



## **Departamento de Posgrados**

### **Maestría en Sistemas Vehiculares**

Determinación de la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido

#### **Magíster en Sistemas Vehiculares**

##### **Autor**

Ing. Thelmo Fernando Guerrero Palacios

##### **Director**

Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo Msc.

**Cuenca, Ecuador**

**2016**

## DEDICATORIA

El esfuerzo empeñado en el desarrollo de esta maestría y del presente trabajo,  
dedico a mis seres queridos:

En la memoria mis padres Anita y Eliecer,  
A mi querida esposa July y mis adorables hijos Juan Fer y José Daniel; espero que  
Ustedes me disculpen y me perdonen por el tiempo que seguramente no pudimos  
compartir juntos, que Dios nos permita ser felices por siempre.

Con cariño:

Papi Fer

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud para:

Mateo Coello Salcedo, director del presente trabajo; para los integrantes del tribunal: Andrés López Hidalgo y Daniel Cordero Moreno; para María Elena Cazar de Salgado por su desinteresada asesoría.

Para la empresa CONAUTO y su gerente en la ciudad de Cuenca Xavier Armas y para todos los integrantes del laboratorio Swissoil.

Reciban un abrazo sincero que signifique:

¡Gracias de verdad!

Fernando

## RESUMEN

Para evaluar la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido, se seleccionó un grupo de vehículos (22 autos) de transporte de la modalidad "taxis" con características similares, posteriormente se procedió a renovar el fluido de lubricación y a registrar los recorridos para ejecutar las evaluaciones de viscosidad, número básico total, dilución de combustible, contaminación con silicio y determinación del desgaste mediante la examinación de la presencia de metales en las muestras de aceite tomadas en algunos kilometrajes referenciales (cada mil kilómetros a partir de los 3000 km en cinco automotores y 4000 km en los 17 restantes); los análisis se remitieron al laboratorio para la valoración de las muestras según la normativa de la asociación para ensayo de materiales (ASTM), con los resultados se desarrolló un análisis de datos estadísticos que permitió determinar el kilometraje hasta el cual se recomienda conservar un aceite por las características aceptables de los parámetros mencionados anteriormente. La alta contaminación del aceite de motor con el combustible detectada desde el inicio del muestreo y análisis de laboratorio, motivó a que se examine también este parámetro; por lo tanto, se recomienda en futuras investigaciones indagar sobre las causas que están provocando esta contaminación, con el objeto de corregirlas, para extender la vida útil del fluido de lubricación.

## PALABRAS CLAVES

Degradación y contaminación del aceite de motores Otto, viscosidad, TBN, dilución de combustible, desgaste del motor.

## DETERMINATION OF OTTO ENGINES OIL DEGRADATION AND POLLUTION IN RELATION TO MILEAGE TRAVELED

### ABSTRACT

In order to assess the degradation and contamination of Otto engine oil based on the mileage traveled, a group of "taxis" transport vehicles (22 cars) with similar characteristics was selected. Then, we proceeded to renew the lubricating fluid and record the routes so as to carry out the assessments of viscosity, total base number, fuel dilution, contamination with silicon and wear determination by examining the presence of metals in the oil samples taken in some reference mileages (every thousand kilometers from 3000 km in five cars, and 4000 km in the remaining 17). The analyses were submitted to the laboratory for the evaluation of samples according to the rules of the American Society for Testing and Materials" (ASTM). An analysis of statistical data based on the results obtained allowed us to determine the mileage to which it is recommended to keep the oil that maintains the acceptable characteristics of the above mentioned parameters. The high contamination of engine oil with fuel detected since the start of sampling and laboratory analysis motivated the assessment of this parameter. Therefore, it is recommended in future research to investigate the causes that are producing this pollution in order to correct them, and extend the life of lubricating fluid.

**KEYWORDS:** Degradation, Contamination, Viscosity, Number, Basic, Total, Dilution, Gas, Wear, Motor.



  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS, FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	2
1.1 Antecedentes de la investigación.....	2
1.1.1 Problemática.....	3
1.1.2 Hipótesis.....	3
1.1.3 Objetivo general.....	3
1.1.4 Objetivos específicos.....	3
1.1.5 Justificación.....	3
1.1.6 Planteamiento de la tesis.....	4
1.2 Lubricación en los motores.....	5
1.2.1 Lubricación al límite.....	7
1.2.2 Lubricación semifluida.....	7
1.2.3 Lubricación fluida.....	7
1.3 Aceites para motor.....	8
1.3.1 Aceites minerales.....	8
1.3.2 Aceites semisintéticos.....	10
1.3.3 Aceites sintéticos.....	10
1.4 Propiedades de los lubricantes.....	10
1.4.1 Número total de base (TBN).....	10
1.4.2 Viscosidad.....	11
1.4.2.1 Viscosidad dinámica o absoluta.....	11
1.4.2.2 Viscosidad cinemática.....	15

1.5 Índice de Viscosidad (IV).....	16
1.6 Clasificación por la viscosidad o norma SAE .....	20
1.6.1 Monógrado.....	22
1.6.2 Multigrado.....	22
1.7 Aditivos.....	23
1.7.1 Depresores del punto de congelación.....	23
1.7.2 Punto de inflamación.....	24
1.7.3 Detergentes.....	24
1.7.4 Dispersantes.....	25
1.7.5 Inhibidores de la corrosión.....	25
1.7.6 Inhibidores de la oxidación.....	25
1.7.7 Anti-desgaste.....	26
1.7.8 Mejoradores de la viscosidad.....	27
1.7.9 Modificadores de fricción.....	28
1.7.10 Anti-espuma.....	28
1.8 Clasificación API.....	29
1.9 Deterioro y pérdidas de propiedades del aceite del motor.....	33
1.9.1 La oxidación.....	33
1.9.1.1 Secuelas de la oxidación del aceite.....	34
1.9.1.1.1 Acidez.....	34
1.9.1.1.2 Viscosidad.....	34
1.9.1.1.3 Metales de desgaste.....	34
1.9.1.1.4 Coloración y residuos carbonosos.....	34
1.9.1.1.5 Aditivos.....	35
1.9.2 Nitración.....	35

1.9.3 Contaminación.....	35
1.9.3.1 Estado sólido.....	36
1.9.3.2 Estado semi-sólido.....	36
1.9.3.3 Estado gaseoso.....	37
1.9.3.4 Estado líquido.....	37
1.9.3.5 Agua emulsionada con el aceite.....	37
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	39
2.2 Introducción.....	39
2.2 Mantenimiento predictivo.....	39
2.2.1 Técnicas aplicables al mantenimiento predictivo.....	40
2.2.1.1 Análisis de vibraciones.....	40
2.2.1.2 Termografía Infrarroja.....	40
2.2.1.3 Análisis por ultrasonido .....	40
2.2.1.4 Análisis de aceite.....	40
2.2 Normativas que estandarizan las diferentes pruebas para los análisis de aceites y sus cálculos.....	41
2.2.1 Clasificación del aceite para motores por la viscosidad (SAE J300).....	41
2.3.1.1 Métodos de ensayo a baja temperatura.....	41
2.3.1.2 Métodos de ensayo a alta temperatura.....	42
2.3.1.3 Método de prueba estándar para viscosidad cinemática.....	43
2.3.1.4 Cálculo de la viscosidad dinámica ( $\eta$ ).....	45
2.3.2 Determinación del TBN.....	49
2.3.3 Análisis por espectrometría de emisión atómica por disco rotativo .....	51
2.3.4 Dilución por combustible.....	53
2.4 Valoración de los límites de desgaste máximo en los motores de	

combustión interna.....	58
2.4.1 Definición de límites condenatorios .....	58
2.4.2 Información de los límites condenatorios.....	58
2.5 Análisis del tipo de vehículos y lubricantes recomendados.....	59
2.5.1 Tipo de vehículos que participarán en la investigación.....	59
2.5.2 Características de los aceites que recomiendan los fabricantes y talleres autorizados.....	61
2.6 Metodología de para la toma de muestras de aceite.....	63
2.6.1 Toma de muestras de aceite de motor.....	63
2.6.2 Precauciones respecto a la toma de muestras de aceite.....	64
2.6.3 Procedimiento para la toma de una muestra de aceite de motor.....	66
<b>CAPÍTULO III: ANALISIS DE LA DEGRADACION Y CONTAMINACION</b>	
DEL ACEITE EN MOTORES OTTO.....	68
3.1 Conceptos estadísticos para el análisis de datos.....	68
3.1.1 Tamaño de la muestra.....	68
3.1.2 Regresión lineal y correlación.....	68
3.1.3 Coeficiente de correlación de Pearson (R).....	69
3.1.4 Coeficiente de determinación ( $R^2$ ).....	70
3.1.5 Mínimos cuadrados.....	71
3.1.6 Definiciones y procedimientos de cálculo de algunas medidas de centro y variabilidad.....	73
3.1.6.1 Media o promedio.....	73
3.1.6.2 Rango (R).....	73
3.1.6.3 Definición de rango tolerable (RT).....	73
3.1.6.4 Varianza de una población ( $\sigma^2$ ).....	73
3.1.6.5 Varianza de una muestra ( $s^2$ ).....	74
3.1.6.6 Desviación típica o estándar.....	74
3.1.7 Análisis t de Student.....	74

3.1.8 Prueba de hipótesis en muestras pequeñas utilizando la t de Student .....	76
3.2 Análisis de la degradación de la viscosidad.....	76
3.2.1 Análisis de la viscosidad para muestras menores a 5000 km.	
aceite SAE 20W50 .....	81
3.2.2 Análisis de la viscosidad para muestras mayores a 5000 km.	
aceite SAE 20W50.....	82
3.2.3 Análisis de la viscosidad para muestras menores a 5000 km.	
aceite SAE 10W30.....	83
3.2.4 Análisis de la viscosidad para muestras mayores a 5000 km.	
aceite SAE 10W30.....	85
3.3 Análisis de la degradación del TBN.....	86
3.3.1 Análisis del TBN para muestras menores a 5000 km.	
aceite SAE 20W50.....	90
3.3.2 Análisis del TBN para muestras mayores a 5000 km.	
aceite SAE 20W50.....	91
3.3.3 Análisis del TBN para muestras menores a 5000 km.	
aceite SAE 10W30.....	92
3.3.4 Análisis del TBN para muestras mayores a 5000 km.	
aceite SAE 10W30.....	94
3.4 Análisis de la contaminación por dilución de combustible en los aceites.....	95
3.4.1 Análisis de la dilución de combustible para muestras menores	
a 5000 km. Aceite SAE 20W50.....	99
3.4.2 Análisis de la dilución de combustible para muestras menores	
a 5000 km. Aceite SAE 10W30.....	100

3.5 Análisis de la contaminación con silicio.....	102
3.6 Análisis de la contaminación del aceite en función de la presencia de metales en las muestras.....	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
BIBLIGRAFIA.....	113
ANEXOS.....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS.

### FIGURAS

Fig. 1.1.- Desgaste adhesivo entre superficies en contacto .....	5
Fig., 1.2.- Sistema de lubricación de un motor Otto.....	6
Fig. 1.3.- Tipos de lubricación.....	8
Fig.1.4.- Comportamiento de un fluido en flujo laminar entre dos placas paralelas.....	11
Fig. 1.5.- Comparación de aceites con diferente viscosidad.....	13
Fig. 1.6.- La razón de deformación de un fluido newtoniano es proporcional al esfuerzo cortante, y la constante de proporcionalidad es la viscosidad....	14
Fig. 1.7.- Modificación del esfuerzo cortante con la fracción de deformación para fluidos newtonianos y no-newtonianos.....	15
Fig. 1.8.- Curvas de índices de viscosidad comunes.....	17
Fig. 1.9.- Comparación de la viscosidad de un aceite multigrado con dos monógrados .....	23
Fig. 1.10.- Estructura química del aditivo ZDDP.....	27
Fig. 1.11.- Comportamiento de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad ...	27
Fig. 1.12.- Polidimetilsiliconas.....	28
Fig. 2.1.- Evolución de la señal temporal de la vibración de una máquina .....	40
Fig. 2.2.- Tipos de aceite para motores de ciclo Otto en función de la temperatura de la región en la que operará.....	42
Fig. 2.3.- Tipos de viscosímetros de vidrio.....	43
Fig. 2.4.- Picnómetro de Bingham.....	48

Fig. 2.5.- Número total de base.....	50
Fig. 2.6.- Titulador potenciométrico.....	51
Fig. 2.7.- Espectrómetro por electrodo y disco rotatorio.....	52
Fig. 2.8.- Medición del combustible en aceites.....	55
Fig. 2.9.- Región de análisis de combustible Diésel para lubricantes a base de petróleo.....	57
Fig. 2.10.- Representación de las marcas de automotores más utilizadas para dar el servicio de taxis en Cuenca.....	61
Fig. 2.11.- Aceites recomendados por Hyundai en función de la temperatura externa que se prevea para la región en la que funcionará el motor.....	62
Fig. 2.12.- Aceites recomendados por Nissan en función de la temperatura externa que se prevea para la región en la que funcionará el motor.....	63
Fig. 2.13.- Bomba de succión y longitud de la cañería para toma muestras.....	64
Fig. 2.14.- El almacenamiento de las muestras debe realizarse en lugares oscuros y secos.....	65
Fig. 2.15.- Proceso previo a la extracción de las muestras de aceite.....	67
Fig. 3.1.- Intersección con el eje y pendiente de la recta.....	69
Fig. 3.2.- Gráficas de dispersión o variabilidad con diferentes coeficientes de correlación.....	70
Fig. 3.3.- Representación de la recta ajustada para un conjunto de datos bivariados.....	71
Fig. 3.4.- Comportamiento de la viscosidad del aceite SAE 20W50 en función del recorrido de los automotores.....	77
Fig. 3.5.- Comportamiento de la viscosidad del aceite SAE 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	77
Fig. 3.6.- Promedios de viscosidad en los diferentes kilometrajes de	

referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 20W50.....	78
Fig. 3.7.- Promedios de viscosidad en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 10W30.....	79
Fig. 3.8.- Comportamiento del TBN del aceite SAE 20W50 en función del recorrido de los automotores.....	86
Fig. 3.9.- Comportamiento del TBN del aceite SAE 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	88
Fig. 3.10.- Promedios de TBN en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 20W50.....	89
Fig. 3.11.- Promedios de TBN en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 10W30.....	89
Fig. 3.12.- Comportamiento de la dilución por combustible del aceite SAE 20W50 en función del recorrido de los automotores.....	96
Fig. 3.13.- Comportamiento de la dilución por combustible del aceite SAE 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	97
Fig. 3.14.- Promedios de la dilución por combustible en los diferentes km de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 20W50.....	98
Fig. 3.15.- Promedios de la dilución por combustible en los diferentes km de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 10W30.....	98
Fig. 3.16.- Presencia del silicio en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	103
Fig. 3.17.- Evaluación de la presencia del hierro en el aceite de un motor en función del recorrido y su tendencia.....	105
Fig. 3.18.- Presencia del hierro en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	105
Fig. 3.19.- Presencia del aluminio en muestras de aceite SAE 20W50 y	

