



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

**ANÁLISIS DE ACEITE COMO PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE TALLER AGRÍCOLA Y  
AUTOMOTRIZ DE LA COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL INGENIO PALO GORDO S. A.**

**Angel Rodrigo Recinos Castellanos**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE ACEITE COMO PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE TALLER AGRÍCOLA Y  
AUTOMOTRIZ DE LA COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL INGENIO PALO GORDO S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANGEL RODRIGO RECINOS CASTELLANOS**  
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JULIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS DE ACEITE COMO PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE TALLER AGRÍCOLA Y  
AUTOMOTRIZ DE LA COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL INGENIO PALO GORDO S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de octubre de 2013.

  
**Angel Rodrigo Recinos Castellanos**



Guatemala, 09 de julio de 2014  
REF.EPS.DOC.726.07.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Ángel Rodrigo Recinos Castellanos** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201020677, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **ANÁLISIS DE ACEITE COMO PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE TALLER AGRÍCOLA Y AUTOMOTRIZ DE LA COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL INGENIO PALO GORDO S.A..**

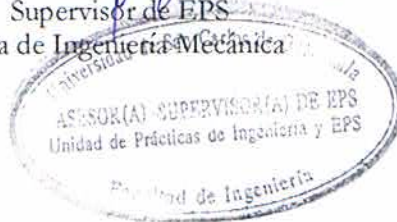
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



Guatemala, 09 de julio de 2014  
REF.EPS.D.356.07.14

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ANÁLISIS DE ACEITE COMO PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE TALLER AGRÍCOLA Y AUTOMOTRIZ DE LA COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL INGENIO PALO GORDO S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Ángel Rodrigo Recinos Castellanos** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS

SJRS/ra





**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.133.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE ACEITE COMO PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE TALLER AGRÍCOLA Y AUTOMOTRIZ DE LA COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL INGENIO PALO GORDO, S.A.** del estudiante **Ángel Rodrigo Recinos Castellanos** con numero de carnet **201020677**, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR  
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE ACEITE COMO PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL DEPARTAMENTO DE TALLER AGRÍCOLA Y AUTOMOTRÍZ DE LA COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL INGENIO PALO GORDO S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Angel Rodrigo Recinos Castellanos** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, julio de 2014



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por siempre guiarme y bendecirme en mi camino.
<b>Mis padres</b>	Marcelo Recinos y Gloria Castellanos de Recinos, por su amor, inspiración y apoyo incondicional.
<b>Mi hermana</b>	Alejandra Sofía Recinos Castellanos, por ser mi apoyo siempre.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por el don de la vida, guiar mi camino y bendecirme siempre.
<b>Mi familia</b>	Por siempre apoyarme y aconsejarme.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
<b>Mis tíos</b>	Por el cariño y consejos que siempre me han brindado, en especial a quienes me han apoyado y motivado en mis estudios.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Jorge Morales, Diego Cherec, Minor Fernández, Vinicio Armas, Carlos Laparra, por brindarme su apoyo y amistad.
<b>Los ingenieros</b>	Juan Luis Castillo, Raynner Pinto y Roberto Barrios, por brindarme su apoyo y amistad.
<b>Personal de taller</b>	Por su amistad, apoyo y conocimientos compartidos.
<b>Los asesores</b>	Ing. Edwin Sarceño e Ing. Carlos Chicojay, por su apoyo en la realización de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. De la empresa.....	1
1.1.1. Descripción de la empresa.....	1
1.1.2. Misión.....	1
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Valores.....	2
1.1.5. Ubicación.....	2
1.2. Problemática.....	2
1.2.1. Descripción del problema.....	3
1.2.2. Descripción del mantenimiento en el Departamento de Taller Agrícola y Automotriz.....	3
1.2.3. Mantenimiento predictivo.....	4
1.2.3.1. Historia del mantenimiento predictivo.....	4
1.2.3.2. Tipos de herramientas en mantenimiento predictivo.....	5
1.2.3.3. Ventajas y desventajas.....	5
1.2.3.4. El mantenimiento predictivo en la industria azucarera.....	6

2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	7
2.1.	Descripción de las instalaciones eléctricas actuales en el Departamento de Taller.....	7
2.1.1.	Deficiencias en las instalaciones eléctricas .....	7
2.1.1.1.	Detección de puntos problemáticos .....	8
2.2.	Propuesta de ahorro de energía eléctrica en el Departamento de Taller.....	9
2.2.1.	Solución a problemas en instalaciones eléctricas .....	9
2.2.2.	Utilización adecuada de la energía eléctrica.....	10
2.3.	Análisis de consumo de energía eléctrica .....	11
2.3.1.	Consumo actual .....	11
2.3.1.1.	Costo a causa de deficiencias en las instalaciones eléctricas .....	12
2.3.2.	Consumo según propuesta de ahorro de energía... ..	12
2.3.2.1.	Reducción de costos según propuesta de ahorro .....	13
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	15
3.1.	Lubricación.....	15
3.1.1.	Lubricación en motores de combustión interna.....	15
3.1.2.	Propiedades básicas de los lubricantes.....	16
3.1.2.1.	Viscosidad .....	16
3.1.2.1.1.	Viscosidad dinámica .....	17
3.1.2.1.2.	Viscosidad cinemática ..	17
3.1.2.2.	Viscosidades SAE .....	17
3.1.2.3.	Aceite monogrado.....	18
3.1.2.4.	Aceite multigrado .....	18
3.1.2.5.	Índice de viscosidad (IV).....	18

3.1.2.6.	Relación de la viscosidad con la temperatura.....	19
3.1.2.7.	Relación de la viscosidad con la presión .....	20
3.1.2.8.	Calor específico .....	21
3.1.2.9.	Otras propiedades.....	22
3.1.3.	Efectos de la degradación en el aceite.....	22
3.1.4.	Efectos de la contaminación en el aceite .....	23
3.1.5.	Manejo adecuado del aceite con consciencia ambiental .....	24
3.1.5.1.	Manejo de aceite de desecho.....	24
3.1.5.2.	Almacenamiento adecuado .....	25
3.2.	Análisis de aceite.....	26
3.2.1.	Historia del análisis de aceite .....	26
3.2.2.	Métodos para el análisis de aceite .....	27
3.2.2.1.	Espectrometría.....	27
3.2.2.2.	Ferografía .....	28
3.2.3.	Cómo obtener una muestra de aceite .....	28
3.2.4.	Cuándo tomar una muestra de aceite .....	32
3.2.5.	Contaminantes en el lubricante de un motor de combustión interna.....	34
3.2.6.	Variaciones en la viscosidad .....	34
3.2.7.	Punto de inflamación.....	35
3.2.8.	Metales de desgaste .....	36
3.2.8.1.	Hierro .....	36
3.2.8.2.	Cromo .....	37
3.2.8.3.	Níquel.....	38
3.2.8.4.	Aluminio .....	39
3.2.8.5.	Cobre .....	40

3.2.8.6.	Plomo .....	41
3.2.8.7.	Estaño .....	42
3.2.8.8.	Cadmio .....	43
3.2.8.9.	Plata .....	43
3.2.8.10.	Vanadio .....	44
3.2.9.	Metales contaminantes.....	45
3.2.9.1.	Silicio .....	45
3.2.9.2.	Sodio .....	46
3.2.9.3.	Potasio .....	47
3.2.10.	Otros metales presentes.....	48
3.2.10.1.	Titanio.....	48
3.2.10.2.	Molibdeno .....	49
3.2.10.3.	Antimonio.....	50
3.2.10.4.	Manganeso.....	51
3.2.10.5.	Litio.....	51
3.2.10.6.	Boro.....	52
3.2.11.	Metales presentes en los aditivos.....	53
3.2.11.1.	Magnesio .....	53
3.2.11.2.	Calcio .....	54
3.2.11.3.	Bario .....	55
3.2.11.4.	Fósforo .....	55
3.2.11.5.	Zinc.....	56
3.2.12.	Agentes contaminantes .....	57
3.2.12.1.	Dilución por combustible.....	57
3.2.12.2.	Hollín .....	58
3.2.12.3.	Agua/refrigerante .....	59
3.2.12.4.	Insolubles .....	59
3.2.13.	Propiedades del lubricante .....	60
3.2.13.1.	Viscosidad .....	61

	3.2.13.2.	Índice de acidez total (TAN) .....	62
	3.2.13.3.	Número de base total (TBN).....	62
	3.2.13.4.	Oxidación .....	63
	3.2.13.5.	Nitración.....	64
	3.2.13.6.	Sulfatación .....	64
3.3.		Interpretación del análisis de aceite .....	65
	3.3.1.	Etapas del desgaste .....	65
		3.3.1.1. Desgaste normal .....	66
		3.3.1.2. Desgaste anormal .....	66
		3.3.1.3. Desgaste crítico .....	67
	3.3.2.	Aspectos principales para toma de decisiones con base en análisis de aceite .....	67
		3.3.2.1. Metales principales a tomar en cuenta .....	69
4.		FASE DE DOCENCIA .....	71
	4.1.	Exposición de resultados obtenidos.....	71
		4.1.1. Exposición de resultados a supervisores .....	72
		4.1.1.1. Interpretación de resultados de análisis de aceite.....	72
		4.1.1.2. Determinación de fallas.....	73
		4.1.1.3. Toma de decisiones .....	74
	4.1.2.	Exposición de resultados a personal operativo .....	75
		4.1.2.1. Procedimientos para toma de muestras .....	75
		4.1.2.2. Manejo adecuado de muestras .....	79
		CONCLUSIONES.....	81
		RECOMENDACIONES.....	83

BIBLIOGRAFÍA ..... 85  
ANEXO ..... 87



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama viscosidad – temperatura para un fluido .....	20
2.	Diagrama viscosidad – presión para un fluido .....	21
3.	Sistema de lubricación para motores de combustión interna .....	29
4.	Punto para extracción de aceite .....	30
5.	Equipo para extracción de aceite .....	30
6.	Extracción de aceite en la tubería .....	31
7.	Extracción de aceite mediante bomba de succión .....	32
8.	Registro de resultados de análisis de aceite.....	71
9.	Vampiro con manguera instalada .....	76
10.	Vampiro con frasco instalado .....	76
11.	Punto de extracción de aceite .....	77
12.	Llenado de frasco para muestra .....	77
13.	Muestra de aceite.....	78
14.	Extracción de manguera.....	78
15.	Etiqueta de datos de muestra.....	79
16.	Almacenamiento de muestras de aceite.....	80

### TABLAS

I.	Lecturas antes de la modificación.....	9
II.	Lecturas después de la modificación .....	10
III.	Consumo antes de la modificación .....	12

IV.	Consumo después de la modificación .....	13
V.	Intervalos de servicio para maquinaria agrícola y automotriz .....	33
VI.	Elementos de desgaste y su procedencia .....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>cSt</b>	Centistoke
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>°F</b>	Grado Fahrenheit
<b>IV</b>	Índice de viscosidad
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>Kwh</b>	Kilowatt hora
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>%</b>	Signo porcentual
<b>V</b>	Voltio



## GLOSARIO

<b>Aditivo</b>	Compuestos químicos utilizados para modificar las propiedades originales de un lubricante.
<b>Análisis de aceite</b>	Herramienta utilizada en el mantenimiento predictivo y proactivo para conocer es estado del lubricante en un equipo, permitiendo detectar fuentes de desgaste para prevenir daños significativos en las piezas de la maquinaria.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de pruebas y materiales, por sus siglas en inglés.
<b>Contaminante</b>	Agente que altera nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos o físicos.
<b>Desgaste</b>	Es la pérdida de masa de la superficie de un material sólido por la interacción con otro cuerpo en contacto.
<b>IPG</b>	Ingenio Palo Gordo.
<b>Lubricante</b>	Son sustancias sólidas, semisólidas o líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que pueden utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

<b>Muestra de aceite</b>	Pequeña cantidad de aceite lubricante extraída por medio de diferentes métodos que permiten considerarla como representativa de la cantidad total de lubricante presente en el equipo.
<b>Propiedad</b>	Se refiere a las características o cualidades propias de un lubricante, que deben cumplir con una función específica.
<b>SAE</b>	Sociedad de ingenieros automotrices, por sus siglas en inglés.
<b>TSSSA</b>	Transportes y Servicios de Suchitepéquez, S. A. empresa de Ingenio Palo Gordo.

## **RESUMEN**

Compañía Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo, S. A. es una empresa de tipo industrial que se dedica a la producción de azúcar, alcoholes y generación de energía eléctrica.

Considerando que, el Departamento de Taller Agrícola y Automotriz no cuenta con un programa completo de mantenimiento predictivo con base en análisis de aceite, con el cual es posible reducir costos de reparaciones por medio de la detección temprana de fallas, asimismo tener una alta disponibilidad de maquinaria, se ha determinado realizar el proyecto estipulado a fin de proponer la implementación de un plan de mantenimiento predictivo que permita conocer el estado de los equipos, programar su mantenimiento y predecir posibles fallas.

El propósito de la implementación es prolongar la vida de los equipos a través de la detección y corrección temprana de fallas, reduciendo también los costos de reparaciones mayores.

Con un buen programa de mantenimiento predictivo puede lograrse un registro actualizado del estado de la maquinaria, permitiendo observar tendencias y detectar problemas, de modo que puedan programarse reparaciones, afectando al mínimo las labores de producción de la empresa.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar una propuesta de interpretación de análisis de aceite, como implementación de mantenimiento predictivo en el Departamento de Taller Agrícola y Automotriz.

### **Específicos**

1. Proponer la implementación del mantenimiento predictivo como una herramienta de reducción de costos.
2. Proponer la utilización de análisis de aceite para optimizar la vida de los equipos en función de su tipo.
3. Analizar una forma práctica y eficiente de ahorrar energía eléctrica en el Departamento de Taller Agrícola y Automotriz.
4. Proponer la utilización del análisis de aceite como una herramienta de detección temprana de fallas.



## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de equipos es un pilar fundamental para el correcto funcionamiento de los mismos, sin embargo, existen diferentes técnicas y herramientas que permiten mantener la maquinaria en buen estado. Actualmente, la competitividad de la industria exige un mayor cuidado de los equipos, evitando paros no programados durante la producción y buscando reducir los costos de reparación.

En el capítulo uno se da una reseña histórica de la empresa, así como su misión y visión. También se explica brevemente el mantenimiento predictivo y su importancia en la industria azucarera, específicamente en el área de Taller Agrícola y Automotriz.

En el segundo capítulo se realiza un pequeño estudio del consumo de energía eléctrica que se tiene en el área, analizando posibles formas de ahorrar y hacer consciencia para el cuidado del medio ambiente.

En el capítulo tres se encuentra una guía detallada para utilizar el análisis de aceite como herramienta para la implementación del mantenimiento predictivo en los motores de combustión interna del Taller.

En el capítulo cuatro se resumen los aspectos más importantes de los capítulos anteriores, haciendo énfasis en la información más útil para hacer uso del análisis de aceite para el cuidado de maquinaria.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. De la empresa**

Institución perteneciente al sector agroindustrial que proporciona empleo a gran parte de la población del suroccidente del país.

### **1.1.1. Descripción de la empresa**

La Compañía Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo S.A. es una empresa dedicada al cultivo, corte y procesamiento de la caña de azúcar, con el fin de producir azúcar, alcohol y generar energía eléctrica.

En la temporada de zafra 2012-2013 IPG en su proceso de mejora continua superó sus expectativas en la producción de azúcar a 3 000 000 de quintales, mejorando inclusive en un 40 por ciento la producción de alcohol de primera obteniendo una producción record de 12 000 000 de litros, alcanzando una mejora integral en los Departamentos que mueven a IPG.

### **1.1.2. Misión**

“Transformar recursos naturales en energía para el desarrollo en beneficio de los accionistas, nuestros colaboradores y las comunidades vecinas, respetando el ambiente.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <http://www.ipg.com.gt/web/guest/corporativo>. Consulta: 10 de junio de 2014.

