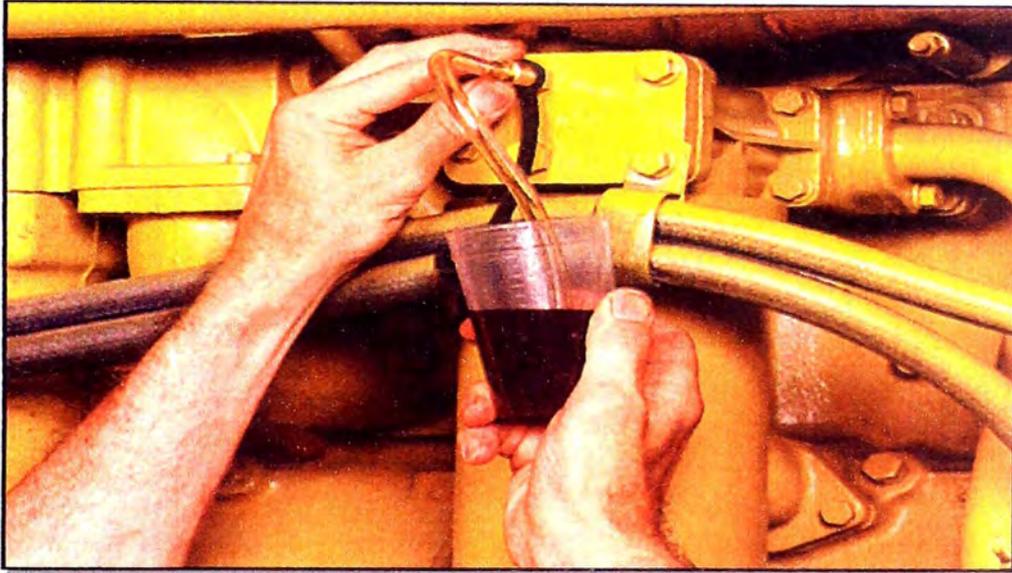


Figura 3.1 - Extracción de aceite por válvula de muestreo.

➤ **Extracción por vacío:**

Este método de muestreo requiere una bomba de vacío. Requiere 5 pasos básicos para efectuar este procedimiento:

Uno: Apague el motor. Mida y corte la manguera a la longitud de la varilla de medición, si el compartimiento del que está sacando la muestra no tiene esta varilla, corte la manguera para que llegue a la mitad de la profundidad del aceite.

Dos: Inserte la manguera a través de la cabeza de la bomba de vacío y apriete la tuerca de retención. La manguera debe extenderse cerca de 4 cm más allá de la base de la cabeza de la bomba de vacío.



Figura 3.2 – Cabeza de Bomba de vacío.

Tres: Instale una botella para muestras nueva y limpia en la bomba de vacío e inserte el extremo de la manguera en el aceite. No permita que la manguera toque el fondo del compartimiento.

Cuatro: Bombee con la manija para crear un vacío. Sostenga derecho la bomba, porque si la voltea, el aceite puede contaminarla. Antes de tomar la muestra, es importante limpiar la botella con aceite del sistema. Inserte el extremo de la manguera del aceite y llene la botella solo hasta la mitad. Tape la botella y agítela vigorosamente para quitar la posible contaminación dentro de ella. Luego asegúrese de desechar el aceite en un recipiente adecuado.

Ahora está listo para tomar la muestra. De nuevo, inserte el extremo de la manguera en el aceite. Llene $\frac{3}{4}$ de botella. No la llene hasta el tope.

Cinco: Retire la manguera del compartimiento. Luego quite la botella de la bomba de vacío y asegure la tapa en la botella.

En la figura 3.3 se encuentra una foto en la que nos muestra la manera de cómo se obtiene una muestra de aceite por el método de extracción por vacío.

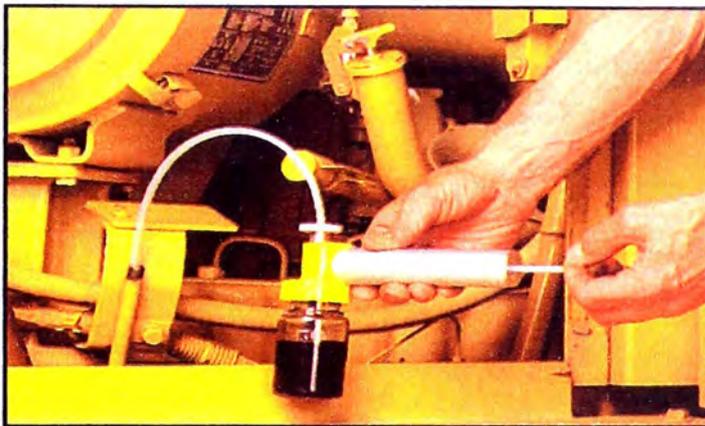


Figura 3.3 – Extracción de aceite con bomba de vacío.

3.4 ENSAYOS IN-HOUSE – PRUEBAS DE PRIMERA LÍNEA

Luego de extraer las muestras de aceites, se deben observar muy bien antes de enviarlos al laboratorio. Se debe identificar visualmente si las muestras tienen:

- Apariencia lechosa: Al observar una muestra de aceite con apariencia lechosa, esto nos advierte la presencia de agua o glicol.



Figura 3.4 – Aceite con apariencia lechosa.

- Presencia de sedimentos, polvo, o partículas metálicas
 - Partículas doradas: Nos advierte la presencia de latón o bronce.
 - Partículas plateadas: Nos advierte la presencia de acero o babbit.
- Dilución con combustible: Esto se puede detectar mediante el olor.
- Coloración oscura: Nos advierte que el aceite está oxidado.

3.5 LLENADO DE ETIQUETA CON INFORMACIÓN NECESARIA

Frecuentemente la falta de información hace casi imposible que un intérprete pueda proporcionar las recomendaciones correctas a los clientes. Debido a que es difícil completar la información de la etiqueta en el campo, sobre todo cuando tiene que preocuparse de los suministros de muestras y las manos estén sucias, se sugiere preparar una etiqueta para cada muestra a tomar antes de salir al campo. Luego, ya en el campo, puede agregar toda la información necesaria al tomar cada muestra. El modelo y el número de serie son indispensables, pero se puede escribir en cada etiqueta mientras está en la oficina. En los archivos del taller puede obtener la información del tipo de aceite, de su clasificación, y la lectura del horómetro del último cambio de aceite. Las unidades de medición de servicio tanto del equipo como del aceite son muy importantes. Es esencial indicar si se cambió o no el aceite cuando se toma la muestra.

También es sumamente importante indicar la cantidad de aceite de compensación o agregado desde la última muestra. Si se ha agregado una cantidad considerable de aceite, la interpretación de los resultados de la muestra puede cambiar sustancialmente.

Luego de llenar correctamente la etiqueta con la información necesaria envíe la muestra al laboratorio de inmediato porque los resultados del análisis que pueden predecir una falla no sirven si los recibe demasiado tarde.

En la figura 3.5 se muestra una etiqueta típica que se coloca a las botellas de muestreo de aceites, antes de enviárselas al laboratorio.

ANÁLISIS PERIÓDICO DE ACEITE						
_____ CLIENTE			_____ FECHA (dd/mm/aa)		_____ MARCA/API/SAE ACEITE	
_____ LUGAR DE TRABAJO			_____ HORÓMETRO / KILOMETRAJE		_____ HORAS / Km DEL ACEITE	
_____ MODELO	_____ SERIE	_____ NÚM. MÁQUINA	_____ MARCA DE LA MÁQUINA		_____ ACEITE AGREGADO	
Después de tomar la muestra:			_____ ORDEN DE TRABAJO		_____ CAPAC. DEL COMPART.	
Cambió Filtros?		Cambió Aceite?		NOTA: _____		
SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				
MUESTRA TOMADA DE:						
<input type="checkbox"/> SIST. HIDRÁULICO	<input type="checkbox"/> M.F.D.D.	<input type="checkbox"/> TANDEM DERECHO				
<input type="checkbox"/> DIRECCIÓN	<input type="checkbox"/> M.F.D.I.	<input type="checkbox"/> TANDEM IZQUIERDO				
<input type="checkbox"/> MOTOR	<input type="checkbox"/> M.F.P.D.	<input type="checkbox"/> ROLA				
<input type="checkbox"/> TRANSMISIÓN	<input type="checkbox"/> M.F.P.I.	<input type="checkbox"/> CIRCULO DE GIRO				
<input type="checkbox"/> EJE / DIF. DELANTERO	<input type="checkbox"/> M.F. DERECHO	<input type="checkbox"/> CAB. DE ROTACIÓN				
<input type="checkbox"/> EJE / DIF. POSTERIOR	<input type="checkbox"/> M.F. IZQUIERDO	<input type="checkbox"/> CAJA MARINA				
<input type="checkbox"/> TORNAMEZA	<input type="checkbox"/> COMPRESOR	<input type="checkbox"/> TANQUE DE COMBUSTIBLE				
<input type="checkbox"/> OTRO _____						

Figura 3.5 – Etiqueta de muestreo de aceites.

3.6 CONSIDERACIONES EN LA TOMA DE MUESTRAS DE ACEITES

- Para evitar la contaminación externa durante el muestreo de aceite nunca se debe tomar aceite del chorro de drenaje, un recipiente de aceite desechado, un filtro usado, o un porta-elemento de filtro. Generalmente no podemos ver las partículas que pueden haber entrado en el aceite durante el proceso de muestreo. Por ejemplo, polvo del aire, un pelo o finas hilachas de un trapo sucio de taller pueden afectar el conteo de partículas durante el examen de aceite y producir un análisis inexacto.
- Por cada recolección de aceite siempre se deben de usar nuevos kits de muestreo y protegidos del polvo como mangueras, sondas, botellas. Es importante desechar estos materiales después de tomar la muestra de aceite, porque los aditivos y los contaminantes del aceite pueden permanecer en ellos y contaminar otras muestras en caso se quieran re-utilizarlos.
- La botella con la muestra de aceite debe estar correctamente identificada indicando el tipo de aceite, fecha de muestreo, horómetro del equipo, tipo de compartimiento, etc.

3.7 FRECUENCIA DE MUESTREO

Para obtener buenos resultados de muestras de aceites, el siguiente paso es hacerlo a una frecuencia adecuada, correctamente establecida.

Para las maquinarias que cuentan con manuales de servicio y de mantenimiento, normalmente nos especifican la frecuencia de muestreo. A continuación mostramos algunos números en horas sugeridos para aplicaciones típicas.

Tabla 3.1 – Frecuencias de muestreo recomendadas.

TIPO DE EQUIPO	FRECUENCIA DE MUESTREO RECOMENDADA
AUTOMOTRIZ	
Motores diesel	150 - 500 horas, 10,000 - 25,000 millas
Motores a gasolina	100 - 200 hours, 2500 - 7500 millas
Transmisiones	500 - 1500 horas
Engranajes, diferenciales, mandos finales	500 - 1500 hours, 50,000 - 250,000 millas
INDUSTRIAL	
Hidráulicos	1,000 horas o Trimestralmente
Turbinas a gas	1,000 horas o Trimestralmente
Turbinas de vapor	1,000 horas o Trimestralmente
Compresores de aire o gas	1,000 horas o Trimestralmente
Motores a gas natural	500 - 1000 horas
Engranajes y cojinetes (industrial)	1,000 horas o Trimestralmente

Sin embargo hay maquinarias que en los manuales no señalan una frecuencia de muestreo. Para ello mencionamos a continuación una serie de consideraciones que se deben tomar en cuenta.

Penalidad económica de la falla

- Riesgos de seguridad.
- Criticidad de la misión.
- Costo de reparación.
- Costo de parada

Severidad del ambiente del fluido

- Ambiente con alta presencia de polvo y humedad.
- Altas cargas, presiones, velocidades.
- Altas temperaturas de operación.
- Choque, vibración, ciclo de trabajo.
- Contaminación química o radiación.

Edad del equipo

- Horas desde el último overhaul.
- Expectativa de vida.
- Marca y modelo.

Edad del lubricante

- Horas desde el último cambio.
- Nivel de oxidación, contaminación según los últimos reportes.
- Tipo de aceite: Mineral, sintético.

Estrechez de objetivos

- Sobre los límites de control.
- Dentro de los límites de control.

A continuación se presenta una tabla de cálculo de frecuencias de muestreo, con los factores señalados anteriormente.

Tabla 3.2 – Generador de Frecuencia de Muestra.

Generador de Frecuencia de Muestra

1. Seleccione una frecuencia de muestreo como punto de partida

Rodamientos	500 hrs	Engranajes industriales bajas RPM	1000 hrs
Enfriadores	500 hrs	Hidráulicos, Aviación	150 hrs
Compresores	500 hrs	Hidráulicos, Industrial	700 hrs
Diferenciales	300 hrs	Hidráulicos, equipo móvil	250 hrs
Motores recíprocos - Avión	50 hrs	Transmisiones	300 hrs
Motores Diesel	150 hrs	Turbinas - Aviación	100 hrs
Mandos finales	300 hrs	Turbinas - Gas	500 hrs
Engranajes, aviación	150 hrs	Turbinas - Vapor	500 hrs
Engranajes industriales altas RPM	300 hrs		

Escriba su frecuencia

Por Default

hrs

2. Factores de ajuste por aplicación

Penalización económica por la falla - Circule un factor									
Muy alto	Normal							Bajo	
0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	

Considere costos de temperamento, costos de reparación y penalización por interrupción general del negocio.

Severidad del ambiente de operación de los fluidos - Circule un factor									
Muy alto	Normal							Bajo	
0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	

Considere presiones, carga, temperatura, velocidad de operación, contaminantes en el aceite y ciclo de trabajo.

Edad de la maquinaria - Circule un factor										
Nueva	Edad media							Vieja		
0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.1

Máquinas nuevas son aquellas que están en el periodo de asentamiento y que han operado por lo menos el 1% de su vida esperada. Las máquinas viejas son aquellas que muestran ya síntomas de desgaste.

Edad del aceite - Circule un factor									
Nuevo	Edad media							Vieja	
0.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.25	1.0

Son aceites nuevos los recién cambiados o los que han trabajado 10% de su vida esperada. Son aceites viejos los que muestran síntomas que sugieren agotamiento de aditivos, inicio de oxidación o altos niveles de contaminación

Exigencia del objetivo - Circule un factor									
Exigente	Normal							Tolerable	
0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	

Los aceites que se encuentran demasiado cerca de los límites se consideran "estrechos". Los que se comportan dentro de los límites se consideran "tolerables"

Anote aquí el factor más bajo que haya seleccionado

Factor de ajuste

3. Frecuencia de muestreo = Frecuencia por Default x Factor de ajuste

Frecuencia de muestreo

hrs

3.8 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE ACEITE

Luego de enviar las muestras de aceite al laboratorio, se realizan pruebas a los diferentes parámetros de control de estos aceites, el cual mencionamos a continuación:

- Viscosidad a 100°C (en cst.)
- Hollín (% peso)
- Agua (% peso)
- Oxidación (A. /cm.)
- TBN (mg de KOH)
- Partículas de desgaste (partes por millón)

3.8.1 Viscosidad:

La viscosidad es la resistencia interna de un líquido a fluir. Para la medición de la viscosidad en lubricantes siempre se utilizará la viscosidad cinemática. La unidad de medida en el Sistema Internacional es el CENTISTOKES (cst.).