10W30 en función del recorrido de los automotores.....	105
Fig. 3.20.- Presencia del cromo en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	106
Fig. 3.21.- Presencia del cobre en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	106
Fig. 3.22.- Presencia del plomo en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	107
Fig. 3.23.- Presencia del estaño en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	108
Fig. 3.24.- Presencia del níquel en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores.....	108

## TABLAS

Tabla 1.1.- Propiedades características de las familias de hidrocarburos en los aceites lubricantes.....	9
Tabla 1.2.- Valores de viscosidad cinemática para diferentes temperaturas e IV.....	18
Tabla 1.3.- Índices de viscosidad según la categoría de los básicos por grados API.....	19
Tabla 1.4.- Clasificación de los aceites por su viscosidad.....	21
Tabla 1.5.- Clasificación API para motores a de ciclo Otto.....	29
Tabla 1.6.- Partículas metálicas en suspensión en el aceite y su procedencia.....	36
Tabla 2.1.- Elementos y longitudes de onda recomendados.....	53
Tabla 2.2.- Parámetros de monitoreo de condición.....	56
Tabla 2.3.- Límites de las principales propiedades indicadoras de desgaste y degradación en los aceites de MCI A.....	59
Tabla 2.4.- Marcas de automotores más utilizadas para dar el	

servicio de taxis en Cuenca.....	60
Tabla 3.1.- Viscosidades de un aceite de motor en función del recorrido del vehículo.....	71
Tabla 3.2.- Datos requeridos para el cálculo de los coeficientes para aplicar mínimos cuadrados.....	72
Tabla 3.3.- Evaluación descriptiva de la viscosidad en las muestras de aceite SAE 20W50 en función a los kilometrajes de referencia.....	78
Tabla 3.4.- Evaluación descriptiva de la viscosidad en las muestras de aceite SAE 10W30 en función a los kilometrajes de referencia.....	79
Tabla 3.5.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50.....	80
Tabla 3.6.- Resultados prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, utilizando aceites SAE 20W50.....	81
Tabla 3.7.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50.....	82
Tabla 3.8.- Resultados prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, utilizando aceites SAE 20W50.....	83
Tabla 3.9.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30.....	84
Tabla 3.10.- Resultados prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, utilizando aceites SAE 10W30.....	84
Tabla 3.11.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30.....	85
Tabla 3.12.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, utilizando aceites SAE 10W30.....	85
Tabla 3.13.- Evaluación descriptiva del TBN en las muestras de aceite SAE	

20W50 en función a los kilometrajes de referencia.....	87
Tabla 3.14.- Evaluación descriptiva del TBN en las muestras de aceite SAE 10W30 en función a los kilometrajes de referencia.....	88
Tabla 3.15.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, utilizando aceites SAE 20W50.....	90
Tabla 3.16.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorri- dos menores a 5000 km, utilizando aceites SAE 20W50.....	90
Tabla 3.17.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, utilizando aceites SAE 20W50.....	91
Tabla 3.18.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorri- dos mayores a 5000 km, utilizando aceites SAE 20W50.....	92
Tabla 3.19.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, utilizando aceites SAE 10W30.....	93
Tabla 3.20.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorri- dos menores a 5000 km, utilizando aceites SAE 10W30.....	93
Tabla 3.21.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, utilizando aceites SAE 10W30.....	94
Tabla 3.22.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorri- dos mayores a 5000 km, utilizando aceites SAE 10W30.....	94
Tabla 3.23.- Evaluación descriptiva de la dilución de combustible en las mues- tras de aceite SAE 20W50 en función a los km. de referencia.....	96
Tabla 3.24.- Evaluación descriptiva de la dilución de combustible en las mues- tras de aceite SAE 10W30 en función a los km. de referencia.....	97
Tabla 3.25.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50.....	99
Tabla 3.26.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorri-	

dos menores a 5000 km, con aceites SAE 20W50.....	100
Tabla 3.27.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, con aceites SAE 10W30.....	101
Tabla 3.28.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorri- dos menores a 5000 km, con aceites SAE 10W30.....	101
Tabla 3.29.- Metales y sus concentraciones máximas en las muestras de aceite tomadas para el presente estudio.....	103

## **ANEXOS**

Anexo 1.- Tabla “t” de student.....	115
Anexo 2.- Hoja técnica de los aceites Havoline 20W50 Y 10W30.....	118
Anexo 3.- Informes de análisis reportados por el laboratorio Swissoil y base de datos con estadísticos descriptivos de la muestra.....	119
Anexo 4.- Reportes de resultados del Software estadístico SPSS: Analisis “t” De student.....	126

Thelmo Fernando Guerrero Palacios

Trabajo de Graduación

Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo.

Marzo, 2016

## **DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL ACEITE DE MOTORES OTTO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE RECORRIDO**

### **INTRODUCCIÓN**

Los temas a desarrollarse en cada uno de los capítulos de la presente tesis, contribuirán a generar el conocimiento requerido, para determinar el grado de degradación y contaminación de los aceites que se utilizan, para lubricar los componentes que están sometidos a fricción y, por lo tanto, a desgaste en los motores de combustión "Otto", en base a este conocimiento se realiza una investigación que se fundamenta en la técnica del mantenimiento predictivo (MPd) conocida como Análisis de Aceite (AA), la que se desarrolla atendiendo lo indicado por las normas de la asociación para ensayo de materiales (ASTM), con el propósito de evaluar la viscosidad, el número básico total (TBN), la contaminación con silicio y combustible y el grado de desgaste del motor, en partes por millón (ppm) de metal presente en las muestras, con el objetivo de conocer el kilometraje óptimo al que se recomienda cambiar el aceite del mismo, en vehículos que tengan características similares a los automotores que participan en el proyecto (cilindrada entre 1300 y 1500 cc y fabricados a partir del año 2005).

## **CAPÍTULO I.**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO.**

#### **1.1 Antecedentes de la investigación.**

El aceite que se utiliza para lubricar los motores Otto deben cumplir con las características exigidas por los fabricantes, estas son importantes debido a que el diseñador y constructor del motor tiene definido exactamente las propiedades físicas y químicas del aceite, estas están reguladas por la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices (SAE) y por el Instituto Americano del petróleo (API), entonces al estar normadas las propiedades y también los procedimientos que se siguen para realizar las evaluaciones de laboratorio de cada una de las características propias de un aceite, se puede valorar un tipo de lubricante en diferentes partes del planeta y los resultados deberán ser los mismos.

Respecto al kilometraje que se recorre con un vehículo y que se lo considera como indicador para realizar la renovación del fluido de lubricación del motor, en nuestra sociedad se acostumbra hacerlo en períodos comprendidos entre los 2500 y 7000 km; sin embargo, no existe a nivel del país un estudio que determine con certeza si los lubricantes de los motores Otto, se están cambiando con menor o mayor frecuencia de la requerida; la tesis que se desarrolló, se fundamentó en el análisis de los aceites de los motores Otto, para el efecto se tomaron las muestras del lubricante para realizar los respectivos análisis y las comparaciones con los índices condenatorios que se establecen por parte de las empresas productoras de lubricantes y de vehículos. El presente estudio pretenderá responder la siguiente interrogante: ¿Cuál es el grado de degradación de un aceite de motor Otto en función del kilometraje recorrido?

Entonces serán las pruebas de laboratorio y el análisis correcto de los datos los que permitan determinar con validez científica el período de cambio de aceite de los motores en función del recorrido realizado por el vehículo en el que se encuentren instalados los mismos; el propósito de este estudio también será evitar que se estén desperdiciando recursos en cambios de lubricante anticipados o a su vez evitar que los mismos se desgasten prematuramente debido a condiciones inadecuadas del lubricante. Este tipo de análisis en el país se ha desarrollado en flotas de vehículos de transporte de carga y para motores estacionarios de ciclo Diésel, con el objetivo

de reducir los costos de operación y mantenimiento, entonces el análisis del aceite para determinar la salud, contaminación y el desgaste interno de estas máquinas se asume como una inversión.

#### **1.1.1 Problemática:**

En los talleres de mantenimiento de vehículos, el cambio de aceite del motor se realiza según el criterio del dueño o de los mecánicos, quienes evalúan características como la coloración y estado del mismo en función a la experiencia (hay quienes evalúan la viscosidad con los dedos), otros se fían de la costumbre y la publicidad de determinada marca, muy pocas personas o casi nadie ha solicitado análisis de aceites para establecer la vida útil de estos fluidos en función del kilometraje recorrido del vehículo o del tiempo transcurrido desde la última renovación.

#### **1.1.2 Hipótesis:**

Los aceites para los motores Otto se están cambiando con frecuencias menores a las que en la realidad deberían hacerse.

#### **1.1.3 Objetivo general:**

Determinar la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido.

#### **1.1.4 Objetivos específicos:**

- Evaluar la variación de la viscosidad y el número total de base (TBN) en las muestras de aceite de motores Otto.
- Valorar la concentración de los metales en las diferentes muestras de aceite producto del desgaste de los componentes del motor como: cromo, níquel, cobre, estaño, aluminio, plomo, hierro y silicio.
- Determinar el kilometraje al que se recomienda realizar los cambios de aceite de motor en función a los análisis de laboratorio, de las características mínimas establecidas según las normas SAE y a los límites condenatorios indicados por los fabricantes.

#### **1.1.5 Justificación.**

La determinación de las pérdidas de características de un lubricante en los motores de combustión interna Otto, mediante el análisis de aceite, es técnicamente el procedimiento correcto de determinar si el cambio de fluido debe ejecutarse. Con el

desarrollo del presente estudio se determinará el grado de degradación y contaminación del aceite de los motores Otto en función del kilometraje recorrido, para esto se realizarán análisis en el laboratorio "Swissoil" de la ciudad de Guayaquil, de esta manera se conocerá el momento oportuno para ejecutar el remplazo de este fluido y evitar el desgaste del motor o el desperdicio de recursos por cambios prematuros, este último factor viene ligado al manejo de lubricantes usados como un agente de contaminación ambiental, por lo que alargar los periodos de cambio se traduciría en menores volúmenes de estos líquidos (altamente contaminantes) a manejar por parte de los gobiernos municipales en el caso del Ecuador.

#### **1.1.6 Planteamiento de la tesis.**

La presente tesis está estructurada en tres partes:

En la primera parte de este documento se presenta una breve introducción al desarrollo de la temática, en esta se exponen: los antecedentes, la problemática, la hipótesis, el objetivo general y los específicos, la justificación y la forma como se estructurará la investigación.

En La segunda parte de la tesis se presenta el análisis del sistema de lubricación, los diferentes tipos de aceite, las propiedades de los lubricantes como: el TBN, la viscosidad, el índice de viscosidad; las clasificaciones según la norma SAE y API, los diferentes tipos de aditivos y por último se realiza un análisis del deterioro y la pérdida de las propiedades del aceite del motor.

La tercera parte del documento presenta la metodología de trabajo, un descripción breve de las diversas técnicas aplicables al mantenimiento predictivo, el análisis de las normativas que estandarizan las diversas pruebas para los análisis de los aceites usados y su cálculo, se analizarán los tipos de vehículos que se utilizaran para el estudio y los lubricantes recomendados por los respectivos fabricantes, se presenta también la metodología para la toma de muestras del lubricante desde el cárter del motor.

La cuarta parte de la tesis contiene los conceptos estadísticos y los procedimientos de cálculo de algunas medidas de centro y de variabilidad utilizadas para el análisis de:

- la degradación de la viscosidad,
- la degradación del TBN,
- la contaminación por dilución con el combustible,
- la contaminación por silicio, y

- la presencia de metales desgastados de los componentes de los motores en el aceite.

En base al análisis estadístico de los resultados presentados en los reportes de laboratorio, se establece los periodos de cambio del lubricante, en atención a los límites condenatorios establecidos por los fabricantes.

## 1.2 Lubricación en los motores.

Las características constructivas de los elementos mecánicos del motor, dependen de la función que estos desempeñan en el mismo. Así se encuentran diferentes acabados superficiales en las distintas partes constitutivas, por ejemplo se fabrican piezas con una rugosidad mínima, para evitar la fricción entre componentes que se desplazan entre sí, como es el caso del cigüeñal y del árbol de levas sobre los cojinetes de apoyo, o el de los balancines sobre sus ejes, etc.; sin embargo, a pesar de disponer de piezas con reducida rugosidad, se puede apreciar en la figura 1.1 las micro irregularidades presentes que derivan en la aparición de una fuerza que se opone al desplazamiento de los componentes de la máquina denominada “de rozamiento” la misma que depende de la carga normal a la que se encuentren sometidas las superficies y del coeficiente de rozamiento de las partes en contacto, el mismo que obedece a las características físicas del material. La fricción entre componentes mecánicos producirá desgaste y ruido característico, incremento de temperatura que de no controlarse puede llegar a unir las dos piezas soldándolas entre sí.



Fig. 1.1.- Desgaste adhesivo entre superficies en contacto: a.- Micro-irregularidades, y b.- Zona de desgaste. Fuente: (Maita, 2007).