### **1.1.3. Visión**

“Ser una empresa eficiente y competitiva, con una operación diversificada y con la capacidad de transformarse según las oportunidades del mercado.”<sup>2</sup>

### **1.1.4. Valores**

- “Rentabilidad con responsabilidad social empresarial y sostenibilidad.
- Nos guiamos por principios éticos.
- Tenemos una actitud proactiva y optimista.
- Somos innovadores y promotores del cambio.
- Creamos un entorno de trabajo agradable, seguro y eficaz.
- Estamos comprometidos con la optimización constante de la calidad de nuestros productos y servicios.
- Estamos comprometidos con la creación de valor para los accionistas.”<sup>3</sup>

### **1.1.5. Ubicación**

La Compañía Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo S. A. está ubicada en el kilómetro 142,5 de la carretera al Pacífico, San Antonio Suchitepéquez.

## **1.2. Problemática**

Radica en la falta de mantenimiento predictivo en el equipo agrícola y automotriz de la empresa.

---

<sup>2</sup> <http://www.ipg.com.gt/web/guest/corporativo>. Consulta: 10 de junio de 2014.

<sup>3</sup> Ibid.

### **1.2.1. Descripción del problema**

Algunos de los motores de combustión interna del Taller Agrícola y Automotriz son sometidos a un análisis de aceite, sin embargo, no existe un control detallado del progreso de cada equipo. Tampoco se tiene una planificación para la toma de muestras de aceite, por lo que se hace únicamente cuando se consideran necesarias.

Ante esta situación es necesario implementar técnicas de mantenimiento predictivo para poder llevar el control del avance de cada motor, así como tener una planificación para la toma de muestras de aceite en intervalos adecuados y determinar la condición interna de las piezas para la toma de decisiones adecuadas en el mantenimiento.

### **1.2.2. Descripción del mantenimiento en el Departamento de Taller Agrícola y Automotriz**

En el Departamento de Taller se ejecuta el mantenimiento de diversos equipos, tales como: tractores, alzadoras, camiones, buses, automóviles, motocicletas, motobombas de riego, cargadores frontales e implementos varios. La mayoría de equipos utilizan motores diésel, sin embargo, tienen distintas aplicaciones y fabricantes.

Principalmente se utiliza el mantenimiento correctivo y preventivo dentro del Departamento, sin embargo, no se han implementado medidas para predecir fallas en maquinaria.

Normalmente, el mantenimiento preventivo de los equipos está controlado por las horas de trabajo o el recorrido. De esta forma se controlan los intervalos entre servicios, fijando estándares según cada tipo de maquinaria.

La necesidad de la implementación del análisis de aceite como una herramienta para el mantenimiento predictivo, radica en la reducción de costos, así como disminuir paros no programados. El analizar el lubricante de los motores y llevar un control estricto permite conocer el estado tanto del motor como del lubricante, permitiendo prolongar el intervalo entre servicios hasta donde el aceite lo permita, como también pueden programarse reparaciones a modo de evitar daños mayores o generalizados dentro del motor.

### **1.2.3. Mantenimiento predictivo**

Es el tipo de mantenimiento que busca la predicción de fallas a través de ensayos no destructivos.

#### **1.2.3.1. Historia del mantenimiento predictivo**

El mantenimiento de maquinaria comenzó a utilizarse desde el momento en que el hombre reparó los equipos cuando estos le fallaron. Sin embargo, con el tiempo, la función del mantenimiento ha evolucionado de reparar todas las fallas, a prevenir y disminuirlas a fin de evitar paros en la producción.

El mantenimiento predictivo comenzó a ser popular en algunos países a partir de 1950, debido a que permitía reducir paros no programados, como también en conocer el estado de la maquinaria y predecir sus fallas.



### **1.2.3.2. Tipos de herramientas en mantenimiento predictivo**

En el mantenimiento predictivo existen varias herramientas que facilitan distintos tipos de análisis antes de que ocurra una falla, permitiendo utilizar la que más se adapte a cada situación. Todas estas herramientas son ensayos no destructivos, que se clasifican en físicos y químicos.

- 
- En las pruebas físicas pueden incluirse todas aquellas que, por lo regular se realizan en el equipo como el análisis de temperatura (termografía) y vibraciones.
- En las pruebas químicas se incluyen todas aquellas que requieran tomar muestras para su envío a laboratorios especializados, como el análisis de aceite y combustible.

### **1.2.3.3. Ventajas y desventajas**

El mantenimiento predictivo tiene diversas ventajas en la industria, ya que permite reducir considerablemente los paros no programados, evitando pérdidas durante la producción. También permite determinar fallas comunes en equipo, permitiendo adaptar la maquinaria a las necesidades de la empresa.

Sin embargo, estas técnicas de mantenimiento cuentan con desventajas, ya que no cubren las necesidades que surgen con la producción actual. Una de las desventajas es el costo elevado, tanto del equipo como de la mano de obra capacitada para ejecutar las tareas. También es adecuado mencionar que el mantenimiento predictivo está siendo sustituido por nuevas técnicas más

eficientes, siempre y cuando el cliente esté dispuesto a pagarlo, ya que son sumamente costosas.

#### **1.2.3.4. El mantenimiento predictivo en la industria azucarera**

Las técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria azucarera son muy variadas y dependen, tanto de la empresa como del área a la que se refiera. Sin embargo, las pruebas más utilizadas en las áreas de producción, agrícola y cogeneración son: termografía, análisis de vibraciones, análisis de aceite y análisis de combustible.

En el caso del área de taller agrícola se utilizan, principalmente pruebas químicas como el análisis de aceite y de combustible. Con base en ellas se tiene un registro que permite conocer las fallas potenciales con suficiente tiempo de anticipación, como para programar una reparación sin que esta interfiera con las labores de producción de la empresa.

En cada uno de los ingenios que actualmente operan en el país, varían los métodos utilizados para el mantenimiento de maquinaria, sin embargo, en la mayoría de ellos, el predictivo tiene poco tiempo de utilizarse. Para el caso del área agrícola, los análisis de aceite y combustible son más usados, ya que son los más aplicables a los equipos de transporte como, tractores, cabezales y motocicletas.

En el Taller Agrícola y Automotriz se ha utilizado el análisis de aceite desde algunos años, sin embargo, no se tiene un control ordenado sobre el muestreo de maquinaria ni existe un archivo que contenga los resultados históricos para cada equipo.

## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Descripción de las instalaciones eléctricas actuales en el Departamento de Taller**

La instalación eléctrica del Departamento de Taller Agrícola y Automotriz de la Compañía Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo S.A. es de 240 voltios y 3 fases en una conexión delta.

En general, la mayoría de las instalaciones eléctricas son adecuadas en su diseño, sin embargo, con el tiempo se han deteriorado algunos elementos como: transformadores, cables conductores, paneles de distribución, entre otros. Un factor importante es el tipo de conexión, ya que la actual delta provoca demasiada caída de tensión.

Al existir deterioro significativo en los elementos de las instalaciones eléctricas, se aumenta el consumo de energía. Uno de los problemas observados es el desbalance de cargas en las distintas líneas, provocando sobrecarga en alguna.

#### **2.1.1. Deficiencias en las instalaciones eléctricas**

Las deficiencias principales en las instalaciones eléctricas del Departamento de Taller pueden clasificarse como: cables dañados, transformadores en mal estado y conexiones deficientes.

En el caso de los cables dañados pueden afectar la resistencia que ofrece el conductor al paso de la corriente. Si el cable se encuentra sobre calentado, por ejemplo, sus propiedades conductoras cambian, facilitando un nuevo calentamiento y por ende elevando el consumo a causa del aumento de la resistencia. Una situación similar se presenta en los cables mal dimensionados, ya que si se coloca un conductor con un área transversal menor a la requerida, entonces el exceso de corriente provocará un calentamiento que incrementa la resistencia y con ella el consumo. Esto también afecta las propiedades del conductor.

Las conexiones eléctricas deficientes son todas aquellas cuyo circuito sea inadecuado, desbalanceando las cargas en las líneas. Estas provocan caídas de tensión innecesarias al utilizar un circuito equivocado, incrementando el consumo de energía.

#### **2.1.1.1. Detección de puntos problemáticos**

En su mayoría, los puntos problema de las instalaciones eléctricas de la institución son a causa de puntos o líneas sobrecargadas, por ejemplo: cajas de flipones. En el caso de estos puntos, también existen cables mal aislados y con falso contacto. Como resultado de las instalaciones deficientes, el consumo de energía aumenta, así como también los problemas de sobrecarga en líneas.

Las condiciones mencionadas afectan el funcionamiento de los equipos, debido a que no se cumplen los requerimientos energéticos solicitados por el fabricante.

Debido a la problemática en las instalaciones eléctricas del Taller, se tomaron datos de la corriente y voltaje para la detección del problema,

observando sobrecarga en algunas líneas y problemas de funcionamiento en transformadores.

A continuación se presentan los resultados de las lecturas tomadas en temporada de reparación antes de realizar el balance de cargas y cambio de transformadores.

Tabla I. **Lecturas antes de la modificación**

Voltaje promedio	235 V
Amperaje línea 1	63 A
Amperaje línea 2	185 A
Amperaje línea 3	150 A

Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Propuesta de ahorro de energía eléctrica en el Departamento de Taller**

Para lograr un ahorro de energía eléctrica que sea significativo se debe hacer consciencia en el personal del Taller, así como tener las instalaciones eléctricas en óptimas condiciones. A continuación se presenta un resumen de las deficiencias observadas y sus soluciones.

### **2.2.1. Solución a problemas en instalaciones eléctricas**

La solución al problema principal en la red eléctrica del Taller Agrícola y Automotriz radica en el balance de cargas en las tres líneas principales, evitando la pérdida de energía por sobrecarga de las líneas restantes.

Debido al desbalance de las cargas en las líneas, se realizó una modificación en el circuito, utilizando una conexión estrella para las tres líneas principales. También se cambiaron los transformadores principales, así como los cables conductores que van hasta el tablero principal.

Los datos obtenidos después de realizar los cambios mencionados anteriormente, se describen en la tabla II.

Tabla II. **Lecturas después de la modificación**

Voltaje promedio	240 V
Amperaje línea 1	122,6 A
Amperaje línea 2	94,2 A
Amperaje línea 3	139,6 A

Fuente: elaboración propia.

### **2.2.2. Utilización adecuada de la energía eléctrica**

Al mencionar la utilización adecuada de la energía eléctrica se hace referencia al manejo apropiado de equipos, de modo tal, que se use únicamente la energía necesaria para llevar a cabo un trabajo.

En el Departamento de Taller existe un consumo innecesario de energía eléctrica a causa de equipos encendidos, pero fuera de uso, por ejemplo: las máquinas para soldar permanecen encendidas por largos períodos de tiempo, aun si no están siendo usadas. Esto es debido a malas prácticas en el manejo de equipos. Otro caso particular son los equipos de aire acondicionado, ya que permanecen activos durante largos periodos de tiempo, incluso cuando no hay personal dentro de las oficinas.

Para el manejo adecuado de la energía eléctrica deben encenderse los equipos únicamente al momento de ser usados. Si se toma en cuenta esta sugerencia, se logrará disminuir el consumo de energía debido a la gran cantidad de equipos que hay funcionando en el Departamento.

A continuación se presenta un listado de consejos para ahorrar energía en el Departamento:

- Apagar el equipo cuando no esté en uso.
- Detener el equipo si existe calentamiento en los cables.
- No utilizar tomas de corriente en mal estado.
- Si un cable está dañado, reemplazarlo antes de utilizar la línea o el equipo.
- No sobrecargar una línea, distribuir equitativamente los equipos.

### **2.3. Análisis de consumo de energía eléctrica**

Es necesario realizar un análisis del consumo de energía eléctrica en el Departamento de Taller para evaluar la posibilidad de optimizar el uso de este recurso, y de esta forma reducir costos para la empresa.

#### **2.3.1. Consumo actual**

El consumo actual de energía eléctrica en el Taller Agrícola y Automotriz es calculado a partir de lecturas de voltaje y corriente en las líneas que alimentan las instalaciones, tomando en cuenta que la empresa trabaja las 24 horas del día durante toda la semana. Los datos utilizados pueden observarse en la tabla.

En la tabla III se presenta un resumen del consumo promedio de energía eléctrica al mes, antes de realizar modificaciones en las instalaciones.

Tabla III. **Consumo antes de la modificación**

Línea	Consumo (Kwh) al mes
1	10 659
2	31 302
3	25 380
Total	67 341

Fuente: elaboración propia.

#### **2.3.1.1. Costo a causa de deficiencias en las instalaciones eléctricas**

El costo del consumo de energía eléctrica cambia constantemente, por lo que es difícil proporcionar un dato exacto, sin embargo, el consumo puede tomarse como constante, por lo que es más apropiado utilizar ese valor como referencia.

#### **2.3.2. Consumo según propuesta de ahorro de energía**

Después de observar y corregir algunas deficiencias en las instalaciones eléctricas del Taller, se tomaron lecturas de voltaje y corriente en las líneas principales, las cuales pueden verificarse en la tabla II. Utilizando esos datos se calculó el consumo mensual de energía eléctrica, como se muestra en la tabla IV.



Tabla IV. **Consumo después de la modificación**

Línea	Consumo (Kwh) al mes
1	21 185
2	16 277
3	24 122
Total	61 585

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla IV el consumo mensual es menor al mostrado en la tabla III por lo que puede deducirse que las modificaciones en las instalaciones eléctricas, efectivamente redujeron el consumo de energía en el Taller Agrícola y Automotriz.

#### **2.3.2.1. Reducción de costos según propuesta de ahorro**

Como se mencionó anteriormente, el costo de la energía eléctrica es variable en el tiempo, sin embargo, siempre que exista una reducción en el consumo de energía, disminuirá el costo que esta representa para la empresa.



### **3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Lubricación**

Es la acción efectuada para reducir el rozamiento entre elementos, disminuyendo la tasa de desgaste.

##### **3.1.1. Lubricación en motores de combustión interna**

Para el correcto funcionamiento de cualquier mecanismo con movimiento es necesaria una lubricación adecuada, disminuyendo el rozamiento entre piezas y por ende el desgaste. En un motor de combustión interna la lubricación es un aspecto vital, ya que de ella depende el funcionamiento completo del mismo, debido a las tolerancias tan reducidas con las que trabajan sus piezas.

Para lubricar esta clase de motores se utilizan diferentes tipos de lubricantes que cumplan con las exigencias de cada uno de ellos, ya que su uso es muy variado y en entornos distintos. Por ejemplo, un motor estacionario utilizado para la generación de energía eléctrica, normalmente trabaja en condiciones similares la mayor parte del tiempo y a determinadas revoluciones por minuto, por lo que sus intervalos entre servicios serán similares, utilizando un lubricante que cumpla requerimientos básicos; por otra parte, la lubricación requerida en el motor de un vehículo de competencia que trabaja a altas revoluciones por intervalos de tiempo irregulares requiere de un lubricante especialmente diseñado para este tipo exigencias, brindando resistencia al desgaste aun cuando la presión y la velocidad dentro del motor sean altas.

El ámbito de lubricación en motores de combustión interna es amplio, ya que en el mercado existen muchos tipos de lubricantes con diferentes usos que ayudan a mejorar las condiciones de trabajo de los equipo, por las distintas variables que afectan el desempeño y la duración de un lubricante como: temperatura, humedad, contaminantes, aditivos presentes en el lubricante, acidez del ambiente, calidad de la combustión, etc.

### **3.1.2. Propiedades básicas de los lubricantes**

Son aquellas que definen el origen y utilidad de un lubricante. Normalmente son útiles para seleccionar el producto deseado.

