

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

*Trabajo de titulación previo a  
la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL  
SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA EN LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE  
LUBRICANTE”**

**AUTORES:**

ALEJANDRO ISRAEL GÁLVEZ RODRÍGUEZ  
DAVID JESÚS PAUCAR ZHAGÜI

**TUTOR:**

ING. MILTON OSWALDO GARCÍA TOBAR M.SC.

CUENCA - ECUADOR

2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Alejandro Israel Gálvez Rodríguez con documento de identificación N° 1104775752 y David Jesús Paucar Zhagüi con documento de identificación N° 0105863484, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020



---

Alejandro Israel Gálvez Rodríguez

C.I. 1104775752



---

David Jesús Paucar Zhagüi

C.I. 0105863484

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE**”, realizado por Alejandro Israel Gálvez Rodríguez y David Jesús Paucar Zhagüi, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020



---

Ing. Milton García Tobar, M.Sc.

C.I. 0104282181

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Alejandro Israel Gálvez Rodríguez con documento de identificación N° 1104775752 y David Jesús Paucar Zhagüi con documento de identificación N° 0105863484, autores del trabajo de titulación: “**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE**”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, junio del 2020



---

Alejandro Israel Gálvez Rodríguez

C.I. 1104775752



---

David Jesús Paucar Zhagüi

C.I. 0105863484

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la salud y fortaleza para culminar con éxito una fase más de mi vida en mi formación como profesional.

Agradezco a mi madre y abuelitos por haberme brindado su apoyo incondicional desde que tengo uso de la razón hasta el momento, han sido el pilar fundamental para poder llevar a cabo mis estudios y a la vez por inculcarme valores que me han permitido crecer como persona.

A mi familia en general y amigos por siempre estar presentes y haberme brindado su apoyo durante mis estudios universitarios.

Al ingeniero Milton García por su profesionalismo al saber guiarnos durante el desarrollo de este proyecto técnico.

**Alejandro Gálvez**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de manera especial a mis padres por su apoyo incondicional durante mi carrera universitaria, por haberme guiado con sus valores.

Agradezco a mi tutor por el apoyo brindado para realizar este proyecto de investigación y a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme crecer como persona y profesional.

A todas las personas que he ido conociendo durante mi carrera profesional, por el apoyo que siempre obtuve.

**David Paucar**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación se lo dedico a mi madre y a mis abuelitos debido a que son las personas que me han motivado día a día para superarme y gracias al apoyo incondicional que me han brindado he logrado alcanzar mis metas.

**Alejandro Gálvez**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi familia por el apoyo durante mis años de estudio quienes me motivaron en cada paso hasta lograr una meta más, el pilar fundamental de la persona que soy y batallar contra las bajas que en la vida se me han presentado.

A mi padre que a pesar de la distancia me acompaña a recorrer mi camino con sus consejos para seguir creciendo como persona y profesional. A mi madre que siempre se encuentra en cada logro de mi vida, me ha enseñado a persistir y esforzarme por cumplir mis anhelos. Me formaron con valores, virtudes y brindado la libertad de tomar decisiones para poder aumentar mis conocimientos y culminar este proyecto.

En memoria de Mamita Rosa, no pudo acompañarme en este nuevo logro, pero siempre se encuentra en mi mente, de manera especial por todo los consejos y el cariño, siempre estuvo en los momentos más difíciles.

**David Paucar**



*ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA EN LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE*

---



## RESUMEN

El presente proyecto técnico consiste en analizar la influencia del sobrecalentamiento del motor de combustión interna en la degradación del aceite lubricante.

En primer lugar, se demuestra el origen de los motores de combustión interna y su principio de funcionamiento. El motor de combustión interna es capaz de generar potencia y torque, a través de la transformación de energía química en energía mecánica. Se establece como prioridad de estudio al sistema de lubricación y refrigeración de un motor de combustión interna debido a que el proyecto técnico se basa en el análisis del comportamiento del aceite lubricante expuesto a diferentes temperaturas de funcionamiento. Se determina la función que cumple el aceite lubricante en el motor, composición, propiedades y factores de degradación.

Posteriormente se establece un protocolo de muestreo, el cual detalla información relativa al vehículo que se utiliza y su respectivo mantenimiento para el desarrollo del proyecto, se determina las diferentes variables que pueden influir en el comportamiento del vehículo como en la degradación del aceite lubricante.

Es fundamental definir y conocer perfectamente el equipo con el que se va a realizar el procesamiento de las muestras para obtener la información necesaria y así poder analizar el comportamiento del aceite Kendall 10W – 30. Se debe cumplir con ciertas normas establecidas tanto para el funcionamiento del equipo como para la limpieza de todos los materiales y recursos del laboratorio.

Por último, se analiza la cantidad de partículas contaminantes presentes en el aceite, en donde se podrá determinar el comportamiento y el nivel de contaminación a lo largo de su vida útil.



## SUMMARY

This technical project consists of analyzing the influence of overheating the internal combustion engine on the degradation of the lubricating oil.

In order to do this, the origin of internal combustion engines and their operating principle will be demonstrated. The internal combustion engine is capable of generating power and torque, through the transformation of chemical energy into mechanical energy. The lubrication and cooling system of an internal combustion engine is established as a study priority because this technical project is based on the analysis of the behavior of the lubricating oil exposed to different operating temperatures. The role of the lubricating oil in the engine, composition, properties and degradation factors are determined.

Subsequently, a sampling protocol is established, which provides detailed information regarding the vehicle that is used and its respective maintenance for the development of the project. This determines the different variables that can influence the behavior of the vehicle, such as the degradation of the lubricating oil.

It is essential to perfectly know and define the equipment with which the samples will be processed in order to obtain the necessary information and thus be able to analyze the behavior of the Kendall 10W - 30 oil. Certain established standards must be complied for both the operation equipment and cleaning of all materials and laboratory resources.

Finally, the number of contaminating particles present in the oil will be analyzed in order to determine the behavior and the level of contamination of the oil throughout its useful life.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA</b> .....	2
<b>CERTIFICADO</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	7
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>SUMMARY</b> .....	11
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	14
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	14
<b>Capítulo 1: Fundamento Teórico</b> .....	1
1.1. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	1
1.1.1. Ciclo de Funcionamiento de un MCI.....	1
1.1.2. Par Motor, Potencia y Cilindrada .....	5
1.1.3. Sistema de Lubricación de un MCI .....	6
1.1.4. Sistema de Refrigeración de un MCI.....	7
1.2. ACEITE LUBRICANTE.....	10
1.2.1. Constitución del Aceite Lubricante .....	10
1.2.2. Funciones del Aceite Lubricante .....	11
1.2.3. Propiedades del Aceite Lubricante .....	12
1.2.4. Aditivos.....	14
1.2.5. Degradación del Aceite.....	16
1.3. ESTADO DEL ARTE .....	18
<b>Capítulo 2: Protocolo de Muestreo</b> .....	21
2.1. DATOS DEL VEHÍCULO.....	21
2.2. VARIABLES DE ENTRADA .....	22
2.2.1. Mantenimiento de un MCI.....	22
2.2.2. Combustibles .....	26
2.2.3. Rutas .....	26
2.3. PROCESOS PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS .....	27
2.4. ETIQUETA DE IDENTIFICACIÓN .....	28
<b>Capítulo 3: Procesamiento</b> .....	29
3.1. EQUIPO DE CONTEO DE PARTÍCULAS .....	29

3.1.1.	Composición.....	30
3.1.2.	Características.....	30
3.1.3.	Datos Técnicos.....	31
3.1.4.	Principio de Funcionamiento .....	31
3.1.5.	Dilución de la Muestra.....	32
3.1.5.1.	Método Volumétrico .....	32
3.1.6.	Partículas Perjudiciales y No Perjudiciales .....	33
3.2.	MONITORIZACIÓN DE ACEITE.....	33
3.2.1.	Recursos para Laboratorio .....	34
3.2.2.	Procesamiento de Muestras .....	35
3.2.3.	Adquisición de Datos .....	35
3.2.4.	Limpieza .....	36
3.2.5.	Procesamiento de Datos .....	36
<b>Capítulo 4:</b>	<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>38</b>
4.1.	LÍMITES ESTADÍSTICOS .....	38
4.1.1.	Determinación de Límites.....	38
4.1.2.	Interpretación de Líneas de Tendencia .....	40
4.1.2.1.	Tendencia Normal .....	40
4.1.2.2.	Tendencia Anormal .....	40
4.2.	ANÁLISIS DE GRÁFICAS .....	41
4.1.3.	Partículas de 1 $\mu m$ .....	41
4.1.4.	Partículas de 20 $\mu m$ .....	43
	<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>46</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>49</b>
	<b>Anexo A: Análisis de Gráficas .....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ciclo de un motor. ....	2
Figura 1.2: Primera Fase – Admisión. ....	3
Figura 1.3: Segunda Fase – Compresión. ....	4
Figura 1.4: Tercera Fase – Expansión. ....	4
Figura 1.5: Cuarta Fase – Escape. ....	5
Figura 1.6: Sistema de Lubricación. ....	6
Figura 1.7: Sistema de Refrigeración. ....	7
Figura 1.8: Función del Aceite Lubricante. [9]. ....	10
Figura 1.9: Constitución del Aceite Lubricante. [10]. ....	10
Figura 2.1: Chevrolet Astra 2.0 L. ....	22
Figura 2.2: Bujía. ....	23
Figura 2.3: Cables de Bujía. ....	23
Figura 2.4: Filtros Automotrices. ....	24
Figura 2.5: Inyector. ....	24
Figura 2.6: Ruta que Recorrió el Vehículo con Frecuencia. ....	26
Figura 2.7: Procedimiento de Recolección de Muestras. ....	27
Figura 3.1: Equipo Contador de Partículas YJS-150. ....	29
Figura 3.2: Composición del Contador de Partículas YJS-150. ....	30
Figura 3.3: Principio de Extinción de Luz. ....	32
Figura 3.4: Mapa del Procesamiento de Muestras. ....	35
Figura 3.5: Esquema Característico de Datos. ....	36
Figura 3.6: Datos Obtenidos. ....	37
Figura 4.1: Cálculos Realizados. ....	39
Figura 4.2: Posibles Casos de Líneas de Tendencia. ....	40
Figura 4.3: Gráfica Dispersión de Puntos 1 $\mu\text{m}$ . ....	42
Figura 4.4: Gráfica Líneas de Tendencia 1 $\mu\text{m}$ . ....	43
Figura 4.5: Gráfica Dispersión de Puntos 20 $\mu\text{m}$ . ....	44
Figura 4.6: Gráfica Líneas de Tendencia 20 $\mu\text{m}$ . ....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Elementos del Sistema de Refrigeración. ....	9
Tabla 1.2: Tipos de Desgaste de Elementos Internos del MCI. [11] ....	12
Tabla 1.3: Aditivos que Componen un Aceite Lubricante. [16] [17] ....	15
Tabla 2.1: Información General del Vehículo. ....	21
Tabla 2.2: Características Técnicas del Aceite Lubricante Kendall 10w30. ....	25
Tabla 2.3: Etiqueta de Muestreo. ....	28
Tabla 3.1: Datos Técnicos del Contador de Partículas YJS-150. ....	31
Tabla 3.2: Elementos para Laboratorio. ....	34



## Capítulo 1

---

# Fundamento Teórico

---

### 1.1. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

La historia de los motores de combustión interna inicia por la creación casi simultánea de dos ingenieros Gottlieb Daimler y Karl Benz que dieron la pauta para lo que hoy en día todo el mundo conoce [1]. Los motores que fueron creados originalmente no poseían la fase de compresión, pero con el transcurso de los años hasta la actualidad fue implementada, lo que produce un calentamiento del motor y provoca que la mezcla sea más homogénea por la presión que se tiene [2].

#### 1.1.1. Ciclo de Funcionamiento de un MCI

Como su nombre lo indica todo el trabajo se realiza en el interior del cilindro, el motor se encarga de transformar la energía calorífica en trabajo. Su funcionamiento se comprende por un pistón que ejerce una fuerza, es decir, se contrae y expande en un ciclo de trabajo que contiene cuatro fases. El pistón está unido al cigüeñal por medio de una biela, que convierte el movimiento lineal del pistón en un movimiento rotativo. Inicialmente ingresa la mezcla de aire y combustible a la cámara de combustión, en este punto el pistón desciende y la válvula de admisión se abre permitiendo esta acción [1]. En la siguiente fase el pistón asciende generando una presión, esta tarea altera al combustible que ingresó por la válvula de admisión provocando que estalle, esto se produce por una chispa que es generada por la bujía, posteriormente la explosión efectuada genera que el pistón descienda para entrar a la siguiente fase conocida como trabajo, para finalmente abrir la válvula de escape donde el pistón asciende expulsando los gases por el escape y el ciclo se repetirá [2].



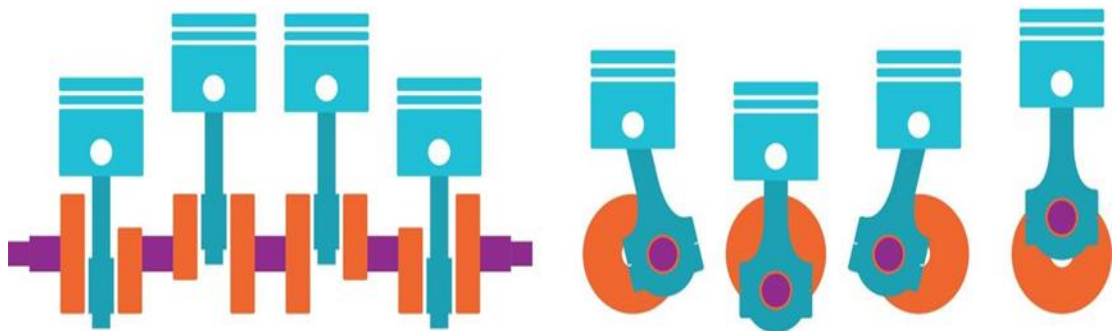
El motor de combustión interna presenta varias ventajas frente a las máquinas de vapor, su principal característica es el beneficio de la energía, pues en las máquinas la energía se sitúa en el exterior, mientras que en el motor de combustión interna se ubica en el interior del cilindro [2].

El movimiento rotativo se transmite a los diferentes mecanismos del vehículo entre los cuales se tiene (ejes, caja de cambios, etc.); para finalmente transmitir a las ruedas, con el fin de movilizar al automóvil con la carga y velocidad que se requiera [1].

Cuando se tiene energía calorífica, parte de la misma se transforma en energía cinética, para luego convertirse en trabajo útil que se aplicará a los neumáticos, el otro porcentaje de la energía calorífica se pierde en el sistema de refrigeración y en el sistema de escape [1].

De igual forma este movimiento tendrá que sincronizarse con el sistema valvular con el fin de permitir el ingreso de la mezcla, es decir, a través de la válvula de admisión y por otro lado la salida de los gases, estos se desplazarán por la válvula de escape [2].

En lo que respecta a las fases del ciclo que debe cumplir el pistón, se tiene dos carreras donde debe descender y por otro lado dos carreras donde debe ascender para poder cumplir con cada fase del ciclo como indica la Figura 1.1.



*Figura 1.1: Ciclo de un Motor.*

Anteriormente se explicó que el encendido de este motor es generado por chispa que actúa en la mezcla de aire y combustible que se encuentra en la cámara de combustión.

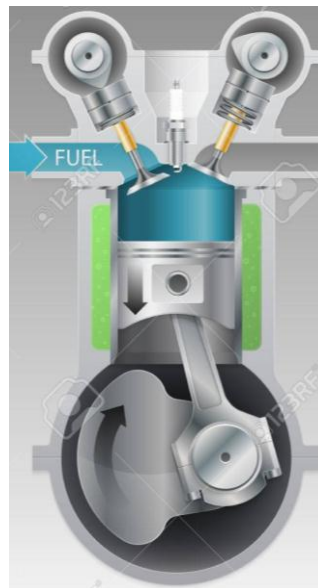
Como su nombre lo indica su funcionamiento se cumple en un ciclo de cuatro tiempos, mismos que se describen a continuación:





➤ **Primera Fase: Admisión**

En este punto se da el ingreso de combustible para lo cual se abre la válvula de admisión al mismo tiempo que el cilindro desciende al Punto Muerto Inferior (PMI), la válvula de admisión se abre gracias a la sincronización del árbol de levas y el cigüeñal, este acontecimiento puede ser generado por la ayuda del motor de arranque o por la inercia del propio motor como se observa en la Figura 1.2, cuando el pistón baja provoca una caída de tensión en el cilindro, la mezcla entre aire y combustible se genera por el vacío creado, este proceso también es conocido como mezcla inflamable por ende la válvula se cierra y se da paso a la siguiente fase [2].