Un CENTISTOKES es la viscosidad del agua a condiciones de presión y temperatura atmosféricas medida a la temperatura estándar de 15°C.

Para un motor de combustión interna, que trabaja con combustible Diesel, el valor de la viscosidad debe encontrarse entre 12 y 18 cst @ 100 °C.

Una viscosidad alta del aceite en los reportes se puede deber a los siguientes factores:

- Producto incorrecto.
- Mezcla con aceite de alta viscosidad.
- Oxidación del aceite.
- Contaminación con hollín.
- Contaminación con glicol.

Una viscosidad baja del aceite en los reportes se puede deber a los siguientes factores:

- Producto incorrecto.
- Mezcla de aceite con baja viscosidad.
- Dilución con combustible.
- Corte de aditivos.

Ensayo de Viscosidad

Un instrumento común para medir la viscosidad es el viscosímetro automático de Cannon. Los aceites se ensayan a 40°C o 100°C, y se miden en cst. Este tipo de instrumentos proveen resultados muy precisos, hasta dos dígitos significativos.

Para analizar una muestra el operador llena la copa con el aceite usado hasta la línea de llenado, luego lo asegura a la posición de prueba en el viscosímetro. Con un toque en el teclado se inicia la prueba. La mayoría de

las pruebas se completan en menos de 15 minutos. Al completar la prueba, la viscosidad es calculada y aparece en el display automáticamente.

En la figura 3.6 se muestra una foto del viscosímetro de Cannon



Figura 3.6 – Viscosímetro de Cannon.

3.8.2 Hollín:

El hollín o carbón residual es producido por la combustión incompleta del combustible utilizado. En los motores de combustión interna se acumula en la cabeza del pistón y anillos. Cuando llega al aceite hace aumentar significativamente su viscosidad.

La formación de hollín es causada por:

- Intervalo de cambios de aceites muy extendidos.
- Inyectores gastados (por contaminación del diesel y falta de un buen filtro de diesel).
- Excesivo funcionamiento del motor en ralentí (marcha lenta).
- Mala pulverización del combustible (falta de presión, inyectores muy abiertos).
- Exceso de caudal en la bomba de inyección.
- Anillos gastados (por hollín o tierra).
- Filtro de aire entupido.
- Mala calidad del combustible.

Ensayo de Hollín

Un instrumento común para medir la cantidad de hollín presente en una muestra de aceite es el Espectrofotómetro Infra Rojo.

3.8.3 Agua

Ahora veamos uno de los contaminantes más comunes en aceites lubricantes: el agua. El agua puede ser tan obvia en su muestra que se puede observar si el aceite muestra una apariencia lechosa. Pero en el laboratorio existen ensayos sofisticados para detectar cantidades más pequeñas.

Los aceites pueden contener agua bajo tres formas:

- Agua libre: Típicamente el agua libre se asienta en el fondo del tanque de aceite. Es por ello que algunos tanques tienen una válvula para drenar agua y sedimentos acumulados.
- Agua emulsionada: Se presenta como finas gotas suspendidas en el aceite. El aceite presenta una apariencia blanca o nebulosa. Las burbujas tienen un tamaño de entre 5 y 10 micrones de diámetro.
- Agua disuelta: El aceite puede mantener agua en solución, hasta su nivel de saturación. Los aceites con agua disuelta pueden tener una apariencia clara y brillante, pero una vez que excede el punto de saturación, el aceite adquiere una apariencia nebulosa o “lechosa”.



Figura 3.7 – Contenido de agua en aceite.

Bajo condiciones normales de operación no se debería encontrar agua en ningún sistema de lubricación. Si en los reportes de análisis de aceites se encuentra indicios de presencia de agua, la acción inmediata será identificar la vía de ingreso de la misma, luego eliminarla y posteriormente drenar este aceite contaminado.

En motores de combustión interna la presencia de agua puede deberse a fugas en el sistema de enfriamiento y/o fallas en sellos o empaquetaduras de los diferentes sistemas. En máquinas como bombas de agua y cisternas de agua el aceite hidráulico puede mezclarse con el agua si las condiciones de trabajo no son adecuadas. También en equipos de movimientos de tierras, el aceite hidráulico puede contaminarse con el refrigerante que lo enfría si las tuberías en espiral fallan.

El almacenamiento de los cilindros de aceites a la intemperie también puede constituirse en una causa de contaminación del aceite con agua, debido a la presencia de lluvias y a la humedad del ambiente.

Ensayo de agua

Existen diferentes ensayos para detectar agua en los aceites como el ensayo de Crepitación o plancha caliente y el ensayo de Karl Fischer. Pero el más difundido para maquinaria automotriz es el ensayo que se realiza en el Espectrofotómetro Infra Rojo.

3.8.4 Oxidación

La oxidación es la degradación permanente del lubricante causado por reacciones químicas relacionadas con el oxígeno. Con el progreso de la oxidación se producen moléculas de cadenas largas, que contribuyen a la formación de lodos, lacas y barnices en los compartimientos internos del motor. Estas largas cadenas moleculares adicionan restricción al

desplazamiento de las capas laminares del aceite, generando un aumento de viscosidad.

Así mismo el incremento de la oxidación genera un aumento de acidez del aceite y contribuyen a la corrosión, lo que provocan la migración de los materiales y por lo tanto aumentan el desgaste en los componentes internos del motor.

La velocidad de oxidación se duplica por cada aumento de temperatura de 10°C por encima de 60°C.

La oxidación del aceite es causado por:

- Temperaturas elevadas de operación.
- Períodos entre cambios de aceite muy prolongados.
- Paso de gases de combustión al cárter.
- Sobrecargas.
- Deficiencias en el sistema de enfriamiento.

Ensayo de Oxidación

Un instrumento común para medir el nivel de oxidación presente en una muestra de aceite es el Espectrofotómetro Infra Rojo. La unidad de medida es la absorbancia por centímetro.

Para medir los parámetros mencionados anteriormente, tales como el hollín (% peso), el contenido de agua (% peso) y el nivel de oxidación (A./cm.) se utiliza el ensayo de Espectroscopia Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR). Este proporciona un medio rápido de monitoreo de la condición del lubricante, así como la cantidad de contaminación existente.

El ensayo FTIR consiste en el paso de radiación infrarroja (IR) a través de dos celdas: una celda de referencia de aceite nuevo y una celda de aceite usado, como se puede observar en la figura 3.8.

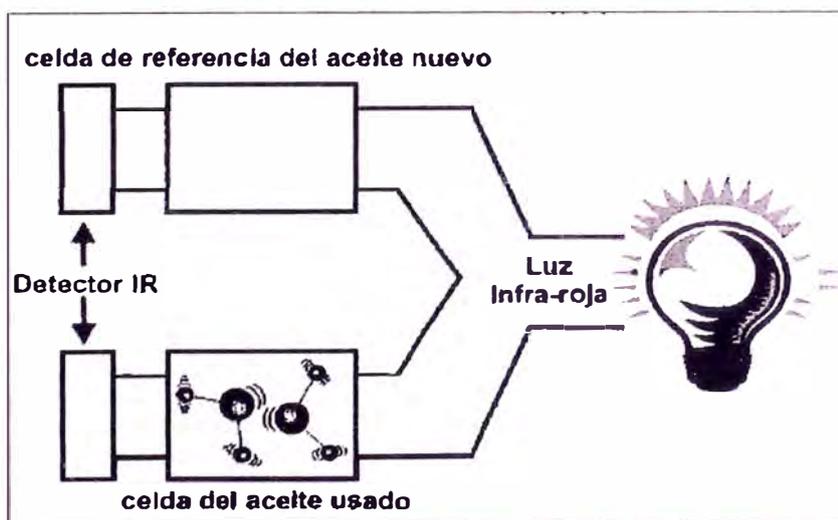


Figura 3.8 – Paso de radiación en las celdas de aceites.

Los compuestos químicos de los aceites de ambas celdas absorben las radiaciones infrarrojas y los registran en longitudes de ondas específicas. La diferencia entre el espectro de aceite nuevo y el espectro de aceite usado indica la contaminación y/o cambios químicos del lubricante. Se mide en absorbancias/cm.

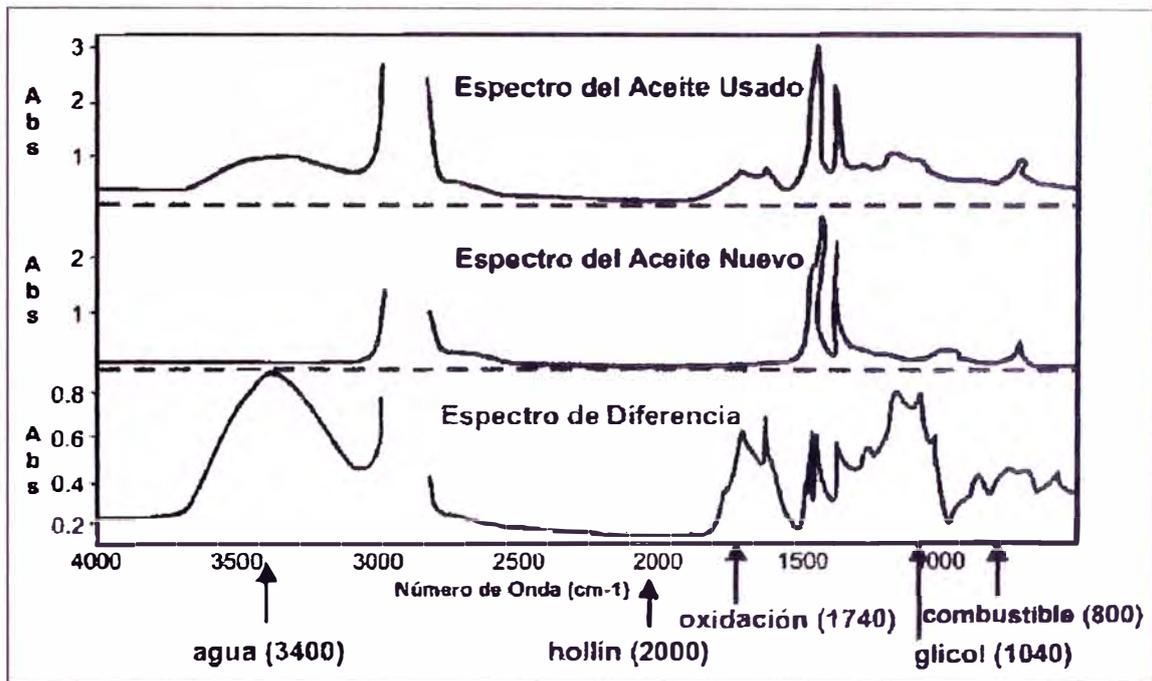


Figura 3.9 – Diferencia de espectros de aceites usado y nuevo.

3.8.5 TBN

El TBN (Numero Total Básico) es la medida de la reserva alcalina que tiene el aceite para neutralizar los ácidos dañinos producidos durante el proceso de combustión, tales como el ácido sulfúrico debido a la presencia de azufre en los combustibles.

En la figura 3.10 podemos observar los factores que influyen las tendencias del TBN.

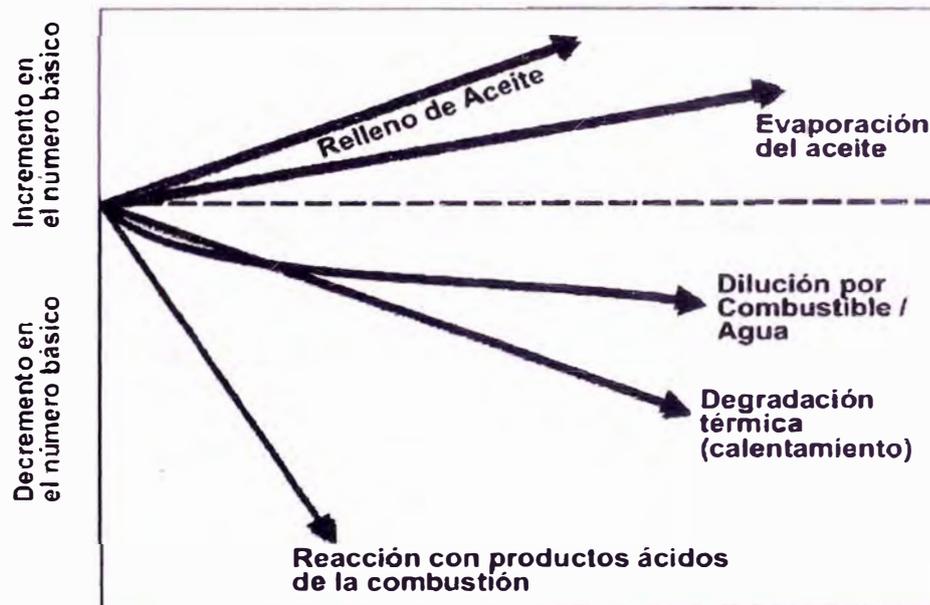


Figura 3.10 – Factores que influyen las tendencias del TBN.

Para el caso de un motor de combustión interna, la reserva alcalina de los aceites se va desgastando con las horas de trabajo, por ello el relleno de aceites constituye una manera efectiva de restaurar esta reserva. En la figura 3.11 se observa las tendencias del TBN en aceites de motor.

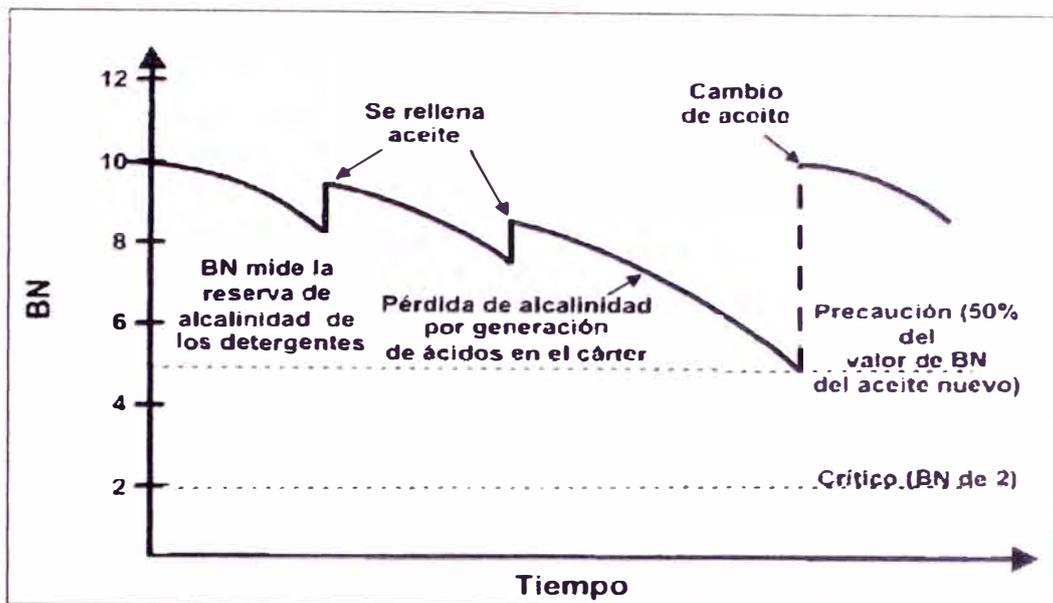


Figura 3.11 – Tendencias de TBN en aceites de motor

Ensayo de TBN

Los procedimientos de pruebas de neutralización de ASTM son los utilizados para medir el TBN. Requieren el uso de solventes clorinados. En la tabla 3.3 se muestran los dos métodos más usados de ASTM.