#### **3.1.2.1. Viscosidad**

Es la principal característica de las sustancias lubricantes, se define como el cociente de la tensión de cizallamiento por el gradiente de velocidad. Es la base para gran parte de los sistemas de clasificación de aceites. Esta mide la resistencia a la fluidez en función de la temperatura, siendo ambas inversamente proporcionales entre sí. En la práctica, generalmente se conoce su valor en unidades de viscosidad a 40 y 100 grados Celsius respectivamente.

Un lubricante debe mantener su viscosidad en un rango definido para proteger efectivamente el sistema y de esta forma prevenir el desgaste anormal. Las variaciones anormales en la viscosidad pueden darse por diferentes factores como contaminantes, diluyentes presentes y evaporación, degradación de los aditivos, etc.

### **3.1.2.1.1. Viscosidad dinámica**

Se refiere únicamente a la fricción interna del fluido, producida cuando este es sometido a movimiento. Se define como el cociente de la tensión de corte y el gradiente de velocidad. También es conocida como viscosidad absoluta.

### **3.1.2.1.2. Viscosidad cinemática**

Se define como el cociente de la viscosidad dinámica y la densidad del fluido. Debido a que la densidad y la viscosidad dinámica son propiedades del fluido, la viscosidad cinemática también lo es. En la práctica es el valor más utilizado para definir la viscosidad de un fluido.

### **3.1.2.2. Viscosidades SAE**

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE por sus siglas en inglés) entre sus funciones tiene la clasificación de aceites lubricantes según su viscosidad. Comercialmente se utiliza mucho esta clasificación, ya que permite conocer si el aceite es monogrado o multigrado.

Existen once grados SAE de viscosidad utilizados comúnmente. Se clasifican en dos grupos principales: los que incluyen la designación W (*Winter* en idioma inglés) que indica que la viscosidad fue medida a baja temperatura y los que no incluyen esta denominación, para los cuales se especifica la viscosidad a 100 grados Celsius.

Los grados utilizados son: 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W (grados de invierno) y 20, 30, 40, 50, 60 (grados de verano).

### **3.1.2.3. Aceite monogrado**

Aceite lubricante que cumple con las especificaciones de viscosidad de un grado SAE y solamente útil en un rango muy estrecho de temperatura. Actualmente han sido sustituidos paulatinamente por aceites multigrado debido a ventajas notables.

En motores de combustión interna se ha disminuido el uso este tipo de lubricantes, debido a que era imprescindible cambiar la viscosidad del aceite en época de verano y en invierno. Actualmente son utilizados algunos equipos, normalmente cuando se encuentran trabajando bajo condiciones controladas y constantes.

### **3.1.2.4. Aceite multigrado**

Es un aceite que cumple con los requerimientos de más de un grado de la clasificación de viscosidad SAE y puede ser utilizado en un amplio rango de temperaturas. Son adecuados tanto para invierno como para verano, siempre permitiendo una buena lubricación tanto en el arranque como al alcanzar la temperatura de trabajo. Actualmente son los más utilizados en distintos tipos de maquinaria.

### **3.1.2.5. Índice de viscosidad (IV)**

Es un número adimensional que indica la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura, la cual cambia de manera que a altas temperaturas la viscosidad disminuye y a bajas aumenta. Un alto IV significa un cambio relativamente más pequeño de la viscosidad con respecto a la temperatura.

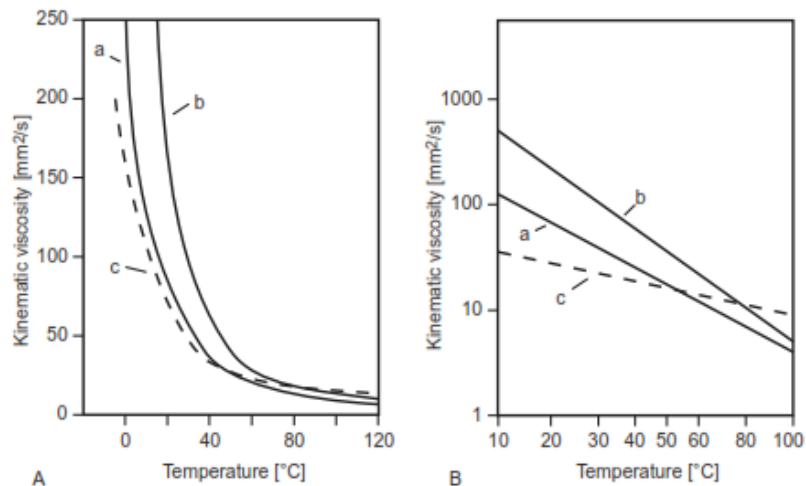
Para definir los valores del IV, arbitrariamente se tomaron diferentes tipos de aceite y se midió su viscosidad a 40 y 100 grados Celsius, el aceite que sufrió menos cambios en la misma se le asignó el valor 100 de índice de viscosidad y al que varió en mayor proporción se le asignó valor 0 (cero). Luego con el avance en el diseño de los aditivos mejoradores del IV se logró formular lubricantes con índices mayores a 100.

En la industria agrícola se busca un índice de viscosidad alto que le permita al lubricante tener poca variación en su viscosidad y así adaptarse las condiciones de trabajo, protegiendo el motor en todo momento. Por lo regular, los equipos son sometidos a jornadas de trabajo prolongadas y continuas, con variaciones moderadas en la temperatura de trabajo.

#### **3.1.2.6. Relación de la viscosidad con la temperatura**

La viscosidad de todos los aceites utilizados para lubricación disminuye significativamente cuando la temperatura aumenta. En sistemas lineales, el comportamiento V-T es hiperbólico y la utilización práctica es difícil, implicando interpolaciones complicadas. Es por eso que se utiliza una aproximación de la función que resulta en una línea recta, fácil de utilizar en aplicaciones reales de la vida diaria.

Figura 1. **Diagrama viscosidad – temperatura para un fluido**



Fuente: Lubricants and Lubrication, second, completely revised and extended edition, p. 25.

La figura 1 muestra la gráfica viscosidad-temperatura para varios lubricantes. A. Lineal; B, doble logarítmica; a, aceite de base parafínica; b, aceite de base nafténica; c, aceite de colza.

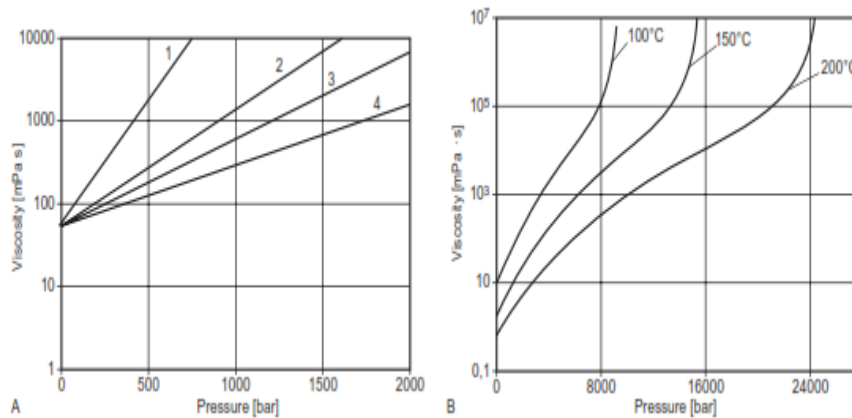
Como puede observarse en la figura 1, la viscosidad de los aceites lubricantes disminuye al aumentar la temperatura. Por la complejidad del comportamiento V-T se utiliza una aproximación lineal para aplicaciones prácticas.

### 3.1.2.7. Relación de la viscosidad con la presión

La importancia de la relación viscosidad-presión, muchas veces es subestimada en la lubricación. La relación V-P es exponencial, por lo que la viscosidad se incrementa rápidamente al aumentar la presión. La dependencia es tal que en algunos lubricantes la viscosidad puede aumentar en potencias de 10 al incrementarse la presión significativamente.



Figura 2. **Diagrama viscosidad – presión para un fluido**



Fuente: Lubricants and Lubrication, second, completely revised and extended edition, p. 29.

La figura 2 muestra el comportamiento de la viscosidad-temperatura. A, varios lubricantes. 1, aceite aromático; 2, aceite nafténico; 3, aceite parafínico; 4, poliéster biodegradable. B, incremento del coeficiente viscosidad-presión de acuerdo a H. Holland

En la figura 2 se puede observar cómo la viscosidad aumenta significativamente al incrementar la presión, aunque los cambios son mucho más drásticos al sobrepasar el límite de los 8 000 bar de presión. Cabe resaltar que en los motores de combustión interna no se alcanzan presiones tan altas durante el funcionamiento normal del equipo.

### 3.1.2.8. **Calor específico**

Es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay suministrar a una unidad de masa para elevar su temperatura en una unidad. Es representada con la letra c minúscula.

Esta magnitud se calcula como el cociente de la capacidad calórica de una sustancia y la masa de la misma.

### **3.1.2.9. Otras propiedades**

Los lubricantes poseen una amplia gama de propiedades que los hacen apropiados para distintas aplicaciones, siendo cada uno diseñado para un trabajo en especial. Estas propiedades deben cumplir con funciones definidas, ya que en algunos casos los lubricantes son sometidos a condiciones extremas de trabajo. Más adelante se detallan estas propiedades, considerando sus funciones en los equipos.

### **3.1.3. Efectos de la degradación en el aceite**

El aceite puede degradarse por distintos factores a lo largo de su vida útil. Este proceso puede ocurrir durante la utilización del aceite o mientras está almacenado.

Al degradarse un aceite este pierde algunas de las propiedades de diseño, por lo que no puede cumplir su función de forma efectiva. En los motores de combustión interna los aceites tienen una infinidad de funciones, siendo la principal la lubricación del sistema. Sin embargo también deben funcionar como inhibidores de la corrosión, la oxidación y la formación de depósitos.

Al momento que un aceite es degradado, disminuye la protección que este debería de brindarle al motor, reduciendo la lubricación y aumentando el desgaste; las partículas de desgaste a su vez, propician la formación de depósitos, limitando así el paso del lubricante por los conductos.

La formación de depósitos y lacas dentro de los motores es sumamente perjudicial, ya que tapa conductos e impide que el lubricante llegue a todos los lugares que debe. Normalmente un buen lubricante debe mantener en suspensión algunos residuos y otros los elimina al pasar por el filtro de aceite.

Puede notarse que los efectos de un aceite degradado son amplios y perjudiciales, por lo que la manera más evidente de observarlos es que la vida de los equipos que utilizan lubricantes en malas condiciones, se reduce.

#### **3.1.4. Efectos de la contaminación en el aceite**

Los contaminantes en el aceite son sustancias ajenas al lubricante que afectan sus propiedades. Las propiedades afectadas principalmente son: la viscosidad, punto de inflamación y TBN.

Normalmente los contaminantes que afectan la viscosidad pueden aumentarla o disminuirla. En el primer caso, los elementos contaminantes espesan el lubricante, de modo que el aceite no puede llegar a todos los puntos que debe; sin embargo, en el segundo caso la película lubricante se adelgaza, por lo que puede llegar a existir contacto metal - metal entre elementos.

En el caso del punto de inflamación puede disminuir, provocando la emanación de gases inflamables a temperaturas más bajas de las esperadas.

Para el TBN, normalmente tiende a disminuir al contaminarse o degradarse el aceite, aumentando la acidez del aceite y dando lugar a corrosión y oxidación. Esta propiedad solo aplica en el caso de los motores diésel, debido a que el combustible contiene azufre que se propaga al lubricante durante la combustión.

Los efectos generales de la contaminación del aceite se resumen a mala lubricación y reducción de la protección de los elementos internos del motor, por lo que se reduce la vida de los equipos.

### **3.1.5. Manejo adecuado del aceite con consciencia ambiental**

Los lubricantes utilizados en maquinaria, por lo regular son de base mineral, por lo que causan daños considerables al medio ambiente cuando son desechados de manera inadecuada.

Para manejar los aceites deben tomarse precauciones tanto para el producto nuevo como para el usado, ya que ambos son perjudiciales al ambiente y representan costos elevados para los propietarios.

#### **3.1.5.1. Manejo de aceite de desecho**

En Guatemala existe poco conocimiento sobre el manejo de lubricantes usados, por lo que es necesario referirse a los reglamentos y acuerdos gubernativos que tocan el tema.

En primer lugar, es necesario saber que el aceite de desecho debe manejarse cuidadosamente, ya que puede causar daños severos en el suelo y el agua. Es por estas razones que no se debe eliminar lubricante usado en ríos y campos.

El procedimiento a seguir con el aceite lubricante usado depende del estado del mismo. En primer lugar se opta por reciclar el lubricante, sin embargo, para poder hacer esto el fluido debe estar libre de contaminantes como el agua.

En el caso que el lubricante no sea reciclable puede incinerarse, lo cual resulta adecuado en muchos casos debido a que el aceite contiene una gran cantidad de energía utilizable. Cabe destacar que para quemar adecuadamente este fluido, la temperatura debe estar alrededor de los 2 000 grados Celsius.

En Guatemala no existen leyes específicas que regulen el manejo adecuado de aceite usado, sin embargo, en algunos reglamentos se requiere que las entidades que manejen derivados de petróleo cuenten con depósitos herméticos para el almacenamiento del lubricante nuevo y usado. También se menciona en la Ley de Comercialización de Hidrocarburos, artículo 51.a.6. que para tratar las grasas y aceites lubricantes usados, debe hacerlo una persona individual o jurídica autorizada por la Dirección del Ministerio de Energía y Minas, para su posterior tratamiento, reciclaje o incineración apropiada.

### **3.1.5.2. Almacenamiento adecuado**

El almacenaje adecuado de los aceites es indispensable, tanto para mantener la calidad del mismo como para evitar daños al medio ambiente.

Inicialmente hay que designar un área adecuada para el almacenamiento de lubricantes, por lo que debe de contar con una superficie dura en el suelo, que permita el manejo apropiado de recipientes como los toneles. Esta área debe estar protegida para evitar temperaturas extremas, humedad, contaminantes como el polvo y partículas metálicas.

Es necesario que los lubricantes almacenados cuenten con un envase en buen estado y cerrado apropiadamente, para evitar mezclas entre aceite o contaminación por agentes externos.

## **3.2. Análisis de aceite**

Es un tipo de ensayo no destructivo que analiza las sustancias presentes en el lubricante con el fin de conocer el estado de un equipo.

### **3.2.1. Historia del análisis de aceite**

Desde hace muchos años se ha utilizado la inspección de los lubricantes para conocer las partículas presentes en este, y de esa forma tener una idea del estado de los componentes de un equipo.

Durante los años cuarenta, las compañías ferrocarrileras comienzan a utilizar el análisis de aceite, debido a que las locomotoras de vapor estaban siendo sustituidas por máquinas impulsadas por motores diésel. Para realizar los análisis se utilizaban distintos métodos, abarcando desde inspecciones visuales hasta sencillos equipos espectrográficos. Estas técnicas permitían conocer degradaciones básicas del aceite y en algunos casos permitían conocer los elementos de desgaste presentes en el lubricante.

Debido al éxito obtenido por las compañías ferrocarrileras, durante los años cincuenta la Armada Estadounidense comenzó a implementar el análisis de aceite en motores a reacción de sus aviones.

Con la creciente necesidad de una lubricación óptima, se desarrollaron distintas técnicas para conocer las propiedades físicas y químicas de los aceites y se mejoró la detección de agentes contaminantes.

Con el paso del tiempo, el análisis de aceite ha sido implementado para su utilización en la industria, permitiendo la reducción de costos por mantenimiento correctivo y la prolongación de la vida de los equipos.

Actualmente son utilizadas dos técnicas principales para el análisis de aceite, siendo la Espectrometría de absorción atómica y la Ferrografía.

### **3.2.2. Métodos para el análisis de aceite**

Son aquellos utilizados para analizar muestras de lubricante. Su utilización depende de la información que se desee obtener del análisis.

