

Research Article

# Behavior of the Lubricating Oil for Diesel Engines SAE 15W40 in Different Geographical Conditions Based on Oil Analysis

## Comportamiento del Aceite Lubricante para Motores Diésel SAE 15W40 en Diferentes Condiciones Geográficas Basado en Análisis de Aceite

VIII INTERNATIONAL  
CONGRESS OF SCIENCE  
TECHNOLOGY  
ENTREPRENEURSHIP AND  
INNOVATION (SECTEI 2021)

Corresponding Author:  
Pancha Ramos Johnny  
Marcelo; email:  
jpancha@ups.edu.ec

Published: 29 June 2022

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Pancha Ramos Johnny  
Marcelo et al. This article is  
distributed under the terms of  
the [Creative Commons  
Attribution License](#), which  
permits unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and  
source are credited.

Pancha Ramos Johnny Marcelo<sup>1\*</sup>, Rocha Hoyos Juan Carlos<sup>2</sup>, Allauca Gualoto Wilmer Andres<sup>2</sup>, and Alex Israel Carrillo Vallejo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Automotriz, Quito, Ecuador

<sup>2</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador

### ORCID

Pancha Ramos Johnny Marcelo: <https://orcid.org/0000-0001-7320-2154>

Allauca Gualoto Wilmer Andres: <https://orcid.org/0000-0001-6748-1206>

### Abstract

This research shows the behavior of the lubricating oil SAE 15W40 with API CI-4 PLUS used in diesel engines based on the different geographical and atmospheric conditions that Ecuador has. Three vehicles that use HINO AK diesel engines and operate in different geographical points of Ecuador (Unit 18, Unit 4, Unit 6) were used to obtain data on viscosity, soot, and sulphation by analyzing the oil provided by a specialized laboratory, for which the lubricant sampling must be carried out at 0 km, 3,000 km, 6,000 km, and 8,500 km of travel. The Unit 18 lubricant was found to have differences compared to Units 4 and 6, showing a 2.09% difference in viscosity and 41.67% in soot, but none in sulphation as the fuel used in all three cars was the same.

**Keywords:** *Lubricant oil, Lubricant behavior, Oil analysis, Geographic conditions.*

### Resumen

La presente investigación muestra el comportamiento del aceite lubricante SAE 15W40 con API CI-4 PLUS utilizado en motores diésel, debido a las diferentes condiciones geográficas y atmosféricas que presenta el país. Para el estudio se utilizaron tres vehículos que utilizan motores diésel HINO AK, los cuales operan en distintos puntos geográficos del Ecuador, (Unidad 18, Unidad 4, Unidad 6), los datos de viscosidad, hollín y sulfatación se obtienen a través de los ensayos de análisis de aceite otorgados por un laboratorio especializado, para lo cual se debe realizar un muestreo a 0 Km, 3 000 Km, 6 000 Km y 8 500 Km de recorrido. Se obtiene que el lubricante de la unidad 18 presenta diferencias a comparación de las unidades 4 y 6, mostrando un 2.09% de diferencia en la viscosidad y un 41.67% en el hollín, por otra parte, la sulfatación no presenta cambios debido a que el combustible empleado en los tres automotores es el mismo.

**Palabras Clave:** *Aceite lubricante, Comportamiento del lubricante, Análisis de aceite, Condiciones geográficas.*

 OPEN ACCESS



## 1. Introducción

El aceite lubricante que se utiliza en los motores de combustión interna, tienen un ciclo de vida útil en función de un kilometraje de recorrido que propone el fabricante, una vez que este aceite cumple su vida útil debe ser extraído del motor para ser reemplazado por un nuevo, el aceite lubricante usado (ALU) resulta ser un residuo peligroso por poseer características inflamables y tóxicas, por ello se considera como un producto contaminante, según Barrera y Velecela [1], un litro de aceite lubricante usado puede contaminar mil litros de agua, además si 5 litros de ALU es combustionado, 1 000 000 de metros cúbicos de aire se ven contaminados con plomo y otras sustancias tóxicas y nocivas para la salud del ser humano [2].

A nivel mundial el consumo de aceite lubricante es de aproximadamente 40 millones de toneladas así lo señala Aldas [3], El ministerio de Ambiente y Agua en el año 2020 indicó que el consumo de aceite para motores en el país es de 31 millones de galones, esta enorme cifra se ve justificada por el gran parque automotor del Ecuador, en el año 2019 se matricularon 2 403 651 vehículos a nivel nacional [4], dentro del transporte público, solo en la ciudad de Quito el Sistema Metropolitano de Transporte Público de Pasajeros en el año 2017, registró 2840 unidades destinadas para esta actividad, además la tónica de los dueños de buses destinados al transporte de pasajeros es de cambiar el aceite lubricante mucho antes de lo que establece el fabricante con el fin de proteger sus unidades y su medio de ingreso, de esta manera utilizan un aceite destinado a los 10 000 Km de recorrido pero este es cambiado a los 6 000 km o 7 000 km, alegando que el aceite lubricante pierde sus características en ese intervalo de recorrido ya que al momento del cambio el ALU se lo observa de un color negro el cual da la apariencia de desgastado.

Un análisis de aceite consiste en unas pruebas físico-químico a nivel de laboratorio mediante equipo especial, las cuales se aplican a muestras de aceite, con el fin de conocer si el fluido lubricante ha llegado al final de su vida útil, gracias a esta técnica se obtiene información acerca del estado del fluido lubricante, de la calidad del aceite, la contaminación que existe en este, el estado del motor y de sus componentes [5], además el laboratorio que brinda este servicio, controla los cambios sufridos en el fluido para reportar de forma rápida, anomalías que se susciten en los motores y evitar daños, para ello utilizan un monitoreo que consiste en la toma de muestras a diferentes intervalos de tiempo para su posterior análisis [6], según Galarza, el análisis de aceite resulta ser una herramienta efectiva cuando se conciben planes de mantenimiento, además indica que la maquinaria aumenta su disponibilidad en un 2.34% ya que esta no sufre paradas innecesarias para reparaciones, esto se ve ligado a que el motor



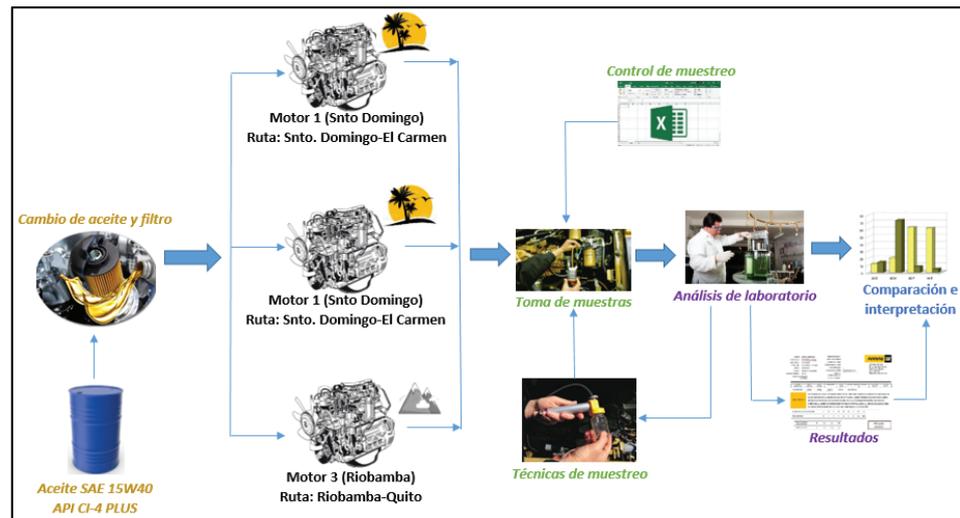
presenta la mayor incidencia de fallas dentro de la maquinaria con un 34.44%. En la actualidad la técnica de análisis de aceite resulta ser una herramienta beneficiosa para el mantenimiento vehicular, pero también puede ser empleada para estudiar el comportamiento que tiene el aceite lubricante al transcurrir el kilometraje.