Tabla 3.3 – Pruebas ASTM para medir el TBN

Prueba ASTM	Tipo	Reactivo
D2896 BN	Potenciométrico	Ácido Perclórico
D4739 BN	Potenciométrico	Ácido Clorhídrico

De los dos mencionados, el más recomendable para análisis de aceites usados en maquinaria automotriz es el ASTM D974.

El TBN se mide en mgKOH/g de muestra.

3.8.6 Partículas de desgaste

Las máquinas durante su funcionamiento generan partículas microscópicas de desgaste (ferrosas o no ferrosas) a lo largo de su vida útil. A pesar de la acción de los aceites para proteger las superficies, el esfuerzo mecánico provoca el contacto de los componentes de las máquinas durante su operación (engranajes, rodamientos, cojinetes, cilindros, pistones, cilindros, etc.), ocasionando inevitablemente pérdida de material por fricción.

El análisis de estas partículas microscópicas en cuanto a la forma, cantidad, tamaño, concentración, etc. nos permite identificar qué componentes de un sistema mecánico se están desgastando de una manera anormal. Este control de desgaste nos permite analizar las fallas, encontrar su causa y corregir el problema, programando una reparación eficiente y eficaz.

El código de contaminación ISO 4406-99 es un sistema universal que representa la concentración de partículas en el aceite. Con frecuencia se le conoce como el "conteo de partículas". Los resultados de este conteo nos proporciona la cantidad de partículas presentes en rangos de tamaños definidos por cada mililitro de muestra. Los rangos están divididos en tres números separados por una línea diagonal (R4/R6/R14). Estos números corresponden a tamaños de partículas mayores a 4, 6 y 14 micras respectivamente.

Las cantidades de partículas obtenidas en las muestras se comparan con una tabla estándar del formato ISO 4406-99. Esta tabla se muestra a continuación.

Tabla 3.4 – Rangos de números ISO 4406-99.

RANGO DE NUMEROS ISO 4406		
Numero de Partículas por Mililitro		Numero de Rango ISO 4406
Mas de	Hasta	
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8

Si únicamente se usa el rango de dos números, estos corresponden a tamaños mayores a 6 y 14 micras. A continuación se muestra una tabla en la que nos muestra el estado del aceite en función del código ISO.

Tabla 3.5 – Estado del aceite en función del código ISO 4406

Código ISO	—	12/9	—	14/11	—	16/13	—	18/15	—	20/17	---	22/19	---	24/21	---	26/23
Fluidos Hidráulicos	Muy limpio			Limpio					Sucio							
Caja de cambios				Muy limpio			Limpio							Sucio		
Motores			Muy limpio				Limpio			Sucio						
Turbina		Muy limpio			Limpio	Sucio										

Por ejemplo, para un motor de combustión interna, si el código de limpieza en el aceite es 16/13, entonces se trata de un aceite muy limpio. La cantidad

de partículas mayores a 6 micras está entre 320 y 640 y la cantidad de partículas mayores a 14 micras está entre 40 y 80.

En la siguiente tabla se menciona los orígenes de los metales de desgaste, aplicado para maquinarias que cuentan con algunos de los siguientes sistemas: motor de combustión interna, transmisión, convertidor de torque, diferenciales, sistema hidráulico. Esta tabla nos ayudará a determinar qué componente está sufriendo desgaste excesivo si la cantidad de las partículas metálicas indicadas en los reportes supera los límites de control establecidos.

Tabla 3.6 – Orígenes de los metales de desgaste

	Motor	Transmisión	Diferencial	Hidráulico	Convertidor de torque
Hierro (Fe)	<ul style="list-style-type: none"> • Cilindros • Block • Engranajes • Cigüeñal • Pernos pasadores • Anillos (fundidos) • Arbol de levas • Tren de válvulas • Bomba de aceite • Camisas 	<ul style="list-style-type: none"> • Engranajes • Discos • Alojamiento • Coninetes • Bandas de freno • Shift Spools • Bombas • PTO 	<ul style="list-style-type: none"> • Engranajes • PTO • Ejes • Cojinetes • Alojamientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba/Motor • Alabes • Engranajes • Pistones • Diámetro interior de cilindro y vástago • Cojinetes • Válvulas • Alojamiento de bomba 	<ul style="list-style-type: none"> • Cojinetes de alojamientos • Ejes
Cobre (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> • Bujes de perno pasador • Cojinetes (cerca de la falla) • Bujes de levas • Enfriador de aceite • Bujes de tren de válvulas • Arandelas de empuje • Regulador • Bomba de aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • Embragues • Steering Discs • Bujes • Arandelas de empuje • Enfriador de aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • Bujes • Arandelas de empuje • Bombas de aceite (donde se usan) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pump Thrust Plate • Pistón de bomba • Cylinder Glands - Guides • Bujes • Enfriadores de aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • Bujes • Arandelas de empuje (donde se usen)
Aluminio (Al)	<ul style="list-style-type: none"> • Pistones • Cojinetes (cerca de la falla) • Bujes (algunos) • Blocks (algunos) • Alojamiento • Bujes de bomba de aceite • Sopladores • Cojinete de empuje 	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas • Embragues (algunos) • Arandelas de empuje • Bujes 	<ul style="list-style-type: none"> • Arandelas de empuje • Bujes de bomba (algunos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alojamiento Bomba/ motor • Cylinder Gland (some) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba impulsora turbina (algunas)
Chromo (Cr)	<ul style="list-style-type: none"> • Anillos • Rodamientos rodillos/cónicos (algunos) • Camisas • Válvulas de escape • Tratamiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Rodamientos de rodillos/cónicos • Tratamiento de agua (enfriador de aceite) 	<ul style="list-style-type: none"> • Rodamientos de rodillos/cónicos (algunos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vástagos • Spools • Rodamientos de rodillos/cónicos (algunos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Rodamientos de rodillos/cónicos (algunos)
Estaño (Sn)	<ul style="list-style-type: none"> • Pistones (recubrimiento) • Cojinetes (recubrimiento) • Bujes 				
Piomo (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> • Cojinetes • Mejorador de octanos de gasolina 	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos de aceite (algunos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos de aceite (algunos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos de aceite (algunos) 	
Silicio (Si)	<ul style="list-style-type: none"> • Anti-espuma • Polvo ingerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Disc Lining 	<ul style="list-style-type: none"> • Polvo ingerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Polvo ingerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Polvo ingerido
Sodio (Na)	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos de aceite (algunos) • Anti-congelante • Sal del camino • Polvo ingerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos de aceite • Polvo ingerido • Sal del camino • Anti-congelante 	<ul style="list-style-type: none"> • Polvo ingerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Polvo ingerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos de aceite • Polvo ingerido

CAPITULO 4

CARACTERÍSTICAS DEL GRUPO ELECTRÓGENO OBJETO DEL ESTUDIO

4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL GRUPO ELECTRÓGENO CUMMINS C350-D6-4

GyM S.A. realiza trabajos de mantenimiento en la Compañía Minera Miski Mayo S.A.C., ubicada en la provincia de Sechura, departamento de Piura; como parte de la garantía luego de la construcción. Esta minera extrae fosfatos, los concentra y luego lo exporta a los mercados de América del Norte, Asia y Brasil.

Una de las labores consiste en abastecer energía eléctrica a todo el sistema de iluminación de la planta concentradora de Bayovar, desde las 6:00 pm hasta las 6:00 am. Consta de 100 postes de alumbrado público y 500 lámparas farolas. Para esta alimentación se cuenta con un grupo electrógeno marca Cummins, modelo C350-D6-4, de 360 Kw de potencia de salida y 601 Amperios de corriente nominal.

Este grupo también abastece energía al taller de mantenimiento mecánico y al taller de soldadura, ambos pertenecientes a GyM S.A. Realizando los respectivos cálculos de corriente a plena carga, el grupo electrógeno en mención trabaja en promedio a un 82 % de su capacidad.

Las características técnicas del grupo electrógeno se mencionan a continuación:



SISME - Sistema de Mantenimiento de Equipos

OBRA: GYM - 1650: PLANTA DE FOSFATOS BAYOVAR

FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO

DATOS GENERALES			
Código GyM:	0003100287	Año de Fabricación:	2008
Familia:	GRUPOS ELECTROGENOS	Propietario:	GYM
Marca:	CUMMINS	Categoría:	PROH
Modelo:	C350-D6-4	Combustible:	DIESEL
N° Serie:	108T010339	Tipo de Equipo:	MAYOR
Capacidad:	360 KW	N° de placa:	No aplica



DATOS TÉCNICOS		
Componente	Descripción	Característica
MOTOR	MARCA	CUMMINS
	MODELO	NTA-855-G3
	SERIE	36073029
	POTENCIA	535HP
	RPM	1800
	NRO DE CILINDROS	6
	BOMBA DE INYECCION	09919724F079803
TURBOCOMPRESOR	HOLSET HT4C	
GENERADOR	POTENCIA DE SALIDA	360 KW (450 KVA)
	MARCA	STANDFORD
	SERIE	MO8G31413305
	NRO DE PARTE	HC1404F1L-1513E
	VOLTAJE / AMPERAJE	480 V / 601 A
	FRECUENCIA	60 HZ
TABLERO CONTROL	MODELO	PCC1301 CUMMINS
SISTEMA ELÉCTRICO	TENSION NOMINAL	24 V
	ALTERNADOR	PRESTOLLTE 660021616
	ARRANCADOR	CUMMINS 4078512
	BATERIAS (02)	12 V C/U - 27 PLACAS

PESOS (Tn) Y MEDIDAS (m)				
Descripción	Largo	Ancho	Alto	Peso
GRUPO ELECTROGENO	5.3	1.5	2.6	4

CONSUMIBLES			
Descripción	Cant	Marca	Código
FILTRO ACEITE DE MOTOR	1	FLEETGUARD	LF-3000
FILTRO AIRE	1	FLEETGUARD	AF-26173
FILTRO COMBUSTIBLE	2	FLEETGUARD	FS-1001
FILTRO REFRIGERANTE	1	FLEETGUARD	WF-2070

CAPACIDADES DE FLUIDOS			
Descripción	Unidad	Cant	Tipo de Fluido
CARTER DE MOTOR	GALÓN	10	MOBIL DELVAC MX 15W/40
TANQUE COMBUSTIBLE	GALÓN	150	DIESEL
SISTEMA ENFRIAMIENTO	GALÓN	6	MOBIL MINING COOLANT

Esta ficha es extraída del Software de Mantenimiento que utiliza GyM S.A, llamado SISME (Sistema de Mantenimiento de Equipos), en la que aparte de contener información técnica de todos los equipos mayores, también permite controlar los mantenimientos preventivos de cada uno de ellos, en base a las horas diarias de trabajo y la frecuencia determinada de estos servicios. Además se obtiene la valorización mensual de cada uno de los equipos mayores y nos entrega reportes de índices de mantenimiento (Disponibilidad, MTTR, MTBF).

4.2 PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En general, para todos los equipos mayores de GyM S.A. se establecen las tareas de Mantenimiento Preventivo en base a las recomendaciones de los Manuales de Operación y Mantenimiento, respetando las frecuencias de cambios de repuestos como filtros, respiraderos, elementos de desgaste, y fluidos como aceites, refrigerantes, etc.

Para el caso del Grupo Electrónico Cummins C350-D6-4 se establecen las siguientes tareas de mantenimiento:

4.2.1 Inspección Diaria:

MOTOR:

1. CARTER: Verificar nivel de aceite.
2. FILTRO SEPARADOR AGUA: Drenar agua y sedimentos acumulados.
3. TANQUE DE REFRIGERANTE: Revisar nivel, rellenar si es necesario.
4. VENTILADOR DE RADIADOR: Verificar buen estado y ajuste.
5. CORREAS EN V/POLEAS DE ALTERNADOR: Verificar estado.
6. BATERÍAS: Revisar estado de bornes, cables.
7. Verificar la no presencia de sonidos, vibración y/o humos durante la operación del motor.

IMPLEMENTOS:

8. CAPSULA DEL EQUIPO: Verificar si en la estructura existen rajaduras o soldaduras defectuosas.

4.2.2 Inspección Semanal:

Antes de realizar la inspección semanal, se debe iniciar con la inspección diaria.

MOTOR:

1. **FILTRO DE AIRE:** Revisar estado del filtro a través del indicador de restricción. Si el filtro está sucio, limpiar con compresor de aire a 30 psi.
2. **TANQUE DE AIRE:** Drenar agua y sedimentos acumulados.
3. **TURBOCOMPRESOR:** Revisar estado de abrazaderas y de su cubierta.

4.2.3 Tareas de Mantenimiento cada 250 horas (PM - 1):

MOTOR:

1. **CARTER:** Cambiar 10 galones de aceite Mobil Delvac MX 15W/40.
2. Verificar estado de respiradero de cárter. Limpiar o cambiar de ser necesario.
3. **FILTRO DE ACEITE DE MOTOR:** Cambiar filtro Fleetguard LF-3000. Abrir filtro y revisar si existen partículas extrañas.
4. **FILTRO DE COMBUSTIBLE:** Cambiar 2 filtros Fleetguard FS-1001.
5. **TANQUE DE COMBUSTIBLE:** Limpiar la tapa del tanque de combustible. Revisar fugas en líneas y drenar si se requiere.
6. **FILTRO DE AIRE:** Verificar si el filtro requiere cambio.
7. **RADIADOR:** Limpiar exteriormente.
8. **TANQUE DE REFRIGERANTE:** Revisar nivel, rellenar si es necesario.
9. **CORREAS EN V/POLEAS DEL MOTOR:** Cambiar / ajustar.
10. **BATERÍAS:** Revisar estado de bornes, cables, nivel de electrolito.

PANEL DE CONTROL DEL GRUPO ELECTRÓGENO:

11. Verificar activación de alarma y de parada de emergencia cuando los valores de presión de aceite y temperatura de refrigerante están fuera de los rangos establecidos.
12. Verificar si existen indicadores de fallas en el display como:
 - Sobre-velocidad / Baja velocidad
 - Bajo / Alto voltaje AC
 - Sobre-frecuencia / Baja frecuencia
 - Alto / Bajo voltaje de batería

4.2.4 Tareas de Mantenimiento cada 500 horas (PM - 2):

Antes de realizar el siguiente servicio, se debe iniciar con las tareas de mantenimiento cada 250 horas.