#### **3.2.2.1. Espectrometría**

Este método, también es conocido como espectrometría de absorción atómica, es utilizado para cuantificar la cantidad de partículas de algún elemento presentes en un fluido. Esta funciona utilizando la huella única que emite cada elemento al ser sometido a radiación, permitiendo conocer el material presente y su concentración.

Es el método más utilizado en análisis de aceite debido a su balance de costo y precisión. Los datos proporcionados por este tipo de pruebas son lo suficientemente precisas como para definir la fuente probable del desgaste, sin embargo, no cuenta con pruebas cualitativas que examinen las partículas en busca de la causa del desgaste, por lo que requiere experiencia por parte de la persona que interpreta los resultados.

### **3.2.2.2. Ferrografía**

Es el método más preciso que se utiliza actualmente para el análisis de aceite, ya que combina dos aspectos: cuantitativo y cualitativo. Sin embargo, no es el más utilizado debido a su costo elevado.

Para el aspecto cuantitativo se precipitan las partículas ferrosas presentes en el aceite. Para esto puede utilizarse un electro imán, lo que permite contar de manera bastante precisa las partículas presentes en el lubricante. Además se consideran las características cualitativas de las partículas de desgaste, ya que a través de un microscopio se observa la forma que estas tienen, permitiendo definir de manera bastante efectiva la procedencia y la causa del desgaste en un elemento mecánico.

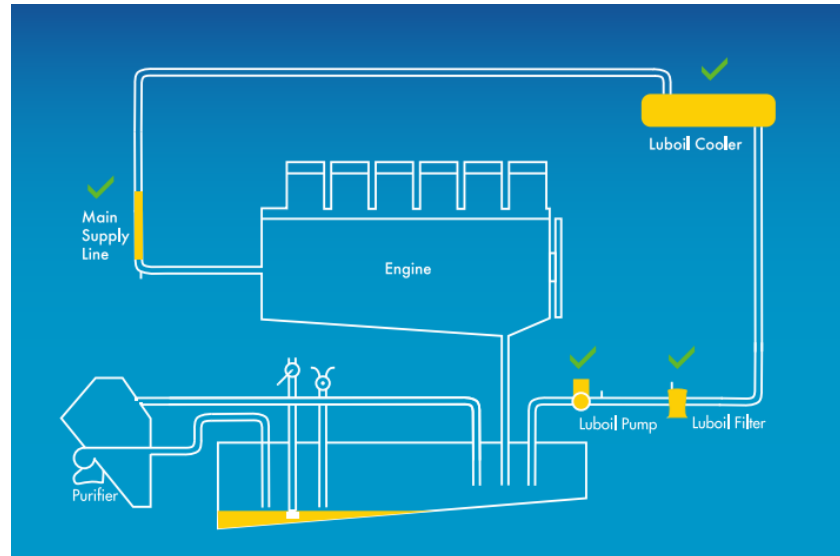
Este tipo de análisis al que se someten las partículas de desgaste es una herramienta que permite prevenir daños significativos a los equipos, ya que al determinar la causa del daño, puede solucionarse el problema antes de proceder a una reparación mayor. De igual forma permite programar reparaciones en base al daño observado.

### **3.2.3. Cómo obtener una muestra de aceite**

El procedimiento utilizado para la toma de una muestra de aceite es de gran importancia debido a que este garantiza en gran parte la fiabilidad de los resultados de la prueba. De no utilizar procedimientos adecuados, la muestra puede contaminarse o alterarse, por lo que no reflejará la realidad del equipo.



Figura 3. **Sistema de lubricación para motores de combustión interna**



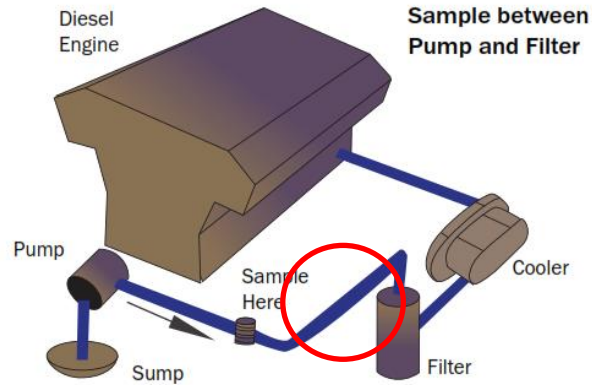
Fuente: Getting Results Fast, Shell Oil Company. p. 12.

En la figura 3, en color amarillo, se muestran los puntos adecuados para la toma de muestras de aceite en el sistema de lubricación de un motor de combustión interna. Como puede observarse, existen diferentes lugares en los que puede obtenerse una muestra representativa y confiable de aceite, sin embargo, son preferibles algunos de los puntos mostrados.

Para la toma de muestras es recomendable utilizar algún punto después de la bomba de aceite, pero antes del filtro; también es permitido obtener el aceite del cárter del motor, ya sea por medio del tapón del cárter o insertando una manguera por el tubo de la varilla de medición de nivel.

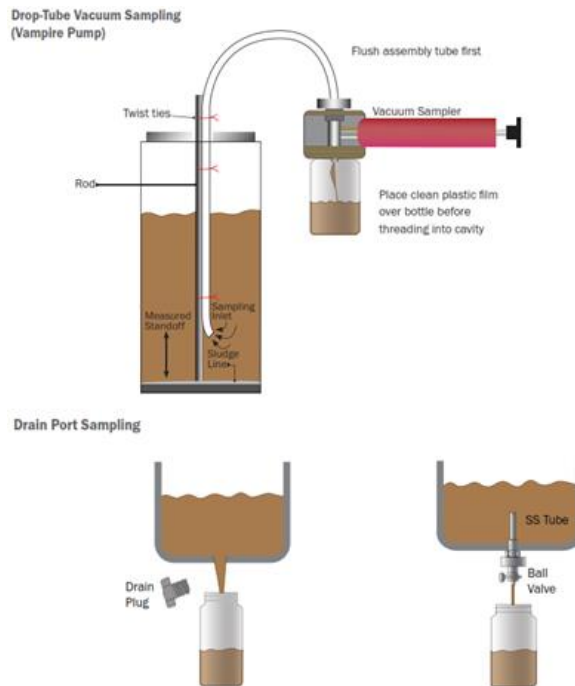
Figura 4. Punto para extracción de aceite

Sampling Engines



Fuente: Oil Analysis Guide, AGAT Laboratories. p. 21.

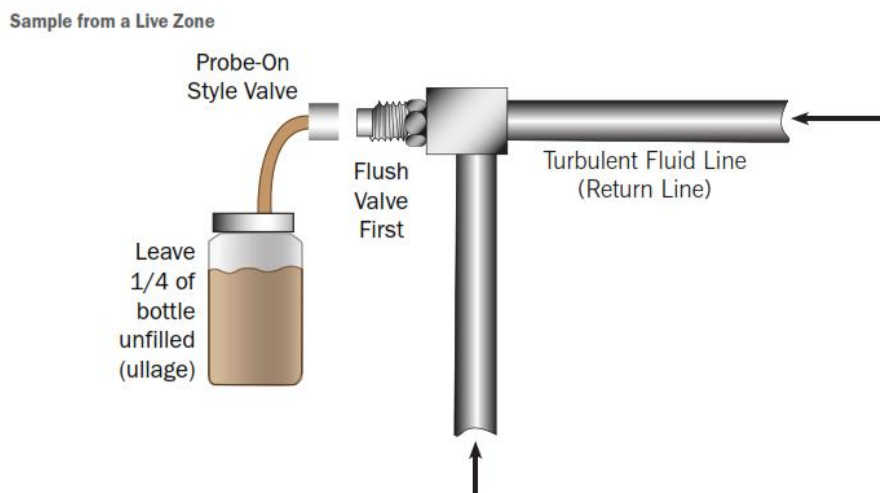
Figura 5. Equipo para extracción de aceite



Fuente: Oil Analysis Guide, AGAT Laboratories. p. 20.

En la figura 5 se muestran los procedimientos adecuados para la extracción de muestras de aceite en motores de combustión interna. Es preferible utilizar el método de la bomba de vacío, esto debido a que es menos probable contaminar la muestra. Cabe resaltar que dicha bomba también es conocida como vampiro. Por otra parte, cuando la muestra se toma del tapón del cárter debe limpiar la superficie por donde pasará el lubricante. Esto debe hacerse antes de retirar el tapón y así evitar que contaminantes externos entren en contacto con el aceite, ya que pueden alterar los resultados de los análisis de la muestra.

Figura 6. **Extracción de aceite en la tubería**



Fuente: Oil Analysis Guide, AGAT Laboratories. p. 21.

Cuando las muestras son obtenidas de algún punto en la tubería de lubricación, al igual que por medio del tapón del cárter, es recomendable limpiar cualquier contaminante presente para evitar que altere los resultados del análisis. La figura 6 es un ejemplo de este método de extracción. Es común que los resultados muestren niveles elevados de sílice y aluminio, lo cual indica

presencia de polvo en el aceite. Es importante tomar en cuenta la posible contaminación de la muestra al momento de extraer el lubricante, de lo contrario el análisis reflejaría problemas de filtrado de aire en el sistema de admisión.

Figura 7. **Extracción de aceite mediante bomba de succión**



Fuente: Oilscan Sales Guide, John Deere. p. 7.

En la figura 7 se muestra uno de los procedimientos sugeridos por la Compañía John Deere, para toma de muestras de aceite utilizando otro tipo de bomba de succión distribuido por esta marca. Esta bomba cumple con las mismas funciones que la mencionada en párrafos anteriores.

#### **3.2.4. Cuándo tomar una muestra de aceite**

Para poder llevar un control adecuado del estado de los equipos de una flota, se debe determinar los intervalos para la toma de muestras según el tipo de maquinaria y motor. Debido a que en el Departamento de Taller Agrícola y Automotriz la mayoría de máquinas utilizan motores diésel, se clasifican según

el tipo de equipo, siendo los principales: tractores, alzadoras, cabezales, buses, *pick-up* 's, motocicletas y bombas de riego (motores estacionarios).

El intervalo de tiempo entre la toma de muestras puede variar según la aplicación y las condiciones de trabajo de cada equipo y, tomando en cuenta la cantidad de maquinaria que posee la institución, es recomendable tomar las muestras al momento del cambio de aceite, salvo por situaciones especiales en las que se recomienda tomar muestras antes del cambio de lubricante. A continuación, en la tabla V se presenta un listado de intervalos aproximados de tiempo para toma de muestras en diferentes equipos.

Tabla V. **Intervalos de servicio para maquinaria agrícola y automotriz**

<b>Tipo de máquina</b>	<b>Intervalo</b>
Tractores	300 horas
Alzadoras	300 horas
Motobombas	300 horas
Camiones	300 horas
Buses	300 horas
Pick-up 's	6000 Kilómetros
Motocicletas	2000 Kilómetros

Fuente: Taller de TSSSA.

Manejar la toma de muestras al momento del cambio de aceite es adecuado ya que permite tener un control del desgaste en intervalos de tiempo iguales, lo cual es sumamente útil para la toma de decisiones en mantenimiento.

### **3.2.5. Contaminantes en el lubricante de un motor de combustión interna**

Son todas aquellas sustancias externas que alteran o modifican las propiedades originales de un lubricante, provocando daños en los elementos internos de un motor de combustión interna.

Dentro de los contaminantes más comunes existen tres que son peligrosos para el funcionamiento de los motores. En primer lugar se encuentra el agua, debido a que modifica por completo las propiedades lubricantes de un aceite, acelerando el desgaste entre elementos y provocando corrosión y oxidación. En segundo lugar puede considerarse el combustible, ya que diluye el aceite, reduciendo su viscosidad y punto de inflamación. Esto también reduce la lubricación y acelera el desgaste. En tercer lugar se tiene el sílice, que dentro de los motores se encuentra en forma de polvo. Esta sustancia es sumamente abrasiva y puede causar daños severos en las piezas.

Existen muchos más contaminantes, sin embargo, son indicadores de problemas más aislados, por lo que se mencionan más adelante y de forma detallada.

### **3.2.6. Variaciones en la viscosidad**

La viscosidad es una propiedad de los lubricantes que depende de la temperatura, sin embargo, hay varias sustancias que pueden afectarla. El combustible por ejemplo, es capaz de diluir el aceite, disminuyendo la viscosidad y por ende su capacidad de lubricación.

Por otra parte, hay sustancias que incrementan la viscosidad como el caso del hollín. Al acumularse grandes cantidades de esta sustancia remanente de combustible parcialmente quemado, queda en suspensión en el aceite haciéndolo más viscoso y, con el tiempo reduce la capacidad de lubricación del aceite debido a que no logra llegar a todos los lugares que se necesita.

Más adelante en el texto se detallan las sustancias capaces de causar modificaciones en la viscosidad, así como los daños potenciales.

### **3.2.7. Punto de inflamación**

Se llama así a la temperatura mínima a la cual un aceite empieza a emitir vapores inflamables. Esta propiedad está relacionada con la volatilidad del lubricante. Cuanto más bajo sea este punto, más volátil será el aceite y por ende tendrá mayor tendencia a la inflamación. Se dice que cuánto mayor sea el punto de inflamación, mayor será la calidad del aceite.

El punto de inflamación, también es utilizado para detectar la presencia de contaminantes en el aceite, principalmente gaseosos, los cuales pueden reducir drásticamente la temperatura de inflamación.

Por ejemplo, en el aceite Shell Rimula R3 X SAE 15W-40, el punto de inflamación es de 233 grados Celsius, lo cual indica que a partir de esta temperatura el aceite iniciará a emitir vapores inflamables. Considerando que la temperatura promedio de operación del motor de un tractor agrícola es de 85 grados Celsius y que los puntos más calientes para el lubricante no se alejan demasiado de este indicador, puede decirse que el punto de inflamación del aceite mencionado es adecuado, ya que conserva sus propiedades aun en condiciones más exigentes que las de diseño.

### **3.2.8. Metales de desgaste**

Son todos aquellos metales utilizados en la fabricación de las piezas internas del motor. Debido a que la fuerza de fricción en un sistema nunca llega a ser cero, siempre existe una tasa de desgaste entre elementos. Sin embargo, existen rangos de concentraciones permisibles que reflejan la tasa de desgaste de cada metal, ya que al existir una cantidad muy elevada de estas partículas, ellas mismas provocan desgaste por abrasión.

Al utilizar el análisis de aceite como una herramienta del mantenimiento predictivo, es necesario conocer la naturaleza de cada elemento, así como su utilización dentro de los motores de combustión interna. Utilizando esta información pueden llegarse a conocer los elementos mecánicos que sufren desgaste, posibles causas del daño y las alternativas existentes para solucionar el problema. Es importante mencionar que el porcentaje de desgaste es distinto para cada tipo de maquinaria e incluso varía según cada fabricante, en este caso Caterpillar, John Deere y Cummins, principalmente.

#### **3.2.8.1. Hierro**

Elemento químico de número atómico 26. Se identifica con el símbolo Fe. Es un metal muy abundante en la corteza terrestre, se encuentra en la hematites, la magnetita y la limonita. Es de color negro lustroso o gris azulado, dúctil, maleable y muy tenaz, se oxida al contacto con el aire y tiene propiedades ferromagnéticas. Aleado con el carbono forma aceros con propiedades muy variables, haciéndolo el metal más utilizado en la industria.

El hierro está presente en varios elementos mecánicos de los motores de combustión interna, siendo un indicador importante de desgaste. Para fines del



análisis de aceite puede encontrarse hierro en: camisas de los cilindros, cigüeñal, anillos de pistón, eje de levas, balances, cojinetes, engranajes, flechas, guías de válvulas y bomba de aceite.

Debido a que el hierro es la base de los aceros, es importante prestar atención a altas concentraciones de partículas de desgaste de este metal presentes en el lubricante, ya que permite conocer el desgaste y sus causas antes de provocar daños significativos en las piezas.