El Ecuador presenta una peculiar geografía, por ello las condiciones climáticas y atmosféricas varía entre regiones, así la sierra ecuatoriana presenta una mayor altitud sobre el nivel del mar y un clima frío, mientras que la costa se presenta en su mayoría a nivel del mar y con un clima cálido, en el estudio se contemplan estas dos regiones antes descritas y se presume que estas condiciones afectan el comportamiento del aceite lubricante produciendo efectos diferentes, por ello se ha destinado a la unidad 18 cubra rutas en la sierra ecuatoriana, sometido a trabajo a mayor altitud y menos oxígeno, mientras que las unidades 4 y 6 operan en la costa del país, en condiciones de mayor temperatura y humedad.

Con lo antes expuesto se inicia la investigación, con el objetivo de demostrar si existe una diferencia en el comportamiento del aceite lubricante para motores diésel debido a las distintas condiciones geográficas del Ecuador, además se busca modificar el intervalo de kilometraje en el que los dueños de las unidades realizan el cambio de aceite, todo esto llevado a cabo a través del análisis de aceite sometido a muestreo. Si bien existen publicaciones referentes al análisis de aceite como las de Buchelli y García [7], estas no se enfocan en el comportamiento del lubricante a distintas condiciones, por ello se realiza esta investigación inédita con el fin de dar respuesta a los mitos que se han creado los transportistas en referencia al estado del aceite lubricante.

## 2. Metodología

La investigación se basa en tres etapas, la primera denominada motores en la que se cambia el aceite y filtro en las tres unidades con el fin de tener el kilometraje de referencia además de realizar la compra de los insumos necesarios a ocupar a lo largo de la investigación y realizar el contacto con el laboratorio que se encargará de analizar el aceite lubricante, la segunda se denomina muestreo en esta se toman las muestras a 0 Km, 3 000 Km, 6 000 Km y 8 500 Km de recorrido en todas las unidades para posteriormente enviarlas al laboratorio para su análisis, la tercera y última etapa se la denomina resultados, en ella se revisan los resultados provenientes del laboratorio para su interpretación a través de tablas, gráficos y el estudio estadístico, en la Figura 1 se muestra la metodología experimental a forma de esquema que se utilizó en la investigación.



**Figure 1**  
*Metodología experimental aplicada.*

## 2.1. Motores de estudio

Los motores empleados en el estudio, son motores diésel HINO AK de 4 tiempos, 6 cilindros en línea turboalimentados con una cilindrada de 7 684 cm<sup>3</sup>, estos motores generan una potencia de 260 HP a 2 500 rpm con un torque máximo de 748 Nm a 1 600 rpm, estos motores están equipados con inyección Common Rail y obedecen a la norma EURO 3 [8]. En la tabla 1 se observa las principales características técnicas de los motores en estudio.

**Table 1**  
*Características de los motores.*

<b>Tipo</b>	Diésel
<b>Número de cilindros</b>	6
<b>Configuración de los cilindros</b>	En línea
<b>Cilindrada</b>	7 684 cc
<b>Sistema de inyección</b>	Inyección electrónica de riel común
<b>Turboalimentado</b>	Si
<b>Potencia máxima</b>	260 HP @ 2 500 rpm
<b>Torque máximo</b>	748 Nm @ 1 600 rpm

En la investigación se realizó el cambio de aceite y filtro en los tres motores con el fin de tener el kilometraje de referencia para el posterior muestreo, de esta manera los motores quedan encerados y parten de una misma condición, ya que se aplicó el mismo aceite a las tres unidades de estudio, el aceite empleado es el CHEVRON SAE



15W40 con API CI-4 PLUS. En la tabla 2 se observa los kilometrajes de referencia de los tres motores.

**Table 2**

*Kilometrajes de referencia.*

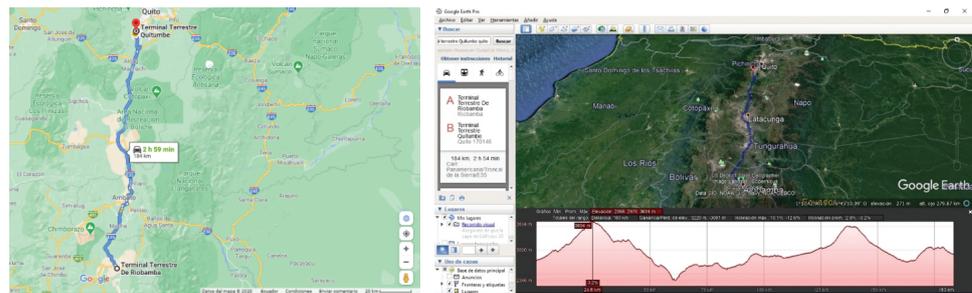
Unidad N°	Fecha	Lugar	Kilometraje Vehículo
18	03/12/2020	Riobamba	159 993
4	24/12/2020	El Carmen	736 100
6	24/12/2020	El Carmen	170 426

## 2.2. Rutas en estudio

Como se mencionó con anterioridad, las unidades de estudio operan en las diferentes regiones del país, por ese motivo cubren rutas diferentes las mismas que presentan condiciones únicas. La unidad 18 al operar en la sierra del país cubre las rutas Riobamba-Quito y Riobamba-Guayaquil estas rutas obedecen a una geografía montañosa a varios metros sobre el nivel del mar por consecuencia se tiene menos oxígeno y el motor se ve sometido a mayor carga, por otra parte, las unidades 4 y 6 cubren las rutas El Carmen-Santo Domingo y El Carmen-Pedernales, estas rutas se encuentran en la región costa del país presentando una mayor temperatura y humedad, a continuación se describen las rutas antes mencionadas.

### 2.2.1. Ruta Riobamba-Quito

La ruta comprende una distancia de 184 Km en carretera desde el terminal terrestre de Riobamba hasta el terminal terrestre de Quito, el tramo en mención es cubierto en un tiempo de 4 horas, una vez que el vehículo llega al destino este tiene una para de descanso, posterior a esto el vehículo retorna a la ciudad de Riobamba por lo que la distancia total recorrida es de 368 Km y 8 horas de trabajo. En cuanto a la geografía de la ruta el software Google Earth indica que la altura máxima en ruta es de 3 604 msnm, la altura mínima es de 2 366 msnm con un promedio de altitud de 2 970 msnm, en cuanto a la inclinación de la geografía el programa muestra una inclinación máxima de 10.01%, -12.06% y una inclinación promedio de 2.08%, -3.2%. En la figura 2 se muestra la geografía de la ruta trazada a través de Google Maps y Google Earth.