*Figura 1.2: Primera Fase – Admisión.*

➤ **Segunda Fase: Compresión**

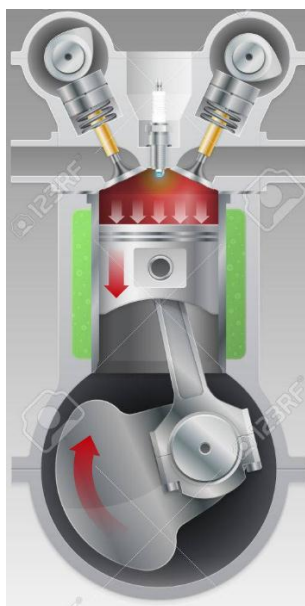
La mezcla situada en la cámara de combustión se comprime por el ascenso del pistón. En esta fase la presión de la mezcla aumenta, esto puede suceder por el incremento de la temperatura o a su vez la reducción del volumen en la cámara de combustión lo cual genera que la mezcla se quemé, se debe recalcar que por el siglo XX los motores de combustión interna realizaban su funcionamiento sin considerar la fase de compresión, después de realizar estudios; Otto determinó que se puede tener un aumento de potencia comprimiendo la mezcla previa a que se inflame [2]. La fase de compresión se puede observar en la Figura 1.3.



*Figura 1.3: Segunda Fase – Compresión.*

➤ **Tercera Fase: Expansión**

En esta fase el gas supera la presión máxima, se genera el salto de la chispa en el electrodo de la bujía. Debido a que el pistón alcanza el PMS (Punto muerto superior) Este proceso se da para realizar la explosión entre la mezcla de aire y combustible y la chispa que se genera, provocando que el pistón descienda de una manera desapacible como indica la Figura 1.4, se produce un mayor volumen dando lugar al trabajo, para luego continuar con la siguiente fase [2].



*Figura 1.4: Tercera Fase – Expansión.*



➤ **Cuarta Fase: Escape**

Al inicio de esta fase el pistón se encuentra en el PMI, en este proceso el mismo asciende para expulsar los gases de escape, mientras se realiza este proceso, el árbol de levas se encuentra girando conjuntamente con el cigüeñal lo que permite que la válvula de escape se abra como se indica en la Figura 1.5, los gases que se generaron por la fase anterior son desplazados hacia el exterior a través de un conducto que se conecta al múltiple de escape para finalmente salir a la atmósfera [2].



*Figura 1.5: Cuarta Fase – Escape.*

**1.1.2. Par Motor, Potencia y Cilindrada**

El trabajo que se realiza dentro del motor donde actúan los cilindros, cigüeñal, bielas entre otros elementos genera una correcta cilindrada, depende de la fuerza con la cual se den los impulsos en el interior de los cilindros y se puede medir en kilogramos (*kg*).

La potencia se obtiene al multiplicar el par motor por las revoluciones con las que trabaja el motor y las unidades de cálculo dependen de la conversión.

La cilindrada de un motor se obtiene a partir de la Ecuación 1.1:

$$C = \pi * r^2 * h * N \quad (1.1)$$



### 1.1.3. Sistema de Lubricación de un MCI

El funcionamiento de este sistema inicia por la aspiración del aceite lubricante que reposa en el cárter, el cual deberá pasar a través del colador para evitar la circulación de partículas contaminantes en los elementos del motor, para que este proceso se realice, la bomba envía el lubricante con una presión ya determinada que es limitada por una válvula de alivio en base a las revoluciones del motor (*RPM*) como indica la Figura 1.6, para finalmente circular a través de un filtro que cumple la función similar del colador para purificar en un mayor porcentaje el lubricante y este ser distribuido por todo el sistema [3].

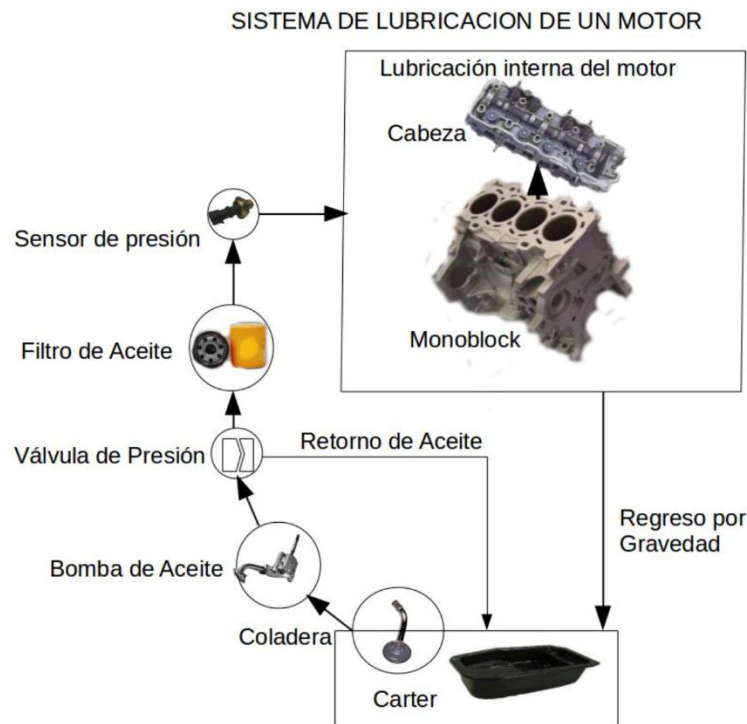


Figura 1.6: Sistema de Lubricación.

#### ➤ Relación Eficiencia – Temperatura

La temperatura del aceite lubricante puede reflejar una baja eficiencia del motor de combustión interna, es decir, cuando se tiene elevadas temperaturas el lubricante tiende a perder sus propiedades, la viscosidad disminuye provocando que la fricción entre los elementos sea más agresiva y así reduzca la vida útil del motor, por otro lado, cuando se trabaja a bajas temperaturas el lubricante se espesa y cumple su recorrido en un mayor tiempo [4].



#### 1.1.4. Sistema de Refrigeración de un MCI

Todos los motores de combustión interna necesitan disipar el calor generado por la explosión de combustible que se produce, en este punto actúa el sistema de refrigeración. Los motores de aviones, automóviles, etc. Son refrigerados por aire, es decir, cuentan en el exterior con un conjunto de láminas con el fin de disipar el calor que se provoca en el interior del cilindro como se muestra en la Figura 1.7, se tiene motores donde la refrigeración es por agua, los cilindros se alojan dentro de una carcasa, la misma que se encuentra con agua y circula con ayuda de una bomba [5].

Por otro lado, se tiene un radiador que su función básicamente es refrigerar el agua, se debe recalcar que el líquido necesario para realizar este proceso de enfriamiento no es netamente agua, debido a que se tendrán temperaturas elevadas [6].

Para un correcto funcionamiento del sistema de refrigeración se debe utilizar líquido refrigerante, caso contrario se puede disminuir la capacidad de enfriamiento del sistema debido a la formación de sedimentos o sarro que puede adherirse a las paredes del motor o del radiador [5].

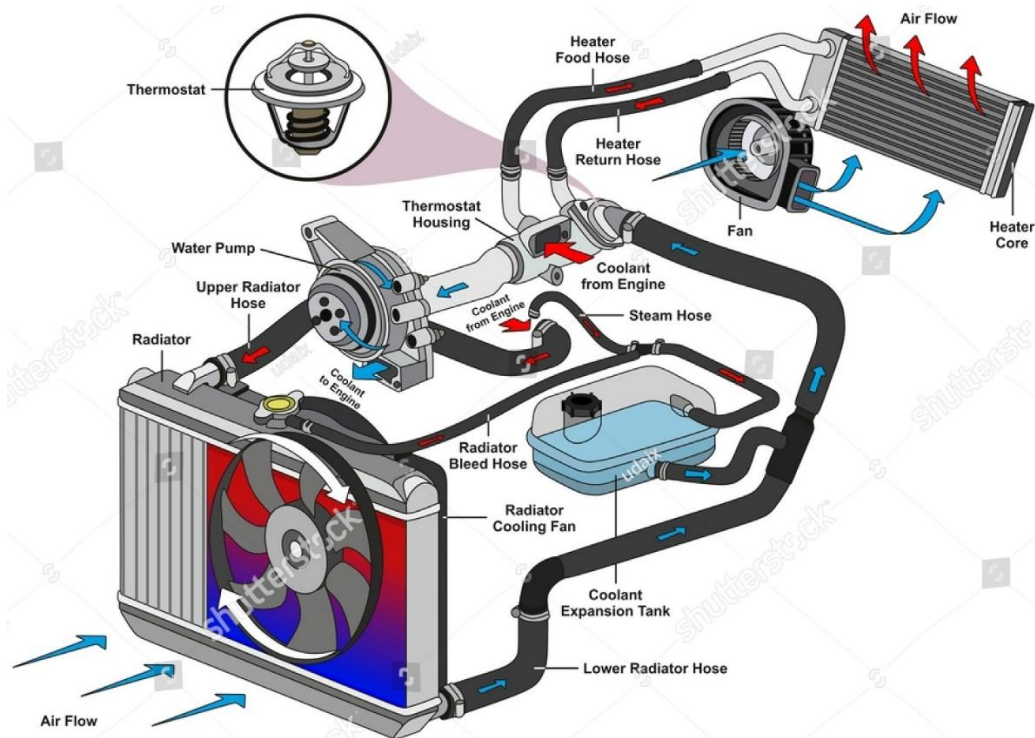


Figura 1.7: Sistema de Refrigeración.



➤ **Radiador**

El objetivo de este elemento consiste en permitir la circulación del líquido refrigerante. La temperatura de ingreso del líquido hacia el radiador es elevada debido que transita por partes del motor, el radiador consta de pequeñas celdas que permiten la filtración de aire con el objetivo de disminuir la temperatura del refrigerante y a su vez poder mantenerla estable para que el motor funcione correctamente [5].

➤ **Electroventilador**

Es un dispositivo que sirve para disminuir la temperatura del motor cuando el mismo excede su límite, se enciende cuando entra en funcionamiento un termo contacto que normalmente trabaja cuando la temperatura se encuentra entre 90 °C y 100 °C. Por lo contrario, el motor del electroventilador deja de trabajar cuando la temperatura disminuye entre los 80 °C y 90 °C [5].

➤ **Bomba de agua**

Su función consiste en circular el agua a través del circuito de refrigeración del motor con el fin evacuar la mayor cantidad de calor, cuando el motor está en funcionamiento mientras el giro del mismo sea mayor existirá un aumento de temperatura, la bomba estará sincronizada con el motor y su velocidad dependerá de él, la circulación de agua se verá afectada si la bomba presenta algún problema de funcionamiento; para evitar un sobrecalentamiento del motor el usuario podrá verificar la temperatura del refrigerante en el tablero del vehículo [5].

➤ **Termostato**

En la Tabla 1.1, se puede apreciar los elementos que conforman el sistema de refrigeración, estos permiten la circulación del líquido refrigerante por el circuito de refrigeración cuando la temperatura del motor llega a su límite, se debe tener en cuenta que el motor funciona correctamente en un parámetro de temperatura [5].

La temperatura como tal incide directamente sobre la alimentación y la lubricación, si la temperatura es baja el aceite lubricante tiene una textura densa y esto provoca que los elementos no trabajen correctamente por lo que se tiene una pérdida de potencia [5].



Si el motor trabaja con una temperatura baja o no deseada genera poco trabajo y esto provoca un mayor consumo para obtener una correcta potencia. Por otro lado, al tener una temperatura elevada el aceite lubricante se vuelve menos viscoso lo que provoca ciertos cambios en sus características, es decir, pierde un porcentaje de sus propiedades y esto puede generar repercusiones en los elementos que requieren lubricación, como son los elementos móviles, su desempeño no será el mismo generando más problemas al motor y esto reduciría su vida útil [5].

*Tabla 1.1: Elementos del Sistema de Refrigeración.*

<b>ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>	
<b>RADIADOR</b>	
<b>ELECTROVENTILADOR</b>	
<b>BOMBA DE AGUA</b>	
<b>TERMOSTATO</b>	



## 1.2. ACEITE LUBRICANTE

El aceite lubricante tiene como función reducir el desgaste excesivo de piezas que se encuentran en constante fricción, es decir, el aceite debe contrarrestar el calor de cierta zona [7]. Por otro lado, previene la formación de suciedades sobre las superficies de las piezas y las protege de la corrosión [8]. La función del aceite lubricante se puede apreciar en la Figura 1.8.

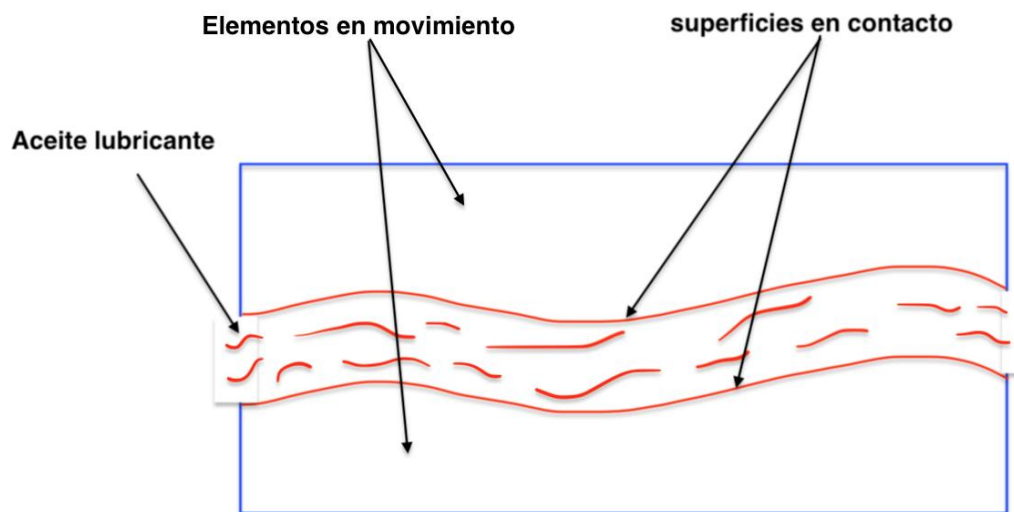


Figura 1.8: *Función del Aceite Lubricante.* [9]

### 1.2.1. Constitución del Aceite Lubricante

En la Figura 1.9 se puede apreciar la constitución del aceite lubricante, los mismos están compuestos por: **las bases** estas pueden ser (minerales o sintética) y por **los aditivos**; los cuales modifican sus propiedades [8].



Figura 1.9: *Constitución del Aceite Lubricante.* [10]





### 1.2.2. Funciones del Aceite Lubricante

Existen muchos tipos de lubricantes, estos se diferencian de acuerdo a su aplicación o a las propiedades o características que posee cada uno, sin embargo, estos son producidos con el fin de cumplir ciertas funciones [9], entre las cuales se tiene:

➤ **Reducción de fricción y desgaste**

Normalmente se tiene que la fricción genera calor y esta a su vez da lugar a la degradación de la superficie en contacto produciendo desgaste, por tal motivo se emplean los lubricantes, los cuales son capaces de reducir la fricción o desgaste con una película de fluido que es capaz de soportar o disminuir la carga entre las dos superficies [9].

➤ **Control de temperatura**

El calor que se genera puede ser absorbido por los mismos lubricantes de forma que el mismo pueda ser disipado naturalmente, dicha función también se puede lograr a través de la implementación de intercambiadores de calor o cualquier otro sistema de enfriamiento [9].

➤ **Control de contaminación**

Los lubricantes permiten que se prolongue la vida útil de todos los elementos internos de máquinas, motores, etc. Debido a que los mismos son capaces de detener o hacer difícil el ingreso de contaminantes [9].

Los lubricantes son capaces de recoger cualquier tipo de contaminante o impureza, pueden ser removidos al pasar por filtros o pueden asentarse en el fondo del depósito debido a la gravedad [9].

➤ **Prevenir ataque químico**

Por lo general los lubricantes proporcionan una capa protectora a la superficie de cualquier componente, logrando proteger al mismo contra la oxidación y corrosión [9].