Normalmente las altas concentraciones de hierro son asociadas inicialmente al desgaste de las camisas de los cilindros y los anillos de los pistones, por lo que para tomar decisiones debe tomarse en cuenta el tiempo de uso del motor y las condiciones de trabajo a las que es sometido, ya que el desgaste llega a aumentar al alcanzarse la vida útil del equipo. Este indicador también puede ser usado para determinar problemas de lubricación deficiente antes de que los daños se extiendan a otras piezas.

Los límites permisibles de concentraciones de este elemento varían para cada tipo y marca de maquinaria. En el caso de los equipos agrícolas se manejan, principalmente: Caterpillar, John Deere y Cummins.

### **3.2.8.2. Cromo**

Elemento químico del número atómico 24. Se identifica con el símbolo Cr. Es un metal escaso en la corteza terrestre que, generalmente se encuentra en forma de óxido. Es de color blanco plateado, brillante, duro y quebradizo. Se caracteriza por su resistencia a la corrosión.

En motores de combustión interna, el cromo está presente, principalmente en: camisas cromadas de cilindros, anillos de los pistones, vástagos de las válvulas, sistemas de enfriamiento cromados, canastas de rodamientos, sellos y ejes.

Se debe prestar atención a las concentraciones altas de cromo, ya que es un metal utilizado como recubrimiento anticorrosivo y también para aumentar la dureza del material. Es por esto que los elementos mecánicos que poseen este metal no deben perderlo, ya que su pérdida puede ocasionar altas tasas de corrosión interna en el motor, así como un gradiente de desgaste bastante alto, porque al desaparecer el cromo la dureza de varios elementos disminuye significativamente.

Una de las principales causas de las altas concentraciones de cromo en el lubricante es por desgaste en los anillos de los pistones y daño en ejes. También es asociada componentes inhibidores de corrosión presentes en el sistema de enfriamiento del motor.

Los límites permisibles de concentraciones de este elemento varían para cada tipo y marca de maquinaria. En el caso de los equipos agrícolas se manejan principalmente: Caterpillar, John Deere y Cummins.

### **3.2.8.3. Níquel**

Elemento químico de número atómico 28 representado por el símbolo Ni. Es un metal escaso en la corteza terrestre, que junto con el hierro constituye en núcleo de la Tierra. También puede encontrarse en meteoritos y, combinado con azufre y arsénico, en diversos minerales. Es de color y brillo de plata, duro, tenaz y resistente a la corrosión. Es utilizado como recubrimiento de superficies,

en la fabricación de baterías, y aleado, para la fabricación de aceros inoxidables.

En motores de combustión interna es utilizado, principalmente para la fabricación de: rodamientos, guías de válvulas, anillos de pistón, álabes de turbina en turbocargadores, engranajes y ejes.

Las concentraciones altas de níquel son muy importantes en motores turbocargados, ya que indican tasas anormales de desgaste en estos elementos. Es imprescindible prestar atención al desgaste en los turbocargadores, porque son elementos que trabajan a altas revoluciones por minuto, por lo que el deterioro puede ser muy acelerado y ocasionar daños irreversibles, que se traducen a costos significativos en repuestos.

Otra fuente común de níquel es el desgaste en rodamientos, por lo que es necesario encontrar la fuente del desgaste antes de proceder a reparaciones, ya que es un elemento presente en varias piezas mecánicas.

#### **3.2.8.4. Aluminio**

Elemento químico de número atómico 13 e identificado por el símbolo Al. Es un metal muy abundante en la corteza terrestre que se encuentra en la arcilla, la alúmina y la bauxita. Es ligero, tenaz, dúctil y maleable. Posee color y brillo similares a los de la plata. Es utilizado en industrias eléctrica, aeronáutica, de transportes y de construcción.

Este metal puede encontrarse en distintas piezas presentes en motores de combustión interna, como: pistones, cojinetes de turbocargadores, bujes, cuñas, arandelas, jaulas de cojinetes, cubiertas, tubería del sistema de enfriamiento,

impulsores y turbinas. Puede ser asociado con altos niveles de sílice en forma de arcilla o polvo.

Cuando los análisis de aceite reflejan altos niveles de aluminio, en la mayor parte de los casos, es asociado a niveles elevados de sílice, lo que indica presencia de polvo en el sistema. Para determinar si el sílice es el responsable de la alta concentración, se deben examinar las concentraciones del hierro, cromo y bronce, principalmente. Si estos otros metales se encuentran dentro de los parámetros aceptables, entonces significa que en el sistema de admisión está pasando demasiado polvo o que la muestra fue contaminada al momento de ser tomada. De existir concentraciones anormales de otros metales, debe encontrarse la fuente del desgaste antes de proceder a reparar.

#### **3.2.8.5. Cobre**

Elemento químico de número atómico 29, identificado por el símbolo Cu. Es un metal abundante en la corteza terrestre que se encuentra nativo o en forma de sulfuro. Es de color rojo pardo, brillante, maleable y excelente conductor del calor y la electricidad. Se utiliza para formar aleaciones como el latón y el bronce, utilizándose en la industria para la fabricación de alambre, monedas y utensilios diversos.

Dentro de los motores de combustión interna se encuentra en varias piezas como lo son: cojinetes de cigüeñal, rodamientos, enfriadores de aceite, bomba de transferencia de combustible, bujes del gobernador, sellos y tubería del sistema de enfriamiento

La presencia de cobre en el aceite normalmente, es asociada a desgaste en cojinetes. Esto puede ser a causa de un desgaste normal por tiempo de uso o también por malas condiciones de lubricación. Por el tipo de elementos mecánicos en los que está presente, si no se le pone cuidado a la fuente del desgaste, puede provocarse distintos daños en las demás piezas del motor.

El cobre, también es utilizado como aditivo en los aceite, sin embargo, los niveles no llegan a ser tan altos como para alterar significativamente los resultados de los análisis.

Si el motor tiene condiciones de lubricación adecuadas y las concentraciones de cobre se mantienen por encima de los parámetros normales, debe analizarse el tiempo de operación del equipo, ya que puede deberse a que la vida útil del motor esté llegando a su fin.

#### **3.2.8.6. Plomo**

Elemento químico de número atómico 82, identificado por el símbolo Pb. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en la galena, la anglesita y la cerusita. Es de color gris azulado, dúctil, pesado, maleable, resistente a la corrosión y muy blando. Puede fundirse a bajas temperaturas y da lugar a intoxicaciones peculiares. Es un material utilizado en la fabricación de piezas, como antidetonante en gasolina y como aislante de radiación.

Es un metal encontrado en distintas piezas de los motores de combustión interna, normalmente aleado con otro metal. Principalmente está presente en los siguientes elementos mecánicos: sellos, cojinetes principales y cojinetes de empuje.

Los niveles anormales de plomo en el lubricante son comunes cuando un motor es nuevo o luego de sufrir una reparación completa, ya que las piezas sufren desgaste por asentamiento. Si los niveles no se normalizan luego de un tiempo, entonces se debe buscar la fuente del desgaste, porque puede ocasionar daños a los cojinetes del motor y luego a los ejes.

Si las concentraciones altas de plomo en el lubricante aparecen durante el funcionamiento normal del motor, entonces puede ser un indicativo de desalineamiento en ejes, contaminantes abrasivos en el lubricante o disolventes que disminuyan drásticamente la viscosidad.

#### **3.2.8.7. Estaño**

Elemento químico de número atómico 50, identificado por el símbolo Sn. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en la casiterita en forma de dióxido. Es de color y brillo similar a la plata, es duro, dúctil y maleable. Es utilizado para recubrir otros metales a manera de protección, también se utiliza en el envasado de alimentos. Aleado con el cobre forma el bronce, y con otros metales se aplica en soldaduras.

Dentro de los motores de combustión interna puede encontrarse en piezas como: cojinetes, componentes de bronce, bujes, anillos de pistón, bulones y sellos.

Los niveles anormales de estaño en el aceite son principalmente debido a desgaste en cojinetes. Los parámetros normales varían según el tamaño del motor y sus aplicaciones.

Es adecuado comparar los niveles de estaño junto con los de metales como el cobre, hierro y plomo, prestando atención a aumentos en las concentraciones de estos, ya que así pueden determinarse las piezas afectadas y la acción que corresponde para solucionar el problema. Es conveniente verificar la viscosidad del aceite y los niveles de sílice y aluminio, para comprobar la presencia de contaminantes abrasivos.

#### **3.2.8.8. Cadmio**

Elemento químico de número atómico 48 e identificado por el símbolo Cd. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de sulfuro junto a minerales de cinc. Es de color blanco azulado, brillante, dúctil y maleable. Es utilizado como recubrimiento electrolítico de metales, en baterías, fotografías e industria nuclear.

En los motores de combustión interna puede encontrarse como un aditivo antidesgaste en el lubricante, y en algunos casos como parte de aleaciones en metales especiales.

Los niveles anormales de cadmio deben determinarse con base en la concentración inicial de este elemento en el aceite. Si la concentración sigue siendo alta, puede indicar desgaste en piezas fabricadas de aleaciones especiales. La concentración de esta sustancia puede variar si añaden aditivos al lubricante.

#### **3.2.8.9. Plata**

Elemento químico de número atómico 47, identificado por el símbolo Ag. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra nativo, en granos o

vetas, y en algunos minerales. Es de color blanco, brillante, muy dúctil y maleable y muy buen conductor de calor y electricidad. Es utilizado como catalizador, en la fabricación de utensilios y monedas, joyería y en odontología.

En maquinaria es un metal utilizado para reducir coeficientes de fricción y para disipar calor. En motores de combustión interna es encontrado, principalmente en: canastas de rodamientos, sellos, bujes y soldadura del sistema de enfriamiento.

Los niveles anormales de plata, principalmente reflejan desgaste en rodamientos o degradación en el sistema de enfriamiento. Es por esta razón que debe localizarse la fuente del desgaste tomando como parámetro las concentraciones de otros metales como el hierro y el aluminio. Normalmente, si estos metales se encuentran fuera de los límites, entonces el desgaste proviene de elementos mecánicos.

Las concentraciones varían según el tipo de maquinaria y su fabricante, por lo que no se utiliza un solo valor como límite permisible.

#### **3.2.8.10. Vanadio**

Elemento químico de número atómico 23, representado con el símbolo V. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra disperso en minerales de hierro, titanio y fósforo, y en forma de óxido, asociado al plomo. Es de color gris claro, dúctil y resistente a la corrosión. Se utiliza como catalizador, y, aleado con aluminio o con hierro, el acero y el titanio.



Es utilizado en distintos elementos de máquinas, sin embargo, en motores de combustión interna se utiliza principalmente en: álabes de turbina, válvulas y como recubrimiento en algunas superficies.

Los niveles elevados de vanadio son asociados a desgaste en gran cantidad de piezas, ya que con el desarrollo de la tecnología se han implementado aleaciones especiales que utilizan este elemento. Sin embargo, la principal causa es daño en turbocargadores, por lo que es adecuado inspeccionar ese componente si las concentraciones de vanadio no disminuyen.

### **3.2.9. Metales contaminantes**

Son metales ajenos a los elementos mecánicos internos del motor. Ingresan al sistema por medio de la admisión de aire y de combustible, principalmente por la primera. Normalmente este tipo de contaminantes están asociados a problemas con los sistemas de filtrado.

Es importante tomar en cuenta las anomalías en las concentraciones de estos elementos contaminantes, ya que son la causa de problemas mayores y desgaste prematuro en piezas. Normalmente las reparaciones relacionadas a estos elementos son de bajo costo y complejidad, siempre que se les atienda antes que causen daños significativos.

#### **3.2.9.1. Silicio**

Elemento químico de número atómico 14, representado con el símbolo Si. Es extraordinariamente abundante en la corteza terrestre, de la que constituye más de la cuarta parte, se encuentra, principalmente en forma de sílice, como en el cuarzo y sus variedades, y de silicatos, como en la mica, el feldespato y la

arcilla. Posee un elevado punto de fusión, y por sus propiedades semiconductoras, tiene gran aplicación en la industria electrónica y como detector de radiaciones. Sus derivados presentan gran variedad de usos, como el vidrio y las siliconas.

Al encontrar grandes concentraciones de sílice en el aceite de un motor de combustión interna, en la mayor parte de los casos, se debe a contaminación por polvo o arena. Esto se debe a problemas de filtrado en el sistema de admisión de aire. Es importante mencionar que las formulaciones de los lubricantes contienen aditivos con silicio, principalmente los aditivos antiespumantes en concentraciones de hasta 20 partes por millón.

Las concentraciones anormales de este elemento pueden variar según las aplicaciones que tenga el equipo, así como el entorno en el que trabaja. Por ejemplo, es muy común que en motores diésel de maquinaria agrícola se encuentren altas concentraciones de sílice. Esto es debido a que durante el trabajo, el equipo sufre daños en los filtros y por ende los niveles de contaminación se elevan.

Es importante cuidar que el sílice se mantenga dentro de los parámetros normales, ya que puede llegar a causar ralladuras en las camisas de los cilindros y abrasión prematura en elementos internos del motor.

### **3.2.9.2. Sodio**

Elemento químico de número atómico 11, identificado por el símbolo Na. Es un metal muy abundante en la corteza terrestre, principalmente en forma de sales, como el cloruro sódico. Es de color blanco brillante, blando como la cera,

muy ligero y con un punto de fusión muy bajo. Es utilizado en la fabricación de celdas fotoeléctricas, y aleado con plomo, como antidetonante de las gasolinas.

Es un elemento contaminante sumamente corrosivo para las piezas de los motores de combustión interna, por lo que es importante controlar sus niveles. Normalmente se encuentran concentraciones altas de sodio a causa de contaminación por sal, fugas de refrigerante o como aditivo.

Se debe prestar atención a los niveles altos de sodio, ya que en la mayoría de los casos es indicativo de filtraciones de líquido refrigerante dentro del sistema de lubricación del motor. Esto sucede cuando el block del motor está dañado, corroído o tiene empaques dañados. Puede tener consecuencias muy perjudiciales para el motor, porque altera las propiedades lubricantes del aceite y acelera el desgaste de piezas de forma significativa.

### **3.2.9.3. Potasio**

Elemento químico de número atómico 19, representado por el símbolo K. Es un metal muy abundante en la corteza terrestre. Se encuentra en forma de sales, generalmente silicatos, en muchos minerales y en el agua de mar. Es de color blanco argénteo, blando y con un punto de fusión muy bajo.

Regularmente el potasio es utilizado como aditivo en las sustancias refrigerantes que utiliza el motor, por lo que no deben existir niveles anormales en el aceite.

Debido a que el sistema de refrigeración del motor y su sistema de lubricación son cerrados, no deben mezclarse ambas sustancias. De existir niveles anormales de potasio en el aceite, indica una posible fuga, por lo que

debe procederse a revisar el estado del block del motor por posibles daños o corrosión que causen fuga.

Es importante solucionar el problema lo más pronto posible, ya que de no ser así, el aceite pierde sus propiedades lubricantes y el desgaste del motor se acelera significativamente.

### **3.2.10. Otros metales presentes**

Son metales que no siempre están presentes en los motores de combustión interna. Esto se debe a que son utilizados, principalmente en aleaciones especiales cuyas propiedades no son necesarias en todos los equipos.

Es importante tomar en cuenta estos elementos al momento de estudiar los resultados de los análisis de aceite, ya que a través de estos materiales se pueden detectar futuros problemas en piezas específicas. Esto es particularmente útil cuando se trata de repuestos poco comunes, que muchas veces se requiere de un largo periodo tiempo para obtenerlos, debido a su baja demanda, permitiendo así solicitar las piezas antes de que fallen.

#### **3.2.10.1. Titanio**

Elemento químico de número atómico 22 e identificado por el símbolo Ti. Es un metal abundante en la corteza terrestre, se encuentra en el rutilo en forma de óxido, en la escoria de ciertos minerales de hierro y en cenizas de animales y plantas. De color gris oscuro, de gran dureza resistente a la corrosión y de propiedades físicas parecidas a las del acero. Es utilizado en la

fabricación de equipos para la industria química y, aleado con el hierro y otros metales, se emplea en la industria aeronáutica y aeroespacial.