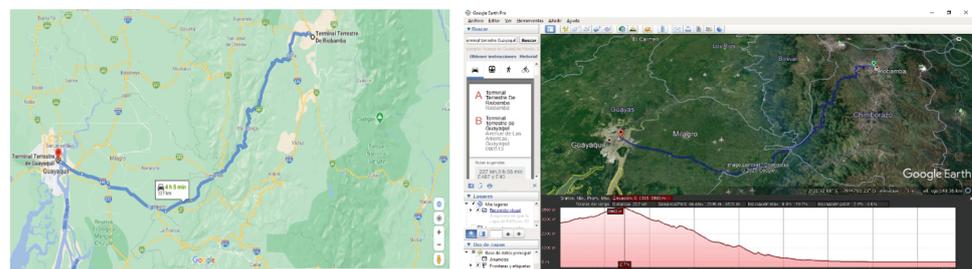


**Figure 2**

*Geografía de la ruta Riobamba-Quito.*

### 2.2.2. Ruta Riobamba-Guayaquil

Esta ruta tiene una distancia en carretera de 227 Km comprendida desde el terminal terrestre de Riobamba hasta el terminal terrestre de Guayaquil, esta ruta se la cubre en un aproximado de 5 horas y 30 minutos, una vez que el automotor llega a su destino tiene una parada de descanso para posteriormente retornar a la ciudad de Riobamba, por lo tanto, la distancia total recorrida es de 454 Km con un tiempo de trabajo de 11 horas. Al trazar la ruta en el software Google Earth, este nos muestra que la altitud máxima es de 3860 msnm y la altitud mínima es de 0 msnm con un promedio de 1315 msnm, además la inclinación máxima en la geografía de la ruta es de 9.9%, -10.7% y el promedio de inclinación de 2.4%, -3.0 %, en la figura 3 se muestra la geografía de la ruta en mención obtenida de Google Maps y Google Earth.



**Figure 3**

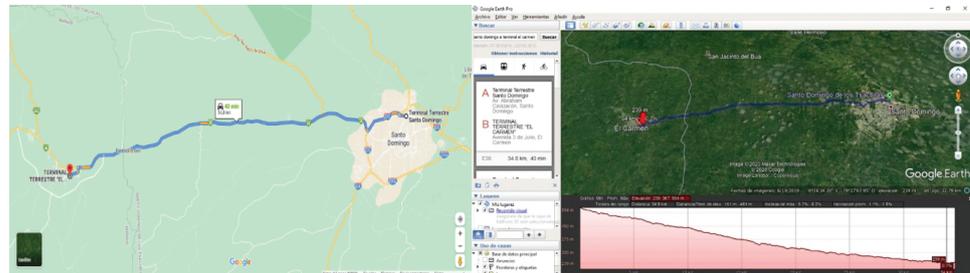
*Geografía de la ruta Riobamba-Guayaquil.*

### 2.2.3. Ruta El Carmen-Santo Domingo

La ruta comprende una distancia de 34.8 Km desde el terminal terrestre de El Carmen hasta el terminal terrestre de Santo Domingo, el recorrido lleva un tiempo de 1 hora y el automotor tiene un tiempo de descanso entre paradas, esta ruta es cubierta 4 veces en el día con un recorrido total de 278.4 Km y 8 horas de trabajo. La ruta muestra datos de



elevación máxima de 554 msnm, elevación mínima de 239 msnm con un promedio de elevación de 367 msnm, en cuanto a la inclinación en la geografía de la ruta el software Google Earth muestra una inclinación máxima de de 5.7%, -6.2% y un promedio de 1.1%,-1.6%, en la figura 4 se muestra la geografía de la ruta obtenida de Google Maps y Google Earth.

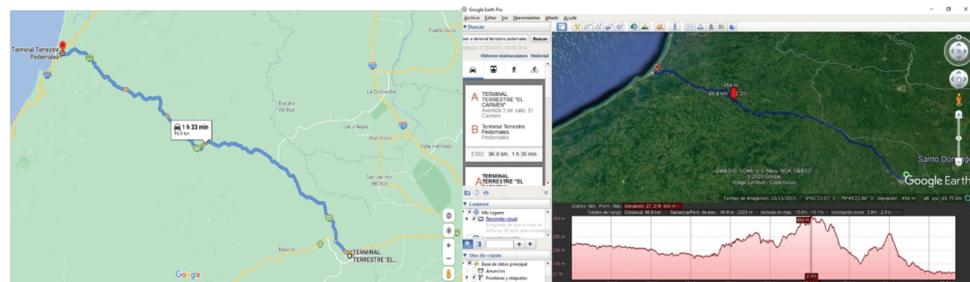


**Figure 4**

*Geografía de la ruta El Carmen-Santo Domingo.*

#### 2.2.4. Ruta El Carmen-Pedernales

La ruta comprende una distancia de 96.9 Km en carretera desde el terminal terrestre de El Carmen hasta el terminal terrestre de Pedernales, el tramo en mención es cubierto en un tiempo de 2 horas, una vez que el vehículo llega al destino este tiene una parada de descanso, posterior a esto el vehículo retorna, por lo que la distancia total recorrida es de 193.8 Km y 4 horas de trabajo. En cuanto a la geografía de la ruta el software Google Earth indica que la altura máxima en ruta es de 454 msnm msnm, la altura mínima es de 27 msnm, en cuanto a la inclinación de la geografía el programa muestra una inclinación máxima de 13.0%, -15.1% y una inclinación promedio de 2.8%, -2.6%. En la figura 5 se muestra la geografía de la ruta trazada a través de Google Maps y Google Earth.



**Figure 5**

*Geografía de la ruta El Carmen-Pedernales.*



## 2.3. Muestreo

Como se mencionó con anterioridad el muestreo es parte esencial en el estudio, a través de este se obtienen las muestras a un intervalo de kilometraje o tiempo con el fin de encontrar irregularidades en el lubricante y evitar daños en los equipos [6], además se realizó un control de muestra con el objetivo de extraer las muestras de aceite de los motores en el kilometraje exacto, en la tabla 3 se observa el control de la muestra extraída a los 3 000 Km de recorrido, en la tabla 4 se encuentra el control a los 6 000 Km de recorrido y en la tabla 5 se observa el control de muestra a los 8 500 Km.