Para disminuir la fricción entre las piezas del motor se dispone del sistema de lubricación, conformado por una bomba que succiona el aceite del cárter a través de un pre filtro y lo envía presurizado (2 a 7 bar) a través de las canalizaciones internas del bloque y cabezote a los diferentes componentes que requieren del fluido, este aceite debe ser filtrado para evitar que al sistema ingresen partículas contaminantes

producto del desgaste del motor, de los residuos carbonosos de la combustión o quizás del aire contaminado con el silicio del ambiente, para evitar que el mismo lubricante se convierta en elemento transportador de contaminantes que terminen rayando y desgastando los componentes internos. La finalidad de interponer entre elementos mecánicos una capa de aceite es permitir que éste se adhiera a cada una de las superficies en fricción y evite el contacto directo entre estas, entonces si las superficies se mueven entre sí, estas arrastran consigo a la capa de lubricante, entonces la fricción entre partes mecánicas se traslada a una fricción interna entre las moléculas del fluido, la misma que es relativamente pequeña, por lo tanto se reduce: el desgaste, el incremento de temperatura y por lo tanto las pérdidas mecánicas y la pérdida de potencia de la máquina. Además el circuito de lubricación renueva constantemente la película lubricante, lo que se traduce en refrigeración de los componentes internos del motor. Otra de las funciones del aceite en el motor es sellar y dar estanqueidad al acople entre pistón, aros o rines y el cilindro, de manera que la presión de compresión se incremente lo que se traduce en mejores prestaciones del motor (par y potencia).

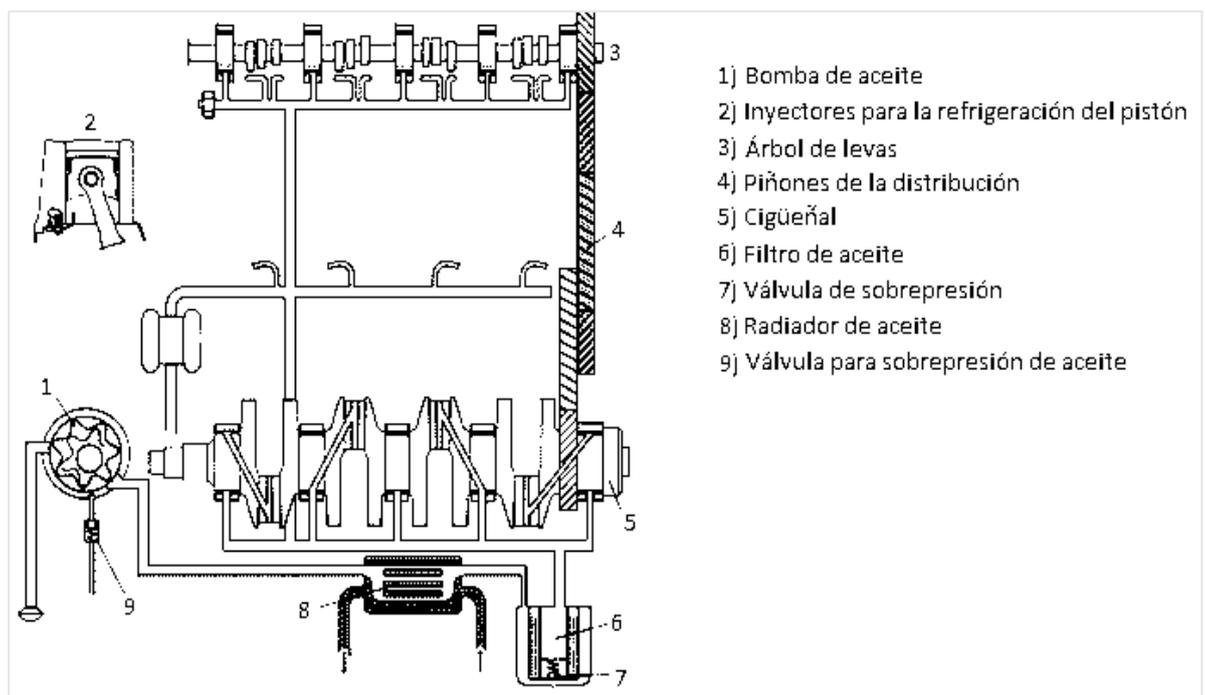


Fig., 1.2.- Sistema de lubricación de un motor Otto. Fuente:(Escudero, González, & Rivas, 2011)

Existen tres tipos de lubricación, en función de las características de la película lubricante:

### **1.2.1 Lubricación al límite.**

Cuando la velocidad relativa entre las piezas en contacto es reducida y por este motivo no se genera la presión suficiente para soportar la carga, también puede deberse a las pobres características del fluido lubricante, por lo tanto existirá contacto metálico y problemas consiguientes cómo: desgaste, incremento de temperatura y agarrotamiento, pérdida de potencia y ruido. Estas condiciones se presentan cuando el motor está en reposo y se arranca el mismo, en este momento se produce el contacto metal contra metal, en estos instantes es en los que se ponen de manifiesto las características de lubricación de uno u otro aceite.

### **1.2.2 Lubricación semifluida.**

Existe una separación mínima entre superficies en contacto por la presión de aceite baja, por las bajas características del lubricante o por la reducida velocidad relativa entre piezas en contacto; estas condiciones no permiten que se genere una película de aceite lo suficientemente consistente y que se produzcan roces entre las rugosidades de las partes en contacto, estas condiciones no son las óptimas porque se está produciendo desgaste por fricción. Un ejemplo de este tipo de lubricación es cuando el motor ha arrancado y en esos primeros instantes la lubricación no es la suficiente como para evitar totalmente el contacto entre piezas, nuevamente se pone de manifiesto en estas condiciones la calidad de los aditivos del lubricante para que a pesar de no tener la suficiente presión de aceite se evite el desgaste de los componentes internos.

### **1.2.3 Lubricación fluida.**

Se considera como el tipo de lubricación ideal, debido a que la película de aceite es suficientemente consistente como para evitar el contacto entre componentes mecánicos, se consigue con una presión de la película de aceite elevada por una bomba o por la velocidad relativa entre componentes alta y por el uso de un lubricante de buenas características. Este tipo de lubricación evita el desgaste de los componentes mecánicos. Un ejemplo de este tipo de lubricación es la que se da entre el cigüeñal y los cojinetes cuando el motor ha arrancado y la bomba sumada a la velocidad del cigüeñal ha generado una presión de aceite suficiente como para que éste flote en la película del lubricante, es en estos momentos cuando menos desgaste se produce al interior del motor.

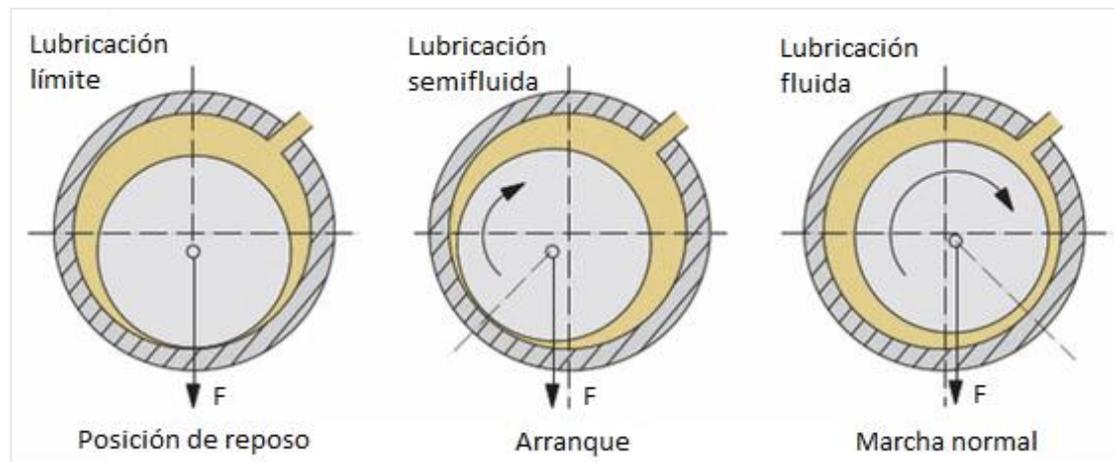


Fig. 1.3.- Tipos de lubricación. Fuente: (Escudero et al., 2011)

### 1.3 Aceites para motor.

Generalmente se usan aceites minerales que proceden de la refinación del petróleo, también se han desarrollado aceites de base sintética y semisintética.

#### 1.3.1 Aceites minerales.

En el caso de los aceites minerales, la calidad de estos depende de la procedencia y del proceso de refinamiento. Dentro de los aspectos que definen la calidad de los aceites está la viscosidad, la misma que es regulada por SAE (sociedad americana de ingenieros automotrices); otro aspecto importante para reconocer la calidad de un aceite está en función de la efectividad de los aditivos utilizados. Los aceites están conformados por diversos tipos de hidrocarburos con diferentes tipos de estructuras químicas, en función de las combinaciones químicas dominantes en el aceite se denominan aceites parafínicos, nafténicos, aromáticos o de base mixta.

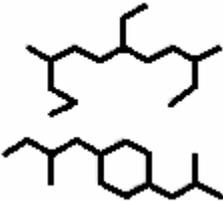
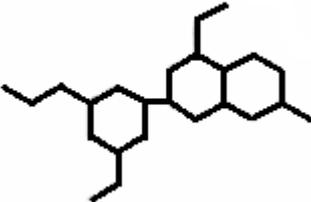
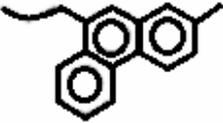
**Los aceites parafínicos** son más estables a su desintegración química por causa del calor, presencia de oxígeno y otros agentes; esto gracias a que las parafinas son hidrocarburos saturados con fuertes enlaces carbono-carbono, este tipo de aceites son por lo general los de mayor índice de viscosidad.

Los aceites procedentes de **bases nafténicas** se caracterizan por su buena resistencia a la oxidación y bajo punto de fluidez, por lo tanto, son los más apropiados para la lubricación de mecanismos que trabajan a bajas temperaturas; este tipo de bases para mejorar el índice de viscosidad deben combinarse con hidrocarburos de largas cadenas parafínicas.

Los compuestos **aromáticos** son indeseables en la estructuración de aceites lubricantes debido a la tendencia a la formación de lodos y también por el bajo índice de viscosidad que los caracteriza.

API clasifica las bases de aceite tipo I y II como minerales, la diferencia radica en que los de **base I** son aceites refinados por solventes, uno de los procesos más simples de refino, estos contienen “*menos del 90 por ciento de los hidrocarburos saturados, más de 0.03 por ciento de azufre y un índice de viscosidad en el rango de 80 a 120. El rango de temperatura para estos aceites está entre 0°C y 65°C*”(Corporation Noria, 2010).

Tabla 1.1.- Propiedades características de las familias de hidrocarburos en los aceites lubricantes. Fuente: (Lima Silva, Gutierrez Duque, & E-libro, 2012)

Familia	Estructura típica	Principales propiedades	
		Favorables	desfavorables
Parafina de cadenas lineales		Índice de viscosidad alta	Alto punto de fluidez
Parafinas ramificadas y con pocos anillos		Viscosidad de alta a intermedia Buena resistencia a la oxidación	
Nafténicos		Buena resistencia a la oxidación Bajo punto de fluidez	Bajo índice de viscosidad
Aromáticos		Generalmente bajo punto de fluidez	Bajo índice de viscosidad Mala resistencia a la oxidación.

Los aceites **base II** según API, son aquellos que requieren un refinado más exigente mediante un proceso denominado hidrofraccionado que consiste en tres etapas, estas son: hidrocrackeo, desparafinado catalítico o Hidroisomerización de Cera e hidroterminado. Los básicos del grupo II según API *“tienen más del 90 por ciento de los hidrocarburos saturados, menos de 0,03 por ciento de azufre y un índice de viscosidad entre 80 y 120”*. (Corporation Noria, 2010).

### **1.3.2 Aceites semisintéticos.**

Se los considera a los aceites base III según la clasificación de API, estas bases son refinadas con procesos muy exigentes en relación a las clasificaciones anteriores y aunque no son modificados químicamente, su comportamiento es similar a los sintéticos, *“Es por esta razón que combinados con aditivos selectos son generalmente comercializados como lubricantes sintéticos o semi-sintéticos”*(Swissoil del Ecuador S.A., 2012)

### **1.3.3 Aceites sintéticos.**

Son aceites obtenidos por síntesis en laboratorio, estos procedimientos permiten diseñar lubricantes según las características requeridas. API les clasifica dentro del grupo IV de aceites básicos y son las polialfaolefinas (PAO), están diseñados para funcionar en rangos de temperatura mucho más amplios, es decir en temperaturas extremadamente bajas y altas (Corporation Noria, 2010)

## **1.4 Propiedades de los lubricantes.**

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

Es la reserva alcalina que posee un lubricante de motor para neutralizar los ácidos que se forman producto de la combustión del aire con el combustible y que pasan al cárter a través de la abertura de los rines y también los que se forman producto de la oxidación del aceite a elevadas temperaturas (ácidos sulfuroso y sulfúrico debido al azufre de los combustibles de mala calidad; oxiácidos de cloro y bromo y también ácidos hidroclicóric e hidrobromicóric debido a los aditivos de cloruro y bromuro de etileno de los aceites. (Tormos Martínez, 2005), estos ácidos provocarán corrosión y desgaste al interior del motor. El TBN se expresa por el número de neutralización referido en miligramos de Hidróxido de Potasio (KOH) que contiene un gramo de lubricante de motor (mgKOH/gr) en las condiciones definidas para el ensayo por ASTM D 2896. La alcalinidad requerida por un lubricante de motor será directamente proporcional al contenido de azufre del combustible.

A medida que el aceite del motor se va degradando, la reserva alcalina se irá reduciendo; esto se debe a la neutralización que se va generando por la presencia de los ácidos, con el análisis del aceite se determinará el valor de TBN de la muestra, para compararla con los índices condenatorios (valores establecidos) y decidir si el aceite puede continuar utilizándose o deberá renovarse.

#### 1.4.2 Viscosidad.

Se define a la viscosidad como la resistencia interna de los fluidos a fluir; por este motivo, cuando se experimenta con la caída de una esfera de vidrio dentro de una probeta con aceite se denota la lentitud con la que esta baja.