MOTOR:

1. FILTRO DE REFRIGERANTE: Cambiar filtro Fleetguard WF-2070.

4.2.5 Tareas de Mantenimiento cada 1000 horas (PM - 3):

Antes de realizar el siguiente servicio, se debe iniciar con las tareas de mantenimiento cada 500 horas.

MOTOR:

1. FILTRO DE AIRE: Cambiar filtro Fleetguard AF-26173.

4.2.6 Tareas de Mantenimiento cada 2000 horas (PM - 4):

Antes de realizar el siguiente servicio, se debe iniciar con las tareas de mantenimiento cada 1000 horas.

MOTOR:

1. VÁLVULAS ADMISIÓN / ESCAPE: Calibrar. Solicitar de preferencia a representantes de Mitsui para que realicen dicha tarea. Admisión: 0.011"; Escape: 0.023"
2. BOMBA DE COMBUSTIBLE / INYECTORES: Regular. Solicitar de preferencia a representantes de Mitsui para que realicen dicha tarea.
3. TANQUE DE REFRIGERANTE: Verificar concentración de refrigerante, agregar aditivos de ser necesario. Cambiar refrigerante si requiere.
4. ALTERNADOR, ARRANCADOR: Verificar si los parámetros de voltaje, amperaje y potencia están en los rangos de trabajo.

La duración de cada PM es en promedio de 5 horas. Para no dejar desabastecidos de corriente eléctrica a los talleres de GyM, tanto de mantenimiento mecánico como de soldadura cada vez que se realizan las tareas de mantenimiento preventivo al grupo electrógeno en estudio, éste es reemplazado por otro grupo de menor capacidad, de marca MODASA, modelo MP-110 y tiene una potencia de salida de 100 KW. Estas tareas de mantenimiento normalmente se realizan de día ya que la carga es menor.

El grupo pequeño es portátil y se utiliza principalmente para las paradas de planta ya que en esos eventos el normalmente el corte de energía eléctrica es total.

4.3 IMPLEMENTACIÓN DE ANÁLISIS DE ACEITES COMO UNA TÉCNICA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El grupo electrógeno Cummins C350-D6-4 ingresó al Proyecto Bayovar en abril de 2010, con un horómetro de 1003. Luego se programó el equipo en el SISME para esta obra, y a partir de esa fecha el sistema emite reportes de tareas de mantenimientos preventivos 50 horas antes de que el horómetro del equipo alcance la frecuencia establecida.

Al contar con laboratorios de Mobil en Piura que analiza a los lubricantes usados, se decidió implementar el Análisis de Aceite como una técnica del Mantenimiento Predictivo a las tareas rutinarias preventivas, para evaluar la condición del aceite utilizado y elaborar diagnósticos sobre el desgaste de los componentes del motor del grupo electrógeno. En un inicio se realizó el proceso de Análisis de Aceite al motor cada 250 horas de operación, antes de realizar el cambio de aceite. Luego modificó esta frecuencia de acuerdo a las tendencias de los resultados de los reportes.

La toma de muestras para el motor del grupo se viene realizando de acuerdo al procedimiento de extracción con bomba de vacío. Una vez que se envía las muestras a los laboratorios, éstos nos emiten los resultados y con ellos se procede al monitoreo y control respectivo.

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS LÍMITES DE SERVICIO

Los límites de servicio representan valores en el que los parámetros del aceite deben funcionar. Estos se pueden obtener a partir de la información que nos brindan los fabricantes de aceites. Estos límites han sido establecidos luego de varios años de pruebas a los diferentes compartimientos de equipos y maquinarias, y toman en cuenta valores promedio. Es un buen punto de referencia cuando se inicia un proceso de implementación de análisis de aceites.

Ciertos fabricantes de equipos reportan en sus manuales de servicio los parámetros de control con que se deben analizar las muestras de aceites. Definitivamente existe mayor exactitud en el establecimiento de estos límites. Adicionalmente estos manuales definen el periodo adecuado para realizar la toma de las muestras.

Lo más recomendable para fijar los límites de servicio es en base a la experiencia y datos históricos. Se debe utilizar las tendencias de los parámetros a través de varias lecturas para determinar la tasa a la cual está cambiando la propiedad y los elementos de desgaste.

El fabricante de motores Cummins, sugiere que cambie el aceite de lubricación del motor cada 250 horas de operación. Antes de proceder al cambio, se aprovecha en

tomar muestras de aceite de acuerdo a los procedimientos mencionados anteriormente.

Para el motor del grupo electrógeno en estudio, se determinó los límites de servicio según las recomendaciones de los fabricantes de aceites. Para ello se establecen tres tipos de límites, el cual mencionamos a continuación:

- **Límites Objetivos:** Son aquellos que se establecen como un valor predeterminado que se está buscando obtener. Los valores son cercanos a los de un aceite nuevo (sin uso).
- **Límites de Precaución.** Señalan una condición por sobre la cual se tiene una situación anormal ya que exceden significativamente los niveles normales. El aceite se encuentra en condiciones de uso, pero por tiempo limitado, por eso es necesario tomar acción.
- **Límites Críticos.** Señalan una condición por sobre la cual se tiene una situación crítica y se requiere tomar una acción inmediata.

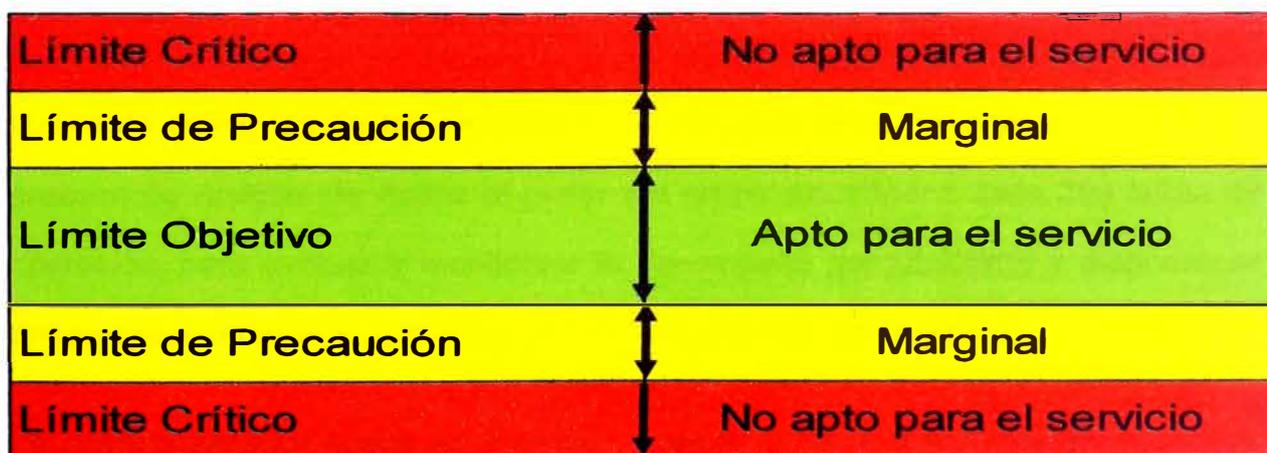


Figura 5.1 – Límites de Servicio.

En la tabla 5.1 que se muestra a continuación se detallan los límites de servicio de los parámetros de control del aceite del motor a estudiar:

Tabla 5.1 – Límites de Servicio para aceite de grado 15W/40.

Ensayo	Límites de servicio		
	Objetivos	Precaución	Crítico
Viscosidad (cst @ 100°C)	12 - 16	16 - 18	<12 cst ☐ >18 cst
Agua (% peso)	< 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3
Oxidación (A/cm)	< 20	20 - 30	> 30
Hollín (% peso)	< 2		> 2
TBN (mgKOH/g)	> 6	1 - 6	< 1
Silicio (ppm)	< 15	15 - 25	> 25
Fierro (ppm)	< 50	50 - 125	> 125
Aluminio (ppm)	< 10	10 - 20	> 20
Cobre (ppm)	< 15	15 - 45	> 45
Plomo (ppm)	< 50		> 50
Cromo (ppm)	< 10	10 - 20	> 20

Estos límites son proporcionados por MOBIL OIL DEL PERU S.R.L.

5.2 REPORTES DE ANÁLISIS DE ACEITE

Luego de definir los límites de servicio de los parámetros del aceite, se realiza el proceso de Análisis de Aceite al motor del grupo electrógeno cada 250 horas de operación, para evaluar y monitorear el desempeño del lubricante y diagnosticar desgastes o anomalías existentes en los componentes del motor.

La primera toma de aceite se realizó en abril de 2010, y a partir de esa fecha se tomaron 17 tomas de muestras. Éstas se enviaban al laboratorio de Mobil en Piura y la entrega de resultados de los reportes era en promedio de tres días.

Estos resultados se han ido colocando progresivamente de manera cronológica en una tabla de datos, como la que se muestra a continuación, para examinar las tendencias y compararlas respecto a los límites de servicio ya establecidos.

Tabla 5.2 – Datos de los reportes del motor NTA-855-G3.

NRO ENSAYO	FECHA DE MUESTREO	HORAS ACEITE	HR MOTOR	Viscos 100°C	Agua %	Oxid A/cm	Hollín %	TBN mgKOH/g	Si ppm	Fe ppm	Al ppm	Cu ppm	Pb ppm	Cr ppm
1	28/04/10	248	1251	13.3	0.0	7	1.6	7.9	2.8	25.0	1.0	3.0	5.0	2.0
2	09/05/10	243	1494	13.4	0.0	13	0	8.8	5.8	59.0	2.0	5.0	10.0	10.0
3	21/05/10	261	1755	14.2	0.0	8	0.2	9.5	0.3	19.0	2.4	2.0	12.0	6.0
4	01/06/10	252	2007	7.5	0.0	4	0.7	9.8	0.3	11.0	4.0	3.0	8.0	3.0
5	05/06/10	84	2091	12.8	0.0	2	0.8	6.8	0.5	12.0	4.0	4.0	10.0	2.0
6	12/06/10	258	2265	12.4	0.0	0	1.1	7.6	1.1	14.0	3.0	4.0	6.0	2.0
7	23/06/10	237	2502	12.7	0.0	7	0.8	7.9	0.3	10.0	4.3	6.0	5.0	1.5
8	04/07/10	255	2757	12.9	0.0	6	0.6	9.9	4.0	17.0	2.0	3.0	7.0	2.0
9	15/07/10	249	3006	13.2	0.0	5	0.7	9.6	3.7	16.0	2.3	4.0	6.0	2.0
10	26/07/10	247	3253	13.5	0.0	6	0.5	9.2	8.5	6.0	1.4	4.0	8.0	2.0
11	06/08/10	252	3505	13.7	0.0	5	0.6	9.6	4.3	14.0	1.5	3.0	9.0	3.0
12	18/08/10	261	3766	14.1	0.0	4	0.7	7.7	2.1	15.0	1.4	3.0	10.0	2.0
13	28/08/10	234	4000	13.6	0.0	3	0.8	6.5	1.4	14.0	3.0	2.0	9.0	2.0
14	08/09/10	253	4253	14.3	0.0	3	0.9	7.5	2.9	15.0	2.0	3.0	8.0	3.0
15	22/09/10	300	4553	14.9	0.0	3	0.7	7.3	3.7	24.0	1.7	3.0	7.0	3.0
16	06/10/10	308	4861	13.5	0.0	4	0.5	7.3	4.1	22.0	3.7	4.0	9.0	3.0
17	19/10/10	296	5157	14.8	0.0	3	0.5	7.5	3.8	27.0	3.2	2.0	9.0	3.0

5.3 GRÁFICOS DE TENDENCIAS DE LOS REPORTES DE ANÁLISIS DE ACEITE

En los gráficos siguientes se representa las tendencias de los parámetros de control del aceite del motor NTA-855-G3 y sus comparaciones con los límites de servicio:

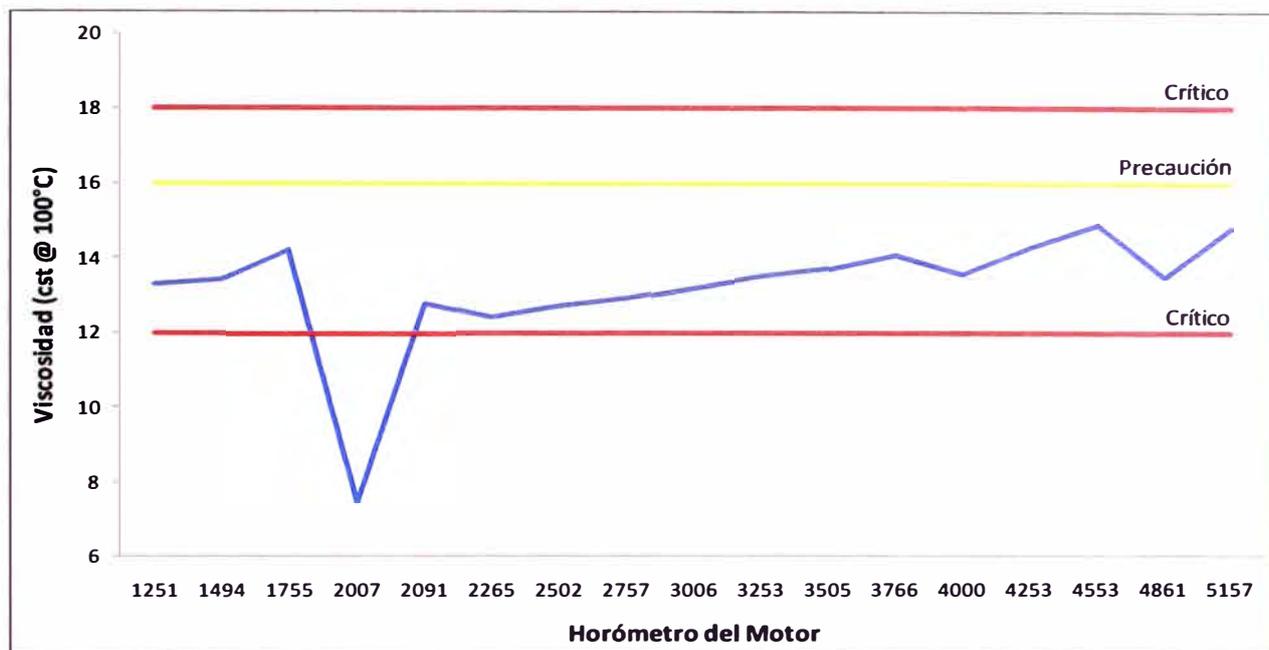


Figura 5.2 – Tendencia de la Viscosidad en el motor NTA-855-G3.