Los elementos internos de un MCI tienen diferentes tipos de desgaste, en la Tabla 1.2 se indica cada uno de los elementos y el desgaste al cual se encuentran sometidos.



Tabla 1.2: Tipos de Desgaste de Elementos Internos del MCI. [11]

Parte	Adhesivo	Corrosivo	Abrasivo	Por Fatiga	Erosivo
Camisas, segmentos, pistones	⊗	⊗	⊗		
Levas, empujadores, balancines	⊗	⊗	⊗	⊗	
Vástago – Guía de válvula	⊗		⊗		
Apoyo – Asiento de válvula			⊗		
Engranajes de distribución	⊗		⊗	⊗	
Muñones		⊗	⊗	⊗	⊗
Cojinetes		⊗	⊗		⊗
Órganos Auxiliares	⊗		⊗	⊗	

### 1.2.3. Propiedades del Aceite Lubricante

Las propiedades que poseen cada uno de los aceites lubricantes son fundamentales para las diferentes aplicaciones o funciones con las que deben cumplir, estas propiedades son impuestas y se las puede determinar por las diferentes normas que proporciona el organismo de normalización americano (ASTM - American Society of Testing Materials - Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), mismas que se identifican y describen a continuación [8]:

#### ➤ **Viscosidad**

Se define como viscosidad a la propiedad que posee un fluido para ofrecer resistencia al movimiento relativo de sus moléculas, normalmente se la conoce como la resistencia que posee un líquido para fluir libremente. Es fundamental para permitir una correcta lubricación de los diferentes elementos que constituyen un motor de combustión interna [12].



La viscosidad es una de las propiedades fundamentales de los aceites lubricantes, ya que, es uno de los factores encargados de la formación de la capa de lubricación. La viscosidad del aceite lubricante se determina por varias pruebas realizadas a diferentes temperaturas [13].

➤ **Índice de viscosidad**

Es el valor que relaciona la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura de un aceite lubricante y normalmente sirve para garantizar la calidad y estabilidad del aceite lubricante para un determinado uso, el mismo que al calentarse disminuirá su viscosidad, por lo contrario, si se enfría aumentará [9].

Por lo general el índice de viscosidad indica la capacidad que posee un aceite lubricante para mantener su viscosidad en un amplio rango de temperaturas. Un aceite lubricante al tener un índice de viscosidad alto significa que el cambio de su viscosidad con la temperatura es pequeño, por lo contrario, al tener un índice de viscosidad bajo significa que la viscosidad del aceite lubricante varía mucho con la variación de la temperatura [8].

➤ **Densidad**

En lo que respecta a los aceites lubricantes, la densidad llega a ser una característica de identificación, misma que indica la relación que existe entre la masa del lubricante y el volumen ocupado, la cual se mide a una temperatura constante que por lo general suele ser de 20 °C. La densidad del aceite lubricante varía en función de su naturaleza o por la degradación, la cual puede producirse por su uso o por el ingreso de contaminantes [14].

➤ **Punto de inflamación**

Se conoce como punto de inflamación a la temperatura a la cual el aceite lubricante empieza a desprender cierta cantidad de vapores inflamables, los cuales al aplicarse una llama directa se obtiene un consumo de aceite. Por lo general, el punto de inflamación de un aceite lubricante es considerado una medida de su tendencia a vaporizarse [15].



➤ **Punto de congelación**

Define el comportamiento del aceite lubricante a bajas temperaturas; se conoce como la temperatura a la que deja de fluir, pasando de estado líquido a sólido. El punto de congelación o fluidez se determina por acción de la gravedad, ya que, se coloca el aceite lubricante en un tubo de ensayo o en un recipiente de pruebas para posteriormente inclinarlo, el cual no se debe derramar [15].

➤ **Capacidad Dispersante-Detergente**

En los aceites lubricantes se añade productos Dispersantes-Detergentes para evitar los residuos de carbonilla y residuos no quemados que se generan en el motor, estos se pueden aglomerar y a su vez producir un mal funcionamiento y un prematuro desgaste del mismo. Por lo general esto se logra por la adición de aditivos [8].

1.2.4. **Aditivos**

Son productos químicos que sirven para mejorar las propiedades que normalmente posee la base del aceite [14]. Los aditivos se emplean con el fin de mejorar, distribuir o eliminar varias propiedades de la base de acuerdo a sus requerimientos [8].

Los aditivos están diseñados con el fin de cumplir con dos objetivos principales:

- Proteger la superficie metálica.
- Mejorar las propiedades del aceite base.

Los aditivos se clasifican según la función que cumple cada uno y estos a su vez están compuestos por diferentes elementos químicos, lo cual se indica en la Tabla 1.3.



Tabla 1.3: Aditivos que Componen un Aceite Lubricante. [16] [17]

ADITIVO	FUNCIÓN	COMPOSICIÓN
<b>Mejorador I.V.</b>	Permite mantener su fluidez a bajas temperaturas y su viscosidad a elevadas temperaturas.	Polimetacrilato Copolímeros de hidrocarburos etilénicos Copolímeros mixtos Derivados de isopreno Derivados de estireno
<b>Antidesgastante</b>	Genera una película que protege el desgaste de los elementos en contacto debido a que la superficie lo absorbe.	Fosfitos orgánicos Olefinas sulfuradas Ditiofosfatos de Zinc Compuestos alcalinos
<b>Antioxidantes</b>	Se sacrifican con el fin de proteger al aceite y así prolongar su vida útil.	Compuestos fenólicos Compuestos nitrogenados Terpenos fosfosulfurados
<b>Detergentes</b>	Impide la formación de depósitos o barnices en las zonas más calientes del motor.	Alquilaril - Sulfanato Alquilfenato Alquilosalicilato
<b>Dispersantes</b>	Evitan la aglomeración de todas las impurezas sólidas formadas durante el funcionamiento del motor.	Alquenil succinioamidas Ésteres succínicos Bases Mannich.
<b>Anticorrosivos</b>	Forman una capa de protección, logrando evitar que el agua se adhiera a las superficies.	Sulfonatos alcalinos o Alcalino-terrosos Ácidos o Aminas grasas Ácidos alquenil succínicos
<b>Anticongelantes</b>	Permite mantener una buena fluidez a bajas temperaturas.	Metacrilato Copolímeros maleato estireno Parafinas naftalenas Poliésteres de tipo acetato
<b>Antiespumante</b>	Evita la formación de espuma en el aceite lubricante, limita la dispersión de un gran volumen de aire en el aceite.	Aceites de silicona Acrilatos de alquilo
<b>Antifricción</b>	Reduce la fricción de los elementos en contacto que trabajan bajo presión, puede trabajar a altas temperaturas	Derivados organo-metálicos de molibdeno Derivados de ácidos grasos Moléculas fosfo-azufradas Boratos



### 1.2.5. Degradación del Aceite

En el campo automotriz se utilizan aceites lubricantes, los mismos pueden llegar a perder sus propiedades por varios factores y por tal motivo se reduce la capacidad que poseen para cumplir con sus funciones básicas; esto se conoce como deterioro o degradación del aceite lubricante [18].

Normalmente la degradación del aceite empieza cuando se abre el recipiente que lo contiene, esto debido a que se permite el ingreso del aire y a su vez este tiende a producir oxidación. De igual manera, existen otros parámetros como la temperatura y las condiciones a las que está expuesto a trabajar [18].

Un aceite lubricante al perder sus características o propiedades tiende a provocar un mal funcionamiento en el motor e incluso puede llevar a un agotamiento prematuro de los componentes internos. Por lo general, el aceite lubricante tiende a degradarse por varios factores, entre los cuales se tiene: Oxidación, contaminación, temperatura, nitración, grandes velocidades de cizallamiento, ambientes corrosivos, agotamiento de los paquetes aditivos, etc. [18].

#### **Oxidación**

Es una reacción química que se origina debido a que el aceite lubricante entra en contacto con un elemento oxidante, permitiendo que la estructura molecular del aceite se altere. Producto de la oxidación se tiene un aumento en la viscosidad del aceite lubricante y la formación de productos ácidos, lodos, lacas y barnices, todos estos pueden llegar a ser perjudiciales para los componentes internos del motor [19].

La velocidad con la que se produce la oxidación depende de varios factores, entre los cuales se tiene [9]:

- **Aereación:** Limita la cantidad de oxígeno disponible para reaccionar con las moléculas de aceite.
- **Temperatura:** Cada 10 °C que se incremente en la temperatura produce que la tasa de oxidación sea aproximadamente el doble.
- **Agua:** Causa hidrólisis.
- **Catalizadores metálicos:** Cobre, plomo, hierro.



El proceso de oxidación en el aceite lubricante produce varias reacciones que son capaces de cambiar las propiedades físicas y químicas de las siguientes maneras [9]:

- Aumento de viscosidad.
- Aumento de acidez.
- Aumento de densidad relativa.
- Acumulación de lodos.
- Superficies de elementos internos con barniz.

### **Descomposición térmica**

El aceite lubricante está expuesto a trabajar a elevadas temperaturas, por lo general en la cámara de combustión se puede llegar a alcanzar temperaturas que oscilan entre los 200 °C y 300 °C [20].

La vida útil del aceite lubricante se reduce a la mitad por cada 10 °C que se incrementa en la temperatura del mismo. El resultado de la descomposición térmica contiene polímeros y compuestos insolubles, los cuales permiten la formación de barnices [18].

### **Contaminación**

La contaminación en el aceite lubricante se produce debido a su uso, puesto que, va adquiriendo sustancias extrañas que normalmente se las conoce como contaminantes. Estos contaminantes pueden encontrarse en estado líquido, gaseoso, sólido o semisólido, los mismos pueden ser generados por el aceite o por los diferentes sistemas que complementan al motor [20].

La contaminación del aceite lubricante es muy perjudicial porque altera sus propiedades químicas y físicas, dando lugar a una degradación prematura del aceite y a su vez daños en los componentes internos del motor [20].

### **Degradación de aditivos**

Los aditivos están diseñados con el objetivo de prolongar la vida útil del aceite lubricante a través de la mejora y aportación de varias propiedades, sin embargo, los aditivos pierden efecto cuando se tiene la reacción de los antioxidantes y detergentes con productos intermedios de la degradación, permitiendo que se acelere el proceso de degradación [20].



La degradación del paquete de aditivos se produce por varias circunstancias, entre las cuales se tiene [18]:

- Aditivos de mala calidad.
- Combustible adulterado o de mala calidad.
- Mala combustión:
  - La temperatura del motor debe estar siempre sobre los 80 °C.
  - Bomba de combustible con presión elevada.
  - Inyectores en mal estado.
  - Válvulas mal calibradas.
  - Desgaste del bloque, camisas o rines.
  - Mala sincronización.
- Limpieza de lodos dejados por el aceite anterior.

Producto de la degradación del paquete de aditivos se tiene que muchos de los elementos químicos que lo conforman se ven afectados, entre estos se tiene [18]:

- |                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| ➤ Calcio             | Detergentes/Dispersantes |
| ➤ Magnesio           | Detergentes/Dispersantes |
| ➤ Sulfonato de Sodio | Detergentes/Dispersantes |
| ➤ Zinc               | Antidesgaste             |
| ➤ Fósforo            | Antidesgaste             |
| ➤ Molibdeno          | Antifricción             |
| ➤ Boro               | Antidesgaste             |

### 1.3. ESTADO DEL ARTE

El análisis del aceite lubricante es un enfoque eficaz para juzgar el estado de la máquina y así proporcionar información para realizar el respectivo mantenimiento [21]. El monitoreo de la condición de lubricación (LCM) se utiliza para el diagnóstico y pronóstico de fallas bajo mantenimiento basado en la condición (CBM). El LCM se considera como una técnica importante de monitoreo de condición, debido a la amplia información derivada de las pruebas de lubricante que demuestra el estado del MCI y del lubricante [21]. Este proceso consiste en tres pasos principales: Adquisición de datos, Procesamiento de datos y Toma de decisiones de mantenimiento [22].





Los aceites de motor son productos tecnológicamente complejos que deben trabajar en diversas condiciones de carga [23] [24]. Los aceites obtenidos de forma básica no pueden satisfacer netamente los requisitos de los motores de combustión interna [25], por tal motivo, se agregan productos químicos utilizados para mejorar y modificar las funcionalidades de los lubricantes, mejor conocidos como aditivos [22]. Las funciones principales de los lubricantes incluyen reducir el desgaste y la fricción, proteger contra la corrosión y el óxido, limpiar el sistema y eliminar los contaminantes del sistema que se lubrica [26].

Por otro lado, el proceso de degradación de los lubricantes del motor es un fenómeno complejo que afecta el rendimiento del mismo. Varios factores, como la oxidación a altas temperaturas de funcionamiento, las partículas de desgaste y la contaminación por combustible, hollín o agua, juegan un papel en el proceso de degradación [27]. La temperatura de funcionamiento a la que se encuentra sometido el lubricante es una de las causas principales por las que se produce su degradación, su viscosidad disminuye al estar expuesto a elevadas temperaturas y consecuentemente se tiene una alteración en sus propiedades físicas y químicas [28].

El aceite de motor experimenta una serie de fases térmicas y oxidativas que producen productos ácidos en su matriz, lo que conduce a la degradación del aceite base [29], por lo general se deduce que la degradación del aceite se produce porque dependen principalmente del estado mecánico y las condiciones de operación. Sin embargo, el momento exacto del cambio del mismo es complejo de pronosticar, pero es de gran interés desde un punto de vista ecológico y económico [30].

La parte más importante de un vehículo es el motor, debido a que, es la fuente de energía principal. Solo el 20 % de la energía térmica generada por el motor del vehículo puede convertirse en energía mecánica, mientras que aproximadamente el 30% en los gases de escape, y el 50 % restante es el exceso de energía que debe enfriarse a través del sistema de refrigeración [31]. Si ocurre una anomalía en la temperatura del motor y el sistema de refrigeración no puede disipar el exceso de calor, se tendría un mal funcionamiento del motor y a su vez acortaría su vida útil [32]. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta el sobrecalentamiento de los motores cuando se opera a plena carga [31].



El sobrecalentamiento de los motores de combustión interna se produce por el aumento de la temperatura del refrigerante, pues provoca una disminución en la potencia de los flujos de calor de las superficies calentadas; al sobrepasar las temperaturas que soportan cada uno de los materiales se tiene un cambio en la estructura del material, empeora sus propiedades físicas y mecánicas, y conduce a una fuerte disminución en la resistencia y confiabilidad de las partes internas del motor [33].



## Capítulo 2

# Protocolo de Muestreo

El presente capítulo tiene como finalidad identificar los diferentes recursos y procesos utilizados para realizar un correcto muestreo del aceite lubricante empleado en un vehículo utilitario, así como los diferentes parámetros a tener en cuenta para conservar un motor en perfectas condiciones.

### 2.1. DATOS DEL VEHÍCULO

Para la ejecución del proyecto de investigación se utilizó el vehículo de uso urbano que se puede apreciar en la Figura 2.1, Chevrolet Astra 2.0 L; la Tabla 2.1 detalla las especificaciones técnicas:

*Tabla 2.1: Información General del Vehículo.*

<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>	
<b>MARCA</b>	Chevrolet
<b>MODELO</b>	Astra
<b>AÑO DE PRODUCCIÓN</b>	2002
<b>POSICIÓN DEL MOTOR</b>	Frontal – Transversal
<b>MOTOR</b>	2.0 L / 8 Válvulas
<b>CILINDRADA REAL</b>	1998 cc
<b>POTENCIA MÁXIMA</b>	111 HP @ 5200 rpm
<b>PAR MÁXIMO</b>	170 Nm @ 2400 rpm
<b>SISTEMA DE COMBUSTIBLE</b>	Inyección indirecta multipunto
<b>COMBUSTIBLE</b>	Gasolina
<b>PESO NETO VEHICULAR</b>	1100 Kg
<b>TIPO DE CARROCERÍA</b>	Hatchback
<b>NÚMERO DE PUERTAS</b>	3
<b>NÚMERO DE PLAZAS</b>	5
<b>DIMENSIONES DEL NEUMÁTICO</b>	205/50/R15



*Figura 2.1: Chevrolet Astra 2.0 L.*

## 2.2. VARIABLES DE ENTRADA

Se conoce como variables de entrada a los factores que influyen en el correcto funcionamiento del motor de combustión interna, dado que, si un elemento presenta alguna variación o desperfecto puede afectar directamente sobre la muestra que posteriormente será analizada.