Debido a sus propiedades mecánicas es un metal utilizado en piezas sometidas a grandes esfuerzos. En motores de combustión interna, en algunos casos, puede encontrarse en: ejes, rodamientos y engranajes, sin embargo su uso es limitado por el alto costo del material.

Este metal es utilizado, principalmente en motores especiales, como en el caso de los que trabajan a altas revoluciones o condiciones muy duras, por ejemplo, los tractores y la maquinaria pesada. Las altas concentraciones de este material pueden indicar desgaste en ejes y engranajes, principalmente. Sin embargo, también es muy utilizado en rodamientos de distintas aleaciones. Los niveles anormales deben compararse con las concentraciones de otros metales como: hierro, cromo, cobre y aluminio. De mantenerse elevados los niveles de estos otros elementos, indica que puede existir un desgaste generalizado en las piezas del motor, principalmente en ejes, camisas, anillos de pistón y cojinetes.

### **3.2.10.2. Molibdeno**

Elemento químico de número atómico 42 e identificado con el símbolo Mo. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra generalmente en forma de sulfuro. Es de color gris o negro y brillo plateado, pesado y con un elevado punto de fusión, es blando y dúctil en estado puro, pero quebradizo si presenta impurezas. Es utilizado en la fabricación de aceros y filamentos resistentes a altas temperaturas.

En el caso de los motores de combustión interna es utilizado como como recubrimiento en algunas piezas en lugar del cromo y, también como un aditivo

antidesgaste en algunos lubricantes. Generalmente se encuentra en: anillos de pistón como recubrimiento, rodamientos y como aditivo en aceites.

Las concentraciones anormales de molibdeno, generalmente reflejan desgaste en algunas piezas del motor, principalmente en rodamientos. Sin embargo, también pueden indicar la presencia de aditivos en el lubricante. Para determinar la fuente del material se recomienda como primer paso verificar las propiedades del aceite nuevo, para luego compararlas con las del usado. Es necesario verificar el historial de mantenimiento del equipo, ya que el agregar aditivos al lubricante puede alterar las concentraciones de esta sustancia.

### **3.2.10.3. Antimonio**

Elemento químico de número atómico 51 e identificado con el símbolo Sb. Es un semimetal escaso en la corteza terrestre, se encuentra nativo o en forma de sulfuro. Es duro, quebradizo y de color blanco azulado, aunque algunas variedades alotrópicas son oscuras o casi negras. Es utilizado en aleaciones con diversos metales y, en pequeñas cantidades, les da dureza.

Es un material poco utilizado en motores de combustión interna, sin embargo, puede ser encontrado en algunos rodamientos muy especiales.

Si los niveles de este material se encuentran fuera de los parámetros normales, regularmente también aumentan las concentraciones de metales como el hierro y cromo. Esto se debe a que el antimonio se encuentra en aleaciones de los aros externo e interno de los rodamientos, también en algunos elementos rodantes de los mismos, por lo que las altas concentraciones de antimonio son asociadas a desgaste en estas piezas. Asimismo puede encontrarse en el babbitt.

#### **3.2.10.4. Manganeso**

Elemento químico de número atómico 25 e identificado con el símbolo Mn. Es un metal de color y brillo acerados, frágil, pesado y muy refractario. Aleado con el hierro es utilizado para la fabricación de aceros especiales.

En el caso de los motores de combustión interna puede encontrarse este metal en: válvulas, sistema de admisión y escape y como aditivo detergente en gasolinas sin plomo.

Si la concentración de manganeso se encuentra fuera de los parámetros establecidos, normalmente es asociado a la calidad de la gasolina que se utiliza en el equipo. Sin embargo, se deben observar los niveles de hierro, cobre, cromo, níquel y vanadio. Si estos metales también presentan un incremento en la concentración, es un indicativo de desgaste en el tren de válvulas. Se debe proceder a revisar estos elementos, verificando su estado general y preferiblemente calibrar válvulas.

#### **3.2.10.5. Litio**

Elemento químico de número atómico 3 e identificado con el símbolo Li. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra disperso en ciertas rocas y muy poco denso. Es utilizado en la fabricación de aleaciones especiales y acumuladores eléctricos, y sus sales se usan en la fabricación de lubricantes.

Es un metal utilizado en aleaciones conjuntamente con otros metales como el aluminio, cobre, manganeso, zinc, silicio y magnesio. En motores de combustión interna, normalmente es utilizado en la fabricación de culatas y pistones.

Al observar niveles elevados de litio en el lubricante se debe comparar con la concentración de aluminio, principalmente, de modo que si ambos se encuentran fuera del rango aceptable puede existir desgaste en la culata por mal funcionamiento de las piezas alojadas allí, como por ejemplo las válvulas.

#### **3.2.10.6. Boro**

Elemento químico de número atómico 5, representado por el símbolo B. Es un semimetal escaso en la corteza terrestre, aunque muy extendido, se encuentra como polvo amorfo o cristalizado en formas que recuerdan al diamante, en el ácido bórico y en el bórax. Es utilizado en la fabricación de esmaltes y vidrios, como catalizador industrial y en la industria nuclear.

El boro es un material utilizado, principalmente como aditivo de extrema presión y aditivo en refrigerantes. Debe prestarse atención a variaciones significativas en la concentración de este elemento en el lubricante, ya que puede indicar la utilización de aditivos o bien la mezcla de refrigerante con el aceite.

Se debe detectar la fuente de boro debido a que si el sistema de enfriamiento es el responsable, entonces el líquido refrigerante se fuga hacia el sistema de lubricación y viceversa. Esto causa que el aceite pierda sus propiedades lubricantes, acelerando el desgaste de las piezas y provocando daños significativos. En primera instancia debe verificarse todo el sistema de enfriamiento por fugas, luego se procede a constatar el estado del empaque de culata, así como el block del motor.



### **3.2.11. Metales presentes en los aditivos**

Son aquellos elementos metálicos utilizados para modificar las propiedades de los lubricantes. Normalmente son usados para mejorar el comportamiento del aceite frente a condiciones extremas de trabajo, como la presión, temperatura y oxidación.

Gracias a estos modificadores es que los lubricantes actuales pueden cumplir con las exigencias de los motores modernos, permitiendo someter las piezas a condiciones duras y mejorando la lubricación en las piezas del equipo.

#### **3.2.11.1. Magnesio**

Elemento químico de número atómico 12 e identificado con el símbolo Mg. Es un metal muy abundante en la corteza terrestre, se encuentra en la magnesita, el talco, la serpentina y, en forma de cloruro, en el agua de mar. Es maleable y poco tenaz, arde con luz clara y brillante y se usa en metalurgia, en pirotecnia, en medicina, en la fabricación de acumuladores eléctricos y, aleado con aluminio, en la industria aeronáutica y automotriz.

En los motores de combustión interna es un material utilizado en aleaciones de aluminio, para la elaboración de carcasas protectoras principalmente.

Es un elemento utilizado también, como aditivo en los lubricantes, siendo un mejorador de la detergencia en aceites. Asimismo es utilizado como dispersante y para incrementar la alcalinidad del lubricante.

Si los niveles de magnesio superan el rango establecido puede deberse a filtraciones de agua dura en el sistema. Esto puede darse por fuga del sistema de enfriamiento hacia el de lubricación. Debe solucionarse el problema lo antes posible, verificando el estado del radiador, empaque de culata y block del motor. No se debe permitir que el problema persista, ya que el aceite pierde sus propiedades al mezclarse con el agua.

### **3.2.11.2. Calcio**

Elemento químico de número atómico 20 e identificado por el símbolo Ca. Es un metal muy abundante en la corteza terrestre, se encuentra, principalmente en forma de carbonato, como la calcita, o de sulfato, como el yeso. Es de color blanco o gris, blando y muy ligero, combinado con el oxígeno forma la cal.

Es utilizado como un aditivo inhibidor de la corrosión y también, para neutralizar la acidez producto de la combustión. Es por eso que se utiliza como detergente en los motores de combustión interna.

Los niveles anormales de este elemento pueden ser resultado de la utilización de sustancias aditivas en el lubricante o el combustible. En el caso de los equipos que trabajan en ambientes con nieve, puede afectar la sal de la carretera. Debe verificarse la fuente de calcio para prevenir futuros daños al motor. En el caso de los motores diésel, es conveniente verificar el TBN y el nivel de hollín, para conocer la calidad de la combustión y la acidez del lubricante.

### **3.2.11.3. Bario**

Elemento químico de número atómico 56 e identificado por el símbolo Ba. Es un metal abundante en la corteza terrestre, se encuentra en minerales como la barita y la baritina. Es de color amarillento, blando, pesado, especialmente reactivo y se oxida con rapidez. Es utilizado para desgasificar tubos de vacío, y alguno de sus derivados, en el blindaje de muros contra radiaciones.

Es un elemento utilizado como aditivo detergente en lubricantes, a pesar de ser tóxico. También posee buenas propiedades anticorrosivas, reduciendo la formación de óxidos en las piezas internas de los motores, así como la oxidación del aceite. En los combustibles es utilizado para disminuir los residuos de cenizas, reduciendo la formación de humo.

Si los niveles de bario en el lubricante se encuentran elevados puede deberse a la utilización de aditivos, tanto en el combustible como el aceite, por lo que debe verificarse la fuente. Es importante tomar en cuenta la toxicidad de esta sustancia.

### **3.2.11.4. Fósforo**

Elemento químico de número atómico 15 e identificado por el símbolo P. Es muy abundante en la corteza terrestre, tanto en los seres vivos como en el mundo mineral, se presenta en varias formas alotrópicas, todas inflamables y fosforescentes. Es utilizado en la industria fosforera, en la pirotécnica, en la composición de fertilizantes y como aditivo en lubricantes.

En los aceites utilizados en motores de combustión interna, el fósforo es usado como aditivo de extrema presión. Esto significa que permite la existencia

de una película lubricante entre piezas, aun cuando la presión es muy elevada. También es utilizado como aditivo en refrigerantes, en conjunto con el sodio y/o potasio.

Los niveles elevados de este elemento pueden indicar el uso de aditivos en el lubricante o el ingreso de refrigerante al motor. De existir exceso de esta sustancia, debe evaluarse la condición del sistema de enfriamiento y el block del motor. Es necesario definir la fuente de fósforo con el fin de prevenir a toda costa que el refrigerante se filtre hacia el aceite.

#### **3.2.11.5. Zinc**

Elemento químico de número atómico 30 e identificado por el símbolo Zn. Es un metal muy abundante en la corteza terrestre; se encuentra en forma de sulfuro, carbonato o silicato. De color blanco, brillante y blando. Es utilizado en la fabricación de pilas eléctricas, para formar aleaciones como el latón, y para galvanizar el hierro y el acero.

Este elemento es muy utilizado en lubricantes como aditivo antidesgaste, como inhibidor de la corrosión y la oxidación. También está presente en las aleaciones de bronce. Debido a sus propiedades funciona como ánodo de sacrificio, por lo que la corrosión ataca primero al cinc, evitando que llegue a dañar elementos internos del motor.

Los niveles anormales de esta sustancia pueden indicar el uso de aditivos en el lubricante, por lo que resulta conveniente conocer las concentraciones iniciales de cinc en el aceite.

### **3.2.12. Agentes contaminantes**

Son todas aquellas sustancias que tienden a modificar las propiedades de un lubricante.

#### **3.2.12.1. Dilución por combustible**

Es un fenómeno causado por combustible no quemado que ingresa al sistema de lubricación del motor, reduciendo la efectividad del lubricante. La dilución por combustible es un problema importante, ya que puede reducir significativamente la viscosidad del aceite, alterando las propiedades de este y así provocar desgaste prematuro en las piezas.

Si las propiedades del lubricante llegan a cambiar significativamente, el grosor de la película de aceite puede reducirse, disminuyendo así la fuerza soportada por el mismo, lo que aumenta la probabilidad de contacto metal – metal y por ende, también de desgaste anormal en el equipo.

La dilución por combustible puede detectarse inicialmente a través del punto de inflamación del aceite, ya que este disminuye a medida que el nivel de combustible aumenta. Junto con esta variación, también se reduce la viscosidad del lubricante, y de ser significativo el problema, se puede percibir aroma a combustible en el aceite.

El porcentaje de dilución por combustible no debe exceder los valores de 2,5 por ciento a 5, dependiendo del tipo de maquinaria y su fabricante. De superar el rango, se debe tomar acción correctiva sobre el problema, ya que puede aumentar significativamente el desgaste de los elementos internos, disminuyendo drásticamente la vida del equipo.

### **3.2.12.2. Hollín**

Refleja la cantidad de carbón suspendida en el lubricante de un motor. Es producto de una combustión incompleta, por lo que siempre existe una pequeña cantidad. Si por alguna razón hay deficiencias en el proceso de combustión, aumenta significativamente la cantidad de hollín y combustible no quemado.

Las concentraciones de hollín elevadas son indicativas de problemas en el sistema de admisión, sistema de escape, inyección y modo de uso.

En el caso del sistema de admisión, el principal problema es la existencia de una mezcla rica, por lo que la deficiencia de oxígeno impide la quema del combustible presente. Esto puede darse por restricciones o suciedad en el filtro de aire, lo que disminuye el paso de esta sustancia y propicia su calentamiento. Esto provoca que la cantidad de aire que logra pasar a través del filtro tenga una densidad más baja a causa del incremento en la temperatura, reduciendo el porcentaje de oxígeno presente en la cámara de combustión.

Para el caso del sistema de escape, los problemas se reducen a obstrucciones que impiden que los gases producto de la combustión, sean retirados del sistema. Es por esto que parte del hollín que intenta ser evacuado del sistema, no pueda hacerlo.

En el sistema de inyección puede afectar la cantidad de combustible que se proporciona a la cámara de combustión. Si es demasiado combustible para la cantidad de oxígeno y para el volumen del cilindro, entonces la combustión será deficiente, incrementando la producción de hollín.

Un factor que, también puede afectar el nivel de hollín es la utilización excesiva del motor en ralentí. Esto se debe a que a bajas revoluciones, disminuye la eficiencia de combustión de un motor de combustión interna.

### **3.2.12.3. Agua/refrigerante**

El agua/refrigerante es el segundo contaminante más destructivo presente en el lubricante de un motor de combustión interna. Puede ingresar al sistema por distintas razones, tales como fugas en el sistema de enfriamiento y condensación. Esta sustancia puede encontrarse en tres formas diferentes dentro del aceite: disuelta, emulsionada y libre.

Sus efectos incluyen oxidación de elementos y alteraciones en la viscosidad del aceite. En el caso de la oxidación, esta se da porque el agua está formada por dos partes de hidrógeno y una de oxígeno, por lo que el segundo elemento propicia la oxidación de partes metálicas como los aceros. Las alteraciones de la viscosidad son, principalmente a causa de la incorporación del agua en el aceite. Esto depende de las condiciones de temperatura y presión a las que se encuentran las sustancias, por lo que las variaciones no son iguales siempre. Es práctica común hacer caso omiso del valor de la viscosidad reflejado en el análisis de aceite cuando hay presencia de agua, ya que altera los resultados.

### **3.2.12.4. Insolubles**

Son los productos inorgánicos y orgánicos precipitados que contiene el aceite usado. Una parte de estos se deposita como lacas y barnices, mientras que la otra parte se acumula como lodos en el interior del cárter y de los conductos de lubricación. Estos residuos pueden obstruir conductos y afectar

las propiedades lubricantes del aceite, por lo que están relacionados con la eficiencia de los elementos filtrantes y las tasas de desgaste existentes en el motor.

Normalmente se utilizan dos disolventes para determinar la insolubilidad del aceite, siendo el pentano y el tolueno. La parte insoluble se separa por centrifugación o filtración, dependiendo del solvente utilizado.