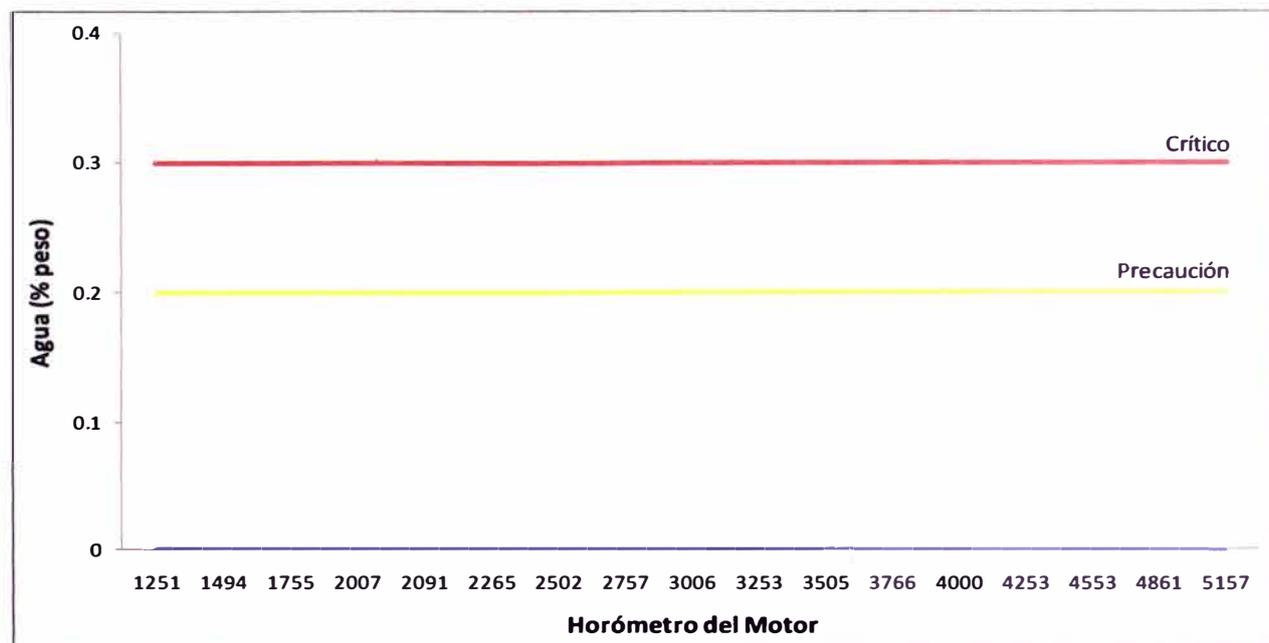


Figura 5.3 – Tendencia del Agua en el motor NTA-855-G3.

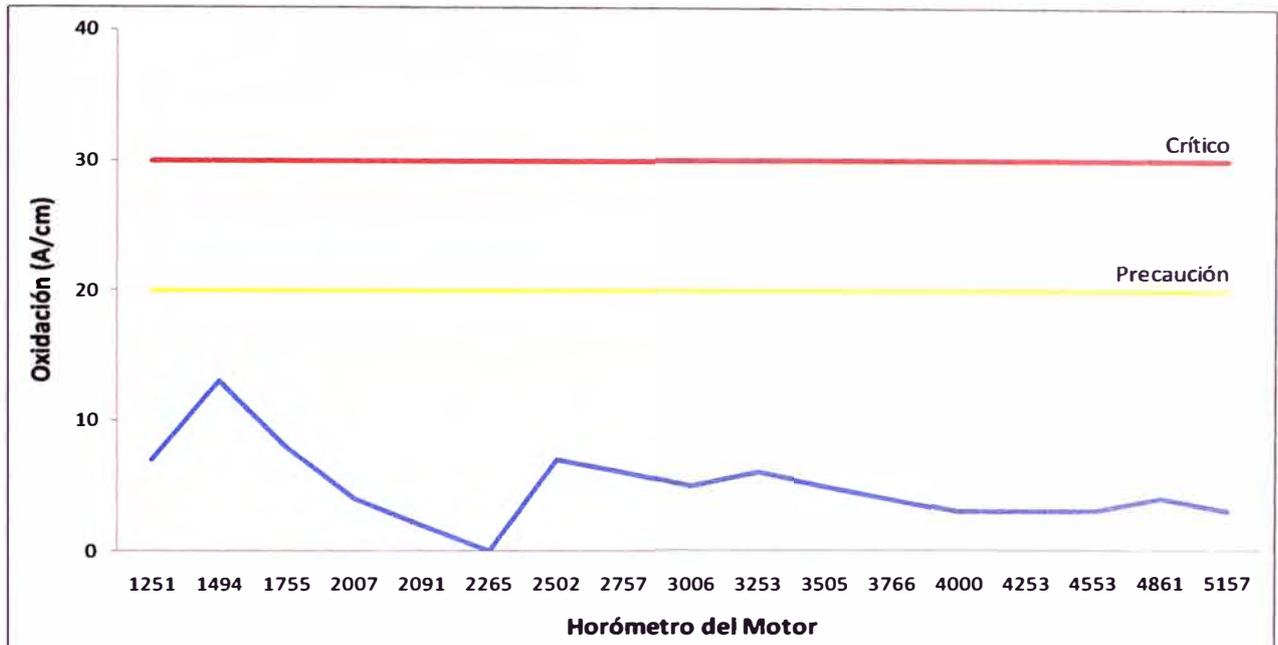


Figura 5.4 – Tendencia de la Oxidación en el motor NTA-855-G3.

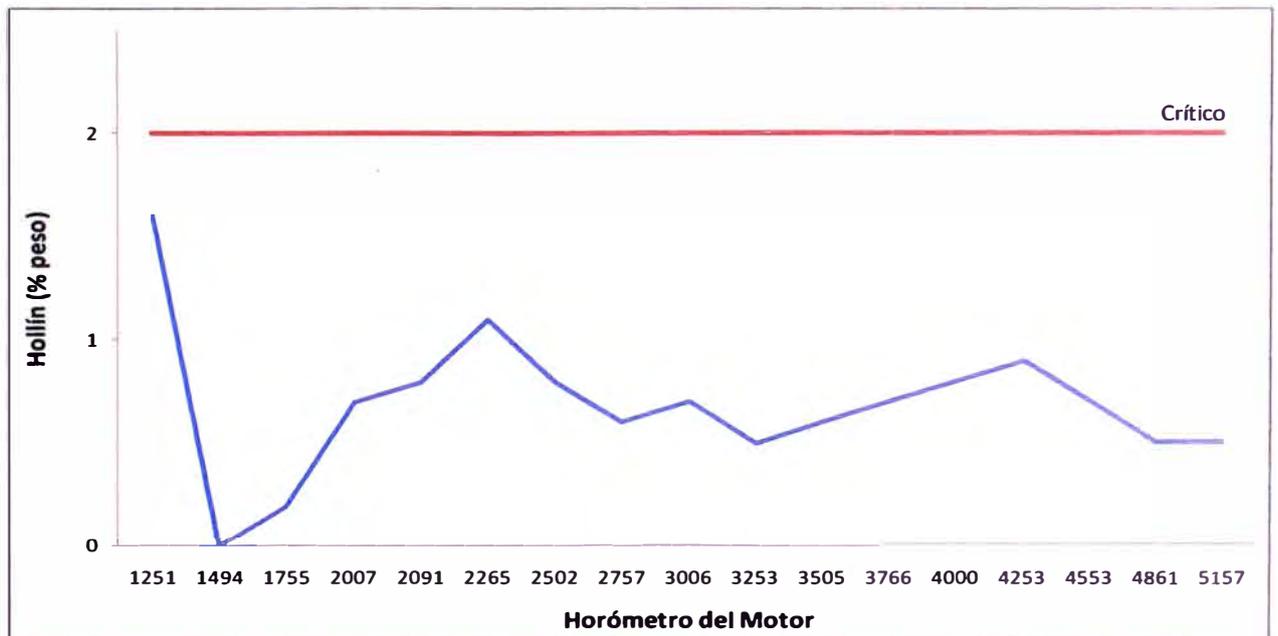


Figura 5.5 – Tendencia del Hollín en el motor NTA-855-G3.

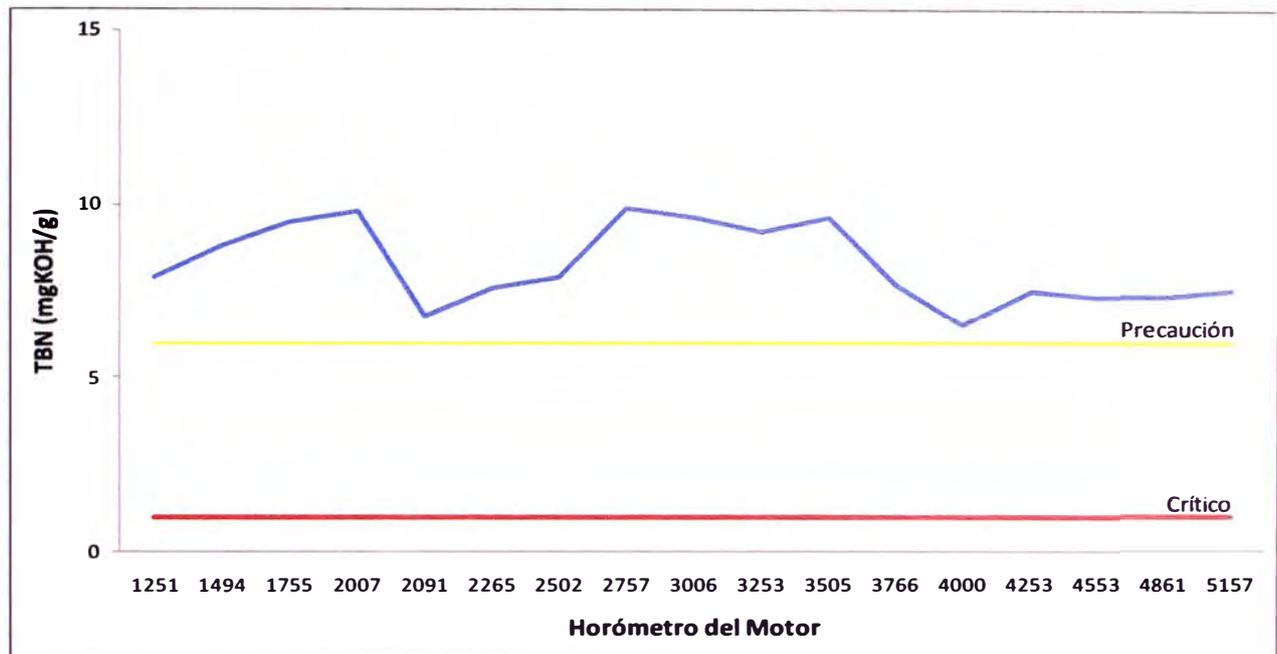


Figura 5.6 – Tendencia del TBN en el motor NTA-855-G3.

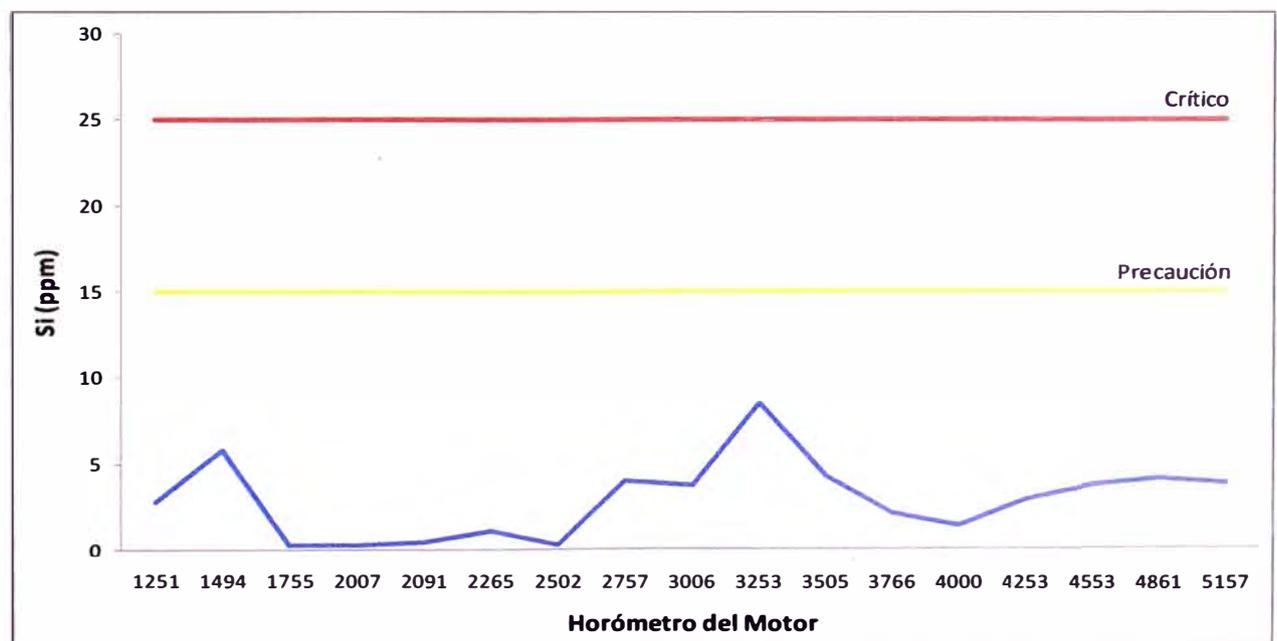


Figura 5.7 – Tendencia del Silicio en el motor NTA-855-G3.

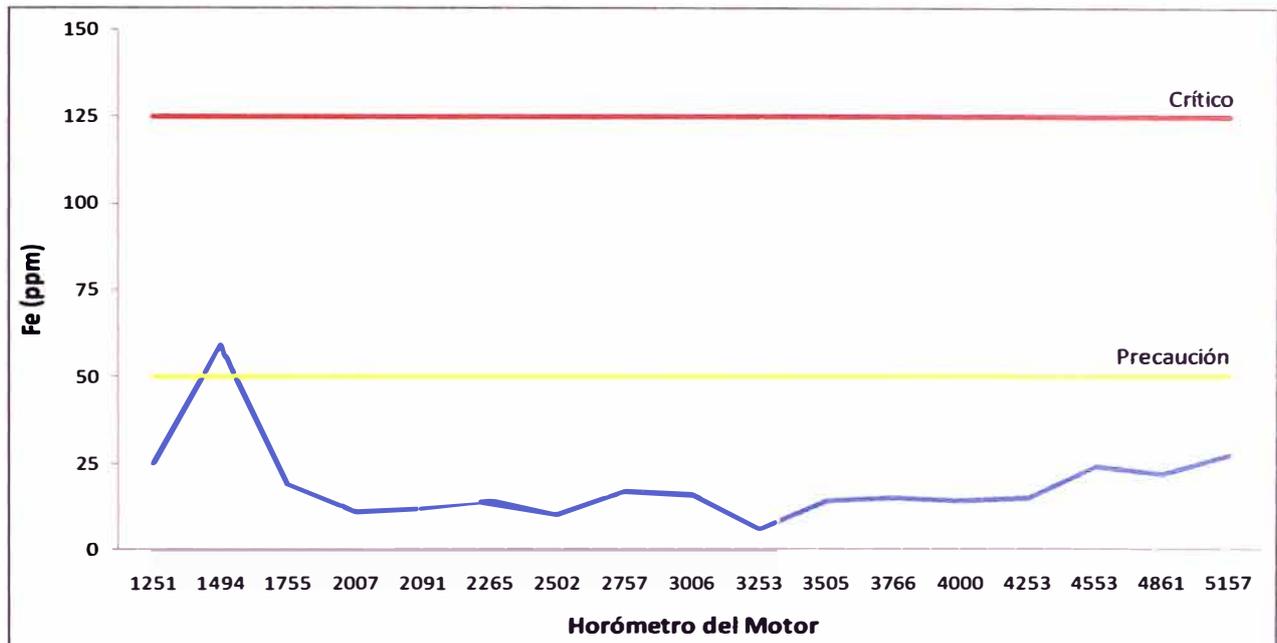


Figura 5.8 – Tendencia del Hierro en el motor NTA-855-G3.