##### 1.4.2.1 Viscosidad dinámica o absoluta.

Es la fuerza que se necesita para superar la fricción entre una placa que se desplaza a una velocidad constante sobre otra que permanece estática con la interposición de un fluido. Con la finalidad de obtener una relación para la viscosidad, imagine dos placas paralelas bañadas por un fluido (figura 1.4) las mismas que están separadas por una distancia  $l$ ; a la placa superior se le aplica una fuerza  $F$ , mientras que a la placa inferior se le mantiene estática. Esto provocará que la placa superior se mueva

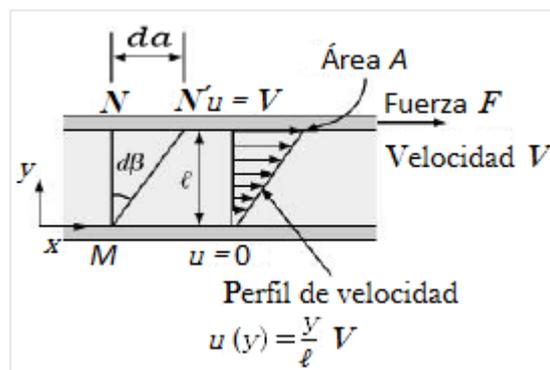


Fig.1.4.- Comportamiento de un fluido en flujo laminar entre dos placas paralelas.

Fuente: (White, 2004)

a una velocidad constante  $V$  debido al esfuerzo  $F$ ; el fluido más cercano a la placa superior se moverá a igual velocidad que esta placa, mientras que el esfuerzo cortante  $\tau$  que se ejerce sobre la película del fluido adherida a la placa superior y que tiene una área de contacto  $A$ , es:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1.1)$$

La placa inferior (estática) provoca que el fluido en contacto con ésta tenga una velocidad de cero, obsérvese en la figura 1.4 que en el flujo laminar estacionario, el gradiente y el perfil de velocidad varían de manera lineal entre las velocidades 0 y  $V$ , entonces:

$$\frac{du}{dy} = \frac{V}{\ell} \quad (1.2)$$

En un diferencial de tiempo  $dt$ , la placa superior se desplaza un diferencial de distancia  $da$  igual a  $V dt$ , describiendo un diferencial de ángulo  $d\beta$ ; la deformación por esfuerzo cortante o desplazamiento sería entonces:

$$d\beta = \tan \beta = \frac{da}{\ell} = \frac{V dt}{\ell} = \frac{du}{dy} dt \quad (1.3)$$

Ordenando términos referentes a la razón de deformación y a la gradiente de velocidad, como consecuencia del esfuerzo cortante se tiene:

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{du}{dy} \quad (1.4)$$

De la expresión anterior se puede concluir que la razón de deformación corresponde a la gradiente de velocidad ( $du/dy$ ) (Cengel & Cimbala, 2006).

*“Se puede verificar de manera experimental que, para la mayoría de fluidos, la razón de deformación (y, por lo tanto, el gradiente de velocidad) es directamente proporcional al esfuerzo cortante  $\tau$ ,*

$$\tau \propto \frac{d\beta}{dt} \quad \text{o} \quad \tau \propto \frac{du}{dy} \quad (1.5)$$

*Los fluidos para los cuales la razón de deformación es proporcional al esfuerzo cortante se llaman **fluidos newtonianos** en honor de sir Isaac Newton, quien lo expuso por primera vez en 1687. La mayoría de los fluidos comunes, como el agua, el aire, la gasolina y los aceites son newtonianos. La sangre y los plásticos líquidos son ejemplos de fluidos no-newtonianos.*

*En el flujo tangencial unidimensional de fluidos newtonianos, el esfuerzo cortante se puede expresar mediante la relación lineal:*

$$\begin{array}{l} \text{Esfuerzo} \\ \text{cortante:} \end{array} \quad \tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.6)$$

Donde la constante de proporcionalidad  $\mu$  se llama **coeficiente de viscosidad** o **viscosidad dinámica** (o **absoluta**) del fluido” (Çengel & Cimbala, 2006). En la figura 1.5 se puede apreciar la comparación de aceites con diferentes viscosidades dinámicas o absolutas, para el efecto, se dispone de dos placas móviles superpuestas a otras dos que permanecen estáticas, en las dos placas móviles se aplica la misma fuerza  $F$ , entonces se obtiene en la primera una velocidad  $V_1$  y en la segunda una velocidad  $V_2$ ; en el gráfico se puede observar que  $V_1$  es mayor a  $V_2$  debido a que en el primer caso el aceite tiene menor viscosidad.

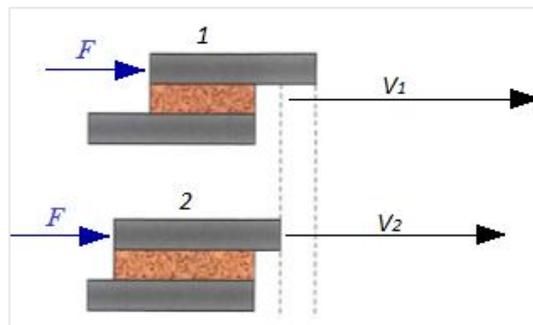


Fig. 1.5.- Comparación de aceites con diferente viscosidad. Fuente: El autor

La viscosidad dinámica establece la rapidez de deformación del líquido en el momento que se le aplica un esfuerzo cortante, es decir la viscosidad dinámica o absoluta indica la mayor o menor resistencia de los fluidos que estos ofrecen al movimiento de sus partículas cuando están sometidas a un esfuerzo. Las unidades que se utilizan son  $[\text{Kg}/\text{m} \cdot \text{s}]$ ;  $[\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2]$ ;  $[\text{Pa} \cdot \text{s}]$ . La unidad más difundida para expresar la viscosidad es el poise, equivalente a  $0.1 [\text{Pa} \cdot \text{s}]$  o el centipoise  $[\text{cP}]$ ;  $1 \text{ cP} = 0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . El centipoise es una unidad de medida de la viscosidad dinámica o absoluta referente, debido a que la viscosidad del agua a  $20^\circ\text{C}$  es 1 centipoise.

En la figura 1.6 se aprecia un diagrama del esfuerzo cortante en atención de la gradiente de velocidad o de la razón de deformación, para los **fluidos newtonianos** este diagrama corresponde a una recta que tiene como pendiente la viscosidad del fluido.

Si se requiere determinar el esfuerzo cortante que opera sobre una franja de un fluido newtoniano se tiene que:

$$F = \tau A = \mu A \frac{du}{dy} \quad [\text{N}] \quad (1.7)$$

También se podría decir que el valor de la fuerza requerido para desplazar la placa superior (figura 1.4) a una velocidad constante  $V$ , es:

$$F = \mu A \frac{V}{\ell} \quad [\text{N}] \quad (1.8)$$

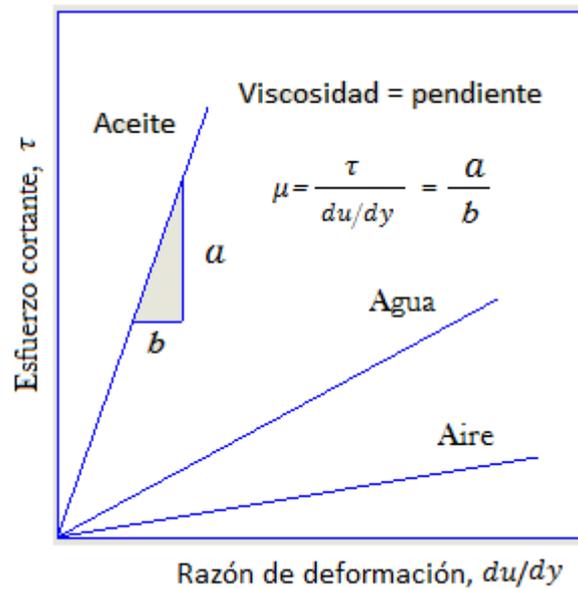


Fig. 1.6.- La razón de deformación de un fluido newtoniano es proporcional al esfuerzo cortante, y la constante de proporcionalidad es la viscosidad. Fuente: (White, 2004)

Para determinar la viscosidad dinámica  $\mu$  de manera experimental se puede utilizar la fórmula 1.8, para el caso será necesario entonces conocer el valor de la fuerza cortante ( $F$ ), el área de la placa ( $A$ ), la velocidad ( $V$ ) y la distancia entre las placas ( $\ell$ ).

En los fluidos no-newtonianos no existe una relación lineal entre la velocidad de deformación o razón de deformación y el esfuerzo cortante, esto se puede apreciar en el diagrama de la figura 1.7, la pendiente de estas curvas se las denomina viscosidad aparente.

Los fluidos en los que la viscosidad aparente se incrementan con la velocidad de deformación se los denomina fluidos dilatantes, aquellos en los que se observa una conducta contrapuesta se denominan fluidos pseudoplásticos o adelgazantes. Los fluidos plásticos de Bingham presentan un comportamiento lineal entre el esfuerzo cortante y la razón de deformación luego de alcanzar un valor determinado de esfuerzo cortante.

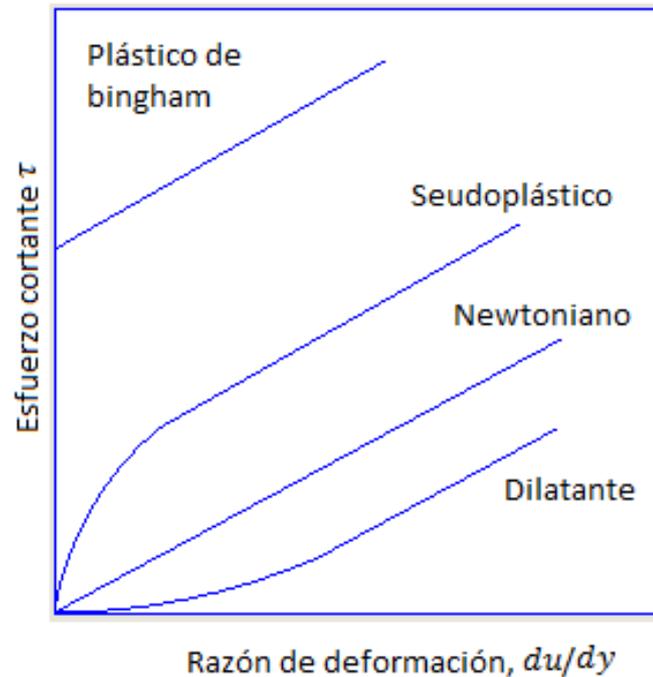


Fig. 1.7.- Modificación del esfuerzo cortante con la fracción de deformación para fluidos newtonianos y no-newtonianos. Fuente: (White, 2004).

#### 1.4.2.2 Viscosidad cinemática.

Esta propiedad se refiere a la resistencia de un líquido a fluir a través de un orificio; la composición del aceite y su estructura (depende de la procedencia del crudo), sumada al proceso de refinamiento del petróleo y a factores externos como la temperatura y la presión serán variables importantes en la determinación de la viscosidad cinemática del lubricante. El análisis de esta variable permitirá caracterizar al lubricante y conocer el grado de degradación del mismo, de esta forma se podrá determinar el grado de oxidación del aceite en función del espesamiento del fluido; por el contrario, si ha disminuido la viscosidad cinemática será un indicativo del agotamiento de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad, o que el combustible para el funcionamiento del motor está diluyendo al aceite del sistema de lubricación.

En los laboratorios de análisis de aceite, la viscosidad absoluta o dinámica ( $\mu$ ) se calcula a partir de la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) y la densidad del fluido ( $\rho$ ), según la relación:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.9)$$

Las unidades de la viscosidad cinemática en el sistema cegesimal es el Stoke (St), según el sistema internacional  $m^2/s$  y sus equivalencias son:

$$1 \text{ St} = 100 \text{ cSt} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 0.0001 \text{ m}^2/\text{s}; 1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s} \quad (1. 10)$$

Existen pruebas para analizar numéricamente la viscosidad del aceite, pruebas que difieren unas de otras en mayor o menor grado. Estas pruebas miden el tiempo para que una cantidad de aceite a cierta temperatura filtre por acción de la gravedad. El tiempo en que pase será mayor si es más espeso el aceite.

*“La viscosidad de cualquier aceite aumenta cuando es enfriado y disminuye cuando es calentado. Por esta misma razón, el valor de la viscosidad de un aceite debe ir siempre acompañado por la temperatura a la cual fue determinado.”*(Rivera, 2004)

### 1.5 Índice de Viscosidad (IV)

Este índice es considerado como una propiedad de los lubricantes que indica la variación de la viscosidad del lubricante en función de la temperatura.

*“Un fluido con índice de viscosidad alto muestra un cambio pequeño en su viscosidad con la temperatura. Un fluido con índice de viscosidad bajo muestra un cambio grande de viscosidad con la temperatura”* (Mott Robert L., 2006)

En la figura 1.8 se presentan curvas de índices de viscosidad comunes para lubricantes, los valores de IV presentados van desde 50 con incrementos de 50 hasta 300. Para la determinación del IV se deben medir las viscosidades cinemáticas del fluido a  $40^\circ \text{C}$  y a  $100^\circ \text{C}$  y compararlas con aceites de referencia a los que se les ha asignado índices de viscosidad de 0 (aceite nafténico del Golfo de México) y 100 (aceites parafínicos de Pensilvania).

Dean y Davis en el año de 1929 presentan la ecuación para determinar el índice de viscosidad, esta se expone a continuación: (Leal De Rivas, Luis, Bono, & Capuz Rizo, 2014)

$$IV = 100 \frac{L - U}{L - H} \quad (1. 11)$$

En donde:

$IV$  = Índice de viscosidad.

$U$  = Viscosidad cinemática del fluido de prueba a  $40^\circ \text{C}$ .

$L$  = Viscosidad cinemática de un aceite patrón a 40° C con IV de cero, y que a 100° C tiene igual viscosidad que el fluido de prueba.

$H$  = Viscosidad cinemática de un aceite patrón a 40° C con IV de 100, y que a 100° C tiene igual viscosidad que el fluido de prueba.