**Table 3**

*Control sobre las muestras de 3 000 Km.*

Unidad N°	Fecha	Lugar	Kilometraje Vehículo	Kilometraje muestra	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Humedad relativa	Presión (hPa)
18	15/12/2020	Riobamba	162993	3000	19	2754	53%	1012
4	7/12/2020	El Carmen	739100	3000	23	236	75%	1013
6	7/12/2020	El Carmen	173426	3000	23	236	75%	1013

**Table 4**

*Control sobre las muestras de 6 000 Km.*

Unidad N°	Fecha	Lugar	Kilometraje Vehículo	Kilometraje muestra	Temperatura °C	Altitud (msnm)	Humedad relativa	Presión (hPa)
18	29/12/2020	Riobamba	165993	6000	18	2754	65%	1015
4	21/01/2021	El Carmen	742100	6000	25	236	72%	1013
6	21/01/2021	El Carmen	176426	6000	25	236	72%	1013

**Table 5**

*Control sobre las muestras de 8 500 Km.*

Unidad N°	Fecha	Lugar	Kilometraje Vehículo	Kilometraje muestra	Temperatura °C	Altitud	Humedad relativa	Presión (hPa)
18	10/01/2020	Riobamba	168493	8500	16	2754	68%	1020
4	31/01/2021	El Carmen	744600	8500	24	236	75%	1012
6	31/01/2021	El Carmen	178926	8500	24	236	75%	1012

## 2.4. Extracción de muestras

Con el fin de evitar la contaminación cruzada de las muestras y por ende la alteración de los resultados del laboratorio, se debe seguir un protocolo al momento de la extracción,

además de utilizar las herramientas y materiales necesarios. En el estudio se utilizó la extracción por vacío, para lo cual nos servimos de una bomba manual de vacío denominada “Vampiro” con codificación IU5718, además de una manguera plástica transparente de  $\frac{1}{4}$  de pulgada y un frasco esterilizado en donde se deposita la muestra, en la figura 6 se muestra el kit de muestreo.



**Figure 6**

*Kit de muestreo.*

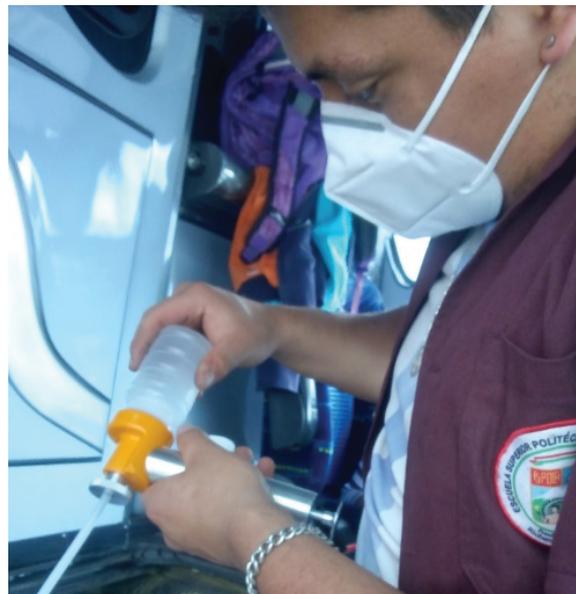
La cantidad de muestra debe ser de 133 cm<sup>3</sup> o hasta que la misma llegue a la señal de FILL RANGE que tiene el recipiente, la muestra debe ser obtenida en un entorno limpio y sin humedad [9], a continuación, se detalla el proceso para extraer las muestras.

1. Encender el motor y dejarlo funcionar a ralentí de 5 a 10 minutos, posterior a esto apagar.
2. Mientras el motor se calienta, cortar la manguera a una longitud de 1.5 m y luego introducirla en la bomba de vacío de manera que la misma sobresalga 2 cm y posterior a ello ajustar el tornillo de sujeción de la bomba, ver la figura 7.
3. Enroscar la botella de muestra en la bomba, ver figura 8.



**Figure 7**

*Colocación de manguera dentro de la bomba de vacío.*



**Figure 8**

*Botella de muestra enroscada en la bomba de vacío.*

4. Una vez apagado el motor se debe limpiar el área de la varilla indicadora de nivel de aceite con la ayuda de una franela limpia, posterior a esto se retira la varilla.
5. Se introduce la manguera a través del ducto del espadín de aceite hasta que llegue al cárter, ver figura 9
6. Accionar la bomba mediante el pasador de bombeo, detener la acción cuando la muestra alcance el nivel indicado en la botella de muestra, ver figura 10.
7. Desmontar la botella de la bomba y enseguida colocar la tapa del frasco de muestra, ver figura 11



**Figure 9**

*Manguera introducida en el espadín de aceite.*



**Figure 10**

*Accionamiento de la bomba de vacío.*

8. Colocar la etiqueta en el frasco y reservar en un lugar limpio para su traslado hacia el laboratorio.
9. Retirar la manguera del ducto de la varilla indicadora de nivel de aceite.
10. Colocar la bomba de vacío de manera que la boquilla en donde se inserta la botella mire hacia arriba, posterior a ello se retira la manguera de la bomba y se asegura que la bomba quede limpia.



**Figure 11**

*Muestra de aceite.*

## 2.5. Ensayos realizados por el Laboratorio

Para evaluar las muestras se debe aplicar ciertos ensayos a nivel de laboratorio con el fin de obtener los datos necesarios, el laboratorio SOS de CATERPILLAR ubicado en la ciudad de Guayaquil ofrece este servicio, en él se pueden realizar ensayos de Inductividad Acoplada Plasma (ICP), Infrarrojo Transformada de Fourier (FTIR), Viscosímetro Automático, Prueba Anticongelante, Contaminación de Agua, Contador de Partículas y Cromatógrafo de Gases.

En el estudio se utilizó los ensayos de Infrarrojo Transformada de Fourier (FTIR) y Viscosímetro Automático, el primer ensayo sirve para analizar las condiciones del aceite, esto se lo consigue mediante un espectrómetro de radiación infrarrojo el mismo que determina la cantidad de ciertos contaminantes como el hollín, oxidación, nitratación y sulfatación, a su vez el proceso se ve referido bajo el método ASTM E2412, mientras que el viscosímetro automático sirve para analizar la viscosidad cinemática del fluido a 100°C bajo el método ASTM D445 [9].

## 2.6. Variables de estudio

El comportamiento del aceite lubricante se lo hace a través de las variables dependientes Viscosidad, Hollín y Sulfatación, las mismas que se enmarcan dentro de la



condición del aceite según la ficha de resultados del laboratorio, en la tabla 6 se muestra la clasificación de las variables.

**Table 6**

*Variables de estudio.*

Clasificación	Variable	Abreviación
Condición de aceite	Viscosidad	V100
	Hollín	ST
	Sulfatación	SUL

Además de las variables se debe tener en cuenta los factores y niveles que producen combinaciones, con el fin de dar un correcto tratamiento estadístico a los resultados [10], para ello se plantea los niveles y factores en la tabla 7, en mencionada tabla se observa el factor de unidades de estudio en donde se subdivide los niveles acordes a las unidades en análisis (Unidad 18, Unidad 4, Unidad 6), como otro factor se tiene las condiciones geográficas con los niveles de sierra y costa que, como se mencionó con anterioridad estas tienen distintas características en cuanto a clima y condiciones atmosféricas.