### 2.2.1. Mantenimiento de un MCI

Para prologar la vida útil de un motor se requiere de un correcto mantenimiento, en caso de requerir un mantenimiento correctivo el usuario debe buscar la información técnica para realizar ciertas operaciones [34].

Entre las actividades de mantenimiento más comunes se tiene:

#### ➤ **Bujías**

La función de una bujía radica en avivar la mezcla entre gasolina y aire que se sitúa en el interior de la cámara de combustión, para que se provoque esta inflamación se genera una chispa entre dos electrodos (1) y (2) como se muestra en la Figura 2.2. Por otro lado, se puede verificar el estado de la bujía de una manera visual, la cual consiste en ver los residuos que se generan por la combustión [34]. También se utiliza la herramienta llamada galgas para la medición del espacio entre (1) y (2); Se debe tener en cuenta que si los electrodos se encuentran muy próximos entre ellos la chispa es corta, es decir, salta a una tensión baja y no cuenta con la suficiente energía, por lo contrario, si la distancia es elevada entre (1) y (2) la tensión aumenta y esto provocará un mal funcionamiento de la bobina [34].



Figura 2.2: Bujía.

➤ **Cables de bujías.**

El objetivo de este elemento consiste en transmitir energía eléctrica desde la bobina hasta las bujías; Estos están conformados de varias capas para aislar el conductor que se encuentra en su parte interior de las elevadas temperaturas, líquidos o vibraciones que interfieran en las señales eléctricas [34].

Para realizar el mantenimiento de los cables de bujías se debe verificar su estado, puesto que, si existe una fuga de corriente o aumento en la resistencia se va a tener un mal funcionamiento del motor. En la Figura 2.3. se puede observar los cables de bujía.



Figura 2.3: Cables de Bujía.

➤ **Filtro de aire y filtro de gasolina**

Evitar el paso de partículas contaminantes hacia la cámara de combustión es el objetivo principal de un filtro de aire, según [34] su mantenimiento se debe realizar a los 15000 km, sin embargo, al realizar un mantenimiento del aceite lubricante se debe verificar su estado, su vida útil depende de la contaminación.



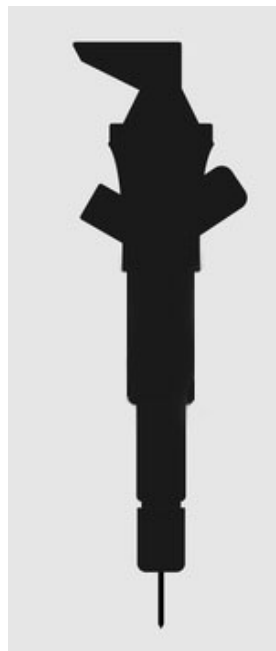
En un contexto similar se tiene el caso del filtro de combustible el cual evita el paso de impurezas. En la Figura 2.4. se muestra los diferentes filtros Automotrices.



*Figura 2.4: Filtros Automotrices.*

➤ **Inyectores.**

Para que ingrese por el conducto de admisión la cantidad correcta de combustible y se genere una buena pulverización y dosificación, es necesario que los inyectores como se muestra en la Figura 2.5. se encuentren depurados con el fin de aprovechar al máximo la potencia del motor [34].



*Figura 2.5: Inyector.*



➤ **Aceite**

El mantenimiento del aceite lubricante es el más importante debido a que debe engrasar todas las partes del motor para alargar su vida útil, depende de las especificaciones de cada lubricante y lo que el motor necesita.

Luego de una breve explicación sobre el mantenimiento que debe tener un motor; para iniciar el proyecto de investigación se realizó el respectivo mantenimiento (ABC de Motor), en el cual se utilizó el aceite Kendall 10W – 30, que cuenta con las respectivas especificaciones técnica detalladas en la Tabla 2.2.

*Tabla 2.2: Características Técnicas del Aceite Lubricante Kendall 10W – 30.*

---

---

**Kendall 10W – 30**

---



<b>Especificaciones</b>	<b>API SN/ CI-4 PLUS</b>
<b>Punto de Inflamación</b>	229 °C
<b>Punto de Congelación</b>	-39 °C
<b>Grado de Viscosidad SAE</b>	10 W - 30
<b>Viscosidad Cinemática @ 40 °C</b>	65.7 cST
<b>Viscosidad Cinemática @ 100 °C</b>	10.5 cST
<b>Viscosidad de Corte @ 150 °C</b>	3.0 cSt
<b>Índice de Viscosidad</b>	148
<b>Densidad @ 60 °F</b>	7.06 lbs / gal
<b>Color, ASTM D1500</b>	3.0
<b>Número Básico Total (TBN)</b>	8.0



### 2.2.2. Combustibles

En Ecuador existe diferentes tipos de combustible entre los cuales se tiene:

- Ecopaís – 85 *octanos*.
- Extra – 85 *octanos*.
- Súper (Premium) – 92 *octanos*.

En el proyecto de investigación se utilizaron los combustibles Ecopaís y Extra debido a los diferentes puntos donde se movilizó el vehículo, se debe tener en cuenta que estos combustibles no se suministran en todo el país, es decir, solo en ciertos puntos.

### 2.2.3. Rutas

Para el desarrollo del trabajo de investigación se estableció como ruta principal Cuenca – Quito con el fin de analizar el comportamiento del aceite lubricante en la Sierra ecuatoriana, pues esta comprende varios cambios con respecto a la geografía que se tiene por la Cordillera de los Andes, esta ruta comprende la vía panamericana E35, misma que se puede apreciar en la Figura 2.6.

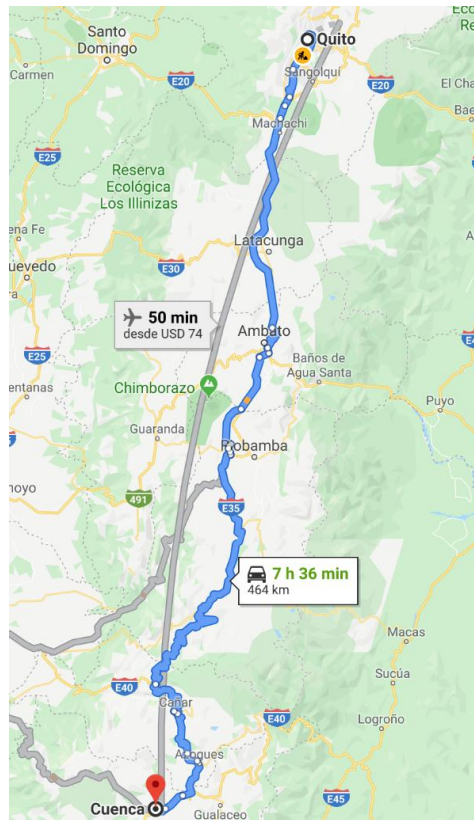


Figura 2.6: Ruta que Recorrió el Vehículo con Frecuencia.





Por otro lado, se considera como un factor principal el tipo de calzada o vía por la cual transite el vehículo, pues, al presentarse baches, grietas o deformaciones influyen en el tipo de manejo lo cual es vital para el desarrollo del trabajo.

### 2.3. PROCESOS PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Existen varios pasos que se deben cumplir para la toma de muestras, al no aplicar correctamente estos procedimientos, los resultados que muestre el diagnóstico del análisis de aceite no permiten ver el estado real en el que se encuentra el motor de combustión interna ni el mismo aceite.

Se debe tener un procedimiento adecuado para la recolección de muestras de aceite lubricante, con el fin de obtener información relevante y a su vez evitar la contaminación, por tal motivo en la Figura 2.7 se puede apreciar un mapa de procedimiento de recolección de muestras.

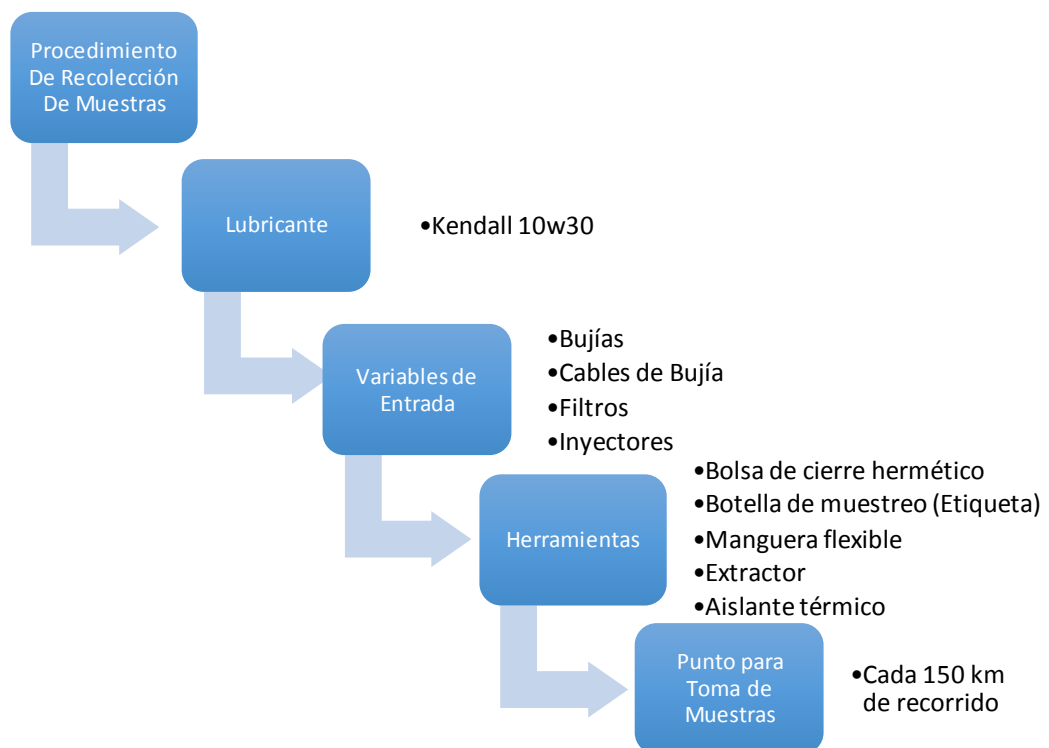


Figura 2.7: *Procedimiento de Recolección de Muestras.*



#### 2.4. ETIQUETA DE IDENTIFICACIÓN

Para elaborar una etiqueta de identificación se simplifica la información de la toma de muestras, solamente se coloca la información necesaria para continuar con el protocolo, la Tabla 2.3 es un ejemplo de cómo elaborar una etiqueta.

*Tabla 2.3: Etiqueta de Muestreo.*

<b>Etiqueta de Muestra</b>
<b>Número de Muestra:</b>
<b>Fecha de Muestreo:</b>
<b>Kilometraje Actual Vehículo:</b>
<b>Kilometraje Muestra:</b>
<b>Temperatura Actual Aceite:</b>
<b>Observaciones:</b>



## Procesamiento

El presente capítulo detalla los diferentes recursos utilizados en el laboratorio con el fin de poder monitorizar el aceite lubricante. Al mismo tiempo se indican los diferentes datos obtenidos del aceite lubricante expuesto a operar a diferentes temperaturas.

### 3.1. EQUIPO DE CONTEO DE PARTÍCULAS

El conteo de partículas se considera una prueba importante para análisis de aceite, aumenta la confiabilidad de la maquinaria y equipos, se puede determinar varios problemas o modos de fallo a través de la monitorización de la cantidad y distribución de las partículas en una muestra de aceite nuevo o usado. En la Figura 3.1 se exhibe el equipo que ha sido utilizado para la monitorización del aceite lubricante.



*Figura 3.1: Equipo Contador de Partículas YJS-150.*



### 3.1.1. Composición

El contador de partículas YJS-150 está compuesto por varias interfaces como lo indica la Figura 3.2

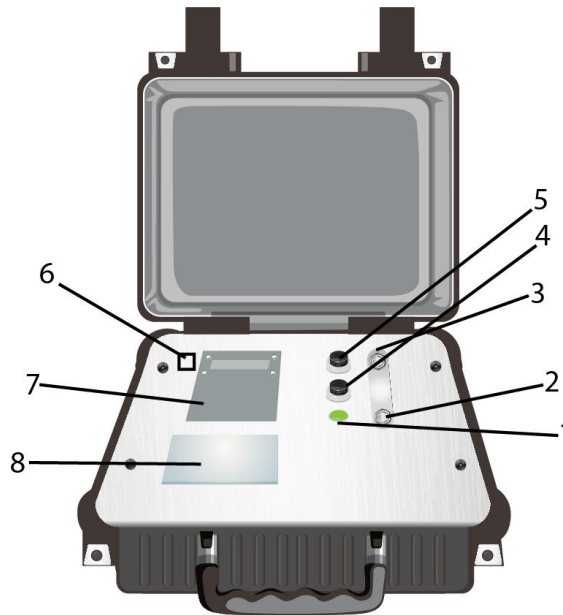


Figura 3.2: Composición del Contador de Partículas YJS-150.

1. Interruptor ON/OFF
2. Tubo de salida de líquido
3. Tubo de entrada de líquido
4. Puerto COM
5. Puerto para adaptador de corriente 24 V
6. Puerto USB
7. Impresora
8. Pantalla LED y Táctil

### 3.1.2. Características

Entre las principales características del contador de partículas se tiene:

- Aplica el principio de extinción de luz (o bloqueo de luz)
- El sensor de alta precisión garantiza una buena resolución y precisión.
- El sistema de muestreo de precisión permite una velocidad constante para la alimentación de muestras y control sobre el volumen de la muestra.
- Las funciones de limpieza permiten la limpieza automática del líquido residual en el instrumento.



### 3.1.3. Datos Técnicos

El contador de partículas YJS-150 llega a ser un equipo muy eficiente al momento de realizar un análisis de aceite, por tal motivo en la Tabla 3.1 se tiene sus principales datos técnicos:

Tabla 3.1: *Datos Técnicos del Contador de Partículas YJS-150.*

<b>Contador de Partículas YJS-150</b>	
<b>Fuente de luz</b>	<i>Láser semiconductor</i>
<b>Rango de medición</b>	<i>1 ~ 400 <math>\mu\text{m}</math></i>
<b>Velocidad de detección</b>	<i>20 ml / min</i>
<b>Máxima viscosidad de la muestra</b>	<i>100 cSt</i>
<b>Precisión de conteo</b>	<i><math>\pm 10\%</math></i>
<b>Límite de error de coincidencia</b>	<i>1200 partículas / ml</i>
<b>Temperatura de trabajo</b>	<i>- 20 °C ~ 60°C</i>
<b>Temperatura de la muestra</b>	<i>0 °C ~ 80 °C</i>
<b>Volumen</b>	<i>300 x 260 x 250 mm</i>
<b>Peso neto</b>	<i>5Kg</i>

### 3.1.4. Principio de Funcionamiento

El contador de partículas YJS-150 aplica el principio de extinción de la luz (o bloqueo de la luz) estipulado por la normativa ISO4402 [35]/ ISO11171 [36], se emplea para detectar el tamaño y cuantificar las partículas sólidas en el líquido.

Se aplica ampliamente en la aviación, industria espacial, industria eléctrica, industria petrolera, transporte químico, transporte, puertos marítimos, metalurgia, maquinaria y fabricación de automóviles para detectar la contaminación de partículas sólidas de aceite hidráulico, aceite lubricante, aceite de transformador, aceite de turbina, aceite para engranajes, aceite para motores, combustible para aviones y aceite hidráulico a base de agua.