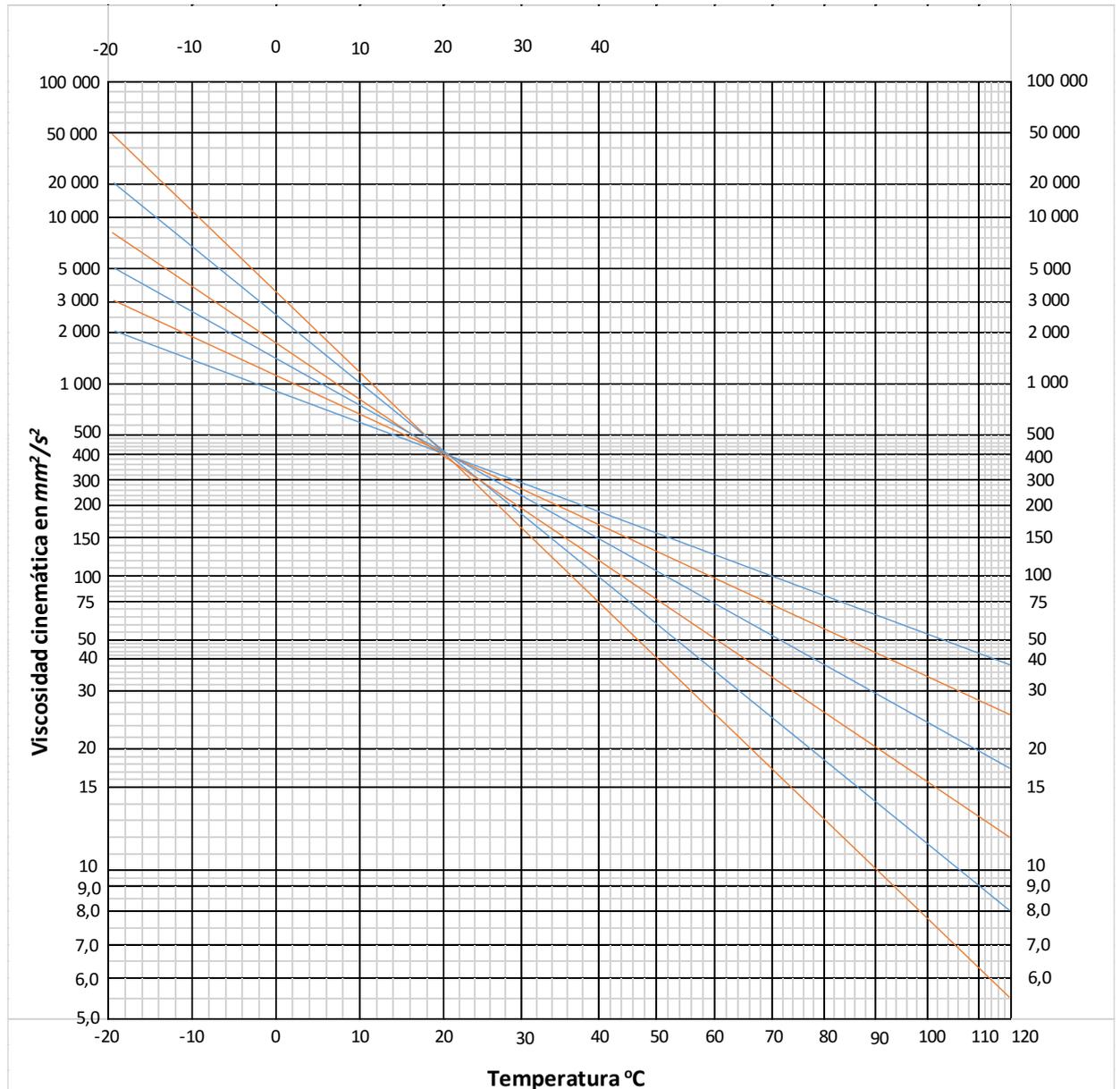


Fig. 1.8.- Curvas de índices de viscosidad comunes. Fuente:(Mott Robert L., 2006)  
En la tabla siguiente se presentan las viscosidades cinemáticas a -20° C, a 100° C y nótese que para la temperatura de 20° C la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) es la misma y corresponde a 400 mm<sup>2</sup>/s para todos los índices de viscosidad.

Tabla 1.2.- Valores de la viscosidad cinemática para diferentes temperaturas e IV.

Fuente: (Mott Robert L., 2006)

Índice de Viscosidad, VI	Viscosidad cinemática, $\nu$ (mm <sup>2</sup> /s)		
	A – 20 °C	A – 20 °C	A – 100 °C
50	47900	400	9.11
100	21572	400	12.6
150	9985	400	18.5
200	5514	400	26.4
250	3378	400	37.1
300	2256	400	51.3

Observando los datos de la tabla 1.2 se puede concluir que un aceite con un IV correspondiente a 50 tendrá dificultades para fluir a temperaturas muy bajas ( $\nu = 47900 \text{ mm}^2/\text{s}$  a  $20^\circ \text{C}$ ), mientras que para temperaturas de  $100^\circ \text{C}$  la viscosidad es muy reducida que no garantiza una adecuada lubricación (apenas  $9,11 \text{ mm}^2/\text{s}$  a  $100^\circ \text{C}$ ).

Según los datos de la tabla 1.3, los IV según la clasificación API categorías Grupo I, II se encuentran en el intervalo de 80 a 120 y para los de la categoría III los valores son iguales o superiores a 120.

Tabla 1.3.- Índices de viscosidad según la categoría de los básicos por grados API.

Fuente: (Leal De Rivas et al., 2014).

<u>Categoría API</u>	<u>Azufre</u>	<u>Saturados</u>	<u>Índice de viscosidad</u>
Grupo I	>0.03	< 90	80 a 120
Grupo II	<0.03	> =90	80 a120
Grupo III	< =0.03	> =90	> =120
Grupo IV	Lubricantes sinterizados o PAOs (VHVI)		
Grupo V	Todos los otros básicos sin incluir PAO		
<b><u>Nuevas categorías</u></b>			
Grupo II Plus	Por Hidrocraqueo severo (VHVI) de bases minerales		
	< = 0.03	> = 90	90 a 120
Grupo VI (Dic 2003Europa)	Poli interna olefina: PIOs		

### 1.6 Clasificación por la viscosidad o norma SAE (Sociedad de ingenieros automotrices).

Esta norma define los límites de la clasificación de los aceites lubricantes de motor solo en términos reológicos.

*“El filósofo griego Heraclitus describió la reología como panta rei – todas las cosas fluyen. Traducido a términos reológicos esto significa que si se espera tiempo suficiente todo fluirá. La reología de fluidos es usada para describir la consistencia de diferentes fluidos, normalmente mediante dos componentes, la viscosidad y la elasticidad. Por viscosidad se entiende la resistencia a fluir o el “espesamiento” y por elasticidad la “pegajosidad” o “estructura”.*(Rojas, Briceño, & Avendaño, 2012).

Los lubricantes a temperaturas bajas tienen una viscosidad alta, es justamente lo contrario de lo que se necesita, cuando el motor está frío se requiere de un aceite de baja viscosidad para que fluya con facilidad y en cambio cuando se ha incrementado la temperatura los aceites pierden viscosidad con el riesgo incluso de que se rompa la película de lubricación; por este motivo se requieren aceites de baja viscosidad para que trabajen cuando la temperatura de funcionamiento del motor es baja, pero a su vez se necesita que estos no pierdan tanta viscosidad cuando el motor ha alcanzado la temperatura normal de funcionamiento, esto se consigue con aceites de viscosidades variables en función de la temperatura.

La norma SAE J300 es reconocida mundialmente para clasificar a los aceites en función de la viscosidad. SAE J300 clasifica los aceites por grados en atención a:

- La viscosidad dinámica o absoluta a bajas temperaturas: Desde  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $-35^{\circ}\text{C}$  según el grado.
- La bombeabilidad a temperaturas bajas: Desde  $-15^{\circ}\text{C}$  hasta  $-45^{\circ}\text{C}$  según el grado.
- La viscosidad cinemática y dinámica en temperaturas altas: a  $100^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ .

Observando la tabla 1.4 basada en la clasificación de la norma SAE J300 se puede apreciar que existen dos tipos de grados SAE:

- Los que tienen al final la letra W (Winter o invierno) que van desde 0 con incrementos de 5 hasta 25, ejemplo 0W, 5W..., 25W.
- El segundo grupo que van desde 8, luego 12, 16 y 20 y desde este valor con incrementos de 10 hasta llegar a 60.

La viscosidad dinámica o absoluta que la tabla 1.4 presenta para temperaturas extremas de  $150^{\circ}\text{C}$  se le denomina de alta tasa de corte o cizallamiento o viscosidad real de trabajo (viscosity HTHS, high temperatura high shear) se evalúa en cP o en  $\text{mP} \cdot \text{s}$ . Esta viscosidad permite determinar el nivel mínimo de seguridad de los aceites ahorradores o de baja viscosidad, pues estos también son los que con más facilidad pierden o rompen la película de aceite bajo condiciones extremas y por lo tanto protegen en menor grado contra el desgaste.

La categorización de los aceites por la viscosidad SAE, establece las clasificaciones para aceites en: Monógrados y multigrados.

Tabla 1.4.- Clasificación de los aceites por su viscosidad. Fuente: (SAE, 2015)

Grado de Viscosidad SAE	Baja temperatura (° C) arranque Viscosidad (3), mPa·s Max	Baja temperatura (° C) bombeo Viscosidad (4), mPa·s Max Sin limite elástico (4)	Baja Tasa de Corte Viscosidad cinemática (5), (mm <sup>2</sup> /s) a 100° C Min	Baja Tasa de Corte Viscosidad cinemática (5), (mm <sup>2</sup> /s) a 100° C Max	Alta Tasa de Corte Viscosidad (6) (mPa·s) a 150° C Min
0W	6200 a -35° C	60000 a -40° C	3.8	-	-
5W	6600 a -30° C	60000 a -35° C	3.8	-	-
10W	7000 a -25° C	60000 a -30° C	4.1	-	-
15W	7000 a -20° C	60000 a -25° C	5.6	-	-
20W	9500 a -15° C	60000 a -20° C	5.6	-	-
25W	1300 a -10° C	60000 a -15° C	9.3	-	-
8	-	-	4	<6.1	1.7
12	-	-	5	<7.1	2.0
16	-	-	6.1	<8.2	2.3
20	-	-	6.9	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	3.5 (0W40,5W40,10W40)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (15W40,20W40,25W40,.40monogrado)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

### **1.6.1 Monógrado.**

Este tipo de aceite conserva la viscosidad en situaciones definidas de temperatura, por este motivo los aceites monógrados son utilizados cuando la temperatura de operación prácticamente no varía, SAE establece los grados que tienen la letra W de Winter (invierno) funcionan mejor a bajas temperaturas para favorecer el desempeño en invierno, a su vez los aceites que no tienen una W son aptos para funcionar a temperaturas altas. Estos aceites cambian mucho su viscosidad en función de la temperatura

*“Antes de la aparición de los aceites multigrado, en invierno los motores funcionaban con aceites de invierno con graduación SAE de 0W a 25W, dependiendo del clima, y en verano utilizaban aceite de verano con graduación SAE de 20 a 60.” (Calleja, 2012).*

### **1.6.2 Multigrado.**

Los aceites multigrados son desarrollados con aditivos modificadores de la viscosidad, los mismos que permiten que el óleo trabaje con la resistencia interna apropiada cuando el motor se encuentra frío y también cuando se incrementa la temperatura que éste se desempeñe como un aceite de verano pudiendo utilizarlo todo el año con una viscosidad estable, esto quiere decir que la viscosidad de un multigrado está contenida entre los grados que la identifican, por ejemplo: al aceite SAE 15W40 (figura 1.9) le corresponderá en bajas temperaturas la viscosidad de un SAE 15W y a 100° C la de un SAE 40. En la actualidad los aceites para motor multigrados son los más empleados.

*“Los aceites multigrado son más estables térmicamente y no se descomponen por el choque térmico producido por la diferencia de temperaturas existente entre diferentes zonas del circuito de lubricación (90° C en el cárter y más de 250° en zonas calientes)” (Calleja, 2012)*

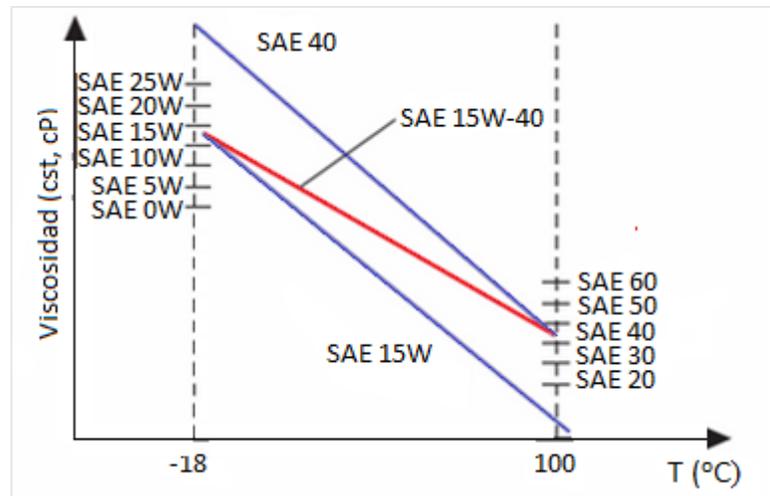


Fig. 1.9.- Comparación de la viscosidad de un aceite multigrado con dos monógrados. Fuente: (Escudero et al., 2011)

### 1.7 Aditivos.

Son compuestos químicos que permiten mejorar las propiedades de un lubricante base, debido a las deficiencias de lubricación de los aceites minerales se hizo imprescindible el adición de compuestos químicos que eleven las características de los aceites destinados a la lubricación de los motores. Los primeros aditivos sintéticos se desarrollaron en 1930 por el laboratorio de investigación de la “Standard Oil”. El porcentaje de aditivos en un aceite comercial de alta calidad puede llegar a ser de hasta un 20 % (Tormos Martínez, 2005)

Los aditivos están diseñados para optimizar las propiedades físicas por ejemplo los mejoradores del desempeño de la relación viscosidad temperatura, aditivos que mejoran el punto de congelación e inflamación; pero los hay también aquellos que confieren nuevas características a los aceites por ejemplo los que mediante la formación de una capa química separan dos superficies que se encuentran rozando (Dietsche, 2005)

A continuación se exponen los diferentes aditivos y las propiedades de los mismos:

#### 1.7.1 Depresores del punto de congelación.

Son compuestos químicos como el llamado Paraflow (Tormos Martínez, 2005) que se diseñaron con el objeto de reducir la temperatura a la que un aceite puede volverse tan espeso que se dificulta su fluidez y por lo tanto la resistencia a la circulación por el

sistema de lubricación de un motor, esta dificultad se presenta en los arranques del motor con temperaturas bajas; una de las primeras medidas para solventar esta dificultad fueron los sistemas de precalentamiento del cárter del motor, sin embargo esta dificultad se sobrellevó con la aparición de este tipo de aditivos. Estos compuestos actúan sobre la cristalización de las parafinas evitando que estas se entrelacen y crezcan en forma de redes que terminen impidiendo el flujo del aceite. Una situación anticipada al punto de congelamiento es el conocido como punto de enturbiamiento (cloud point), su nombre proviene de la coloración que los fluidos en etapa de formación de cristales adquieren.