**Table 7**

*Factores y niveles de las variables.*

Factores	Niveles
Unidades de estudio	Unidad 18
	Unidad 4
	Unidad 6
Condiciones Geográficas	Sierra
	Costa

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados se los obtiene a través de la ficha de resultados que proporciona el laboratorio, en ella se observan los niveles de las variables en estudio y se las tabula a través de tablas, en la figura 12 se observa la ficha dotada por el laboratorio.



CLIENTE: ALLAUCA GUALOTO WILMER ANDRES WILMER ANDRES ALLAUCA GUALOTO Riobamba		ORDEN DE TRABAJO: LABORATORIO SERIE COMPONENTE:		
NÚMERO DE EQUIPO: MAA4587 COMPONENTE: MOTOR NÚMERO DE SERIE: MAA4587		MODELO DEL COMP.: FABRICANTE DEL COMP.:		
FAX: FONO:		MARCA: HINO MODELO: HINO LUGAR DE TRABAJO:		# CONTROL LAB.: MARCA GRADO ACEITE: CHEVRON/15W40 TIPO DE FLUIDO:
TIPO DE MUESTRA: ACEITE		NÚMERO DE GARANTÍA EXTENDIDA:		FECHA DE TÉRMINO: NÚMERO GARANTÍA EXT:
Av. Juan Tanca Marengo Km.3 Guayaquil, Ecuador 593-4-3731777, Ext. 1417 <a href="https://iasaglobal.com/">https://iasaglobal.com/</a>				

# CONTROL LABORATORIO	FECHA MUESTREO	FECHA PROCESO	HORÓMETRO	HORAS ACEITE	¿CAMBIO ACEITE?	RELLENO	UNIDADES DEL RELLENO	¿CAMBIO FILTRO?
R440-51012-0049	12/121	12/121	173426 HR	3000 HR	No			No

Normal

ES NECESARIO MÁS MUESTRAS PARA ESTABLECER EL HISTORIAL NORMAL DE DESGASTE. LAS CONDICIONES DEL ACEITE ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. TOME OTRA MUESTRA A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.

Condición de aceite / Conteo Partículas	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	V100
R440-51012-0049	10	11	4	17	N	N	N	14.214

Ag = Plata, Al = Aluminio, B = Boro, Ca = Calcio, Cr = Cromo, Cu = Cobre, Fe = Hierro, P = Fósforo, K = Potasio, Mg = Magnesio, Mo = Molibdeno, Na = Sodio, Ni = Níquel, Pb = Plomo, Si = Silicio, Sn = Estaño, Ti = Titanio.  
 Zn = Zinc, A = Antioxigenante, F = Combustible, W = Agua, P = Positivo, N = Negativo, E = Excesivo, NIT = Nitrosos, OXI = Oxidación, ST = Sulfato, SUL = Sulfatación, ISO = Nivel de Impureza,  
 PQI = Índice de Cuantificador de Partícula, NAW = Agua salada, FL PI = Punto álgido, TAN = Número Total Ácido, TBN = Número Total Básico, H2O = Karl Fisher, V100 = Viscosidad a 100C, V40 = Viscosidad a 40C, VI = Índice de Viscosidad

Nota: El propósito de este análisis es únicamente para detectar desgastes mecánicos. No debe entenderse como garantía expresa o implícita de que no ocurra una falla del equipo o alguno de sus componentes.

Figure 12

Ficha de resultados.

### 3.1. Viscosidad

En la tabla 8 se observan los datos de viscosidad en función de las unidades de estudio y el kilometraje recorrido, la unidad respectiva de los datos es cSt a 100 grados centígrados.

Table 8

Resultados de V100.

Unidad	0 Km	3 000 Km	6 000 Km	8 500 Km
18	14.399	14.294	14.266	14.38
4	14.399	14.380	14.162	14.255
6	14.399	14.214	14.121	14.079

En la figura 13 se observan los datos en forma de barras, notando que todas las unidades de estudio parten de una misma condición en los 0 Km de recorrido, además, en este intervalo se encuentra el valor máximo de viscosidad y a medida que el kilometraje avanza se aprecia la variación de V100 notando que al final del recorrido la unidad 18 es la única que presenta un valor mayor al valor inicial. La viscosidad es importante ya que debe mantener el grosor adecuado en la película lubricante, si la viscosidad es baja producirá desgaste, si la viscosidad es alta el aceite no podrá lubricar ciertas partes del motor [9].

Los datos mostrados siguen un tratamiento estadístico, se aplica análisis ANOVA y LSD a un 95% de confianza con el fin de identificar si existe diferencia significativa entre los datos de las unidades de estudio, en la tabla 9 se observa los resultados



**Figure 13**

*Datos de viscosidad.*

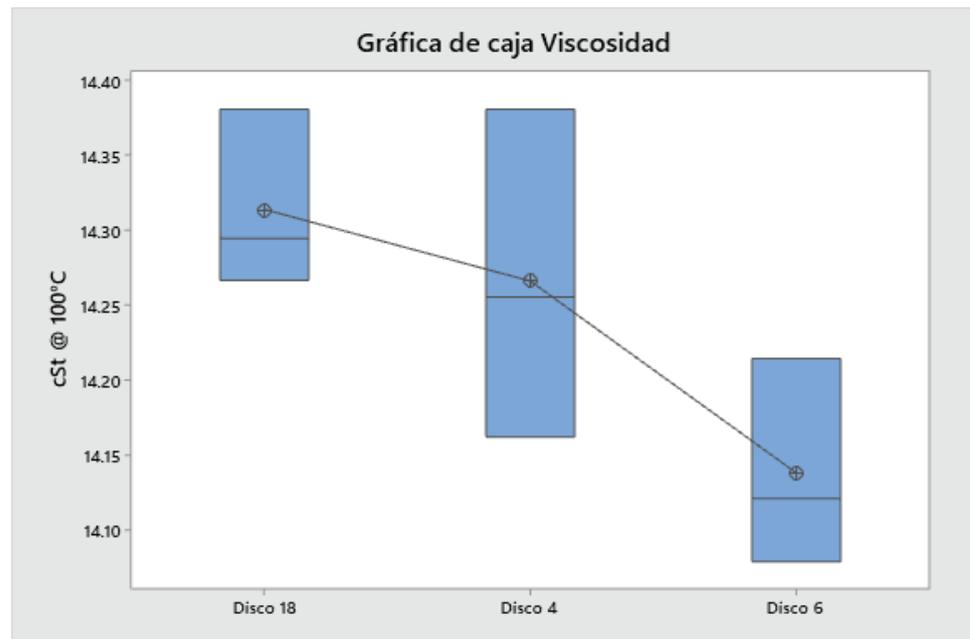
del análisis LSD, en ella se observa que la unidad 18 y 6 mantienen una diferencia significativa, la diferencia porcentual entre estas dos es del 2.09%, esto se ve apoyado por lo expuesto por los investigadores Saldivia [11], el cual menciona que la viscosidad varía desde los 14.4 cSt @ 100°C hasta 11 cSt @ 100°C al finalizar la prueba en una unidad de estudio situada en Cancún-México (0 msnm), por otra parte Altamirano[12], indica que la viscosidad varía desde los 14,5 cSt @ 100°C a 12,5 cSt @ 100°C al finalizar la prueba en una unidad de estudio situada en Latacunga-Ecuador (2 850 msnm), por lo que se denota claramente que las unidades de estudio que se encuentran a mayor altitud tienen una tendencia en recuperar su valor inicial de viscosidad e incluso superarlo, si bien los datos a modo de comparación no podrían validarse, al utilizarse el aceite SAE 15W40 en las investigaciones dan un criterio de fiabilidad de lo expuesto. En la figura 14 se muestra un diagrama en donde se compara la media de los datos obtenidos de las unidades de estudio.