Este equipo es capaz de brindar una detección rápida, fuerte anti-interferencia, alta precisión y buena repetibilidad. El principio de extinción de luz que emplea el contador de partículas se puede presenciar en la Figura 3.3

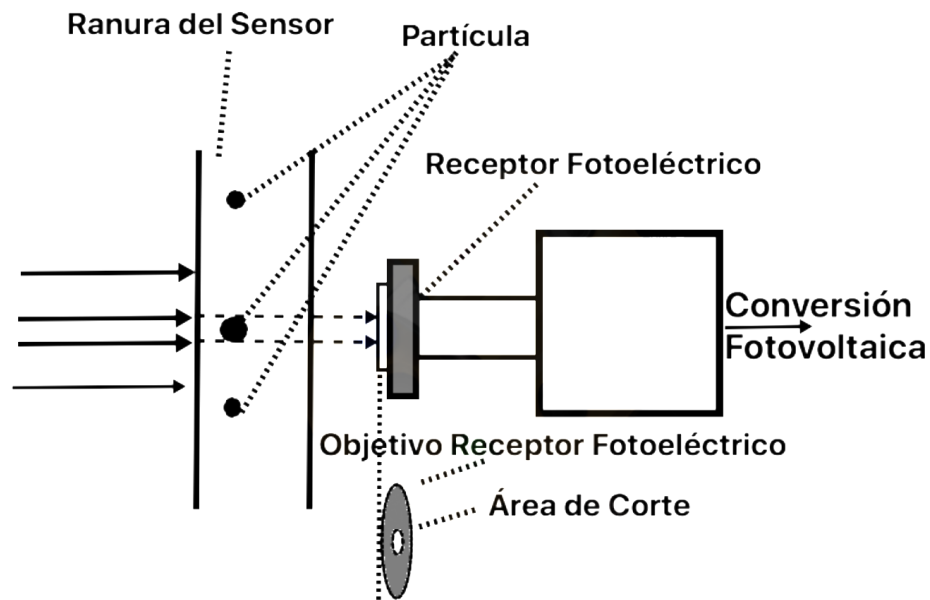


Figura 3.3: Principio de Extinción de Luz.

#### 3.1.5. Dilución de la Muestra

El fabricante del contador de partículas YJS-150 recomienda que la concentración de partículas de la muestra requerida debe ser inferior al 50 % del límite de concentración del sensor, por tal motivo la solución de la muestra debe diluirse antes de colocarla directamente en el contador de partículas, surgirían inconvenientes durante el procesamiento de la muestra si: la densidad óptica, el grado de viscosidad o la contaminación de partículas de la solución de la muestra es muy elevada.

Como el proceso de dilución puede conducir fácilmente a un gran error de conteo, debe diluirse en un ambiente limpio y el equipo de dilución de la muestra debe limpiarse a fondo de acuerdo a la normativa ISO3722 [37]. Cuando la relación de dilución no excede 10: 1, se utiliza el método de dilución volumétrico.

##### 3.1.5.1. Método Volumétrico

Se requiere material de vidrio de alta precisión para este método.

- Comprobar si la limpieza del diluyente utilizado es satisfactoria. La limpieza ideal es que el número de partículas con un tamaño de partículas  $> 2 \mu m$  debe ser  $< 2$  recuentos por  $ml$ , y el número de partículas con un tamaño de partículas  $> 5 \mu m$  debe ser  $< 0,5$  recuentos por  $ml$ .



- Si el diluyente es aceptable, medir un cierto volumen de diluyente y agregarlo a una botella de ensayo limpia.
- Dispersar la solución de muestra a diluir, extraer un cierto volumen de solución de muestra según la dilución requerida y agregarlo a la botella de muestra.
- Cubrir la tapa de la botella de ensayo y agitar, de modo que la solución en la botella se pueda mezclar completamente.
- La solución de muestra diluida se puede analizar directamente en el mostrador, y el resultado multiplicado por la relación de dilución será el número real de partículas de la muestra.

### 3.1.6. Partículas Perjudiciales y No Perjudiciales

En general, lo deseable es tener una baja presencia de partículas contaminantes en el aceite lubricante, hace referencia a una contaminación leve. De esta forma se tendrá un menor impacto sobre la maquinaria y así se prolonga la vida útil del mismo.

Las partículas grandes o duras son perjudiciales, estas partículas poseen un tamaño superior a  $14 \mu m$  y en gran cantidad pueden llegar a originar grandes fallos en la maquinaria o equipos. Estos incluyen piezas de suciedad, acero y otros metales de desgaste que pueden llegar a tener contacto entre ellos y así permitir una degradación prematura del aceite lubricante.

Las partículas pequeñas o suaves no son perjudiciales, estas partículas son blandas y son de tamaño inferior a  $14 \mu m$  e indican la tendencia que poseen para aglomerarse y así generar depósitos de partículas. Entre estas se tiene: agua, aditivos y lodo / barniz.

## 3.2. MONITORIZACIÓN DE ACEITE

Toda máquina rotativa está sometida a un desgaste como consecuencia de la fricción, el cual en su primera fase presentará partículas muy pequeñas, mismas que a través de su aglomeración permitirá que el tamaño de las partículas aumente de forma considerable e incluso pueden llegar a causar daños considerables a la máquina.

La información sobre el desgaste del aceite lubricante puede obtenerse en una fase muy temprana mediante la monitorización de la cantidad y tamaño de las partículas. Dicha información es muy importante para determinar la condición de las máquinas y su grado de desgaste.



La monitorización del aceite se establece a través de un protocolo de acuerdo a varios parámetros que se deben tomar en cuenta, sin embargo, mientras más frecuente sea esta se obtendrá mejor información que permitirá tener un control progresivo de las diferentes máquinas, se podrá establecer la actividad de mantenimiento necesaria y de esta forma prolongar su vida útil.

### 3.2.1. Recursos para Laboratorio

Tanto para el usuario como para el laboratorio, se considera diferentes recursos y materiales para realizar análisis de aceite, mismos que deben ser los apropiados para salvaguardar la integridad del usuario y evitar alteraciones en los resultados.

Por lo tanto, en la Tabla 3.2 se indica los diferentes recursos y materiales que se utiliza en el laboratorio para analizar las muestras de aceite.

*Tabla 3.2: Elementos para Laboratorio.*

<b>Recursos / Materiales</b>	<b>Características</b>
<b>Mandil / Overol</b>	Como medida de seguridad para evitar el contacto con el cuerpo del usuario
<b>Guantes</b>	Evitar el contacto de productos químicos con las manos
<b>Gafas</b>	Protección ocular ante posible contacto de productos químicos
<b>Mascarilla</b>	Evitar la inhalación de gases o vapores producidos por los productos químicos empleados en el laboratorio
<b>Bencina de Petróleo</b>	Un combustible que se emplea como disolvente para realizar la limpieza del equipo y materiales
<b>Extractor</b>	Permite extraer la cantidad necesaria de aceite
<b>Vaso de Precipitación</b>	Elemento para diluir la mezcla entre aceite y bencina.
<b>Papel</b>	La calidad de este elemento permite una correcta limpieza de los elementos.





### 3.2.2. Procesamiento de Muestras

Para realizar el procesamiento de las muestras se tiene que seguir varios pasos, los cuales se detallan a continuación en la Figura 3.4.

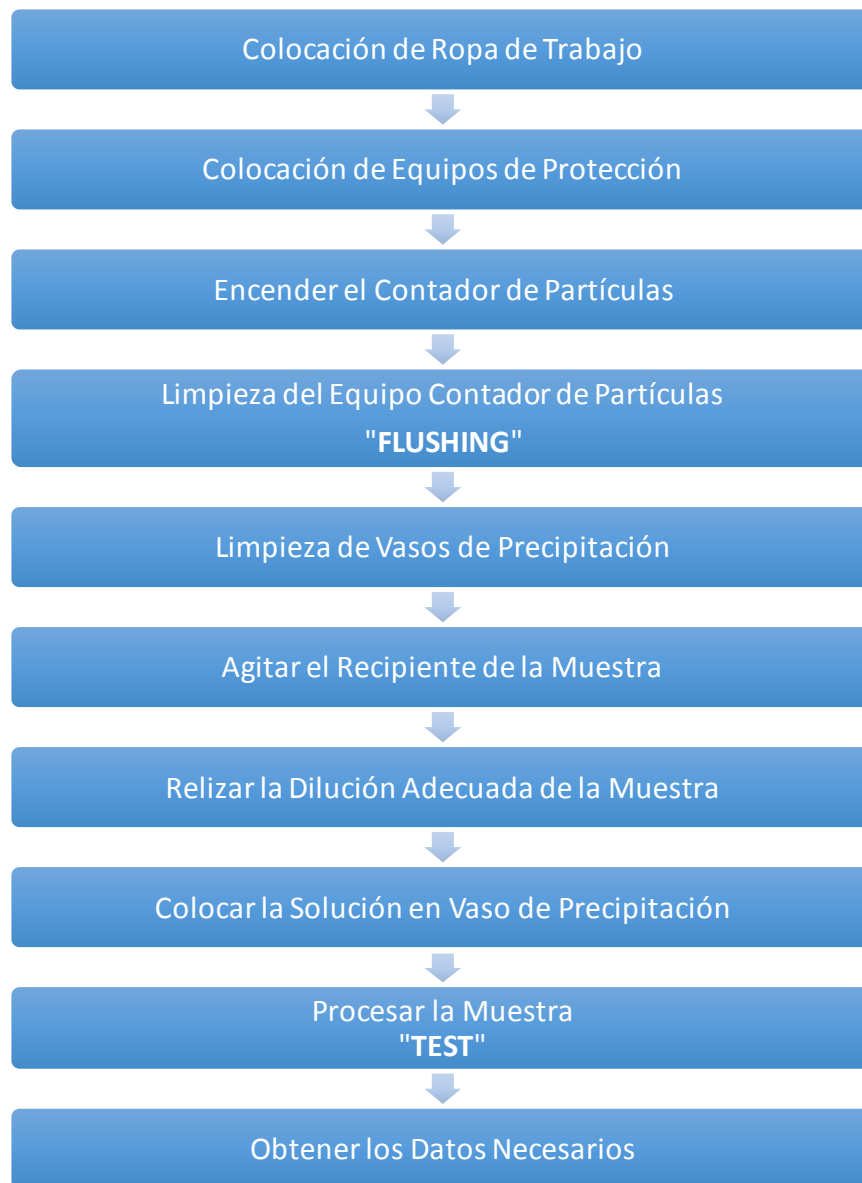


Figura 3.4: Mapa del Procesamiento de Muestras.

### 3.2.3. Adquisición de Datos

La adquisición de datos se realizará a través del equipo contador de partículas, para lograr que dicha información sea la adecuada se tiene que seguir los pasos descritos con anterioridad en la Figura 3.4.



Con respecto al contador de partículas, en la Figura 3.5 se puede observar los diferentes campos de información que brinda el equipo, los cuales se describen a continuación:

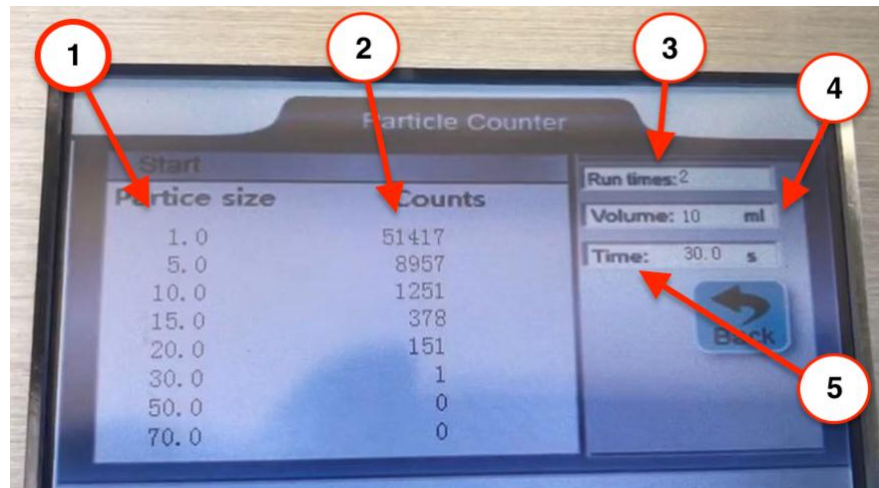


Figura 3.5: Esquema Característico de Datos.

1. Columna que indica el tamaño de la partícula que se analizará ( $\mu m$ )
2. Columna que indica la cantidad de partículas contaminantes presentes en la muestra de aceite analizada
3. Indica el número de veces que se realizará el análisis de la misma muestra
4. Indica el volumen o cantidad de aceite que se analizará
5. Indica el tiempo que toma realizar el análisis

#### 3.2.4. Limpieza

Para que el resultado de un análisis no presente inconvenientes o alteraciones se debe limpiar correctamente los elementos que se usarán con frecuencia, tal es el caso del equipo contador de partículas y de los vasos de precipitación. Para una limpieza adecuada se emplea el papel descrito en la Tabla 3.1 el cual evitará la presencia de residuos o partículas que puedan llegar a alterar las muestras de aceite.

#### 3.2.5. Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos se presentan en la Figura 3.6. mismos que han sido tabulados con la ayuda del programa EXCEL, estos datos han sido organizados de acuerdo a la distancia recorrida ( $km$ ) y al tamaño de partículas contaminantes ( $\mu m$ ). Debido a que el estudio se basa en la degradación del aceite expuesto a operar a diferentes temperaturas, se han establecido 3 diferentes temperaturas que se detallan a continuación:



TEMPERATURA ELEVADA  
TEMPERATURA ÓPTIMA  
TEMPERATURA BAJA

RECORRIDO(Km)	ANÁLISIS														
	TAMAÑO DE PARTÍCULAS														
	1 μ	1 μ	1 μ	5 μ	5 μ	5 μ	10 μ	10 μ	10 μ	15 μ	15 μ	15 μ	20 μ	20 μ	20 μ
150	38565,75	34758,25	33646,50	5023,00	5342,50	5969,75	577,00	592,25	634,75	285,50	214,25	173,00	137,00	98,25	75,25
300	45364,75	41328,50	39482,75	5157,00	5974,00	8246,00	807,75	864,25	959,75	342,25	398,50	314,25	196,50	198,50	139,00
450	53628,75	46316,50	43955,25	5366,50	6880,50	10166,25	830,50	1017,50	1342,50	368,75	594,50	550,00	201,25	255,25	264,25
600	62515,75	51684,75	47830,50	5615,25	7982,50	12573,75	860,50	1252,75	2529,00	393,50	787,50	1143,75	205,00	288,50	418,00
750	66839,50	56219,50	49113,50	5898,75	9648,50	15016,50	873,50	1418,25	3032,25	402,25	948,25	1455,25	225,50	307,25	463,00
900	71405,00	59854,25	55138,75	5596,50	11224,75	17981,75	885,75	1654,75	3935,00	421,75	1114,00	1853,50	215,00	336,75	559,00
1050	78601,00	64874,50	59981,50	5647,75	11975,25	21309,25	919,50	1898,25	4207,00	432,00	1216,25	2091,00	223,25	368,50	645,00
1200	72922,75	68324,75	63266,25	5713,00	12752,50	23865,50	958,25	2287,50	4516,00	469,75	1384,25	2180,00	237,75	391,25	633,75
1350	77298,75	69650,25	62817,75	5552,50	13824,75	25129,25	1059,50	2567,75	4770,75	494,75	1455,50	2218,50	267,50	424,50	646,25
1500	83939,25	70984,00	63138,00	5766,25	14780,50	22233,00	1282,25	2792,50	4976,25	518,50	1494,75	2260,50	296,25	452,50	632,50
1650	84692,25	72392,50	63972,50	5802,25	15983,75	22487,50	1362,25	3024,50	4980,50	568,00	1512,25	2232,50	316,25	486,50	669,25
1800	83462,75	71725,50	64289,75	6020,25	16434,50	23937,75	1478,75	3132,25	5158,50	605,75	1558,50	2397,00	333,75	498,00	700,00
1950	84234,00	71467,75	64892,25	6250,50	16681,25	24771,75	1544,00	3198,00	5288,75	594,50	1589,75	2401,25	360,25	521,25	708,25
2100	84061,25	72983,50	65210,25	6718,50	17047,75	24755,25	1788,00	3276,25	5294,00	597,75	1556,50	2390,00	378,50	529,25	713,25
2250	84044,75	72496,25	65187,50	6973,25	17236,50	24632,50	1871,25	3329,25	5232,75	616,75	1567,00	2356,50	414,50	546,25	711,75
2400	85889,50	72842,00	65201,75	7407,25	17843,75	24810,00	1949,50	3384,75	5277,50	640,00	1544,25	2364,00	452,75	562,75	718,00
2550	85698,25	72627,50	65238,75	7736,00	18034,75	24824,00	2080,25	3364,25	5307,75	662,50	1546,75	2403,50	481,50	567,50	725,25
2700	83936,25	71987,25	65254,75	8087,00	18298,00	24838,75	2157,50	3372,75	5293,00	650,50	1559,50	2409,75	537,50	571,75	730,50
2850	84796,25	72425,00	65242,00	8354,75	18413,50	24825,75	2279,00	3394,00	5281,75	691,50	1547,00	2391,00	521,00	565,50	718,75
3000	85667,25	71280,50	65262,00	8886,00	18482,50	24849,00	2498,75	3426,25	5304,25	690,25	1568,25	2411,00	566,75	568,75	724,25
PROMEDIO	74878,19	64311,15	58406,11	6378,61	13742,10	20361,16	1403,19	2462,40	4166,10	522,33	1257,88	1899,81	328,39	426,94	579,76
TOTAL		65865,15			13493,96			2677,23			1226,67			445,03	

Figura 3.6: Datos Obtenidos.