### **1.7.2 Punto de inflamación.**

Debido al incremento de la temperatura ciertos componentes de los aceites se evaporan, estos vapores al contacto con puntos incandescentes se inflaman dejando residuos carbonosos que reducen la capacidad de lubricación y que a su vez propician la incrustación de carbonilla en las diferentes partes del motor, entre las más afectadas están los pistones, aros o rines, las válvulas y las cámaras de combustión, estas últimas al recibir este material carbonoso son las principales provocadoras de los fenómenos de autoencendido y detonación en los motores. El punto de inflamación de un aceite depende de la procedencia del crudo, así aceites nafténicos tienen menor punto de inflamación que los parafínicos, otra de las propiedades de los lubricantes que elevan el punto de inflamación es el incremento de la viscosidad del óleo. El punto de inflamación de un aceite de motor de buen performance debe ser superior a los 240 °C. (Pérez, 2002)

### **1.7.3 Detergentes.**

Las temperaturas elevadas a las que ciertas partes del motor trabajan en presencia de aceite como los rines, cabeza del pistón, camisas, etc. ocasionan que la película de aceite se destruya parcialmente y genere depósitos alquitranados, que en algunos casos incluso llegan a pegar los rines al interior de las ranuras de los pistones, a esta situación se suman los desperfectos de combustión que terminan formando residuos carbonosos. A los aceites lubricantes se incorporan aditivos detergentes que tienen la finalidad de neutralizar la formación de carbonilla, *“los aditivos antiácidos, alcalinos o superbásicos, son productos normalmente de tipo detergente, que poseen una reserva alcalina capaz de neutralizar los ácidos que se generan”* (Tormos Martínez, 2005). Los principales aditivos detergentes son los naftenos, sales de ácidos nafténicos con metales,

generalmente calcio y magnesio, también tenemos dentro de este tipo de aditivos los sulfonatos, fosfatos, trifosfatos y fenatos o alquil-salicilatos.

#### **1.7.4 Dispersantes.**

El objetivo es mantener las moléculas en estado de micro dispersión coloidal de manera que no se produzcan taponamientos de las canalizaciones ni de los filtros, se debe evitar que se dejen depósitos de estas en partes calientes del motor para prevenir la unión entre piezas por medio de acumulación de residuos de combustión. Algunos jabones, especialmente los sulfonatos son adecuados para suspender el agua producto de la combustión y de esta manera impedir la formación de barro, que por lo general dañan los elementos mecánicos del tren de balancines; este problema se suscita sobre todo en motores Otto debido a que estos trabajan con temperaturas menores que los de encendido por compresión. Alrededor de 1970 se empezaron a usar aditivos dispersantes sin cenizas, estos eran los denominados succinimidos básicamente poleaminas.

#### **1.7.5 Inhibidores de la corrosión.**

Debido a las fugas de los gases procedentes de la cámara de combustión en las fases de compresión y combustión a través de la abertura que dejan los rines y por las temperaturas altas a las que trabajan los motores, se suceden reacciones químicas que terminan formando ácidos que son arrastrados por el aceite, estos se generan debido al azufre existente en los combustibles que al combinarse con el oxígeno del aire forman distintos óxidos de azufre, los mismos que al entrar en contacto con el vapor del agua resultado de la combustión producen el ácido sulfúrico (trióxido de azufre más vapor de agua), a su vez, se dan también otras reacciones químicas que terminan contaminando el lubricante con sustancias ácidas corrosivas pero en menor escala, entonces estos compuestos al entrar en contacto con las partes metálicas provocan la corrosión de estas superficies, es por este motivo que se requieren aditivos en el lubricante de base alcalina para contrarrestar los efectos de la acidez del lubricante.

#### **1.7.6 Inhibidores de la oxidación.**

Si sumamos las altas temperaturas a las que se encuentran los aceites de los motores a la exposición de los mismos al oxígeno del aire, el aceite se oxida y se torna de un color oscuro, como ya se dijo antes también se vuelve más ácido e incluso puede llegar

a formarse lodos, barnices, gomas y sustancias asfálticas, con propiedades corrosivas que pueden obturar incluso las canalizaciones para la circulación de aceite.

El mejoramiento de la calidad de las bases de los aceites mediante técnicas de refinamiento cada vez más exigentes, han provocado que los inhibidores naturales de los lubricantes se reduzcan cada vez en mayor medida, si a esto se le agrega la ampliación de la vida útil de los óleos actuales debido a las mejores calidades de los mismos (por lo tanto más tiempo de contacto con el oxígeno del aire), darán como resultado la necesidad de incorporar a los aceites aditivos inhibidores de la oxidación. Los primeros aditivos usados como anti-desgaste y también como inhibidores de la corrosión usaban ciertas cantidades de dialquilditiofosfato de Zinc (ZDDP); sin embargo, las exigencias actuales cada vez mayores de los lubricantes han significado presión para el avance tecnológico que ha permitido el desarrollo de aditivos derivados del cobre, metal que por cierto tiene un costo relativamente bajo. Una situación que no debe perderse de vista es que al realizar análisis de aceites el cobre presente en el aditivo no deberá confundirse con los metales producto del desgaste del motor.

#### **1.7.7 Anti-desgaste.**

Se requieren estos aditivos cuando: las condiciones de lubricación son deficientes, la película de aceite no es consistente, las holguras entre elementos mecánicos son inadecuadas, las temperaturas de operación son extremas o las cargas mecánicas son exageradas, en estas circunstancias existe la posibilidad de que se produzca el roce entre metal y metal, es entonces cuando se requiere que el aceite disponga de una capa de aditivos ; por este tipo de condiciones de funcionamiento se han desarrollado los aditivos anti-desgaste. Uno de los lugares que soportan mayor carga son los cojinetes que por lo general son construidos de materiales blandos como plomo, estaño, cobre, aleaciones de cadmio níquel, etc. Los primeros tipos de estos aditivos, también se constituían en inhibidores de ácidos y de la oxidación, entre los que se destacaron por esta función se tienen los fosfatos orgánicos, los ditiofosfatos, ditiocarbonatos y el dialquilditiofosfato de Zinc (ZDDP), la estructura química es la que se observa en la figura 1.10. Hoy en día los ZDDP son los aditivos anti desgaste que predominan.

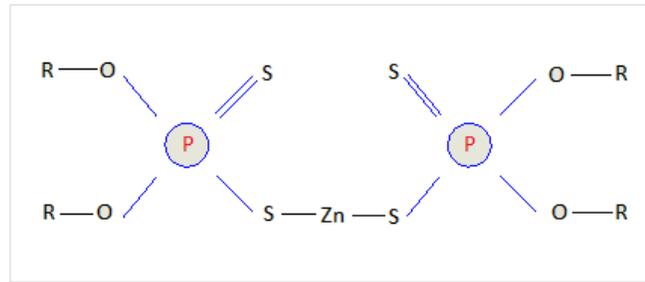


Fig. 1.10.- Estructura química del aditivo ZDDP. Fuente: (Tormos Martínez, 2005)

### 1.7.8 Mejoradores de la viscosidad.

Por aditivos mejoradores del índice de viscosidad o actualmente conocidos como modificadores de la viscosidad, se entienden a las características de variación de la resistencia interna de un aceite en relación con la temperatura. Estos aditivos se desarrollan para mejorar el índice de viscosidad, son más solubles en el aceite base a temperaturas elevadas. A temperaturas elevadas las macromoléculas de un aceite están rodeadas de moléculas del lubricante base, las mismas que dificultan la movilidad y por tanto aumentan la viscosidad. Cuando se da una disminución de la temperatura estos aditivos tienden a retraerse, de esta manera se evita que haya interferencias en la movilidad del aceite. Los polímeros de botueno permitieron alcanzar índices de viscosidad de hasta 120 (Bernardo Tormos, 57), estos aditivos pueden encontrarse en un aceite de buenas características en concentraciones que van desde 0,5 hasta 2%.

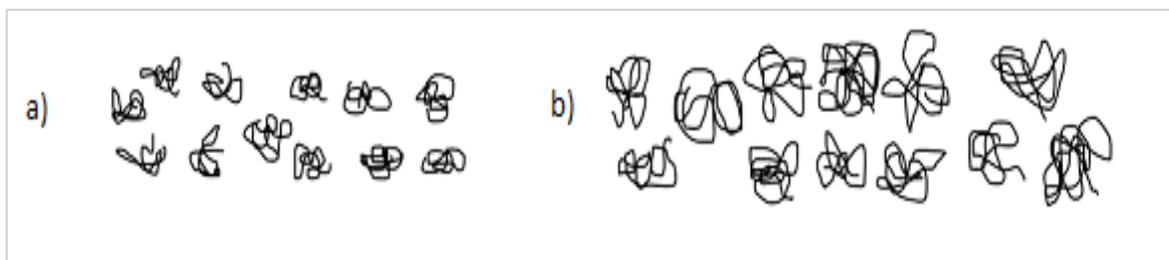


Fig. 1.11.- Comportamiento de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad. A) A temperaturas bajas, b) a alta temperatura. Fuente: (Tormos Martínez, 2005)

Los polímeros que a continuación se indican, son algunos de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad más conocidos: Polialquilestirenos, copolímeros de etileno o propileno, polisoprenos, polibutadieno.

### 1.7.9 Modificadores de fricción.

Su misión es la de reducir la fricción y por tanto las pérdidas mecánicas de energía debido a la disminución en la generación de calor; por este motivo, han tomado una importancia relevante en estos días, debido a que actualmente se prioriza la economía de combustible y la reducción de emisiones.

*“Materiales típicos pueden ser largas cadenas moleculares con fuertes grupos pilares que anclan la molécula a la superficie metálica”.* (Tormos Martínez, 2005)

### 1.7.10 Anti-espuma.

En el interior del cárter del motor la rotación del cigüeñal provoca que éste entre en contacto con el aceite, esta situación puede provocar la formación de espuma altamente perjudicial para el sistema de lubricación debido al:

- ❖ Ingreso de partículas de aire al interior del circuito hidráulico, lo que provocaría deficiencias en el flujo del aceite y la consistencia de la película lubricante.
- ❖ Potencial riesgo de oxidación a la que se le estaría exponiendo al mismo aceite.

La adición de porcentajes reducidos de varias siliconas al aceite puede evitar la formación de burbujas de aire en la superficie del lubricante, compuestos como las polidimetilsiliconas se encargan de fraccionar la interfaz aire-líquido.

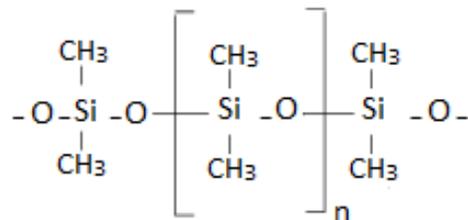


Fig. 1.12.- Polidimetilsiliconas Fuente: (De Vita, 1995).

### 1.8 Clasificación API.

El Instituto americano del petróleo (API) representante de los fabricantes de aceites en los Estados Unidos, tiene como una de sus funciones y objetivos principales la instauración y la certificación de los estándares de la industria del petróleo, con este propósito desarrolla pruebas que examinan el uso de los motores y vehículos clasificándose según la capacidad para trabajar bajo ciertas normas guiándose en las condiciones del motor. La calificación en diferentes categorías según API es una de las de mayor uso a nivel mundial, a continuación se presenta las características de las diferentes categorías:

*“Como primera letra se emplea:*

*S (de inglés Service) para identificar a los aceites recomendados para motores de gasolina vehículos de turismo y camiones ligeros.*

*C (del inglés Comercial) para vehículos comerciales, agrícolas, de obras públicas y todo terreno que funcionan con el ciclo diésel.*

*La segunda letra indica la exigencia en servicio, comenzando por la A para el menos exigente, y continuando en orden alfabético a medida que aumenta la exigencia.”* (Calleja, 2012).

Tabla 1.5.- Clasificación API para motores a de ciclo Otto (gasolina) y Diésel. Fuente: (Calleja, 2012).

Clasificación API para motores a gasolina	
Nivel API	Características
SA	Aceite sin aditivos, utilizados antes de la década de los treinta. Obsoleta.
SB (1930)	Mínima protección antioxidante, anticorrosiva y anti desgastante. Obsoleta.
SC (1964)	Incorpora el control de depósitos a baja y alta temperatura. Obsoleta

SD (1968)	Mayor protección que el nivel anterior respecto a la formación de depósitos, desgaste y corrosión. Obsoleta.
SE (1972)	Mayor defensa hacia la oxidación del aceite, depósitos de alta temperatura, herrumbre y corrosión. Obsoleta.
SF (1980)	Alta duración a la oxidación y características anti desgaste. Obsoleta.
SG (1989)	Alto control de la formación de depósitos, oxidación del aceite y deterioro. Obsoleta.
SH (1993)	Excelente protección en relación del nivel SG, en materia de control de depósitos, oxidación del aceite, deterioro y desgaste.
SJ (1996)	Mejora el control en cuanto a la formación de depósitos, fluidez a bajas temperaturas y protección del motor a alto régimen de giro. Menor consumo de combustible.
SL (2001)	Mejora la resistencia antioxidante a altas temperaturas y al desgaste.
SM (2004)	Desarrollada para motores de gasolina. Mejora el consumo de combustible y el bombeo. Protege a los sistemas de control de emisiones. Disminuye el espesamiento debido a la oxidación, la nitración y los depósitos a alta temperatura. Protege a los sistemas de control de emisiones.
SN (2010)	Mejora el consumo de combustible y la protección de los sistemas de control de emisiones y sobrealimentados. Es compatible con motores que funcionan con mezclas de bioetanol superiores a la E85
Clasificación API para motores Diésel.	
Nivel API	Características.
CA (1940)	Motores atmosféricos. Protección mínima contra la corrosión, desgaste y depósitos. Obsoleta.