**Table 9**

*LSD de V100.*

Factor	N	Media	Agrupación	
Unidad 18	3	14.3133	A	
Unidad 4	3	14.2657	A	B
Unidad 6	3	14.1380		B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



**Figure 14**

*Grafico comparativo de la viscosidad entre vehículos.*

### 3.2. Hollín

El hollín se lo mide en partículas por millón (ppm), los datos obtenidos del laboratorio se muestran en la tabla 10, en la mencionada tabla se observan los resultados agrupados acorde a la unidad de estudio y el kilometraje recorrido, como se mencionó con anterioridad estos resultados se obtienen por parte del laboratorio al aplicar el ensayo FTIR.

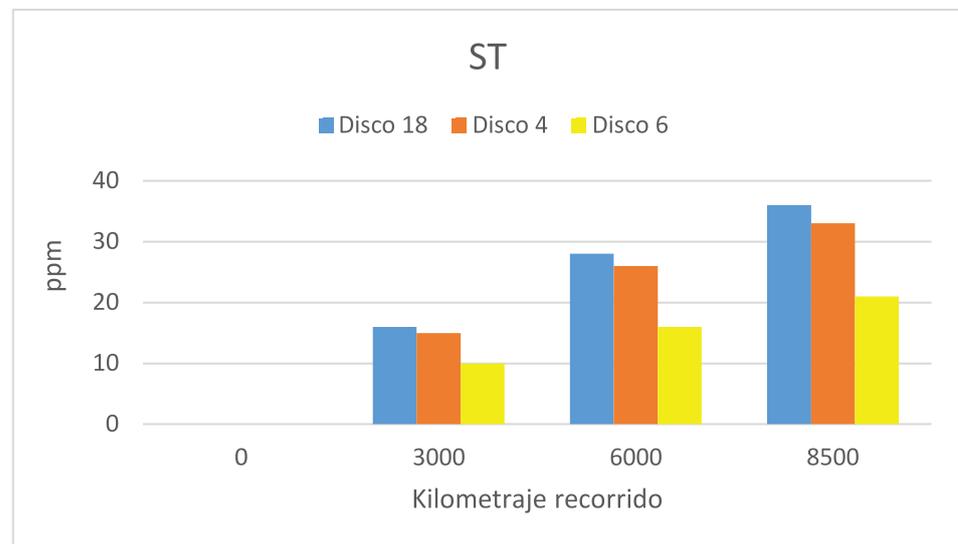
**Table 10**

*Resultados de ST.*

Unidad	0 Km	3000 Km	6000 Km	8500 Km
<b>18</b>	0	16	28	36
<b>4</b>	0	15	26	33
<b>6</b>	0	10	16	21

En la figura 15 se observa un diagrama de barras que representa los datos de las tres unidades de estudio correspondiente al hollín, todas las unidades parten de 0 ppm ya que el aceite se encuentra nuevo, además en el diagrama se nota que la unidad 18 es la que presenta el valor mayor de ST en todos los intervalos de kilometraje, mientras que la unidad 6 muestra el efecto contrario. El hollín es una partícula insoluble proveniente de combustiones incompletas y se mantiene en suspensión en el aceite con ayuda de los aditivos, su aspecto es similar a la ceniza, pero de color negro este es

el motivo por lo que el lubricante adquiere ese color peculiar, el hollín es considerado un agente nocivo para la vida útil del aceite ya que produce un aumento en la viscosidad y también que los aditivos del aceite desaparezcan [9], Según Mejía [13], el exceso de hollín causa abrasión y formación de lodos produciendo una falta de lubricación en lugares de acceso difícil por ende las piezas móviles sufren un desgaste excesivo.



**Figure 15**

*Datos de Hollín.*

Al igual que la variable anterior, los datos siguen un tratamiento estadístico mediante ANOVA y LSD con un nivel de confianza del 95%, esto con el fin de identificar si existe una diferencia significativa entre unidades, en la tabla 11 se observa los resultados del análisis LSD en donde se observa que las unidades 18 y 6 obedecen a una agrupación distinta por lo tanto mantienen una diferencia significativa, la diferencia porcentual entre las dos unidades es de 41.67%, al analizar los datos de otros investigadores como Saldivia[11], observamos que los valores de Hollín pasa de 0 ppm a 30 ppm a lo largo del muestreo realizado sobre la unidad de estudio situada en la ciudad de Cancún-México (0 msnm), mientras que Altamirano [12], muestra en sus datos que los niveles de Hollín pasa de 0 a 11 ppm en la unidad de estudio situada en Latacunga-Ecuador (2 850 msnm), al comparar los datos del autor Saldivia se observa que los datos obedecen a la tendencia mostrada por la unidad 6, mientras que los datos de Altamirano al ser comparados con la unidad 18 no tienen concordancia, esto debe ser a consecuencia del kilometraje de muestreo sin embargo, se evidencia el crecimiento en el valor de ST, la mayor concentración de Hollín observado en la unidad 18 está ligada directamente con combustiones incompletas, esto derivado de la falta de oxígeno que se producen



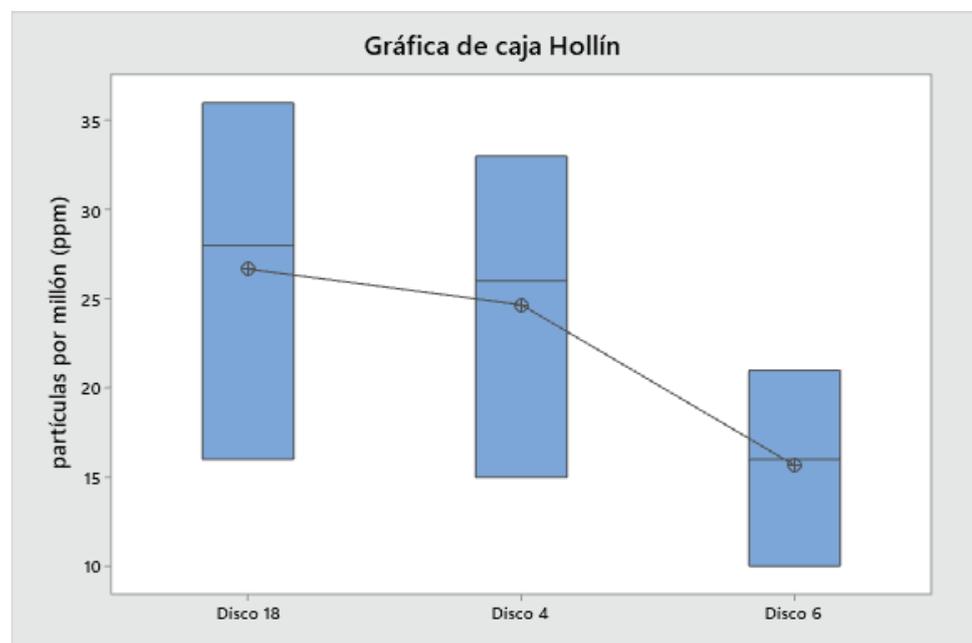
a mayores altitudes. En la figura 16 se observa un diagrama en donde se compara la media de los datos de Hollín obtenidos de las tres unidades de estudio y en donde se evidencia la diferencia que mantienen las unidades 18 y 6.