## Análisis de Resultados

En el presente capítulo, se tiene el análisis de los datos obtenidos del aceite lubricante expuesto a diferentes temperaturas de funcionamiento, se ha optado por usar la técnica de límites estadísticos y para una buena interpretación gráfica se utiliza la metodología de Dispersión de Puntos y Líneas de Tendencia.

### 4.1. LÍMITES ESTADÍSTICOS

Se conoce a los límites estadísticos como aquellas entidades numéricas que se utilizan para señalar la posición que ocupa un determinado dato con respecto a los demás datos numéricos. Logrando conocer otros puntos propios de la distribución de datos que no son inherentes a los valores centrales.

Para realizar el análisis de resultados a través del método de conteo de partículas sólidas se optó por hacer uso de la técnica de límites estadísticos, los cuales se basan en desviaciones de los promedios de todas las unidades bajo condiciones normalizadas.

Con el fin de visualizar de una mejor manera las características que presenta el aceite Kendall 10W – 30 durante su vida útil expuesto a trabajar a diferentes temperaturas se ha optado por hacer uso de la metodología de dispersión de puntos y líneas de tendencia a lo largo del tiempo de vida útil del aceite.

#### 4.1.1. Determinación de Límites

Se aplica el conteo de partículas a través de los límites estadísticos únicamente para medir el nivel de contaminación del aceite lubricante, por lo tanto, se procede a obtener el valor promedio y la desviación estándar para establecer los diferentes límites.

La Desviación Estándar se puede obtener a partir de la Ecuación 4.1. Sin embargo, para obtenerla a través de Excel se utiliza la Función: DESVEST.M



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}} \tag{4.1}$$

En donde:

$\sigma$ : Desviación Estándar

$x$ : Dato Obtenido

$\bar{x}$ : Media Aritmética

$N$ : Cantidad de Datos

Tanto el valor promedio como la desviación estándar se aprecian en la Figura 4.1.

TAMAÑO PARTÍCULA	1 u	5 u	10 u	15 u	20 u
DESVIACIÓN	13840,46	7285,68	1597,46	755,04	189,56
<b>L Í M I T E S</b>					
Normal	65865,15	13493,96	2677,23	1226,67	445,03
Precaución	79705,61	20779,63	4274,69	1981,71	634,59
Crítico	93546,06	28065,31	5872,15	2736,75	824,14

Figura 4.1: Cálculos Realizados.

Una vez obtenido el valor promedio y la Desviación Estándar se procede a identificar los tres límites, los cuales se detallan a continuación:

**Límite 1 “Normal”:** Línea continua de color Verde, llega a ser el valor promedio que se indica en la ecuación 4.1.

$$\text{Valor Promedio} \tag{4.1}$$

**Límite 2 “Precaución”:** Línea continua de color Amarillo, se la obtiene de la forma en la que se indica en la ecuación 4.2.

$$\text{Valor Promedio} + \text{Desviación Estándar} \tag{4.2}$$

**Límite 3 “Crítico”:** Línea continua de color Rojo, se la obtiene de la forma en la que se indica en la ecuación 4.3.

$$\text{Valor Promedio} + 2(\text{Desviación Estándar}) \tag{4.3}$$

Los límites establecidos con anterioridad permiten determinar el estado del aceite lubricante en base a su nivel de contaminación, a continuación, se detallan los tres niveles de comportamiento:



**Normal:** El aceite lubricante no debe superar el nivel máximo del Límite 2 establecido.

**Precaución:** El aceite lubricante se encuentra en condiciones anormales y se da cuando la cantidad de partículas se encuentra por encima del valor del Límite 2, pero por debajo del valor del Límite 3.

**Crítico:** El aceite lubricante se encuentra en una situación crítica, cuando se tienen valores que sobrepasan el Límite 3.

#### 4.1.2. Interpretación de Líneas de Tendencia

Las líneas de tendencia se utilizan en el análisis técnico para definir una tendencia alcista o bajista. La línea de tendencia también puede denominarse «línea de soporte de la tendencia» porque muestra la dirección de una tendencia y actúa como línea de soporte, tal y como se muestra en la Figura 4.2.

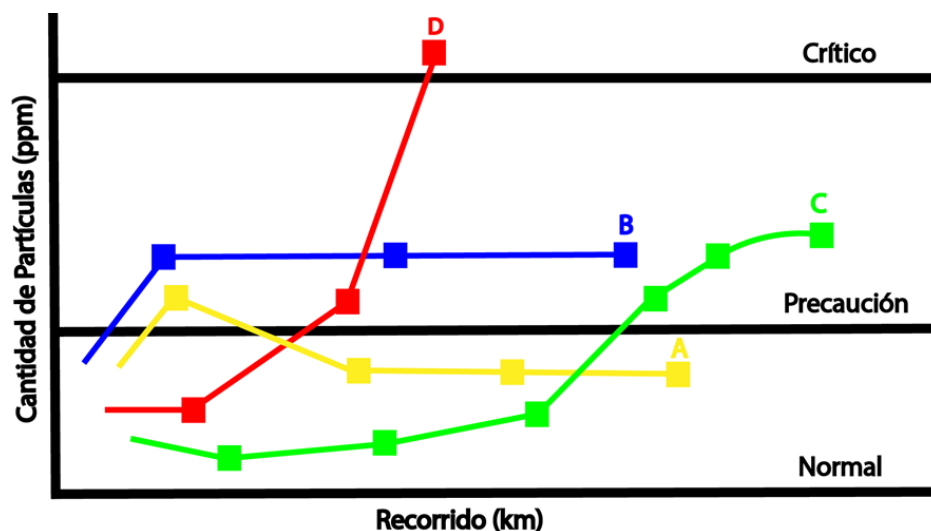


Figura 4.2: Posibles Casos de Líneas de Tendencia.

##### 4.1.2.1. Tendencia Normal

Permanece abajo del límite de precaución, aunque puede, de manera intermitente, excederlo (pero no arriba del crítico) como se aprecia en la Figura 4.1 en el caso de la línea A de color Amarillo.

##### 4.1.2.2. Tendencia Anormal

Tres lecturas consecutivas por arriba del límite de Advertencia como lo indica las líneas B y C de color Azul y Verde respectivamente en la Figura 4.1

De igual manera cualquier valor que exceda el límite crítico, tal es el caso de la línea D de color Rojo que se puede apreciar en la figura 4.1



## 4.2. ANÁLISIS DE GRÁFICAS

Para analizar los datos obtenidos se ha optado por usar graficas en base a la metodología de Dispersión de Puntos y Líneas de Tendencia, con el fin de apreciar de mejor manera el comportamiento del aceite Kendall 10W – 30 expuesto a diferentes temperaturas de funcionamiento.

Las gráficas se basan en una relación entre el recorrido del aceite (km) y la cantidad de partículas contaminantes presentes en el mismo (ppm), el análisis se clasifica de acuerdo al tamaño de la partícula. A través del equipo mencionado con anterioridad se ha logrado obtener varios datos en base al tamaño de las partículas contaminantes, entre las cuales se tiene:

- 1  $\mu m$
- 5  $\mu m$
- 10  $\mu m$
- 15  $\mu m$
- 20  $\mu m$

A continuación, se presenta el respectivo análisis de las gráficas, se toma como referencia a las partículas de tamaño de 1  $\mu m$  y 20  $\mu m$ , debido al comportamiento que presentan durante la vida útil del aceite Kendall 10W – 30.

### 4.1.3. Partículas de 1 $\mu m$

En la Figura 4.3 se tiene la representación gráfica de los datos obtenidos para las partículas de tamaño de 1  $\mu m$  a través de la metodología de Dispersión de Puntos. Permite valorar el nivel de contaminación del aceite Kendall 10W – 30 de acuerdo a la cantidad de partículas contaminantes presentes.

El análisis se realiza con respecto al aceite expuesto a la temperatura óptima de funcionamiento, por lo tanto, tiene un nivel de contaminación normal, debido a que, la mayor cantidad de partículas se encuentra sobre el límite Normal y por debajo del límite de Precaución.

El aceite expuesto a bajas temperaturas de funcionamiento tiene un nivel de contaminación menor, todas las partículas se encuentran por debajo del límite Normal. Por otro lado, el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas tiene un nivel de contaminación mayor, la mayor cantidad de partículas se encuentran sobre el límite Normal y al mismo tiempo sobre el límite de Precaución.

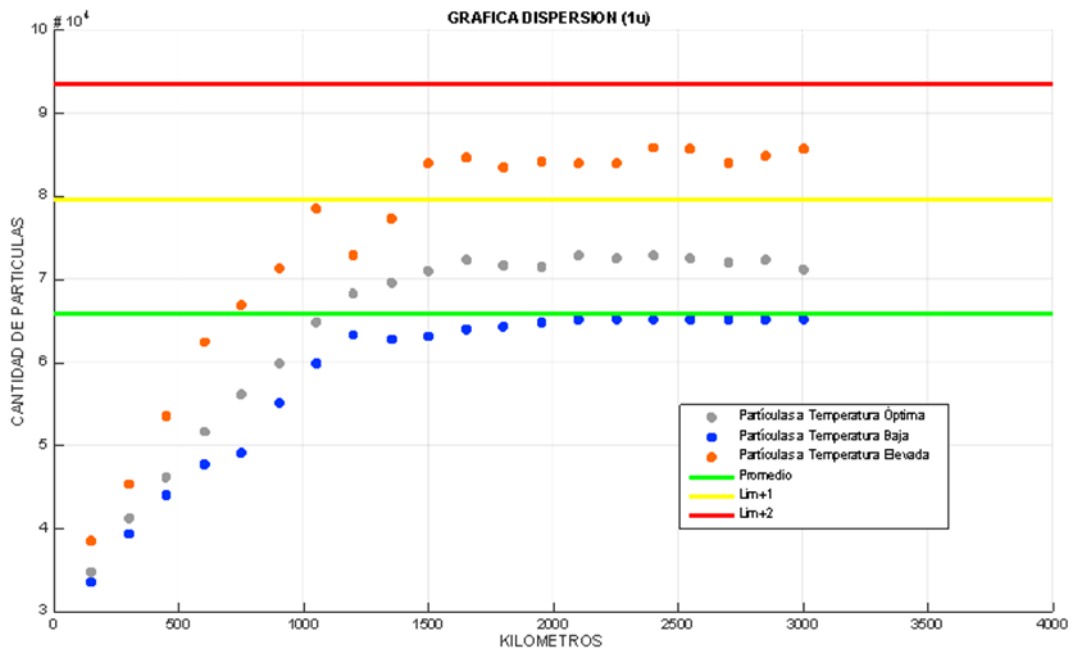


Figura 4.3: Gráfica Dispersión de Puntos  $1 \mu m$ .

En la Figura 4.4 se tiene la representación gráfica de los datos obtenidos para las partículas de tamaño de  $1 \mu m$  a través de la metodología de Líneas de Tendencia. Se puede apreciar el comportamiento del aceite Kendall 10W – 30 a lo largo de su vida útil.

El análisis se realiza con respecto al aceite expuesto a la temperatura óptima de funcionamiento, por lo tanto, tiene un comportamiento normal y su contaminación es progresiva durante los primeros  $1200 km$  aproximadamente, a partir de los  $1450 km$  se visualiza un comportamiento inestable, sin embargo, la contaminación trata de ser constante a lo largo de la vida útil del aceite.

El aceite expuesto a bajas temperaturas de funcionamiento tiene un comportamiento similar, se mantiene por debajo del límite promedio de contaminación. Por otro lado, el aceite expuesto a elevadas temperaturas de funcionamiento tiende a una degradación prematura y supera el límite de precaución aproximadamente a los  $1600 km$ , por lo tanto, el usuario debe considerar alguna acción de mantenimiento.



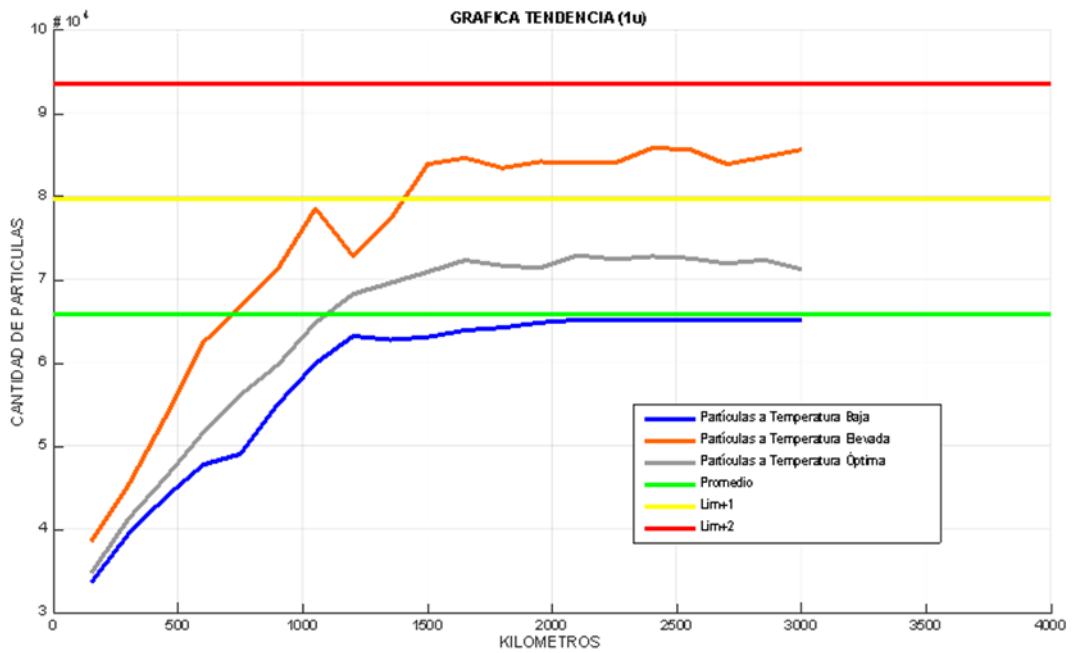


Figura 4.4: Gráfica Líneas de Tendencia 1 µm.

#### 4.1.4. Partículas de 20 µm

Figura 4.5. Análisis de aceite realizado para partículas de tamaño 20 µm a través de la dispersión de puntos, cuando el aceite trabaja a temperaturas bajas indica una contaminación acelerada que se encuentra entre las 540 y 720 partículas por encima del límite de precaución hasta cumplir su vida útil. Se presume que el aceite lubricante presenta mayor contaminación debido a la presencia de mayor cantidad de partículas de combustible.

El aceite cuando está expuesto a elevadas temperaturas posee una contaminación progresiva desde aproximadamente los 1000 km hasta los 3000 km. Al trabajar a elevadas temperaturas la viscosidad del lubricante disminuye, esto impide la creación de la película caliente, lo cual indica pérdida de potencia y sobrecalentamiento.

Si la temperatura se encuentra en óptimas condiciones la presencia de partículas contaminantes sobrepasa el límite normal permaneciendo por debajo del límite de precaución hasta cumplir los 3000 km, lo cual es característico por su uso.