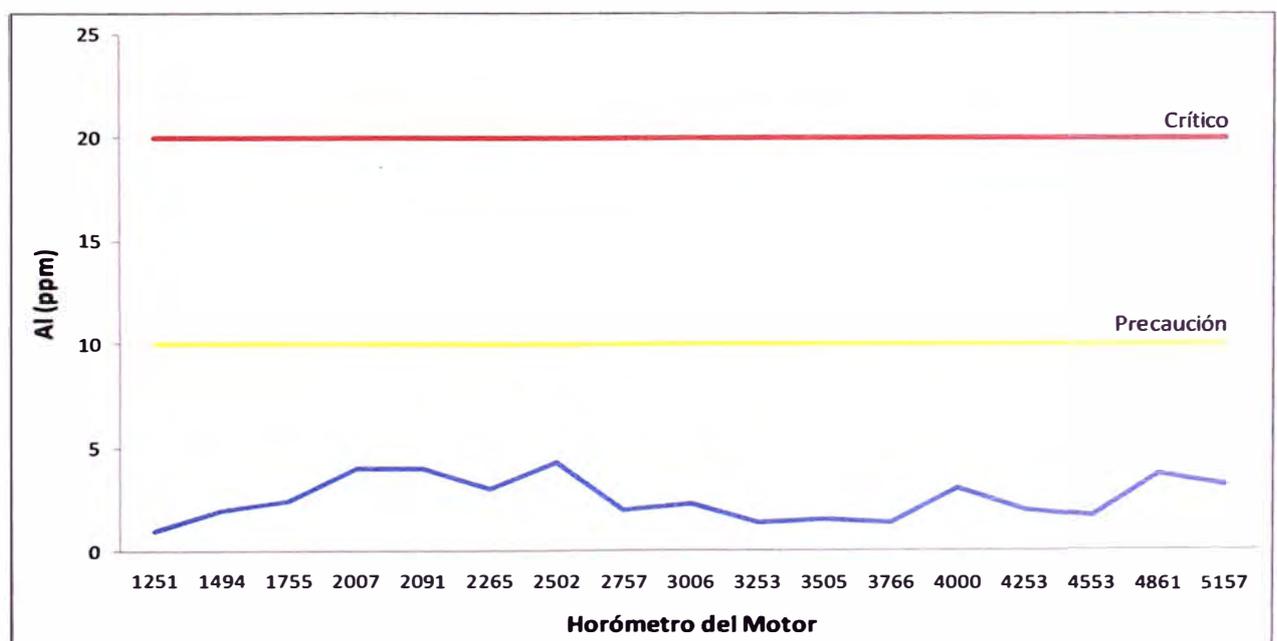


Figura 5.9 – Tendencia del Aluminio en el motor NTA-855-G3.

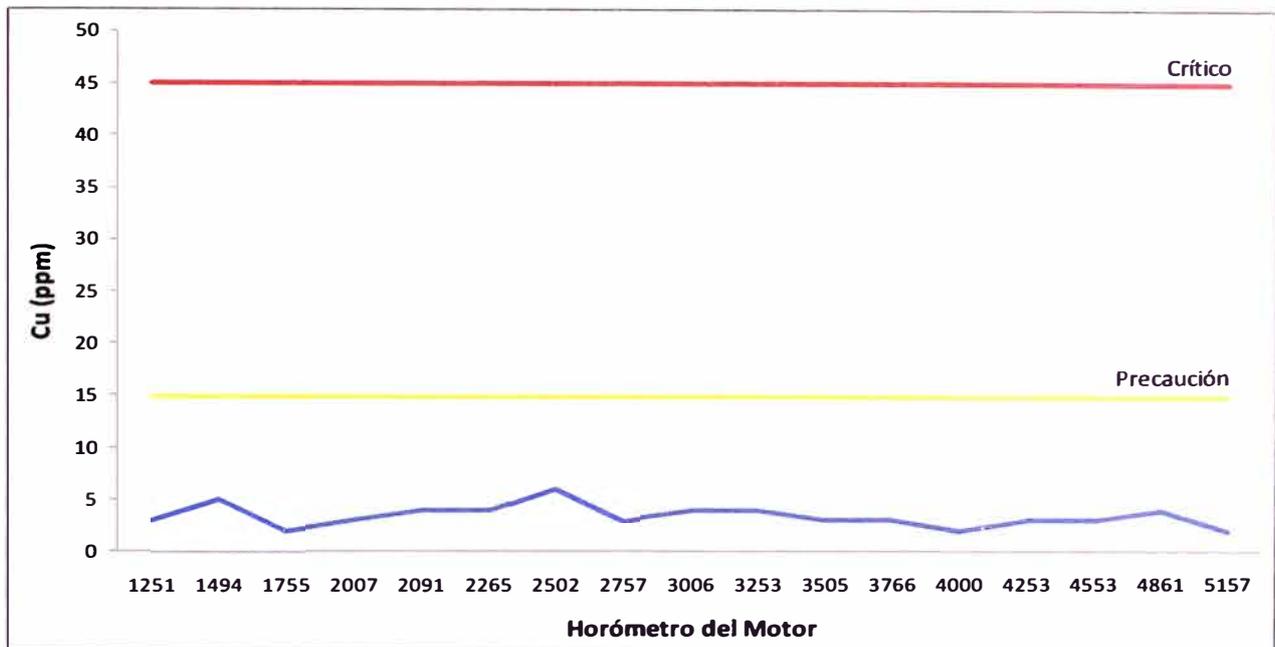


Figura 5.10 – Tendencia del Cobre en el motor NTA-855-G3.

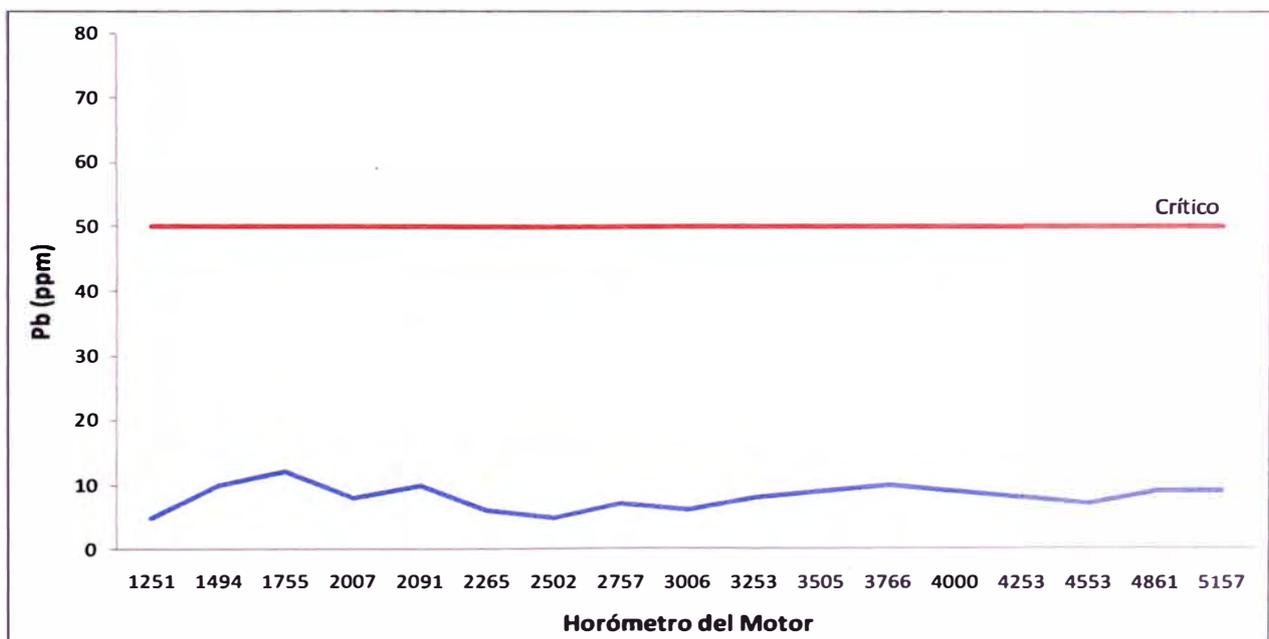


Figura 5.11 – Tendencia del Plomo en el motor NTA-855-G3.

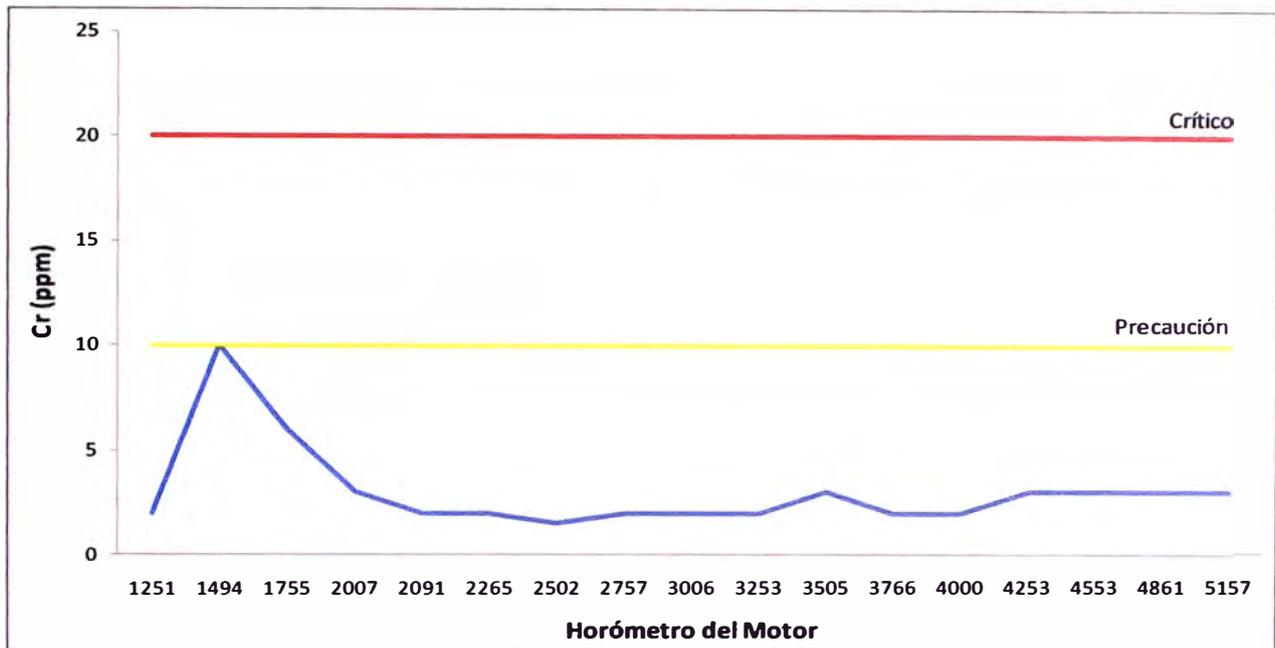


Figura 5.12 – Tendencia del Cromo en el motor NTA-855-G3.

5.4 INTERPRETACIÓN DE DATOS

Una vez que se analizaron los resultados de los reportes de análisis de aceites, se revisaron aquellos que escaparon de los límites establecidos y que produjeron condiciones anormales de operación.

A partir de este proceso de revisión de resultados se pudieron emitir acciones correctivas y establecimientos de frecuencias de mantenimientos que ayudaron a mejorar el desempeño del equipo, ahorrar en los costos de mantenimiento y sobre todo mejorar la disponibilidad del mismo.

En junio de 2010, al recibir el reporte de aceite número 4 del laboratorio de Mobil de Piura, se detectó un efecto de baja viscosidad en el aceite acompañado de una

dilución por combustible, lo cual se determinó intervenir el equipo para revisar las posibles causas y solucionar el problema existente.

Se revisaron los Sistemas de Combustible y de Admisión y Escape del motor, observándose una holgura inadecuada en la luz que separa los extremos del puente de las válvulas de admisión y el balancín en el cilindro número 2 del motor. La verificación se realizó con un calibrador de hojas de acuerdo a las dimensiones de espaciamento que indica el Manual de Mantenimiento (ver figura 5.14).

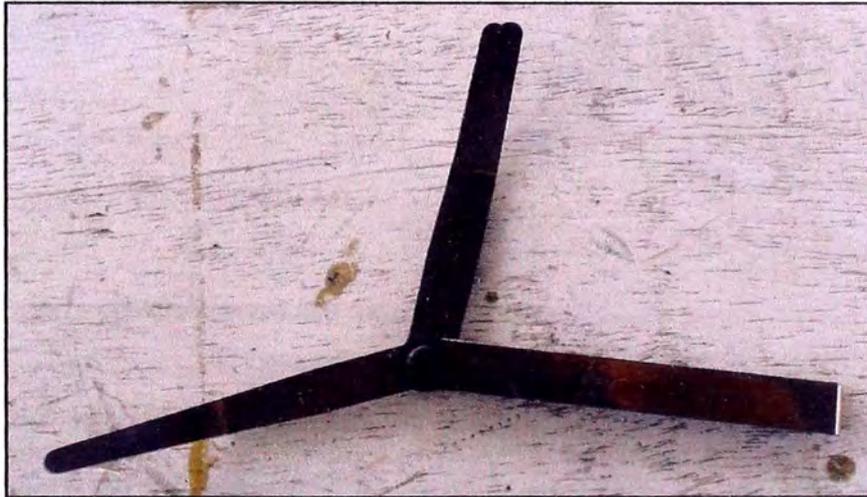


Figura 5.13 – Calibrador de hojas.

Valve and injector settings:

Intake valve adjustment	0.28 mm [0.011 in]
Intake valve limits	0.15 to 0.41 mm [0.006 to 0.016 in]
Exhaust valve adjustment	0.58 mm [0.023 in]
Exhaust valve limits	0.46 to 0.76 mm [0.018 to 0.030 in]
Top Stop injector adjustment (in engine)	0.6 to 0.7 N•m [5 to 6 in-lb]
Top Stop injector recheck limits	0.00 to 0.05 mm [0.000 to 0.002 in lash]
STC Top Stop injector adjustment (in engine)	0.6 to 0.7 N•m [5 to 6 in-lb]
STC Top Stop injector recheck limits	0.00 to 0.05 mm [0.000 to 0.002 in lash]

Figura 5.14 – Especificaciones de parámetros de válvulas e inyectores.