**Table 11**

*LSD de ST.*

Factor	N	Media	Agrupación
Unidad 18	3	26.67	A
Unidad 4	3	24.67	A
Unidad 6	3	15.67	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



**Figure 16**

*Grafico comparativo del hollín entre vehículos.*

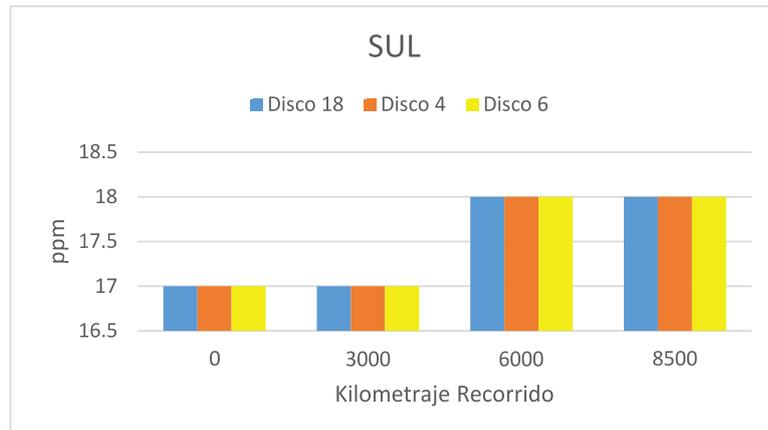
### 3.3. Sulfatación

Los datos obtenidos de sulfatación obedecen a la unidad de media ppm (partículas por millón), al igual que la variable anterior este resultado se obtiene al aplicar el ensayo FTIR, mencionados resultados se los observa en la tabla 12 en donde se encuentran ordenados acorde a la unidad de estudio y el kilometraje recorrido.

**Table 12***Resultados de SUL.*

Unidad	0 Km	3000 Km	6000 Km	8500 Km
18	17	17	18	18
4	17	17	18	18
6	17	17	18	18

En la figura 17 se observa un diagrama de barras realizado con los datos de sulfatación provenientes de las 3 unidades de estudio, se observa que en todas las unidades existe un incremento de 1 ppm pasando de 17 a 18 ppm a los 6 000 Km de recorrido, por tanto, a simple vista no se observa una diferencia entre unidades. El fenómeno de sulfatación no es más que un ácido producto del azufre contenido en el combustible que se libre en el proceso de combustión y al combinarse con el agua se oxida y se forma este ácido, el mismo que se encarga de deteriorar camisas, válvulas, guías válvulas y anillos de pistón [13], los lubricantes de motor diésel cuentan con aditivos para neutralizar este efecto, sin embargo es necesario monitorear esta variable ya que si los valores de Sulfatación son altos producirá que el aceite acorte su vida útil [8]

**Figure 17***Datos de Sulfatación.*

Mediante el tratamiento estadístico ANOVA y LSD a un nivel de confianza del 95% se determina que no existe diferencia significativa entre unidades de estudio, este resultado se lo observa en la tabla 13 en donde las unidades de estudio se encuentran agrupadas bajo una misma letra, otros autores señalan un cambio más abrupto en la sulfatación ejemplo de ello se tiene a Buchelli y García [7], quienes indican que la sulfatación cambia de 18 ppm a 21 ppm al terminar el monitoreo, en la unidad de estudio situada en la ciudad de Milagro-Ecuador (12 msnm), por otra parte Altamirano [12], indica que en su unidad de estudio el cambio de sulfatación va desde las 20 ppm hasta las

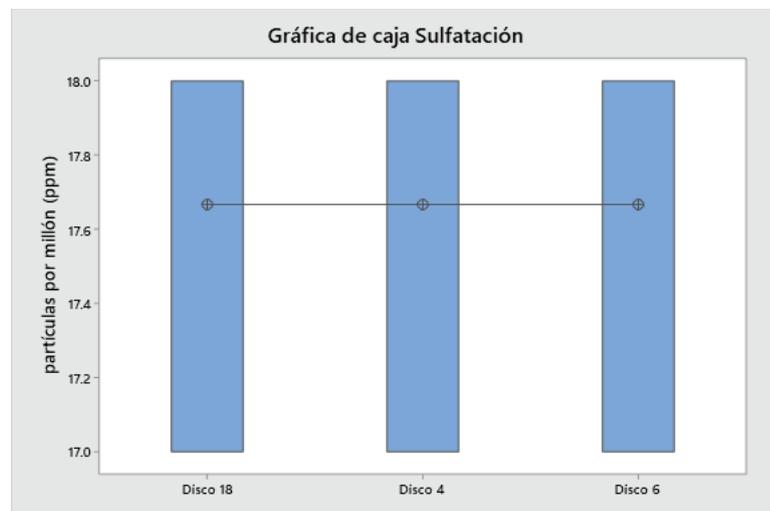
14 ppm este estudio fue realizado en Latacunga-Ecuador (2 850 msnm), ambos autores indican que este fenómeno es producido directamente al combustible empleado, por ello se ve justificado que no exista diferencia entre las unidades de estudio 18, 4 y 6 ya que el combustible que usan estos automotores es el mismo. En la figura 18 se observa el diagrama de cajas en donde se compara las medias de los datos obtenidos en las tres unidades de estudio en donde se evidencia que no existe diferencia entre ellas.

**Table 13**

LSD de SUL.

Factor	N	Media	Agrupación
Unidad 6	3	17.667	A
Unidad 4	3	17.667	A
Unidad 18	3	17.667	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



**Figure 18**

*Gráfico comparativo de sulfatación entre vehículos.*

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

Al analizar e interpretar los datos provenientes del análisis de aceite y una vez tratados estadísticamente, se concluye que, si existe una diferencia en el comportamiento del aceite lubricante debido a las diferentes condiciones geográficas, teniendo una diferencia porcentual del 2.09% en la viscosidad entre la unidad 18 que opera en condiciones de mayor altitud pese a que la unidad 6 que trabaja en condiciones



de mayor temperatura y humedad, otro índice que sustenta lo antes mencionado es la diferencia en el hollín, teniendo un 41,67% de diferencia entre las unidades antes mencionadas, esta cifra se ve justificada a la falta de oxígeno que se tiene a mayor altitud sobre el nivel del mar.