Los insolubles en pentano representan la mayor parte de productos insolubles del aceite. Están formados por contaminantes externos capaces de formar lacas y barnices, que se separan fácilmente.

Los insolubles en tolueno provienen de la contaminación exterior, de la corrosión, del desgaste de los elementos internos y del carbón formado en la combustión. Normalmente, los compuestos solubles en tolueno; pero insolubles en pentano son indicadores de oxidación en el sistema.

### **3.2.13. Propiedades del lubricante**

Son todas aquellas características que definen a un lubricante y sus aplicaciones. Con el desarrollo de la tecnología, las exigencias de los equipos, en general son mayores. El trabajo de lubricación se hace cada vez más difícil, ya que se debe reducir el desgaste aun cuando las condiciones de trabajo se vuelven más duras. Es ahí donde entran en juego las propiedades de los lubricantes, ya que al modificarlas se logra obtener características que cumplan con las condiciones de trabajos específicos como: la presión, temperatura, grosor de la capa lubricante, etc.



Es necesario conocer la razón de ser de las propiedades básicas, así como sus efectos sobre los aceites. A continuación se detallan algunas de las propiedades más importantes.

### **3.2.13.1. Viscosidad**

Es la propiedad más importante de un lubricante. Se define como la medida de la resistencia a fluir a una temperatura específica en relación con el tiempo.

Las dos temperaturas utilizadas comúnmente, para definir la viscosidad de un aceite son 40 y 100 grados Celsius. Por lo regular, esta se reporta en centistokes o como un grado SAE. En el análisis de aceite en maquinaria, la viscosidad se utiliza para compararla con el lubricante nuevo y el usado, de forma que pueda determinarse si el aceite se ha engrosado o adelgazado.

Esta propiedad puede indicar si existe degradación en un motor de combustión interna. Normalmente, cuando se debe incrementar la viscosidad del aceite de un grado hacia el siguiente, se interpreta como que el motor ha llegado al final de su vida útil.

La viscosidad puede ser un indicativo de diferentes problemas en motores, por lo que combinada con el análisis de otras propiedades, puede brindar información muy valiosa sobre el estado de un equipo.

Esta propiedad puede aumentar por contaminación como la del hollín y la de insolubles. El problema de este fenómeno radica en que al aumentar la viscosidad, el lubricante no puede llegar a todas las piezas del motor, debido a que el grosor de la película es mayor al esperado.

Por el contrario, cuando la viscosidad disminuye la capacidad lubricante del aceite también lo hace, ya que el grosor de la película se vuelve tan delgado que existe el contacto metal – metal. Este cambio puede ocurrir por dilución con combustible, contaminación por agua o por aumento en la temperatura.

### **3.2.13.2. Índice de acidez total (TAN)**

Es la cantidad de ácido y sus derivados en el lubricante, sirve como un indicador de la utilidad del aceite. En aceites nuevos, el TAN no necesariamente debe ser cero, ya que puede contener aditivos que sean ácidos por naturaleza. Esto es necesario muchas veces para controlar la alcalinidad del aceite.

Si se da un incremento significativo en el número ácido de un lubricante, debe controlarse la fuente de esta acidez, ya que normalmente es un indicativo de oxidación en el sistema o también de la contaminación con algún producto de pH menor a 6. En motores diésel, una combustión deficiente puede propiciar al incremento del TAN debido al azufre presente en el combustible.

### **3.2.13.3. Número de base total (TBN)**

Es una medida del contenido total alcalino presente en el lubricante. Actualmente, muchos de los aceites para motor disponibles en el mercado contienen aditivos alcalinos que buscan neutralizar la acidez producida durante la combustión. Es utilizado en productos para motores diésel.

Un TBN, relativamente alto es asociado con una mejor protección contra la corrosión en anillos de pistón y camisas de cilindros.

Si el TBN disminuye anormalmente, puede indicar una reducida neutralización de ácidos a causa de aditivos deficientes o por exceso de acidez en el motor. Es muy importante mantener la alcalinidad y la acidez dentro de los parámetros normales, ya que de no ser así, puede acelerarse la corrosión dentro del motor, provocando un ataque químico que puede alterar las propiedades de elementos internos.

Por ejemplo, en el caso del aceite Shell Rimula R3 X 15W-40, el número de base total (TBN) es de 11.5 miligramos de hidróxido de potasio por gramo según la Norma ASTM D 2896. Esto es apropiado para motores diésel de uso pesado, contrarrestando la acidez producto de la combustión del diésel durante el tiempo de servicio del aceite. Dentro de los aceites minerales es un valor de TBN relativamente alto, del que se esperan buenos resultados.

#### **3.2.13.4. Oxidación**

Es la incorporación química del oxígeno en el lubricante, lo que junto al envejecimiento del aceite, provocan una pérdida de propiedades. Esto propicia el funcionamiento inadecuado del equipo así como sobrecalentamiento.

Mientras exista oxidación, ciertas condiciones causarán que algunos componentes del motor y el aceite, se combinen con el oxígeno disponible, formando una variedad de productos perjudiciales. Estos productos pueden causar la formación de depósitos que corroerán partes metálicas, adelgazarán la película lubricante e impedirán una buena lubricación.

La mayoría de lubricantes contienen aditivos que inhiben o retardan el proceso de corrosión, sin embargo, la presión, temperatura y los materiales catalizadores pueden acelerar este proceso.

### **3.2.13.5. Nitración**

Este fenómeno se da cuando productos nitrosos formados durante el proceso de combustión, se filtran en el aceite del motor. Esto puede darse durante la operación normal del equipo o como resultado de explosiones anormales. Estos productos nitrosos son altamente ácidos, por lo que pueden crear depósitos y acelerar la oxidación del lubricante.

Las causas más comunes de la nitración son: temperaturas bajas de operación, sellos defectuosos, relación aire/combustible inadecuada y explosiones anormales. Esto puede causar daños, tanto en el motor como en el lubricante, acelerando la corrosión, introduciendo óxidos nitrosos en el sistema, incrementando la acidez, aumento en el grosor de la película lubricante, formación de depósitos y aumentando el desgaste de los cilindros.

Para solucionar este problema existen diferentes formas de hacerlo, tales como: mantener la temperatura de operación del motor en el rango adecuado, verificar compresiones y que la relación aire/combustible sea la adecuada.

### **3.2.13.6. Sulfatación**

Es un fenómeno que ocurre debido a la acumulación de óxidos de azufre y ácido sulfúrico en el aceite. Esto puede darse por una mala combustión del diésel o por la utilización de combustibles con alto contenido de azufre.

La combustión inadecuada del diésel en el motor puede darse por problemas mecánicos, temperatura muy baja en la cámara de combustión y utilización prolongada a bajas revoluciones. Por estas razones es necesario conocer el uso que se le da al equipo y considerando esto, determinar la fuente

de sulfatación. Normalmente, el TBN del aceite nuevo tiene como objetivo contrarrestar este fenómeno.

### **3.3. Interpretación del análisis de aceite**

Los análisis hechos a las muestras de aceite usado en motores de combustión interna proporcionan las concentraciones de diferentes elementos en el lubricante, sin embargo, es imprescindible una interpretación adecuada para poder tener una idea del estado general del equipo y sus elementos.

Si esta herramienta se utiliza de la manera adecuada, puede conocerse el estado actual de la mayoría de piezas presentes en los MCI. Esto resulta muy útil para la toma de decisiones de mantenimiento correctivo y preventivo, ya que permite corregir los problemas antes de que crezcan y afecten más elementos.

#### **3.3.1. Etapas del desgaste**

Se conocen como etapas del desgaste a las clasificaciones más comunes del avance del daño en los elementos mecánicos, con base en las concentraciones de ciertos elementos que se reflejan en los análisis de aceite. Mientras más avanzado se torna el desgaste, se considera más crítico.

Uno de los objetivos del análisis de aceite es impedir que el desgaste llegue a ser crítico, ya que en este punto el daño a las piezas del motor puede ser irreversible y también existe la probabilidad de extenderse a otras partes.

### **3.3.1.1. Desgaste normal**

Se consideran normales todas aquellas concentraciones producto del rozamiento inevitable entre piezas. Estas se dan debido a que las asperezas de los materiales llegan a estar en contacto, provocando desgaste. Estas concentraciones se mantienen aproximadamente constantes durante la vida útil del motor.

La cantidad límite de partículas por millón para cada elemento son distintas, ya que no todas las piezas son construidas con los mismos materiales y procesos; inclusive estos límites cambian según cada fabricante. Por esta razón se hace necesario llevar un registro de todos los motores de la flota, realizando un análisis estadístico para determinar el desgaste que se considera normal para cada una de las aplicaciones dentro de la empresa.

### **3.3.1.2. Desgaste anormal**

Son catalogadas como anormales todas aquellas concentraciones por encima de los niveles aceptables, sin embargo, son lo suficientemente bajas como para determinar y reportar la fuente del desgaste para proceder a su reparación antes de causar daños mayores.

Normalmente, este nivel de desgaste va acompañado de un listado de posibles causas del problema o contaminación en el aceite. Por ejemplo, es muy común que se sugiera un cambio de filtros y aceite cuando los niveles de aluminio y sílice están fuera del rango.

No es recomendable realizar reparaciones mayores en las unidades con desgaste anormal, a menos que existan varios factores que lo ameriten. Debido

a que en este nivel se programan revisiones que permitan verificar el estado de las piezas, antes de que sean necesarias intervenciones urgentes.

Se recomienda basar el diagnóstico en todas las herramientas a la mano, tales como: el reporte del análisis, la experiencia y cualquier herramienta que sea útil en el caso.

### **3.3.1.3. Desgaste crítico**

Dentro de esta clasificación se catalogan todas aquellas concentraciones de metales de desgaste o contaminantes que están muy por encima de los límites permisibles, afectando directamente las propiedades del lubricante y disminuyendo las cualidades lubricantes del aceite.

Este nivel refleja desgaste avanzado y daños severos en las piezas internas del motor. Por lo regular, requiere de intervención inmediata o el retiro de la unidad para tomar una segunda muestra. Es muy probable que el equipo disminuya su desempeño a corto plazo e incrementa la probabilidad de falla, por lo que pueden requerirse reparaciones mayores.

### **3.3.2. Aspectos principales para toma de decisiones con base en análisis de aceite**

El análisis de aceite es una herramienta muy útil para toma de decisiones en el mantenimiento predictivo de maquinaria, ya que permite detectar problemas con suficiente anticipación, también permite la reducción de costos por medio de la detección de daños antes de que estos se propaguen a todas las piezas de un equipo, elevando el costo de la reparación.

A continuación se explicarán algunos de los factores más importantes a tomar en cuenta para la interpretación de análisis de aceite y la toma de decisiones con base en estos.

Al analizar los resultados de una muestra de aceite, se tienen las concentraciones de distintos elementos presentes en el lubricante, que para fines prácticos pueden clasificarse en: metales de desgaste, contaminantes, metales aditivos, metales varios y propiedades del líquido.

Al interpretar los análisis debe iniciarse con los metales de desgaste, verificando el nivel de concentración de cada elemento. De ser concentraciones anormales se debe consultar la sección 3.2.8 de este documento, para determinar la procedencia del contaminante y así conocer las piezas dañadas.

Luego de verificar el nivel de desgaste de las piezas internas, se procede a verificar los contaminantes y los metales varios, con los cuales pueden confirmarse trazas de desgaste en piezas y, en el caso de algunos metales varios, ayudan a determinar posibles causas del desgaste anormal. Por ejemplo, si los resultados indican concentraciones anormales de hierro, cromo y aluminio, puede ser indicativo de desgaste en la región del cilindro, anillos y pistón. Si el informe de laboratorio mostrara en los contaminantes sodio, potasio o agua, entonces puede deducirse que parte del desgaste anormal se debe a mala lubricación por contaminación con agua o refrigerante en el aceite. Basado en estos resultados se procede a tomar decisiones, por lo que se debe verificar la causa de la fuga de líquido, repararla y comprobar si el daño en el cilindro es menor o significativo. Dependiendo del daño en la región de este se procede a una reparación mayor o solo se reduce el nivel de desgaste al rango normal.



Es de esta forma como se toman decisiones de mantenimiento con base a los resultados obtenidos con el análisis de aceite, previniendo que los daños se propaguen a más piezas, siempre que se muestreen los equipos con regularidad, en intervalos de tiempo adecuados.

Debe tenerse en cuenta que las decisiones deben ir siempre enfocadas a prevenir daños mayores, ya que por lo regular al momento de ser detectados por medio del análisis de aceite, todavía son daños reparables o insignificantes.

#### **3.3.2.1. Metales principales a tomar en cuenta**

Mediante el análisis de aceite puede obtenerse una idea del desgaste y el estado actual de las piezas presentes en los motores de combustión interna. Por esta razón es importante conocer los metales presentes en las piezas determinantes que se encuentran en estos equipos. Esto es particularmente útil para la toma de decisiones en mantenimiento, ya que pueden reducirse costos si se detectan los problemas a tiempo, reparando las piezas dañadas antes de que estas afecten a las demás.

Existe un grupo de metales que son determinantes para la interpretación de los resultados del análisis de una muestra. Principalmente se va a considerar el hierro, cromo, níquel, aluminio, cromo, molibdeno, sílice, sodio, plomo, estaño, antimonio y manganeso. Estos metales se consideran como principales, ya que son los que indican el desgaste en las piezas principales de un motor y también muestran problemas básicos como la contaminación con polvo y agua.

Por ejemplo, si en un informe de análisis de aceite se encuentra elevado el aluminio, pero también el sílice, significa que está ingresando demasiado

polvo al lubricante. Este problema puede ser solucionado cambiando el filtro de aire y verificando que el sistema de admisión de aire no tenga fugas.

Si se encuentra elevado el nivel de hierro, es conveniente verificar los niveles de cromo, níquel, molibdeno y aluminio. Estos metales están presentes en anillos, camisas, eje de levas, eje cigüeñal y el tren de válvulas. De existir anomalías en los niveles de la mayoría de los elementos mencionados, se debe proceder a verificar el estado de las piezas que los poseen y así tomar decisiones sobre la acción que se debe tomar.

En el caso del tren de válvulas, aparte de los metales mencionados en el párrafo anterior, reflejan desgaste a través del manganeso, presente principalmente en las guías de válvulas. Es importante proceder a la revisión de estos elementos, ya que pueden afectar en la calidad de la combustión y el comportamiento general del motor.

Otras piezas muy importantes cuyo desgaste puede ser advertido con tiempo son los cojinetes, tanto centrales, de biela y axiales. Al existir desgaste en estas piezas se elevan las concentraciones de cobre, plomo, estaño y antimonio, esto debido a las aleaciones antifricción presentes como el babbitt.

Para la detección de refrigerante en el lubricante se observan las concentraciones de sodio y potasio, ya que por lo regular son utilizados como aditivos anticongelantes y modificadores del punto de ebullición del líquido.

Como se mencionó en párrafos anteriores, hay combinaciones de elementos que permiten conocer el desgaste en partes más específicas de un motor, así como la procedencia de contaminantes como en el caso del refrigerante.

## 4. FASE DE DOCENCIA

### 4.1. Exposición de resultados obtenidos

Durante la elaboración del proyecto se lograron varios avances para implementar el análisis de aceite, como una herramienta de fácil acceso para el personal del Taller Agrícola y Automotriz, de forma que pueda ser utilizado adecuadamente y en cualquier momento.

Los resultados principales obtenidos pueden resumirse de la siguiente forma:

- Actualización de la base de datos, ingresando la información de los equipos activos del ingenio.
- Incorporación de equipos al programa de análisis de aceite.
- Elaboración e implementación de un registro físico de resultados de análisis de aceite.

Figura 8. **Registro de resultados de análisis de aceite**



Fuente: oficina principal de TSSSA.

#### **4.1.1. Exposición de resultados a supervisores**

Se presentaron los resultados del proyecto a los responsables de supervisar el procedimiento de la toma de muestras de aceite.