CB (1949)	Motores atmosféricos. Mejor control sobre los depósitos y el desgaste. Obsoleta.
CC (1961)	Motores atmosféricos o sobrealimentados. Mayor control sobre la formación de depósitos a alta temperatura y corrosión en cojinetes. Obsoleta.
CD (1955)	Motores atmosféricos o sobrealimentados que requieren un mayor y efectivo control de los depósitos y el desgaste. Obsoleta.
CDII (1955)	Motores diésel de dos tiempos que requieren un efectivo control de desgaste y los depósitos, cumpliendo todos los requerimientos del nivel CD. Obsoleta.
CE (1983)	Motores sobrealimentados para servicio severo. Control sobre consumo y espesamiento del aceite, depósitos y desgaste. Dirigida a multigrados. Obsoleta.
CF-4 (1990)	Motores sobrealimentados para servicio severo, especialmente en carretera. Reemplaza al nivel CE con mejor control del consumo de aceite y formación de depósitos en los pistones
CF (1994)	Motores atmosféricos o sobrealimentados que pueden usar gas oil con diferentes contenidos de azufre. Efectivo control en la formación de depósitos en los pistones, desgaste y corrosión en cojinetes reemplaza al nivel CD no al CE.
CF-2 (1994)	Para motores diésel de dos tiempos que requieren un efectivo control del desgaste de segmentos y cilindros, así como de la formación de depósitos, así como de la formación de depósitos. Reemplaza al nivel CD-II. No necesariamente cumple los requerimientos de los niveles CF o CF-4.
CG-4 (1994)	Motores diésel para servicio severo, tanto en carreteras (gasoil con bajo contenido de azufre 0,05%) como fuera de ellas (gasoil con contenido

	de azufre máximo de 0,5%). Efectivo control de los depósitos por alta temperatura, desgaste, corrosión, espuma, oxidación del aceite y acumulación de hollín. Diseñado para cumplir con las normas sobre emisiones de 1994. También se pueden emplear cuando se requieren aceites de nivel CD, CE y algunos casos de CF-4.
CH-4 (1998)	Motores Diésel para servicio severo, que emplean gasoil con alto o bajo contenido de azufre, y que deben cumplir con estrictas normas de control de emisiones. Mejora el control de depósitos, del desgaste y la resistencia a la oxidación. Sobresaliente control del hollín que producen los sistemas de inyección de alta presión y control electrónico.
CI-4 (2002)	Protección contra la oxidación y la herrumbre, reducción del desgaste y aumento de la estabilidad de la viscosidad. Diseñado para motores diésel, rápidos, que cumplen con la normativa anticontaminación implantada a partir de 2002 y que utilizan combustibles que contengan hasta un 0,5% de azufre. También optimizado para motores con sistema de tratamiento de los NOx mediante válvula EGR.
CI-4PLUS (2004)	Surgió como resultado de cierta insatisfacción por parte de fabricantes como Caterpillar, Mack y Cummins en lo referente a requisitos de control del espesamiento provocado por el hollín y la caída de la viscosidad debido al alto esfuerzo mecánico sobre aditivos mejoradores de viscosidad.
CJ-4 (2006)	Para motores diésel de altas prestaciones que han de cumplir la normativa anticontaminación a partir de 2007. Supera la especificaciones anteriores y están especialmente diseñado para proteger los sistemas anticontaminación (EGR, DPF, SCR...), reducir el desgaste del motor y disminuir la formación de depósitos. Permite aumentar los intervalos de cambio de aceite y es compatible con combustibles de bajo contenido de azufre.

## **1.9 Deterioro y pérdidas de propiedades del aceite del motor.**

La oxidación, nitración, las altas temperaturas, el contacto del lubricante con gases residuales de la combustión, los altos esfuerzos de corte a los que están expuestos los lubricantes y la pérdida de aditivos contribuyen significativamente a la degradación del aceite; es decir, se van deteriorando las características de lubricación, de protección contra la corrosión, de lavado y limpieza interna de los componentes del motor, de agente sellador para garantizar la presión de compresión (un aceite de motor con la viscosidad adecuada mejora la estanqueidad del cilindro y aros o rines).

Causas que generan la degradación.

### **1.9.1 La oxidación.**

Genera un cambio en la estructura molecular del aceite, además es una de las causas para que se generen ácidos y otro tipo de reacciones químicas que se desprenden del ataque a superficies metálicas, contribuyendo a la formación de residuos como los barnices y lodos que se terminan acumulando en el motor.

Reacciones químicas del tipo de oxidación y reducción denominadas frecuentemente "redox" se suceden al generarse transferencias de electrones entre elementos oxidantes y reductores. Este tipo de reacciones se suceden cuando existe un elemento capaz de ceder electrones a otro que este en capacidad de aceptarlos.

El cárter del motor y la cámara de combustión son los lugares más propicios para que se den este tipo de reacciones, en el primero debido a la presencia del oxígeno en abundancia con una carga electro-negativa capaz de formar ácidos fuertes al momento de la oxidación como los aldehídos y cetonas en mayores concentraciones y ésteres en concentraciones bajas. La cámara de combustión por estar a temperaturas elevadas transfiere la misma al lubricante que suele estar a valores promedios del orden de 200 a 300 °C (Gómez Estrada, 2013); para contrarrestar el incremento de temperatura cuando esta afecta al fluido lubricante se diseñan sistemas con intercambiadores de calor.

La degradación por oxidación también es favorecida por la presencia de partículas metálicas en el aceite como las del hierro, cobre, plomo, estaño entre otras.

### **1.9.1.1 Secuelas de la oxidación del aceite.**

Este fenómeno provoca cambios de tipo químico y físico en el lubricante, entre los más importantes se pueden anotar los siguientes:

#### **1.9.1.1.1 Acidez.**

La acidez en el lubricante del motor se incrementa como resultado de los procesos redox (óxido-reducción) y es debido a este motivo que el aceite se vuelve agresivo con las partes en contacto, la película de lubricación pierde su consistencia y se desencadena en forma progresiva mayor desgaste en el motor. Una forma indirecta de medir esta variación de la acidez es evaluando la alcalinidad o el número total de base (TBN), generalmente mediante la norma ASTM D 2896.

#### **1.9.1.1.2 Viscosidad.**

La viscosidad del aceite se incrementa como resultado de la polimerización debido a la oxidación que se desenlaza debido al contacto con superficies que se encuentran a altas temperaturas.

#### **1.9.1.1.3 Metales de desgaste.**

Debido al incremento de la acidez del fluido lubricante se evidencia el desgaste por corrosión de algunos componentes motrices como bujes, cojinetes, pistones, etc. los metales que se usan para la construcción de estos como el cobre, plomo, hierro, estaño, se desprenden y pasan a combinarse con el aceite, para evaluarlos se realizan mediciones en partes por millón (ppm) o porcentajes según la norma ASTM D6595, estos metales al encontrarse en el fluido deben ser retenidos por el filtro para evitar que pasen al circuito y se desencadene en un desgaste mayor debido a la abrasión que se provocaría.

#### **1.9.1.1.4 Coloración y residuos carbonosos.**

La oxidación provoca un cambio de color en el aceite el mismo que se va haciendo cada vez más oscuro, también influye en la coloración la acumulación de residuos de carbón que se producen a consecuencia de la oxidación pero en etapas avanzadas.

#### **1.9.1.1.5 Aditivos.**

Un aceite que cumple los estándares de calidad debe estar compuesto con una base y los aditivos suficientes para contrarrestar los efectos de la oxidación, sin embargo, este conjunto de aditivos que generalmente son amínicos y fenólicos se llegan a reducir hasta valores menores al 10% de su concentración inicial (Gómez Estrada, 2013)

El calcio y magnesio son ampliamente utilizados como aditivos dispersantes y detergentes; sin embargo, la oxidación producida por las temperaturas elevadas, la baja calidad del combustible o la mala combustión terminan reduciendo las capacidades de estos materiales y se comenzarán a denotar las consecuencias mediante la acumulación de lodos y barnices que paulatinamente pueden obstruir los ductos del sistema de lubricación del motor.

#### **1.9.2 Nitración.**

Es generada principalmente por la contaminación del aceite del motor con los gases residuales de la combustión (los mismos que pasan desde la cámara de combustión por la holgura entre las puntas de los rines hacia el cárter) en el depósito de aceite del motor o cárter el óleo se pone en contacto con estos gases y sobre todo con los óxidos de nitrógeno (NOx) que también se forman cuando la combustión se desarrolla a temperaturas muy elevadas y se desencadena la nitración formando compuestos denominados nitrógenos inestables y órgano-nitratos que al combinarse con el aceite del motor derivan en la formación de lodos, grumos y resinas que se adhieren a las superficies internas del motor.

#### **1.9.3 Contaminación.**

Todas aquellas sustancias extrañas al aceite del motor son considerados contaminantes, estas pueden provenir del funcionamiento del mismo y estar relacionadas al proceso de combustión o también pueden proceder de algunos fluidos que se usan para que funcionen los sistemas auxiliares del motor.

La presencia de estos contaminantes afectan el funcionamiento del sistema debido a que producen la degradación y el agotamiento de los aditivos del aceite, por este motivo, el lubricante es proclive a formar lodos, grumos y barnices que dificultan la circulación de este fluido, por lo tanto, se incrementará el desgaste producto de la fricción.

Para cuantificar los contaminantes se utilizan las partes por millón (ppm) o el porcentaje de estos en las muestras evaluadas. Una forma de clasificarlos se basa en el estado físico en el que se los encuentra, entonces los tendremos en:

**1.9.3.1 Estado sólido.-** En este grupo se encuentran las limallas que resultan de la fricción entre partes y piezas, también el polvo que proviene del ambiente. La forma como afectan es restringiendo la circulación del fluido y favoreciendo el incremento de la fricción entre piezas en movimiento. Entre los principales contaminantes sólidos están el silicio que es un material extremadamente duro y proviene del polvo que existe en el aire y que puede pasar al motor a través del filtro respectivo, también se le encuentra al sodio que proviene por lo general del refrigerante del motor o de la humedad del aire que ingresa al motor para la combustión o quizás por la limpieza del motor con agua a presión. Otros contaminantes sólidos provienen del desgaste del motor como el hierro, cobre, plomo y aluminio, estos son también abrasivos y dependiendo del lugar en el que se ubiquen afectarán en mayor o menor medida al desgaste del motor.

Tabla 1.6.- Partículas metálicas en suspensión en el aceite y su procedencia. Fuente: (Gómez Estrada, 2013).

	Fe	Cu	Pb	Al	Si	Cr	Sn
Anillos	X					X	
Arbol de levas	X						
Bielas	X						
Bomba de aceite	X			X			
bujes		X		X			X
Bujes de biela		X	X	X			X
Bujes de bomba de aceite				X			
Camisa	X					X	
Carcasa	X			X			
Cigüeñal	X						
Cojinetes		X	X	X			X
Cojinetes anti-fricción	X					X	
Enfriador de aceite		X					
Guías de válvulas	X	X					
Pistones	X			X			
Tren de válvulas	X						
turbo	X			X			
Válvula de escape	X					X	

**1.9.3.2 Estado semi-sólido.-** Son productos que se forman a partir de la combinación de los residuos carbonosos, de las reacciones de oxidación y polimerización térmica, de

la combinación del lubricante con líquido refrigerante o agua, por la presencia de microorganismos, etc. Estos son generalmente denominados lodos y terminan disminuyendo la velocidad con la que fluye el aceite al interior del sistema.

**1.9.3.3 Estado gaseoso.-** Los gases más frecuentes que contaminan el aceite son: el oxígeno y los óxidos de nitrógeno (NOx). Como reacción del proceso de combustión se puede producir el ácido sulfhídrico que incrementa la acidez del aceite y por lo tanto, contribuye a la degradación del mismo.

**1.9.3.4 Estado líquido.-** Se consideran entre otros los siguientes: Relleno del nivel de aceite en el motor con básicos y aditivos no compatibles con el lubricante usualmente utilizado, esto puede generar reacciones impredecibles que terminan afectando las características originales del lubricante. Si las viscosidades son diferentes pueden producirse algunos inconvenientes relacionados con la bombeabilidad del aceite.

**1.9.3.5 Agua emulsionada con el aceite.-** Es considerado uno de los contaminantes más dañinos del lubricante pues le cambia las propiedades físicas y químicas del mismo. La contaminación del sistema de lubricación con agua genera los siguientes problemas o fallos:

- Desplazando la capa de aceite y exponiendo al desgaste de las superficies en contacto, sobre todo en las piezas expuestas a altas temperaturas y presiones en donde el agua desplaza al aceite y esta al vaporizarse fácilmente permite el contacto directo entre metales.
- Provoca la formación de herrumbre y favorece el ataque corrosivo de los ácidos, la herrumbre adicionalmente provoca un desgaste al ser abrasiva y puede llegar a obstruir el circuito de lubricación.
- Debido a la presencia de varios metales como el hierro, cobre y plomo, el agua acelera la formación de óxidos y ácidos en el lubricante. Estos ácidos se forman también debido a la reacción del agua con ciertos lubricantes sintéticos (por ejemplo los esteres de fosfato) y con algunos aditivos anti desgaste de tipo sulfuroso
- Formación de espuma, por lo tanto se pierde eficacia en el sistema.
- Formación de lodos, debido a la pérdida de la capacidad de los aditivos inhibidores de la herrumbre, desemulsificantes, y dispersantes.
- Formación de microorganismos en el agua acumulada en el cárter degradan al aceite y favorecen la formación de ácidos y la corrosión.