La holgura no era la adecuada ya que la hoja de calibración de medida 0.15 mm. no atravesaba el espaciamento existente entre el puente de las válvulas y el balancín. Eso quiere decir que la holgura estaba muy cerrada, dando lugar a que las válvulas de admisión no sellaran de manera adecuada en la cámara y al momento de producirse la compresión se generaban fugas de la mezcla aire-combustible, produciéndose presión y temperatura insuficiente en el interior de la cámara. Es por esta razón que no se quemaba todo el combustible proveniente del inyector. Este combustible no quemado se dirigía al cárter por medio de las paredes del cilindro, contaminando de esta manera el aceite y por tanto disminuyendo su viscosidad.

5.5 ACCIONES CORRECTIVAS

Las acciones correctivas fueron las siguientes:

- Revisión del kit de componentes de válvulas, balancín y varilla de empuje al cilindro afectado. Se determinó el cambio del juego de válvulas de admisión y escape de este cilindro.
- Calibración de válvulas a todos los cilindros, siguiendo los procedimientos y especificaciones indicados en el Manual de Operación y Mantenimiento.
- Regulación de los inyectores del motor.
- Prueba de compresión a todos los cilindros del motor, a cargo de personal de Mitsui.

En la figura 5.15 se muestra el desmontaje de una de las tres tapas de válvulas para realizar la calibración de válvulas y regulación de los inyectores.

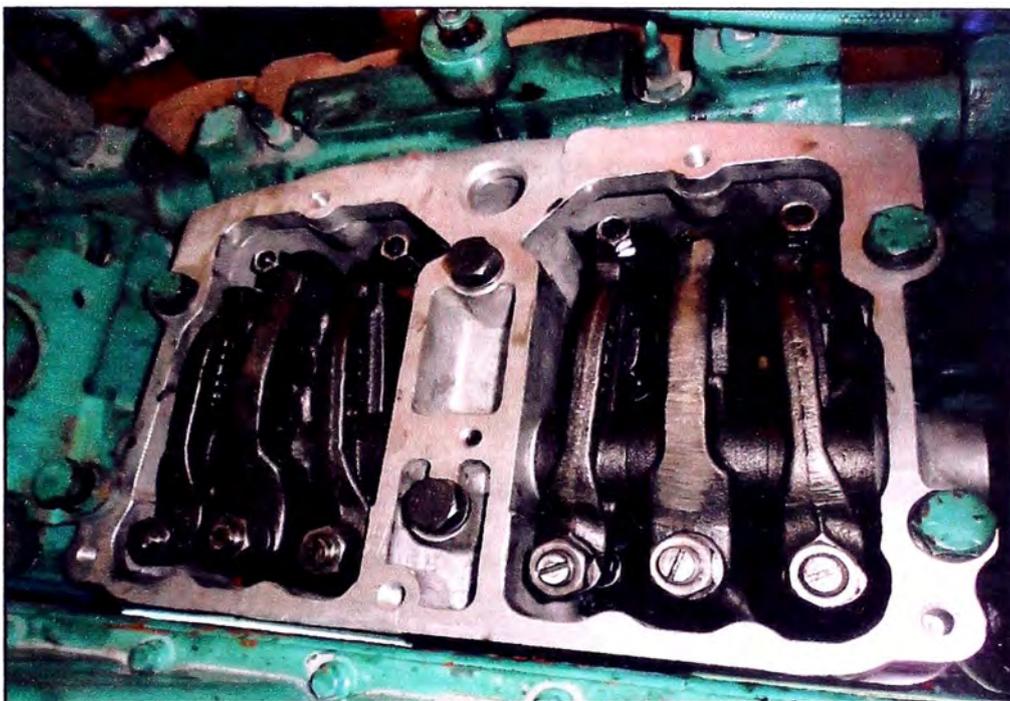


Figura 5.15 – Desmontaje de tapa de válvulas del motor NTA-855-G3.

Luego de realizar las acciones correctivas, se probó al equipo con carga por dos días. El 05/06/2010, con un horómetro de motor de 2091, se tomó una muestra de aceite luego de 84 horas de trabajo de este lubricante, y también se realizó una nueva prueba de compresión a todos los cilindros del motor. Los resultados de los reportes de aceite y de la prueba de compresión estaban dentro de los rangos normales de los parámetros del motor.

El 12/06/2010, después de 258 horas de trabajo de aceite se volvió a tomar una muestra, y los resultados de este reporte nuevamente indicaban que los parámetros del motor están dentro de los límites de servicio. A partir de esa fecha se tomaron muestras de aceites cada 250 horas de funcionamiento del motor como en un inicio.

5.6 ESTABLECIMIENTO DE NUEVAS FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO

En un primer momento, los mantenimientos preventivos del grupo electrógeno en estudio se realizaban cada 250 horas de acuerdo a las indicaciones del Manual de Operaciones y Mantenimiento. A partir del 08/09/2010 se decidió aumentar las frecuencias de mantenimiento a 300 horas, ya que las tendencias de los reportes, tanto de las propiedades del aceite como de los parámetros de desgaste del motor se mantuvieron dentro de los límites de servicio.

Con esto se logró alargar la vida útil del motor al identificar las fallas potenciales antes de que ocurran y por tanto disminuir las paradas no programadas. Además se logra reducir significativamente los costos de mantenimiento.

5.7 ANÁLISIS DE COSTOS

En esta parte se analizará el ahorro de los costos de mantenimiento al establecer la nueva frecuencia de 300 horas. Primero se realiza el cálculo del costo total de los mantenimientos preventivos con la frecuencia que se estableció en un inicio que era de 250 horas. Para ello se necesitan los costos unitarios de los consumibles. Éstos se muestran a continuación:

Tabla 5.3 – Lista de precios de lubricantes y refrigerantes Mobil - 2010.

Item	Código	Producto	Presentación		Valor Vta Unitario (US\$)	Valor Vta / galón (US\$)
1	115409	Mobil Delvac MX 15W/40	Cil	55 gal	365.00	6.64
2	120003	Mobil Mining Coolant	Cil	55 gal	355.00	6.45

Nota: Los precios no incluyen IGV.

Tabla 5.4 – Lista de precios de repuestos de Mantenimiento Mitsui - 2010.

Item	Descripción	Marca	Nro de Parte	Cantidad	Valor Vta / unidad (US\$)
1	FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	FLEETGUARD	LF-3000	1	102.25
2	FILTRO DE COMBUSTIBLE	FLEETGUARD	FS-1001	1	89.75
3	FILTRO DE REFRIGERANTE	FLEETGUARD	WF-2070	1	32.65
4	FILTRO DE AIRE	FLEETGUARD	AF-26173	1	152.50

Nota: Los precios no incluyen IGV.

En las siguientes tablas se muestran los costos de los filtros, repuestos y fluidos de mantenimiento por cada PM:

Tabla 5.5 – Costo de lubricantes y refrigerantes por cada PM.

Item	COMPARTIMENTOS	TIPO DE FLUIDO	QTY (Gln.)	\$ C/U	\$ TOTAL	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4
						250 horas	500 horas	1000 horas	2000 horas
1	CARTER DE MOTOR	MOBIL DELVAC MX 15W/40	10	6.64	66.4	X	X	X	X
2	REFRIGERANTE	MOBIL MINING COOLANT	6	6.45	38.7				X
TOTAL POR PM (US\$)						66.4	66.4	66.4	105.1

Tabla 5.6 – Costo de filtros y repuestos por cada PM.

Item	Descripción	Cantidad	Marca	Nro de Parte	\$ C/U	\$ TOTAL	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4
							250 horas	500 horas	1000 horas	2000 horas
1	FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	1	FLEETGUARD	LF-3000	102.25	102.25	X	X	X	X
2	FILTRO DE COMBUSTIBLE	2	FLEETGUARD	FS-1001	89.75	179.50	X	X	X	X
3	FILTRO DE REFRIGERANTE	2	FLEETGUARD	WF-2070	32.65	65.30		X	X	X
4	FILTRO DE AIRE	1	FLEETGUARD	AF-26173	152.50	152.50			X	X
5	REPUESTOS DIVERSOS (EMPAQUETADURAS, RESPIRADEROS, BORNES, ETC.)	1	S/M	S/N	85.00	85.00	X	X	X	X
TOTAL POR PM (US\$)							366.75	432.05	584.55	584.55

Otro costo que interviene en los mantenimientos es la mano de obra. Para el caso específico de trabajos de mantenimientos del grupo electrógeno en estudio, la distribución de mano de obra por cada PM es la siguiente:

Tabla 5.7 – Distribución de mano de obra por cada PM.

MANO DE OBRA	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4
	250 horas	500 horas	1000 horas	2000 horas
MECÁNICOS	1	1	1	2
ELECTRICISTAS	1	1	1	1

Tabla 5.8 – Costo de mano de obra por cada PM.

RECURSOS	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4
	250 horas	500 horas	1000 horas	2000 horas
HORAS CALENDARIAS	4	4	4	5
NRO DE PERSONAS	2	2	2	3
HORAS - HOMBRE	8	8	8	15
COSTO UNIT (US\$)	7	7	7	7
COSTO TOTAL (US\$)	56	56	56	105

Para determinar los costos totales de Mantenimiento Preventivo por cada PM a la frecuencia de 250 horas, se suman los costos totales de filtros, repuestos, lubricantes, refrigerantes y de mano de obra. Esto montos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.9 – Costo Total de Mantenimiento por cada PM.

GRUPO ELECTRÓGENO CUMMINS C-350-D6-4	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4
	250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO (US\$)	489.15	554.45	706.95	794.65

Al incrementar las frecuencias de mantenimiento del grupo electrógeno en 50 horas, se producen ahorros en los costos de mantenimiento. Se debe tomar en cuenta hasta la fecha sólo se tienen 3 reportes con estos intervalos extendidos. Sin

embargo las tendencias de los parámetros del motor indican que se mantendrán dentro de los límites de servicio establecidos.

Lo que se muestra a continuación es una proyección de costos con las frecuencias de 250 y 300 horas en el periodo de un año. En un mes de operación, este grupo electrógeno trabaja aproximadamente 680 horas, es decir 8160 horas al año.

Tabla 5.10 – Comparación de costos de Mantenimiento.

Frecuencia de Mantenimiento cada 250 horas			
Item	PM - HR	HR Referencia	Costo (US\$)
1	FM1 - 250	250.00	489.15
2	FM2 - 500	500.00	554.45
3	FM1 - 250	750.00	489.15
4	FM3 - 1000	1,000.00	706.95
5	FM1 - 250	1,250.00	489.15
6	FM2 - 500	1,500.00	554.45
7	FM1 - 250	1,750.00	489.15
8	FM4 - 2000	2,000.00	773.65
9	FM1 - 250	2,250.00	489.15
10	FM2 - 500	2,500.00	554.45
11	FM1 - 250	2,750.00	489.15
12	FM3 - 1000	3,000.00	706.95
13	FM1 - 250	3,250.00	489.15
14	FM2 - 500	3,500.00	554.45
15	FM1 - 250	3,750.00	489.15
16	FM4 - 2000	4,000.00	773.65
17	FM1 - 250	4,250.00	489.15
18	FM2 - 500	4,500.00	554.45
19	FM1 - 250	4,750.00	489.15
20	FM3 - 1000	5,000.00	706.95
21	FM1 - 250	5,250.00	489.15
22	FM2 - 500	5,500.00	554.45
23	FM1 - 250	5,750.00	489.15
24	FM4 - 2000	6,000.00	773.65
25	FM1 - 250	6,250.00	489.15
26	FM2 - 500	6,500.00	554.45
27	FM1 - 250	6,750.00	489.15
28	FM3 - 1000	7,000.00	706.95
29	FM1 - 250	7,250.00	489.15
30	FM2 - 500	7,500.00	554.45
31	FM1 - 250	7,750.00	489.15
32	FM4 - 2000	8,000.00	773.65
33	FM1 - 250	8,250.00	489.15
US\$ TOTAL POR AÑO			18,873.65

Frecuencia de Mantenimiento cada 300 horas			
Item	PM - HR	HR Referencia	Costo (US\$)
1	FM1 - 300	300.00	489.15
2	FM2 - 600	600.00	554.45
3	FM1 - 300	900.00	489.15
4	FM3 - 1200	1,200.00	706.95
5	FM1 - 300	1,500.00	489.15
6	FM2 - 600	1,800.00	554.45
7	FM1 - 300	2,100.00	489.15
8	FM4 - 2400	2,400.00	773.65
9	FM1 - 300	2,700.00	489.15
10	FM2 - 600	3,000.00	554.45
11	FM1 - 300	3,300.00	489.15
12	FM3 - 1200	3,600.00	706.95
13	FM1 - 300	3,900.00	489.15
14	FM2 - 600	4,200.00	554.45
15	FM1 - 300	4,500.00	489.15
16	FM4 - 2400	4,800.00	773.65
17	FM1 - 300	5,100.00	489.15
18	FM2 - 600	5,400.00	554.45
19	FM1 - 300	5,700.00	489.15
20	FM3 - 1200	6,000.00	706.95
21	FM1 - 300	6,300.00	489.15
22	FM2 - 600	6,600.00	554.45
23	FM1 - 300	6,900.00	489.15
24	FM4 - 2400	7,200.00	773.65
25	FM1 - 300	7,500.00	489.15
26	FM2 - 600	7,800.00	554.45
27	FM1 - 300	8,100.00	489.15
US\$ TOTAL POR AÑO			16,171.06

TOTAL MANTENIMIENTO-250 HRS (US)	18,873.65
TOTAL MANTENIMIENTO-300 HRS (US)	16,171.06
AHORRO (US\$)	3,602.60
PORCENTAJE DE AHORRO	18.76%

Como se puede apreciar en la proyección del cuadro anterior, se logra un ahorro de 18.76 % en costos de mantenimiento. También se reduce el número de paradas programadas por mantenimiento de 33 a 27 en un año.

Si esto se multiplica por los 10 grupos electrógenos de la misma marca y modelo que tiene GyM. S.A. en otros proyectos, definitivamente se apreciará una cantidad de ahorro importante.

Se puede extender la vida útil de los repuestos de mantenimiento aun más si se sigue analizando las tendencias y se establecen nuevos periodos de cambios optimizados. Estos periodos optimizados permiten que se programen con anticipación las tareas de mantenimiento, que además son más baratas que las reparaciones de emergencia.

Sin duda son valores muy alentadores, tanto para el área de producción ya que el equipo tendría menores paradas, ya sean correctivas o preventivas; así como para el área de mantenimiento por el ahorro significativo en los costos.