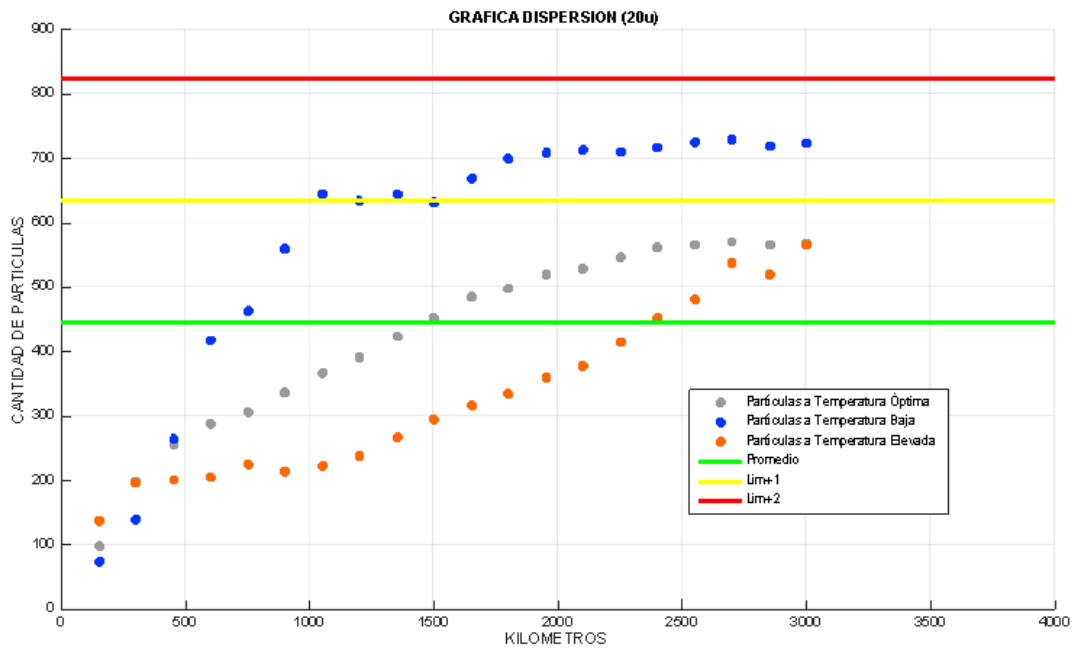


Figura 4.5: Gráfica Dispersión de Puntos 20 µm.

Por otro lado, en la Figura 4.6, se presenta el comportamiento de las partículas de tamaño 20 µm a través de las líneas de tendencia, donde la contaminación del aceite a bajas temperaturas se aproxima al límite crítico en los primeros 1700 km, a diferencia de la contaminación a elevadas temperaturas, la cual no llega al límite contaminación normal en los primeros 2000 km, sin embargo, la contaminación es progresiva a elevadas temperaturas hasta cumplir su vida útil.

Al superar los 2000 km el aceite lubricante a bajas temperaturas presenta pequeñas variaciones que se mantienen entre las 700 y 720 partículas contaminantes que se aproximan al límite crítico por lo que es necesario el mantenimiento, a diferencia de la tendencia que presenta el aceite al trabajar a elevadas temperaturas, el cual no sobrepasa el límite de precaución hasta cumplir su vida útil.

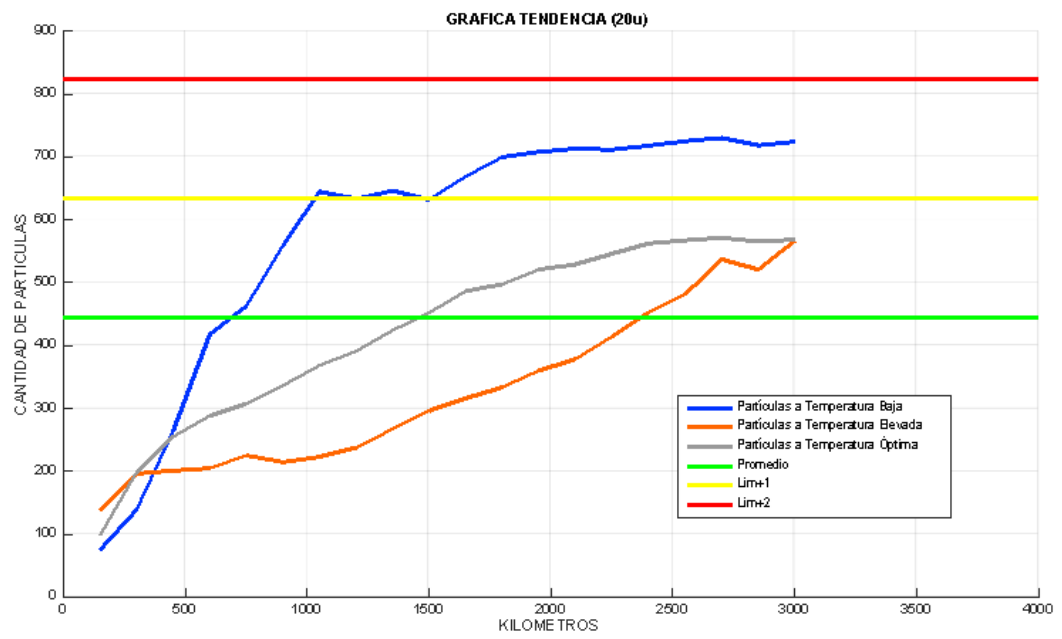


Figura 4.6: Gráfica Líneas de Tendencia 20 µm.



## Conclusiones y Recomendaciones

---

### CONCLUSIONES

Todos los motores de combustión interna están diseñados para funcionar a una temperatura óptima. La temperatura óptima es establecida por el fabricante de acuerdo a los materiales utilizados en cada uno de los componentes y a los diferentes estudios realizados con el fin de obtener un buen desempeño y durabilidad del motor.

La implementación del análisis de aceite en las diferentes industrias permite una optimización de recursos y tiempo al momento de realizar el mantenimiento de la maquinaria y equipos ya que se tiene un control constante.

El aceite de un motor expuesto a elevadas temperaturas de funcionamiento tiende a una degradación prematura de su vida útil, puesto que sus propiedades características disminuyen debido al agotamiento del paquete de aditivos. En el análisis de las partículas de tamaño de  $1 \mu m$  es el único caso en el que el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas cuenta con mayor presencia de partículas contaminantes. Su contaminación es progresiva en todos los casos debido a que la presencia de partículas contaminantes aumenta relativamente conforme aumenta su uso o recorrido.

Tener un motor expuesto a bajas temperaturas de funcionamiento, llega a ser muy perjudicial porque tiende a la formación de depósitos de lodo / barniz, se podrá tener poca presencia de partículas contaminantes durante los primeros Kilómetros de uso, pero con el uso se puede dar la aglomeración de las partículas permitiendo que el tamaño de las mismas aumente considerablemente. En los análisis de partículas de tamaño  $\geq 5 \mu m$  se tiene mayor presencia de partículas contaminantes, incluso se tiene que considerar alguna acción de mantenimiento.



Se establece que la toma de muestras de aceite cada 150 *km* de recorrido que se implantó, ha permitido recolectar una gran cantidad de muestreos, por lo cual, se logró realizar de una mejor manera el análisis y con ello observar el comportamiento que experimenta el aceite a mayor amplitud.

Se considera que el contador de partículas, entregó como resultados partículas perjudiciales  $> 14 \mu m$  y no perjudiciales  $< 14 \mu m$  para luego ser examinadas y ver cómo afectan en la degradación del aceite al estar sujeto a diferentes temperaturas.

Lo expuesto en el Capítulo IV delibera que, el sobrecalentamiento influye de manera perjudicial en la degradación del aceite lubricante Kendall 10W – 30, es decir, a pesar de ser un aceite con base sintética (comportamiento estable) presenta un comportamiento progresivo durante su vida útil, por lo tanto, se tiene una degradación prematura.

Por último, el aceite al estar expuesto a elevadas temperaturas y no realizar un seguimiento en su mantenimiento, disminuye drásticamente sus características debido a la creación de partículas perjudiciales; al no cumplir su función existe aumento en el consumo de energía lo que indica desgaste entre los elementos del motor atribuyendo elevados costos para el usuario.

### RECOMENDACIONES

No realizar ningún tipo de modificación al sistema de refrigeración ni de lubricación de un vehículo utilitario, puesto que todos los componentes de un motor y sistemas auxiliares están diseñados por el fabricante para cumplir su función de forma segura y así lograr un buen rendimiento y durabilidad de los mismos.

Un análisis de aceite debe ser realizado de forma exhaustiva, por tal motivo se sugiere contar con los equipos adecuados para lograr buenos resultados y así obtener toda la información necesaria para realizar cualquier tipo de acción sobre la maquinaria y equipos.

Si se desea que un motor se conserve de la mejor manera se debe seguir las sugerencias que el fabricante indica en cada uno de los manuales del vehículo, al tener un mantenimiento adecuado del motor y del vehículo se puede llegar a prolongar su vida útil y al mismo tiempo se pueden evitar gastos considerables.



Mientras más frecuente sea la toma de muestras, mayor información se logrará procesar a través de los equipos de análisis de aceite. Por lo tanto, no se tendrá mucha variación de una muestra con respecto a la otra y así se podrá determinar de mejor manera el comportamiento del aceite lubricante en los diferentes equipos y maquinaria. Se recomienda que la toma de muestras de aceite sea en periodos cortos de recorrido, no mayores a 150 *km*.

Se debe utilizar el aceite recomendado por el fabricante, los fabricantes de motores realizan estudios en los cuales toman en cuenta varios parámetros y las condiciones de funcionamiento a las que estará expuesto el motor.

La limpieza de todos los materiales y recursos es fundamental al momento de realizar el procesamiento de las muestras a través de los diferentes equipos de análisis de aceite; lo recomendable es realizarlo siguiendo las diferentes normas establecidas y al mismo tiempo tener todo clasificado con sus respectivas etiquetas de identificación.

La investigación que se realizó con el contador de partículas para el análisis del aceite, abre la posibilidad de utilizar diferentes equipos que permitan ver distintas características al trabajar a diferentes temperaturas, de la misma manera ver el comportamiento que presenta.

Se sugiere realizar un seguimiento continuo del aceite lubricante Kendall 10W – 30 cuando el motor trabaja a elevadas temperaturas, debido que los resultados del análisis indicaban que sus prestaciones son adecuadas hasta los 3000 *km*.

Utilizar aceites con diferentes características al Kendall 10W – 30 con el fin de realizar el mismo análisis propuesto en el proyecto y observar el comportamiento que presentan.



## Bibliografía

### Bibliografía

- [1] J. Lucendo, Las Edades del Automóvil, España: Jorge Lucendo, 2019.
- [2] S. Sanz, Motores, Madrid: Editex, 2007.
- [3] PENNZOIL, «Protección del Aceite de Motor en Temperaturas Altas y Bajas,» PENNZOIL, [En línea]. Available: [https://www.pennzoil.com/es\\_us/conocimientos/poder-sinteticos-pennzoil/temperaturas-extremas.html](https://www.pennzoil.com/es_us/conocimientos/poder-sinteticos-pennzoil/temperaturas-extremas.html). [Último acceso: 15 11 2019].
- [4] Á. Jesús y C. Ismael, Motores alternativos de combustión interna, Catalunya: Edicions UPC, 2005.
- [5] H. Martínez, MANUAL PRACTICO DEL AUTOMOVIL, España: Cultural, 2013.
- [6] M. Rivas, Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos, España: Elearning, 2017.
- [7] S. Valladares, «Sistema de lubricación: Elementos y tipos de lubricaciones en el motor,» MundoMotor, 2019. [En línea]. Available: [https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-lubricacion/#caracteristicas\\_del\\_lubricante\\_del\\_motor](https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-lubricacion/#caracteristicas_del_lubricante_del_motor). [Último acceso: 15 11 2019].
- [8] A. Sanz, «Lubricantes,» Química Orgánica Industrial, 2019. [En línea]. Available: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-13.php>. [Último acceso: 15 11 2019].
- [9] D. Troyer y J. Fitch, Análisis de aceite básico en equipos y maquinaria, San Isidro - México: Noria Corporation, 2004.



- [10] CompraLubricantes, «Aditivos de lubricantes: Qué tipos hay,» CompraLubricantes, 29 02 2016. [En línea]. Available: <https://compralubricantes.com/blog/aditivos-de-lubricantes-que-tipos-hay/>. [Último acceso: 15 11 2019].
- [11] B. T. Martínez, Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado, Valencia: Reverte, 2005.
- [12] R. Mott, Mecánica de fluidos aplicada, México: Pearson Education, 1996.
- [13] M. Potter, Mecánica de fluidos, México: Cengage Learning, 2012.
- [14] L. Montoro, Contribución al desarrollo y mejora de técnicas para la detección y análisis de partículas metálicas y contaminantes en aceites lubricantes usados, Valencia - España: Dialnet, 2005.
- [15] J. Delgado, Sistemas de lubricación a bordo, Valdivia - Chile: Universidad Austral de Chile, 2006.
- [16] Soteronina, «Aceites base y aditivos,» Wordpress, 02 2014. [En línea]. Available: <https://soteronina.files.wordpress.com/2014/02/aceites-base-y-aditivos.pdf>. [Último acceso: 09 12 2019].
- [17] L. Barbotti, «Propiedades necesarias de un lubricante y el rol de los aditivos,» Lubricar, 09 02 2015. [En línea]. Available: <http://www.lubricar.net/aditivos.htm>. [Último acceso: 09 12 2019].
- [18] R. Widman, «La determinación de degradación de lubricantes por análisis de laboratorio,» WIDMAN INTERNATIONAL SRL, 18 12 2019. [En línea]. Available: <https://www.widman.biz/boletines/127.php>. [Último acceso: 06 01 2020].
- [19] N. L. América, «Determinando la causa de la degradación del lubricante,» Noria Corporation, 23 03 2015. [En línea]. Available: <http://noria.mx/lublearn/determinando-la-causa-de-la-degradacion-del-lubricante/>. [Último acceso: 06 01 2020].
- [20] Total Lubricantes, «¿Por qué se puede deteriorar un aceite de motor?,» Total Lubricantes Blog, 30 01 2019. [En línea]. Available: <https://blog.total.es/deterioro-del-lubricante/>. [Último acceso: 06 01 2020].
- [21] J. Wakiru, «A review on lubricant condition monitoring information analysis for maintenance decision support,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 118, pp. 108 - 132, 2019.





- [22] A. Kupareva, «Technology for rerefining used lube oils applied in Europe,» *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 88, pp. 1780 - 1793, 2013.
- [23] M. M, «Degradation of motor oils after short, frequently interrupted rides and driving in heavy terrain,» *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, vol. 2016, n° 135091, pp. 1105 - 1109, 2016.
- [24] M. Marchevka, «The degradation of engine oil o-239, SAE 20W-50 and O-236, SAE 15W-40 in Service with T-72 and Shkh ZUZANA Model. 2000,» *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, vol. 2017, n° 135093, pp. 939 - 943, 2017.
- [25] S. Firdovsi, «Semi-synthetic motor oils derived from high paraffinic petroleum base stock,» *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 59, pp. 81 - 84, 2007.
- [26] Z. Xiaoliang, «Lubricating oil conditioning sensors for online machine health monitoring – A review,» *Tribology International*, vol. 109, pp. 473 - 484, 2017.
- [27] K. Manshan, «A review on prognostic techniques for non-stationary and non-linear rotating systems,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 62, pp. 1 - 20, 2015.
- [28] D. Nagesh, «Degradation analysis of gear oil SAE 90 used in load haul dumper machine,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 624, n° 012011, 2019.
- [29] M. M, «Changes in the properties of motor oil with long life standard,» *Transport Means - Proceedings of the International Conference*, vol. 2015, n° 117726, pp. 683 - 687, 2015.
- [30] M. Adnan, «Monitoring automotive oil degradation: Analytical tools and onboard sensing technologies,» *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 404, pp. 1197 - 1209, 2012.
- [31] G. Nupur, «Automotive Water Cooling System Analysis Subject to Time Dependence and Failure Issues,» *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering*, vol. 6, pp. 1 - 22, 2016.
- [32] C. Juichuang, «The temperature prediction system of automobile engine based on Fuzzy Algorithm,» *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Applied System Innovation: Applied System Innovation for Modern Technology, ICASI 2017*, n° 7988617, pp. 1201 - 1204, 2017.
- [33] K. Vladimir, «Prospects for development of high-temperature evaporative cooling systems of internal combustion engines with increased temperatures of



the cooling body,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 675, nº 012039, 2019.

- [34] J. Rodríguez, *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto : Mantenimiento del motor y sus sistemas auxiliares*, España: IC, 2012.
- [35] International Organization for Standardization (ISO), *Hydraulic fluid power - Calibration of automatic-count instruments for particles suspended in liquids - method using classified AC fine test dust contaminant*, 1991.
- [36] International Organization for Standardization (ISO), *Hydraulic fluid power — Calibration of automatic particle counters for liquids*, 2016.
- [37] International Organization for Standardization (ISO), *Hydraulic fluid power — Fluid sample containers — Qualifying and controlling cleaning methods*, 1976.