Al finalizar el estudio se tiene evidencia suficiente para concluir que los intervalos de kilometraje en el cambio de aceite deben ser modificados, por ello a la unidad 18 se sugiere cambiar el aceite lubricante a los 8 500 Km de recorrido lo que significa un aumento de 1 500 Km al kilometraje que originalmente se mantenía para esta operación, además a las unidades 4 y 6 se les sugiere el cambio de aceite a los 10 000 Km evidenciando un aumento de 3 000 km, esto sustentado en que el aceite lubricante tiene un comportamiento distinto en las diferentes regiones del país.

Al utilizar el mismo combustible en las tres unidades de estudio no se evidencia un cambio agresivo en la sulfatación, por lo que se concluye que esta variable obedece directamente al combustible empleado no por ello se debe descuidar este factor, por tanto se recomienda utilizar el filtro de aceite original para mantener controlado los fenómenos que puede producir la Sulfatación, además de utilizar el equipo adecuado antes descrito para la extracción de muestras sin violar el protocolo descrito con el fin de asegurar la calidad de las muestras y no alterar los resultados.

Es recomendable realizar un muestreo más grande con el fin de tener más datos y de esta manera el análisis estadístico ANOVA y LSD sea más eficiente, mostrando una mayor diferencia significativa entre unidades de estudio.

## References

- [1] Barrera Gallegos LA, Velecela Romero FA. Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Azogues. 2015; Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7691>
- [2] Maldonado Díaz CE. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo de motores diesel basado en análisis de aceite. QUITO/EPN/2010; 2010; Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2454>
- [3] Aldas Arguello MW. Análisis del comportamiento de compra de marcas de lubricantes automotrices en la ciudad de Guayaquil. 2018 ; Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9943>
- [4] Tenesaca F, Hidalgo G. Anuario de Estadística de Transporte. Boletín técnico N°-01-2019-OE. 2019; Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/>



web-inec/Estadisticas\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2018/2018\_ ANET\_BOLETIN.pdf

- [5] Martínez BT. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Reverté; 2005; Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DqJuqL\\_UzjkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=DIAGN%C3%93STICO+DE+MOTORES+DIESEL+MEDIANTE+EL+AN%C3%81LISIS%09DEL+ACEITE+USADO&ots=kl8KgpjBp3&sig=4746XEzhuBf5\\_Ga1ycGkOrObjio#v=onepage&q=DIAGN%C3%93STICO%20DE%20MOTORES%20DIESEL%20MEDIANTE%20EL%20AN%C3%81LISIS%09DEL%20ACEITE%20USADO&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DqJuqL_UzjkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=DIAGN%C3%93STICO+DE+MOTORES+DIESEL+MEDIANTE+EL+AN%C3%81LISIS%09DEL+ACEITE+USADO&ots=kl8KgpjBp3&sig=4746XEzhuBf5_Ga1ycGkOrObjio#v=onepage&q=DIAGN%C3%93STICO%20DE%20MOTORES%20DIESEL%20MEDIANTE%20EL%20AN%C3%81LISIS%09DEL%20ACEITE%20USADO&f=false)
- [6] Intertek. Análisis y evaluación del aceite lubricante. CALEBBRETT; 2017; Disponible en: <https://www.intertek.com.pe/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=34359809429>
- [7] Buchelli Carpio L, Garcia Granizo V. DETECCIÓN TEMPRANA DE FALLAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIESEL MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE ACEITE. 2015; Disponible en: <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/3102>
- [8] Mavesa. Hino Bus. 2017.
- [9] CATERPILLAR. "Servicios de S O S de Cat". 2017. S.l.: s.n.
- [10] Rocha Hoyos JC, Llanes Cedeño EA, Celi Ortega SF, Peralta Zurita DC. Efecto de la adición de biodiésel en el rendimiento y la opacidad de un motor diésel. Información Tecnológica. 2019;30(3):137-146; Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/333913975\\_Efecto\\_de\\_la\\_Adicion\\_de\\_Biodiesel\\_en\\_el\\_Rendimiento\\_y\\_la\\_Opacidad\\_de\\_un\\_Motor\\_Diesel](https://www.researchgate.net/publication/333913975_Efecto_de_la_Adicion_de_Biodiesel_en_el_Rendimiento_y_la_Opacidad_de_un_Motor_Diesel)
- [11] Saldivia F. Aplicación De Mantenimiento Predictivo. Caso Estudio: Análisis De Aceite Usado En Un Motor De Combustión Interna. Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity. 2013, Mexico pp. 1-10. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>
- [12] Altamirano León GA. Análisis tribológico de la utilización del aceite PDV de Petroecuador SAE 15W40 para determinar el rendimiento del motor de la volqueta MACK GU813E perteneciente al cuerpo de ingenieros del ejército. Universidad de las Fuerzas Armadas, Ingeniería Automotriz, Latacunga-Ecuador. 2017; Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13198/1/T-ESPEL-MAI-0578.pdf>
- [13] Mejía Chiriboga CA. Análisis de los parámetros del motor en base del estudio del lubricante, para una gallineta Caterpillar 416E. 2015; Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4959>
- [14] Bedón Tayan JI. Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento



- de soluciones viables para el GAD de Ibarra. 2018; Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7934>
- [15] Enriquez Jaramillo GE. Diagnóstico del impacto ambiental causado por los aceites automotrices usados en la ciudad de Piñas, El Oro, Ecuador. Universidad del Azuay; 2016; Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6265>
- [16] Piloto López N, Perdomo Torres LS, Rodríguez Ramos PA, Lavado Ruiz CI. Gestión de riesgos en la lubricación y lubricantes de una flota de transporte. *Ingeniería Mecánica*, 23(2). (2020); Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442020000200006&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442020000200006&script=sci_arttext&lng=pt)
- [17] Igartua A. La importancia del análisis tribológico para ahorrar costes [Internet]. *Industriaquimica.es*. 2015; Disponible en: <https://www.industriaquimica.es/articulos/20151203/importancia-analisis-tribologico-ahorrar-costes>
- [18] INNEN 2030. Instituto ecuatoriano de normalización productos derivados del petróleo. Aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo de diesel. Requisitos. Primera Edición. 2011.
- [19] Plaza Toala JJ. Estudio de la participación de mercado de lubricantes en los lubriservicios y tecnicentros de la parroquia Tarqui de la ciudad de Guayaquil para la introducción del aceite de motor holandés Eurol. Universidad de Guayaquil, Facultad de Comunicación Social; 2018; Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/31286>
- [20] Puente E, Remache Coyago AP, Aulestia Martínez RD, Noroa Merchan MV. Análisis tribológico en un motor de gasolina con dos marcas de lubricantes y la misma especificación. *INNOVA Research Journal* [Internet]. 2017;2(3):150–66. Disponible en: <http://201.159.222.115/index.php/innova/article/view/191>
- [21] Sosa Tobar EA, Castillo Tutiven CO, Talbot J. Producción y Comercialización de Bases y Aceites Lubricantes Partiendo del Aceite Usado. *Espol*; 2015; Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/30356>
- [22] Zambrano Bajaña MB. Consumo del lubricante 12k 5w30 de la marca Golden Bear en la provincia de Santa Elena. 2016; Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7798>