##### **4.1.1.1. Interpretación de resultados de análisis de aceite**

Utilizando como base este documento, se presentó a los supervisores un resumen de los aspectos principales a tomar en cuenta para la interpretación de los reportes de análisis de aceite, de modo que puedan utilizar esta herramienta para mejorar la toma de decisiones en el mantenimiento de los equipos de la empresa. De esta forma pueden corregirse problemas para evitar daños mayores y, también programar reparaciones para reducir el tiempo del paro de las máquinas.

En el Taller Agrícola y Automotriz es de gran importancia el detectar las fallas cuando su impacto no afecta de manera significativa el desempeño del equipo, ya que permite al personal solicitar repuestos y ajustarse al presupuesto, sin necesidad de detener las máquinas por períodos prolongados de tiempo.

Por ejemplo, en el caso de un motor International DT466, las concentraciones de cobre, plomo y zinc han estado elevadas las últimas 900 horas de operación del equipo, lo que sugiere que los cojinetes centrales, axiales y de biela presentan desgaste anormal. Esta información permite al supervisor solicitar estos repuestos, ya que al momento de la reparación pueden cambiarse únicamente estas piezas si el eje cigüeñal no está dañado.

#### 4.1.1.2. Determinación de fallas

La determinación de fallas en motores de combustión interna utilizando como herramienta el análisis de aceite, se facilita si se resumen los puntos de desgaste más comunes y los metales que están presentes en ellos. Normalmente se utilizan tablas que indican en qué piezas se encuentra cada elemento de desgaste, sin embargo, en la práctica es útil monitorear algunos metales, para prevenir daños mayores al equipo, para esto se utiliza la tabla VI.

Tabla VI. Elementos de desgaste y su procedencia

Elementos	Causa probable
Hierro Cromo Níquel Molibdeno	Desgaste en camisas de cilindros, anillos, ejes y rodamientos.
Aluminio Sílice	Polvo en el aceite, puede ser por mal estado de filtros o contaminación de la muestra al momento de la toma.
Manganeso	En motores gasolina puede indicar paso de combustible al lubricante. En motores diésel puede indicar desgaste en guías de válvulas.
Cobre Plomo Estaño Antimonio	Desgaste en cojinetes centrales, axiales y de biela.
Sodio Potasio	Refrigerante en el aceite.
Vanadio	Desgaste en álabes de turbina, válvulas o superficies endurecidas. Puede deberse a contaminantes en el aire de admisión o lubricación deficiente en el turbocompresor.

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.1.3. Toma de decisiones**

El análisis de aceite es una herramienta que permite conocer el desgaste en los distintos elementos de un equipo, por lo que facilita predecir las fallas con tiempo. Esto es particularmente útil para la toma de decisiones en mantenimiento, ya que permite reparar los problemas internos antes de que el daño se propague y, también da margen a programar reparaciones que no intervengan con la producción y se adecuen al presupuesto. Esta herramienta, también permite conocer la existencia adecuada de repuestos necesarios en bodega, ya que a través del historial de mantenimiento de los equipos puede conocerse qué repuestos son los más utilizados, y también permite se puede definir los repuestos especiales que se necesitarán en el futuro. Este es el caso de los cojinetes centrales, axiales y de biela, ya que cuando tienen un desgaste avanzado, se presentan concentraciones altas de cobre, bronce, zinc, plomo y antimonio, lo que permite solicitar las piezas en un tiempo prudente.

Para tomar decisiones con base en el análisis de aceite se deben definir las piezas dañadas y los alcances que la falla puede llegar a tener. Si el costo de la reparación del problema al momento de ser detectado es mucho menor de lo que sería si se permite que el equipo trabaje hasta dañarse completamente, entonces es recomendable corregir el problema existente antes de que se propague. De lo contrario, es preferible programar la reparación completa.

Las decisiones basadas en el análisis de aceite buscan reducir costos de reparación y programar las intervenciones de modo que se soliciten los repuestos con tiempo y pueda detenerse el equipo sin afectar las labores de producción. En el caso de los repuestos escasos, el tiempo para solicitar los mismos es determinante, con este se evita detener los equipos por largos periodos de tiempo, lo que aumenta las pérdidas de la empresa y reduce la

disponibilidad de maquinaria. Es por eso que se debe tener un control detallado de cada máquina, lo que permite conocer futuras fallas, previniendo todas las que sea posible y reduciendo el impacto de las demás.

#### **4.1.2. Exposición de resultados a personal operativo**

Se presentaron los resultados del proyecto a los responsables directos de la toma de muestras de aceite.

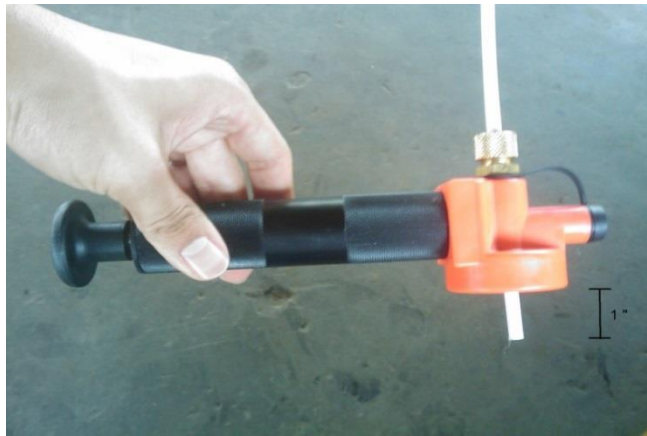
##### **4.1.2.1. Procedimientos para toma de muestras**

Existen varios métodos para extraer muestras de aceite, sin embargo, en el Taller Agrícola y Automotriz se utilizan dos, principalmente: extraer el fluido mediante un vampiro o simplemente sacar el fluido del cárter del motor. El método más recomendado es utilizar un vampiro, ya que disminuye la posibilidad de contaminar la muestra en el procedimiento de extracción. Es por esta razón que se profundizará únicamente este último método.

Antes de proceder a tomar la muestra se debe contar con el siguiente equipo: lentes protectores, frasco para muestra, vampiro y manguera a la medida. Luego de tener los materiales y los lentes protectores puestos, se debe seguir el procedimiento especificado a continuación:

- Verificar que el motor esté a la temperatura de operación. De preferencia apagarlo justo de extraer la muestra.
- Insertar la manguera en el vampiro, dejando aproximadamente una pulgada fuera en el lado del frasco. Apriete la tuerca de seguridad, de modo que la manguera quede fija y hermética.

Figura 9. **Vampiro con manguera instalada**



Fuente: taller de TSSSA.

- Colocar el frasco de muestra en el vampiro. Poner la tapa en una superficie limpia, sin manipular el interior de la misma. Evitar apriete excesivo en la bomba de succión y sus accesorios, ya que pueden dañarse empaques y así perder hermeticidad.

Figura 10. **Vampiro con frasco instalado**



Fuente: Taller de TSSSA.



- Introducir la manguera por el tubo de la varilla de medición de aceite. Verificar que la longitud de la manguera sea adecuada, de modo que llegue aproximadamente a la mitad de la profundidad del cárter.

Figura 11. **Punto de extracción de aceite**



Fuente: Taller de TSSSA.

- Succionar el aceite mediante el vampiro hasta llenar tres cuartas partes del frasco. Evitar que el aceite extraído contamine el equipo, por movimiento excesivo.

Figura 12. **Llenado de frasco para muestra**



Fuente: Taller de TSSSA.

- Retirar el frasco del vampiro y colocar la tapa. Se debe evitar manipular el interior de la tapa, ya que puede contaminarse la muestra.

Figura 13. **Muestra de aceite**



Fuente: Taller de TSSSA.

- Aflojar la tuerca de seguridad, retirar la manguera y desecharla.

Figura 14. **Extracción de manguera**



Fuente: Taller de TSSSA.

- Llenar la etiqueta de datos, proporcionando: fecha de muestreo, código del equipo, horómetro actual, tipo de servicio, horas trabajadas, cantidad de aceite agregado y tipo de aceite.

Figura 15. **Etiqueta de datos de muestra**

Fecha de muestra \_\_\_\_\_  
Código máquina \_\_\_\_\_  
Horómetro actual \_\_\_\_\_  
Servicio de \_\_\_\_\_  
Horas trabajadas \_\_\_\_\_  
Cantidad de aceite \_\_\_\_\_  
Tipo de aceite \_\_\_\_\_

Fuente: Taller de TSSSA.

- Limpiar el vampiro de cualquier rastro de aceite y contaminante.
- Entregar la muestra a la persona responsable.

#### **4.1.2.2. Manejo adecuado de muestras**

El control y protección de muestras de aceite, luego de ser tomadas es muy importante, ya que aumenta la confiabilidad de los resultados y permite llevar un control detallado para cada máquina.

Para manejar adecuadamente una muestra después de extraer el aceite, es importante limpiar el exterior del frasco y colocar la etiqueta con los datos

solicitados. Luego se deben ingresar los datos de la muestra a la página del laboratorio y de esa forma generar una etiqueta con código de barras. Se debe limpiar nuevamente el frasco y colocar la nueva etiqueta adhesiva con código de barras. Esta etiqueta permite conocer todos los datos que identifican la muestra, así como rastrearla en el laboratorio, por lo que es muy importante no dañarla.

Por último, se deben almacenar todas las muestras recolectadas en una caja. Por ninguna razón debe abrirse un frasco que contenga aceite, ya que puede contaminarse. A continuación se muestra en la figura 16 cómo puede almacenarse los frascos de manera adecuada y sencilla.

Figura 16. **Almacenamiento de muestras de aceite**



Fuente: Taller de TSSSA.

## CONCLUSIONES

1. El programa de mantenimiento predictivo fue elaborado, utilizando análisis de aceite, involucrando a la mayoría de equipos motorizados de la empresa.
2. La implementación del mantenimiento predictivo en la flota de vehículos agrícolas y automotrices permite la reducción de costos de reparación a través de la detección temprana de problemas mayores.
3. Al utilizar el análisis de aceite permitirá conocer las tasas de desgaste que sufren los equipos según su tipo, por lo que puede adecuarse el régimen de mantenimiento a las exigencias de cada grupo de maquinaria.
4. Al estudiar los problemas significativos en las instalaciones eléctricas del Taller Agrícola y Automotriz, se logró reducir el consumo de energía eléctrica a través del balance de cargas en las líneas principales.
5. La utilización adecuada del análisis de aceite permitirá conocer el avance del desgaste en los elementos internos de un equipo, por lo que pueden reconocerse patrones e identificar fallas de forma temprana.



## RECOMENDACIONES

Al superintendente del Departamento de Taller Agrícola y Automotriz.

1. Dar seguimiento al programa de mantenimiento predictivo del Taller Agrícola y Automotriz, extrayendo muestras de aceite en cada cambio de lubricante para todos los equipos motorizados de la empresa, analizando y archivando los resultados de cada muestra para registrar asegurar la detección de fallas en la maquinaria.
2. Analizar la evolución del desgaste de cada equipo, de forma que sea posible la detección temprana de fallas, para reducir costos de reparación y paros no programados.
3. Utilizar el análisis de aceite para adecuar los intervalos entre servicios a cada tipo de maquinaria, para disminuir las tasas de desgaste y prolongar la vida de los equipos.
4. Monitorear el balance de cargas en las líneas principales del Taller Agrícola y Automotriz, para evitar la sobrecarga y disminuir pérdidas.
5. Determinar los límites terminales y patrones presentados por los equipos previo a fallar, de modo que al observarlos se puedan tomar acciones para corregir el problema antes de extenderse.





## BIBLIOGRAFÍA

1. AGAT LABORATORIES. *Oil analysis guide*. Canada: AGAT Laboratories, 2004. 24 p.
2. AVALLONE, Eugene A. *Standard Handbook for mechanical engineers*. 10<sup>a</sup> ed. EE.UU.: McGraw-Hill, 1996. 1683 p.
3. D. M. PIRRO. *Lubrication Fundamentals*. 2<sup>a</sup> ed. EE.UU.: Marcel Dekker, Inc. 2001. 515 p.
4. EXXON MOBIL CORPORATION. *Fundamentos de la supervisión del estado del aceite*. Bélgica: Exxon mobil corporation, 2008. 20 p.
5. ROBERT M. GRESHAM. *Lubrication and maintenance of industrial machinery*. 2<sup>a</sup> ed. EE.UU.: Taylor & Francis Group. 298 p.
6. SHELL OIL COMPANY. *Getting results fast, a guide to shell rapid lubricants analysis*. EE.UU.: Shell International Petroleum Company Limited, 2012. 11 p.
7. VITERI, Luis; JARAMILLO, Juan. *Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del ilustre municipio del Cantón Archidona*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2011. 186 p.



## ANEXO

### Elementos de desgaste y aditivos

METAL	FUENTES COMUNES	RECOMENDACIÓN
Aluminio (Al)	Cojinetes, cuñas, arandelas, pistones, canastas de rodamientos y turbinas.	Verificar nivel de sílice, puede ser contaminación con polvo. De lo contrario enfocarse en la zona del cilindro.
Cromo (Cr)	Sellos, canastas de rodamientos, anillos y aditivos del sistema de enfriamiento.	Puede representar desgaste. Verificar la fuente.
Cobre (Cu)	Rodamientos, cojinetes, engranajes, válvulas y retenedores.	Verificar desgaste en cojinetes.
Hierro (Fe)	Block, engranajes, camisas de cilindros, guías de válvulas, anillos de pistón.	Normalmente representa desgaste en piezas.
Estaño (Sn)	Cojinetes, bulón y retenedores.	Verificar desgaste en cojinetes.
Plomo (Pb)	Cojinetes, retenedores y aditivos en el lubricante.	Verificar desgaste en cojinetes.

<b>METAL</b>	<b>FUENTES COMUNES</b>	<b>RECOMENDACIÓN</b>
Sílice (Si)	Polvo, aditivo en grasas y sellos.	Verificar sistema de admisión de aire y procedimiento de toma de muestra.
Molibdeno (Mo)	Anillos de pistón.	Verificar niveles de hierro, cromo y níquel.
Níquel (Ni)	Rodamientos, válvulas, álabes de turbina y pistones.	Puede representar desgaste inicial en rodamientos.
Plata (Ag)	Canastas de rodamiento y soldaduras en aluminio.	Puede representar desgaste inicial en cojinetes. Verificar sistema de enfriamiento.
Potasio (K)	Aditivo del refrigerante.	Puede indicar fuga en el sistema de enfriamiento.
Sodio (Na)	Aditivo del refrigerante, de la grasa y sal de carretera. Polvo en pequeñas cantidades.	Puede indicar fuga en el sistema de enfriamiento.
Boro (B)	Aditivo de extrema presión, aditivo del refrigerante e inhibidor del agua.	Puede indicar mezcla con aditivos o fuga en el sistema de enfriamiento.
Bario (Ba)	Aditivo detergente.	Mezcla con aditivos o lubricantes diferentes.
Calcio (Ca)	Agua dura, aditivos de base alcalina y sal de carretera.	Mezcla con aditivos o lubricantes diferentes.

<b>METAL</b>	<b>FUENTES COMUNES</b>	<b>RECOMENDACIÓN</b>
Magnesio (Mg)	Aleaciones de aluminio y aditivo detergente.	Mezcla con aditivos o lubricantes diferentes.
Manganeso (Mn)	Válvulas, aditivo en gasolina sin plomo.	Puede representar gasolina en el lubricante.
Fósforo (P)	Aditivo antidesgaste, de extrema presión y del refrigerante.	Puede representar fuga en el sistema de enfriamiento.
Vanadio (V)	Álabes de turbina.	Desgaste en turbocargadores.
Cinc (Zn)	Aditivo antidesgaste, inhibidor de la corrosión y aleaciones.	Puede representar mezcla con aditivos.

Fuente: Oil Analysis Guide, AGAT Laboratories. p. 5.