CONCLUSIONES

1. Revisando los resultados obtenidos, tanto del orden técnico como del orden económico, se puede establecer que el control adecuado de los parámetros de operación en los aceites usados permite realizar modificaciones o reparaciones al grupo electrógeno antes que falle. A partir de ello se mejora las condiciones de operación y por consiguiente ayudan al equipo a poder trabajar con una mayor disponibilidad.
2. Debido a que se detectó una holgura inadecuada entre el puente de válvulas y el balancín del cilindro número 2 del motor, se determinó realizar la calibración de válvulas y la regulación de inyectores cada 1500 horas de operación del motor. El manual de operaciones y mantenimiento nos recomienda cada 2000 horas, pero se redujo. Además se está incluyendo en las nuevas tareas de mantenimiento realizar la medición de la compresión de los cilindros del motor cada 600 horas.
3. El establecimiento del cambio de las frecuencias de mantenimiento preventivo se realizaron debido a que las tendencias de los parámetros de control se mantuvieron dentro de los límites de servicio. Estas frecuencias pueden seguir variando, debido a las horas trabajadas del equipo y a las condiciones operativas. Con esto se logra obtener periodos de cambio de repuestos y lubricantes optimizados.
4. El ahorro en los costos totales de mantenimiento y la reducción del número de paradas para realizar estas tareas en el grupo electrógeno son consecuencias de la aplicación del Análisis de Aceite. Sólo en la variación de la frecuencia de

mantenimiento se ha proyectado un ahorro del 18%. Así mismo si no tendríamos esta herramienta se hubiera dañado todo el sistema de Combustible y de Admisión y Escape del motor, y obviamente los costos en la reparación hubieran sido excesivos.

5. La aplicación del Análisis de Aceite no solo se limita al motor de combustión interna. Se puede aplicar a maquinarias que cuenten con otros sistemas como el sistema hidráulico, la transmisión, convertidor de torque, y en general a todo compartimiento que tenga aceite lubricante. Para ello se debe contar con los límites de servicio que el mismo Mobil puede proporcionarnos.

RECOMENDACIONES

1. Se requiere tomar una buena muestra a los aceites usados del motor, para ello debe seguirse un procedimiento específico, de lo contrario los reportes nos mostrarán una serie de resultados inexactos. Adicional a ello, se debe completar correctamente toda la información necesaria en la etiqueta antes de enviar la muestra al laboratorio.
2. La calibración de válvulas lo puede realizar los mecánicos de GyM. Sin embargo se recomienda que estas tareas, además de la regulación de inyectores, esté a cargo de personal especializado de Mitsui ya que cuentan con las herramientas necesarias y son entrenados para este tipo de trabajos.
3. Es indispensable seguir estudiando la variación de las tendencias de los reportes para ampliar o disminuir la frecuencia de los mantenimientos.
4. En el proyecto Bayovar se tienen otros equipos mayores como retroexcavadoras, cargadores, camiones grúas, motoniveladoras, etc. a la cual la aplicación del Análisis de Aceite y el realizar el control y seguimiento de los resultados de los reportes, al igual que se hicieron para el grupo, tendrían grandes beneficios tanto en la parte operativa como en la parte económica.

BIBLIOGRAFÍA

1. NORIA, Analista de Lubricantes de Maquinaria, Nivel I y II, 2003.
2. CUMMINS, Operation and Maintenance Manual NT/NTA 855 Big Cam III, 2003.
3. EXXON MOBIL, Separatas de Seminario: Análisis de Aceite, 2009.
4. EXXON MOBIL, Product Selection Guide – Lubricating oils and greases, 2006.
5. FITCH JAMES C., Guía de Procedencia de Elementos para Aceite Usado, traducción Trujillo C. Gerardo, 2002.
6. MILLER IRWIN R. / FREUND JOHN E. / JOHNSON RICHARD, Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Printice – Hill Hispanoamericana S.A., 1992.
7. ROSALERT ROBERT, Definición del Manual del Ingeniero de Planta, 1998.
8. <http://confiabilidad.net/articulos/integrando-el-analisis-de-aceite-con-el-analisis-de-vibracion>, Noviembre 2006.
9. <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/w46.pdf>, Junio 2006.
10. http://www.termogram.com/pdf/analisis_aceites_usando.pdf, Mayo 2010.

ANEXOS

ANEXO I

FORMATO DE REPORTE DE ANÁLISIS DE ACEITE



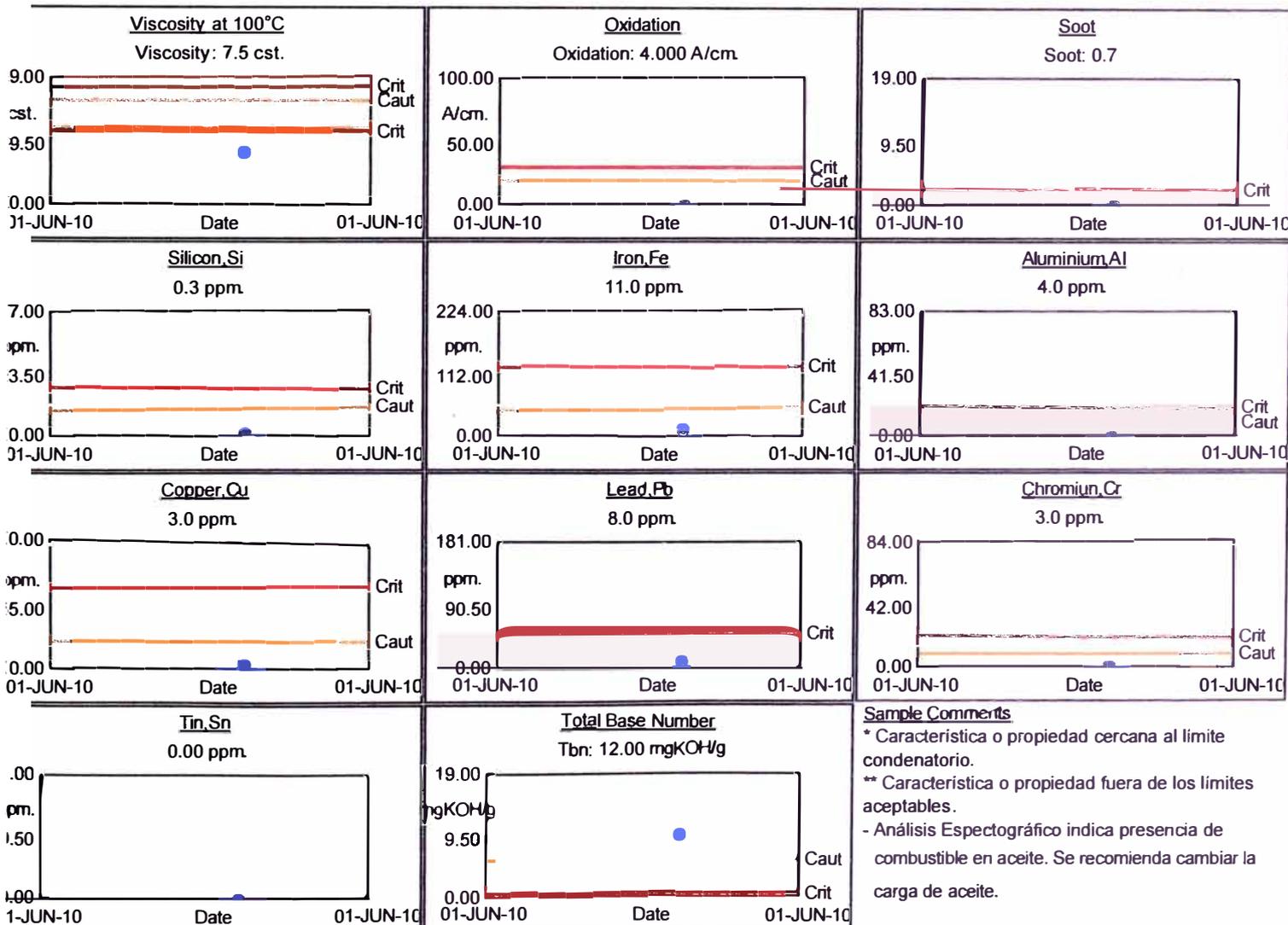
Customer Information

Customer ID: KOMATSU-MITSUI MAQUINARIAS PERU
 Territory: KOMATSU-MITSUI
 Customer: KOMATSU-MITSUI MAQUINARIAS PERU S.A.
 To: GyM S.A - 1650 - Obra Bayovar
 Contact: Cesar Yancan
 Javier Altamirano

Sample ID: 6201009003
 Equipment Code: 51022
 Equipment Name: 36073029 MOTOR
 Equipment Area: KOMATSU-MITSUI MAQUINARIAS PERU S.A.
 Lubricant: DELVACMX 15W40
 Total Hours: 2007.0
 Hours On Oil: 252.0, On Filter: 0.0

Sampled: 01-JUN-10, 02:38 pm
 Tested: 02-JUN-10
 Reported: 02-JUN-10

Sample ID	Sampled	Hours	On Oil	Visc. (100°C)	Water	Oxidation	Soot	Tbn	Si	Fe	Al	Cu	Pb	Cr	Sn	Na
6201009003	01-JUN-10	2007.0	252.0	**7.5	0.000	4.000	0.7	9.80	0.3	11.0	4.0	3.0	8.0	3.0	0.0	0.0



ANEXO II

HOJA TECNICA DE ACEITE

MOBIL DELVAC MX 15W-40

Mobil Delvac MX 15W-40

Aceite SHPD de muy alto rendimiento para motores diesel

Descripción de producto

Mobil Delvac MX 15W-40 es un aceite de muy alto rendimiento para motores diesel que proporciona una excelente lubricación a los motores diesel modernos aumentando la vida del motor. Como resultado este producto cumple o excede con la mayoría de las especificaciones de los fabricantes de motores americanos y europeos. Su elevado rendimiento ha sido probado en un amplio rango de industrias, aplicaciones y flotas mixtas.

Su avanzada formulación química ofrece un insuperable rendimiento en motores modernos diesel de bajas emisiones, así como en motores más antiguos que operan con combustible de bajo o alto contenido de azufre. Mobil Delvac MX 15W-40 combina una mezcla de aceites base de alta calidad con un avanzado sistema de aditivos, que le proporcionan un control superior del espesamiento del aceite debido a la formación de hollín a elevadas temperaturas así como una insuperable resistencia a la oxidación, corrosión y depósitos a altas temperaturas.

Propiedades y Beneficios

Los modernos motores de elevada potencia y bajo nivel de emisiones cada vez requieren más de los lubricantes de motor. Los diseños cada vez más ajustados reducen el consumo de aceite dando lugar a un menor relleno con aceite nuevo. Los segmentos de fuego de los pistones están más altos lo que causa que la película de lubricante este sometida a mayores temperaturas en la cámara de combustión, dando como resultado una mayor tensión térmica. Mayores presiones de inyección y tiempos retardados mejoran la eficiencia de la mezcla pero también incrementan las temperaturas y el hollín que debe soportar el lubricante. La avanzada tecnología del Mobil Delvac MX 15W-40 ofrece un excepcional rendimiento, tanto en los motores diesel modernos como en los modelos anteriores. Los principales beneficios incluyen:

Propiedades	Ventajas y Beneficios potenciales
Alta estabilidad térmica y a la oxidación	Menor formación de lodos y depósitos
Reservas TBN	Control de depósitos
"Stay-in-grade" estabilidad al cizallamiento	Menor consumo de aceite y mayor protección contra el desgaste Motores más limpios y vida más larga de los componentes Motores más limpios y vida más larga de los componentes Motores más limpios y vida más larga de los componentes Motores más limpios y vida más larga de los componentes Motores más limpios y vida más larga de los componentes Motores más limpios y vida más larga de los componentes
Avanzada detergencia/dispersancia	Motores más limpios y vida más larga de los componentes
Mayor rendimiento alta temperatura/alto cizallamiento (HT/HS)	Reducción del rayado del motor y del pulido de camisas
Excelentes propiedades a bajas temperaturas	Mejor bombeabilidad/circulación del aceite Protección contra el desgaste durante el arranque



Propiedades	Ventajas y Beneficios potenciales
Compatibilidad con componentesCumple con las especificaciones de los principales fabricantes	Vida más prolongada de las juntas Un solo aceite para flotas mixtas

Aplicaciones

- Motores diesel sobrealimentados o de aspiración natural de los equipos fabricados por los principales constructores americanos, europeos y japoneses.
- Camiones de carga pesada y carga ligera.
- Maquinaria industrial de construcción, minería, extracción y agricultura.
- Flotas mixtas.

Especificaciones y Aprobaciones

Mobil Delvac MX 15W-40 cumple las siguientes especificaciones:

ACEA E7/E5/E3/B4/B3/A2	X
API CI-4/CH-4/CG-4/CF-4/CF/SL/SJ	X
Cummins CES 20072/1	X
Detroit Diesel 7SE 270 (4 stroke cycle)	X
Caterpillar CAT ECF-1	X

Mobil Delvac MX 15W-40 posee las siguientes aprobaciones:

Daimler Chrysler MB 228.3	X
Cummins CES 20078/7/6/5	X
Mack EO-M Plus	X
Volvo VDS-2/VDS-3	X
MAN M3275	X
Renault RLD	X
MTU Type 1 (Open crankcase only -- 500 hr ODI)	X
ZF TE-ML 04C	X

Mobil Delvac MX 15W-40 está recomendado en las aplicaciones que requieren:

Allison C-4	X
-------------	---

Características típicas

Mobil Delvac MX 15W-40

SAE Grade 15W-40	
Viscosidad, ASTM D 445	
cSt @ 40°C	105
cSt @ 100°C	14.2

Mobil Delvac MX 15W-40

Índice de viscosidad, ASTM D 2270	138
Cenizas sulfatadas, % peso, ASTM D 874	1.1
TBN, mg KOH/g, ASTM D 2896	10
Punto de congelación, °C, ASTM D 97	-33
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	240
Densidad @ 15°C kg/l, ASTM D 4052	0.88

Seguridad e Higiene

Basado en información disponible, no es de esperar que este producto cause efectos adversos en la salud mientras se utilice en las aplicaciones a las que está destinado y se sigan las recomendaciones de la Ficha de Datos de Seguridad (FDS). Las Fichas de Datos de Seguridad están disponibles a través del Centro de Atención al Cliente. Este producto no debe utilizarse para otros propósitos distintos a los recomendados. Al deshacerse del producto usado, tenga cuidado para así proteger el medio ambiente.

El logotipo Mobil, el diseño del Pegasus, y Delvac son marcas registradas por Exxon Mobil Corporation, o una de sus afiliadas

ExxonMobil Lubricants & Specialties

Es posible que no todos los productos estén disponibles en su localidad. Para mayor información, ponerse en contacto con la oficina de venta local o dirigirse a www.exxonmobil.com. ExxonMobil se compone de numerosas filiales y empresas asociadas, muchas de las cuales tienen nombres que incluyen el de Esso, Mobil y ExxonMobil. Nada de lo que figura en este documento está destinado a anular o reemplazar la separación corporativa que existe entre las entidades locales. La responsabilidad de las acciones a nivel local, y la obligación de responder de ellas, seguirán recayendo en las entidades afiliadas a ExxonMobil. Debido a la continua investigación y desarrollo de los productos, la información aquí contenida podría verse modificada sin previo aviso. Las características típicas podrían variar ligeramente.

© 2007 Exxon Mobil Corporation. Todos los derechos reservados.