---

**Anexo A**

---



---

## Análisis de Gráficas

---

- Partículas de  $5 \mu m$

En la Figura 1 se puede presenciar el análisis de aceite realizado de las partículas de tamaño de  $5 \mu m$  a través de la dispersión de puntos, en el cual presenta mayor contaminación por parte del aceite expuesto a operar a bajas temperaturas a diferencia del aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas. De igual manera el aceite expuesto a operar a bajas temperaturas sobrepasa el límite de precaución, mientras que, el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas se mantiene por debajo del límite de contaminación normal.

Se observa que el aceite al trabajar a bajas temperaturas presenta una mayor contaminación, mismo que supera el límite de precaución hasta las 25000 partículas.

Por otro lado, el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas no supera las 10000 partículas, el cual se mantiene por debajo del límite de contaminación normal.

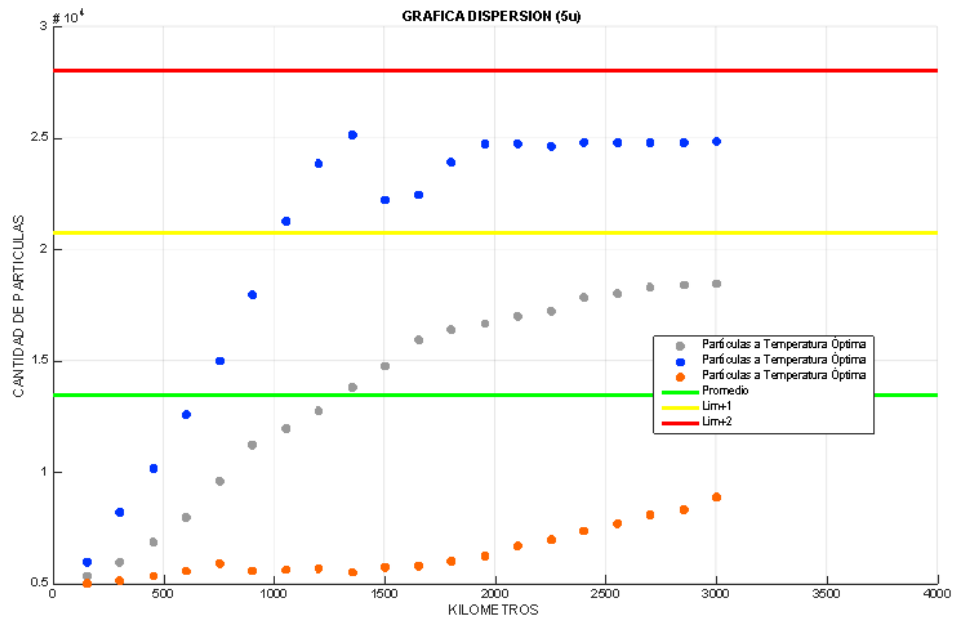


Figura 1: Dispersión de puntos 5  $\mu\text{m}$ .

En la Figura 2 se tiene el análisis de aceite realizado para las partículas de tamaño de 5  $\mu\text{m}$  a través de líneas de tendencia, en el cual se puede presenciar una contaminación acelerada hasta aproximadamente los 1400 km por parte del aceite expuesto a operar a bajas temperaturas, mismo que se mantiene constante a partir de los 2000 Km, mientras que, el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas tiene una contaminación constante que no supera las 10000 partículas contaminantes durante toda su vida útil hasta los 3000 km.

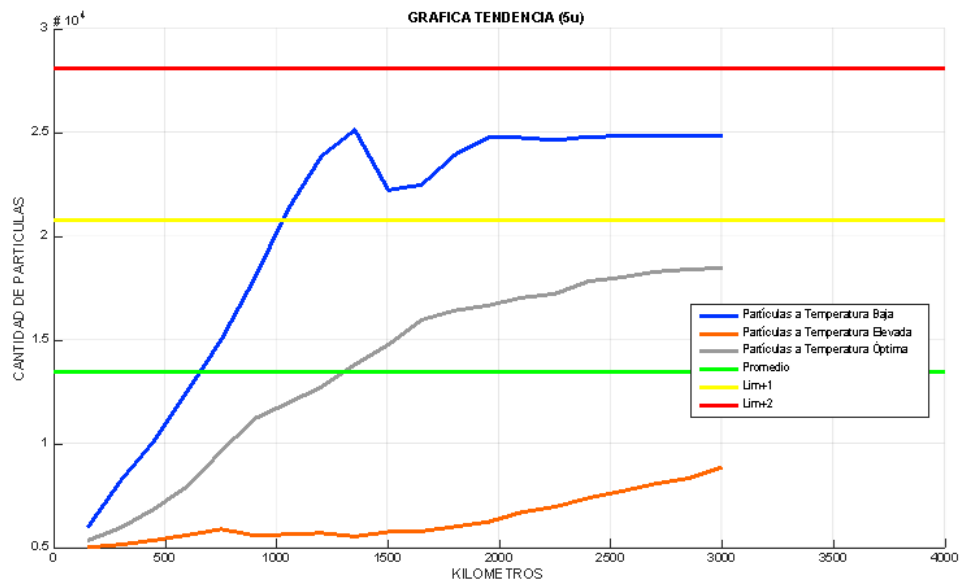


Figura 2: Líneas de tendencia 5  $\mu\text{m}$ .



- Partículas de 10  $\mu m$

En la Figura 3 se tiene el análisis de aceite realizado para las partículas de tamaño de 10  $\mu m$  a través de la dispersión de puntos, en este análisis se tiene una mayor contaminación por parte del aceite expuesto a operar a bajas temperaturas y a su vez este supera el límite de precaución aproximadamente a los 1250  $km$ , mientras que, el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas presenta una contaminación progresiva que no sobrepasa el límite de contaminación normal.

El aceite al trabajar a bajas temperaturas muestra mayor contaminación, mismo que presenta pequeñas variaciones que oscilan entre las 4500 y 5300 partículas contaminantes hasta llegar a los 3000  $km$ .

Mientras que, el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas presenta una contaminación progresiva que no sobrepasa el límite de contaminación normal, debido que la cantidad de partículas se mantiene entre las 500 y 2800 partículas contaminantes.

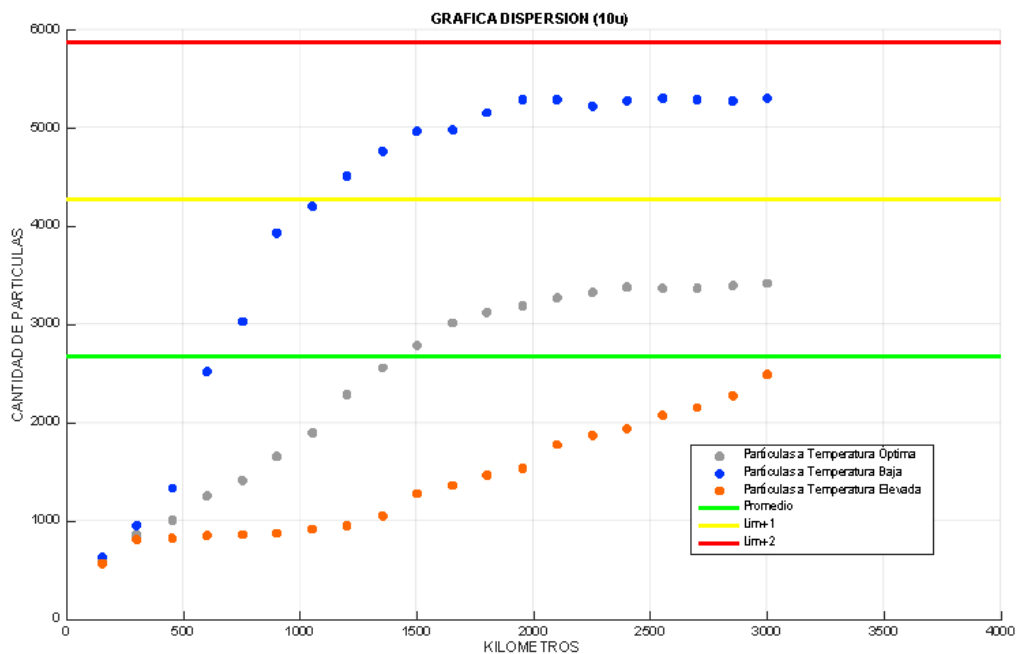


Figura 3: Dispersión de puntos 10  $\mu m$ .



En la Figura 4 se puede apreciar el análisis de aceite realizado para las partículas de tamaño de  $10 \mu m$  a través de líneas de tendencia, en el cual se presencia que el aceite expuesto a operar a bajas temperaturas posee una contaminación acelerada durante los primeros  $1500 km$  y en los cuales se llega a sobrepasar el límite de precaución manteniéndose constante hasta los  $3000 km$ , mientras que, el aceite expuesto a operar a levadas temperaturas posee una degradación constante durante toda su vida útil por debajo del límite de contaminación normal, sin embargo, al exponerlo a operar durante unos cuantos kilómetros más se puede llegar a tener su degradación por completo.

Se presencia una contaminación progresiva del aceite lubricante cuando trabaja a bajas temperaturas durante los primeros  $1500 km$  para luego mantenerse constante entre los  $5000$  y  $5500$  partículas contaminantes durante su vida útil restante.

Sucede todo lo contrario con el aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas debido a que tiene una degradación constante durante toda su vida útil por debajo del límite de contaminación normal, sin embargo, al exponerlo a operar durante unos cuantos kilómetros más se puede llegar a tener su degradación por completo.

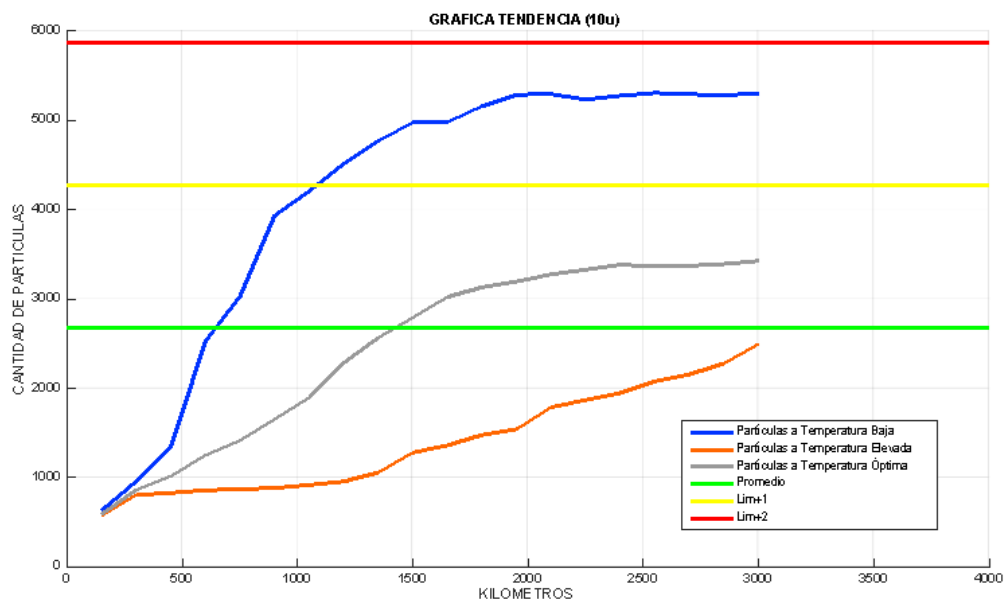


Figura 4: Líneas de tendencia 10 u.



- Partículas de 15  $\mu m$

La Figura 5 representa el análisis de aceite realizado para partículas de tamaño 15  $\mu m$  a través de la dispersión de puntos, se tiene que el aceite expuesto a operar a bajas temperaturas sobrepasa el límite de precaución y se mantiene constante entre 2100 y 2400 partículas hasta cumplir su vida útil.

En el caso del aceite expuesto a operar a elevadas temperaturas se mantiene en un régimen de 300 y 800 partículas contaminantes hasta cumplir los 3000  $km$ .

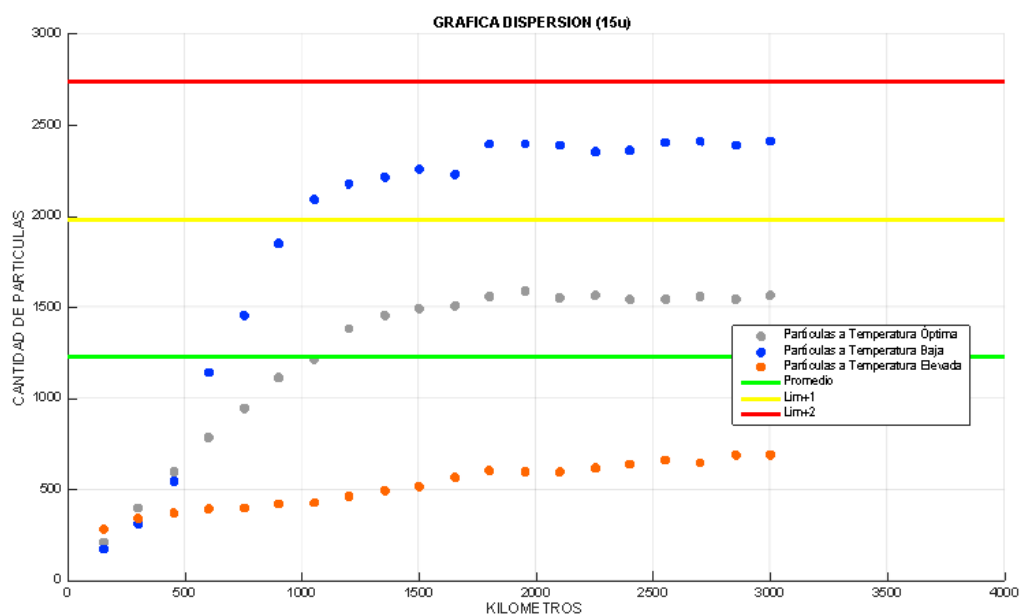


Figura 5: Dispersión de puntos 15  $\mu m$ .

En la Figura 6, se representa la tendencia de las partículas de tamaño 15  $\mu m$ , se tiene que el aceite expuesto a operar a bajas temperaturas entre los 1000  $km$  y 1500  $km$  toma una ligera curva progresiva para superar el límite de precaución y mantenerse constante.

Por otro lado, el trabajo del aceite a elevadas temperaturas se encuentra entre un intervalo de 300 y 800 partículas contaminantes, sin embargo, no sobrepasa el límite de contaminación normal.

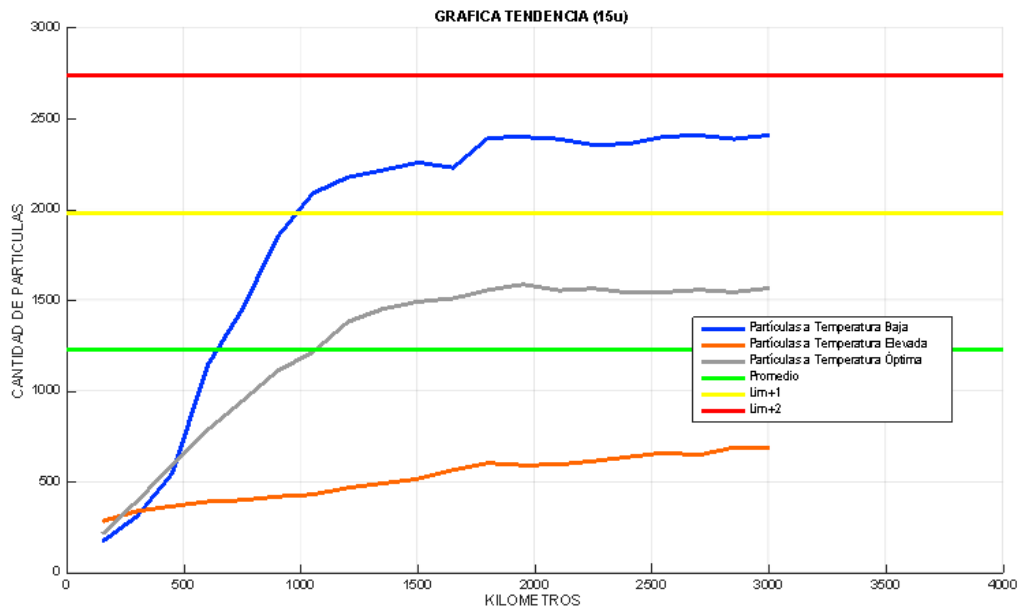


Figura 6: Líneas de tendencia 15 µm.