Para valorar la presencia de agua en el aceite se pueden seguir varios estándares, entre los más destacados tenemos:

- ❖ ASTM D 95. Destilación de un solvente hidrocarburo y de aceite, posteriormente se les condensa y se recogen en una trampa calibrada.
- ❖ ASTM 1744, para determinar pequeñas proporciones de agua se usa un reactivo denominado Karl Fisher.
- ❖ ASTM E 2412, análisis mediante vibraciones.
- ❖ Otros métodos son los de crepitación (uso de una plancha caliente para determinar contenidos de agua superiores al 0,05%); medición de la constante dieléctrica, la misma que se incrementa sustancialmente cuando se denota la presencia de agua.

## **CAPITULO II**

### **METODOLOGIA DE TRABAJO**

#### **2.1 Introducción.**

En el capítulo anterior se presentaron los fundamentos de la lubricación de los motores, los tipos de aceite y aditivos para mejorar las prestaciones de lubricación, las clasificaciones SAE y API, el marco teórico relacionado con el deterioro y la pérdida de las propiedades del aceite ocasionadas por la oxidación, nitración y contaminación; este fundamento teórico, permitirá desarrollar en esta unidad la temática relacionada al mantenimiento predictivo (MPd) fundamentada en el análisis de aceite (AA), que se llevó a cabo en atención a la normativa de la asociación para ensayo de materiales (ASTM), para contrastar con los límites condenatorios estipulados por los fabricantes de vehículos y de lubricantes; la metodología de trabajo incluirá también el desarrollo de un procedimiento para la toma de muestras, la indagación bibliográfica de las características de los lubricantes utilizados en los automotores que son preferidos por los transportistas de la modalidad “taxis” de la ciudad de Cuenca, con el propósito de utilizar el aceite recomendado por el constructor del motor. Con la metodología definida se proyectará al análisis estadístico de datos que se desarrollará en el siguiente capítulo.

#### **2.2 Mantenimiento predictivo.**

El mantenimiento predictivo MPd tiene por objetivo anticiparse a las fallas de una máquina, de manera que determinados componentes mecánicos que están próximos a fracasar sean reemplazados minimizando el tiempo de reparación e incrementando la vida útil del mecanismo.

Para establecer un programa de MPd se deben registrar los valores de la variable a ser evaluada (eje de las ordenadas) respecto al tiempo (eje de las abscisas) en el que se realiza esta evaluación. De esta manera se generan registros históricos hasta que el componente falle, estos históricos servirán de sustento para predecir averías; obsérvese la figura 2.1.

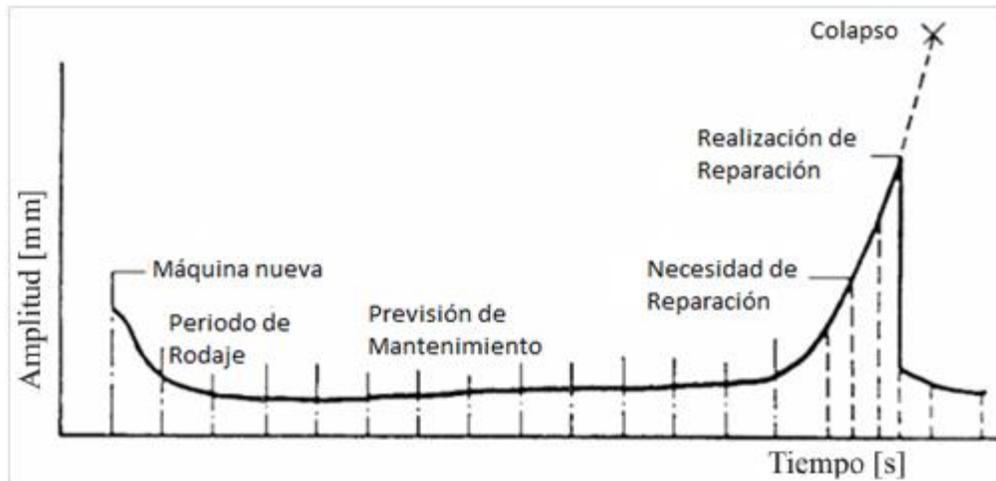


Fig. 2.1.- Evolución de la señal temporal de la vibración de una máquina. **Fuente:** (Lara Castro, 2007).

### 2.2.1 Técnicas aplicables al mantenimiento predictivo.

A continuación se expondrán algunas de las técnicas utilizadas para desarrollar programas de mantenimiento predictivo:

#### 2.2.1.1 Análisis de vibraciones

Se pretende identificar las amplitudes más frecuentes de las vibraciones identificadas en el componente mecánico, para establecer las causas y las posibles soluciones del problema. Las vibraciones mecánicas traen consigo problemas como pérdida de potencia, desgaste, incremento de esfuerzos que derivan en daños de los mecanismos.

#### 2.2.1.2 Termografía Infrarroja.

Es una técnica que permite medir y determinar las temperaturas de trabajo de los componentes de una máquina con extremada precisión sin establecer contacto físico.

#### 2.2.1.3 Análisis por ultrasonido.

Técnica basada en las ondas de baja frecuencia emitidas por los mecanismos y que no son percibidas por el ser humano.

#### 2.2.1.4 Análisis de aceites.

El estudio de las pérdidas de las propiedades del lubricante basado en el análisis de aceite (AA), constituye una técnica importante dentro del mantenimiento predictivo de los motores. Este permite obtener información del estado del lubricante y por supuesto del estado mismo del motor, es útil entonces para predecir el daño de partes y piezas

del mismo y también para conocer de una manera cierta el kilometraje que un lubricante de motor puede utilizarse antes de que alguno de los indicadores pase a un valor crítico (límites condenatorios). Por este motivo el AA es considerado como una herramienta eficaz del mantenimiento predictivo porque permite reducir costes y evitar averías mayores; características que han servido para que este tipo de mantenimiento sea reconocido como uno de los más eficaces para aplicarse en flotas de vehículos. Con el AA se conocerá entonces los niveles de degradación, contaminación y desgaste del motor (Tormos Martínez, 2005).

### **2.3 Normativas que estandarizan las diferentes pruebas para los análisis de aceites y sus cálculos.**

#### **2.3.1 Clasificación del aceite para motores por la viscosidad (SAE J300)**

En la tabla 1.4 se exponen los límites para determinar los grados de viscosidad del aceite del motor disponibles: a) los que contienen la letra W, se definen por la máxima viscosidad de bombeo y arranque a baja temperatura, y una viscosidad cinemática mínima a 100 °C y b) los que no tienen la letra W, se basan en un conjunto de viscosidades cinemáticas mínimas y máximas a 100 °C y una viscosidad de alta cizalla mínima a 150 °C.

Los aceites de motor multigrados se definen considerando los siguientes criterios: a) La máxima viscosidad de bombeo y arranque a baja temperatura correspondientes al grado W que ostenta, y b) Viscosidades cinemáticas máximo y mínimo a 100 °C y una viscosidad de alta cizalla mínima a 150 °C correspondiente al grado no W que le corresponde al aceite multigrado.

##### **2.3.1.1 Métodos de ensayo a baja temperatura.**

Las viscosidades medidas por este método se relacionan con la capacidad de los motores para arrancar a baja temperatura. El arranque del motor con una viscosidad a baja temperatura se mide según el procedimiento descrito en la norma ASTM D 5293 y es reportado en mili Pascal segundo (mPa·s equivalente a un cP).

Las viscosidades de bombeo se obtienen mediante un ensayo, que se realiza para medir la capacidad de un aceite de fluir por el circuito de lubricación del motor hasta la bomba y que ésta a su vez proporcione las presiones de aceite adecuadas durante las etapas - iniciales de funcionamiento para evitar desgastes en el motor. El procedimiento utilizado se registra en la norma ASTM 4684 y se presenta también en mPa·s (cP).

La selección de un aceite para trabajar en invierno debe considerar la temperatura más baja esperada, debido a que la capacidad de bombeo del sistema de lubricación del

motor, la capacidad de arranque, y de partida son susceptibles de afectar el desempeño del motor a bajas temperaturas; por este motivo, para elegir adecuadamente un aceite para una máquina se debe tomar en cuenta la temperatura de la región donde ésta funcionará (figura 2.2).

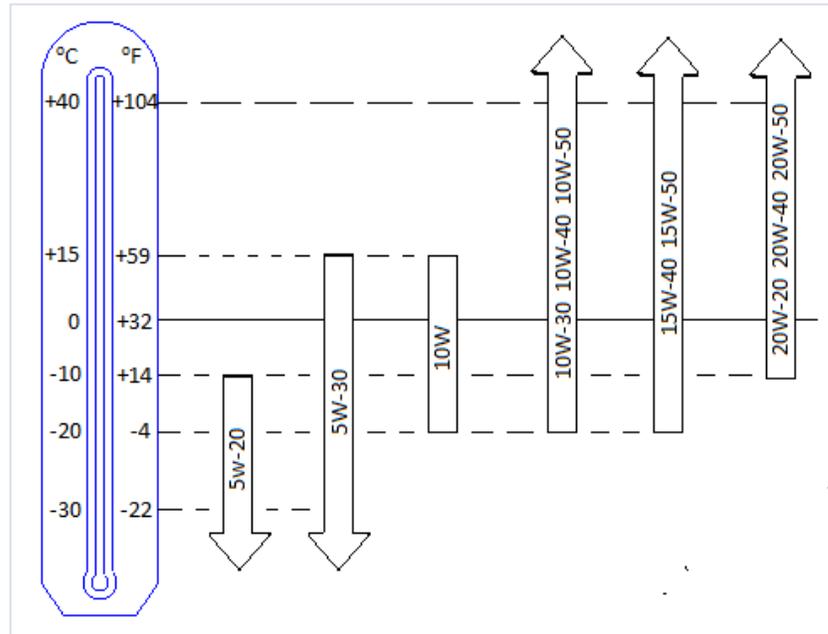


Fig. 2.2.- Tipos de aceite para motores de ciclo Otto en función de la temperatura de la región en la que operará. Fuente: (Calleja, 2012).

### 2.3.1.2 Métodos de ensayo a alta temperatura.

La viscosidad cinemática a temperaturas normales de funcionamiento del motor se ha relacionado con el consumo de combustible, por este motivo los fabricantes de motores deben darle especial atención a este parámetro del lubricante que recomienden para utilizarlo. La Viscosidad cinemática a 100 ° C se mide según la norma ASTM D 445, y los resultados se presentan en  $\text{mm}^2 / \text{s}$  (1  $\text{mm}^2/\text{s}$  equivale a 1 cSt).

La viscosidad de alta tasa de cizalladura es considerada como un parámetro reológico (Apartado 1.5) que es trascendental para el rendimiento del motor a temperaturas normales de funcionamiento, se debe medir a una temperatura de 150 ° C y reportarse en  $\text{mPa}\cdot\text{s}$  (cP). Esta evaluación es valiosa particularmente para optimizar la funcionabilidad de componentes sometidos a alta cizalladura en condiciones de funcionamiento severas como los cojinetes, entre los anillos y las paredes del cilindro, etc.

Los aditivos poliméricos se utilizan para varios propósitos, pero sobre todo para modificar la viscosidad. Sin embargo, los aceites que contienen una concentración significativa de aditivo polimérico, ya sea por modificación de la viscosidad u otra función lubricante, se caracterizan generalmente por tener una viscosidad no newtoniana "dilución por cizallamiento" (es decir, una viscosidad que disminuye con el incremento de la velocidad de cizalla).

### 2.3.1.3 Método de prueba estándar para viscosidad cinemática (ASTM International, 2007).

Esta norma define el procedimiento para determinar la viscosidad cinemática de los derivados del petróleo, el principio en el que se basa es el de establecer el tiempo en que un volumen fijo de líquido requiere para fluir por el efecto de la gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado (desde la marca superior a la inferior del viscosímetro, observe la figura 2.3 a) bajo una cabeza de conducción reproducible y a una temperatura totalmente vigilada y conocida (baño termostático). La viscosidad cinemática resulta de multiplicar la constante de calibración del viscosímetro por el tiempo de flujo determinado (promedio del tiempo cronometrado en tres pruebas). El rango de viscosidades cinemáticas cubiertas por este método de prueba es de 0.2 a 300000 mm<sup>2</sup>/s.

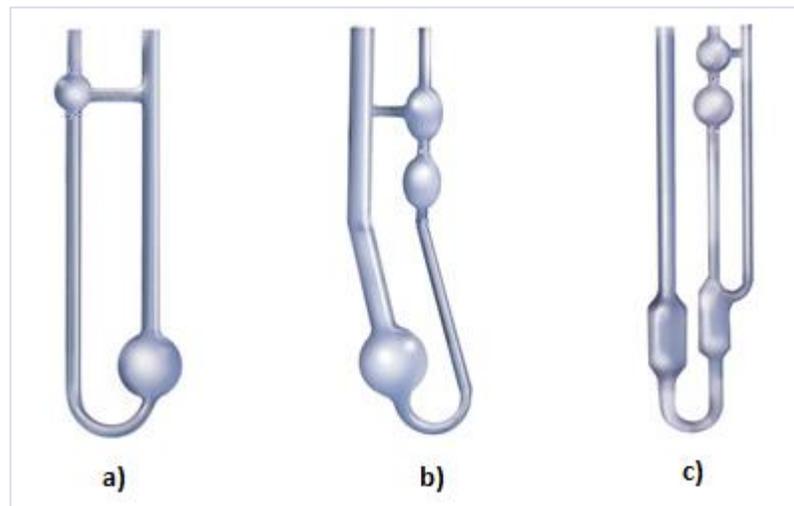


Fig. 2.3.- Tipos de viscosímetros de vidrio. A) Ostwald b) Cannon-Fenske c) Ubbelohde. Fuente: (Corporation Noria, 2010)

A su vez, para obtener la viscosidad dinámica  $\eta$  se debe multiplicar la viscosidad cinemática  $\nu$  por la densidad del fluido  $\rho$ .

➤ **Instrumental requerido.**

Respecto al instrumental utilizado, estos deben ser viscosímetros capilares de vidrio capaces de evaluar viscosidades cinemáticas dentro de los estándares de exactitud indicados en la norma. También pueden usarse viscosímetros automatizados los mismos que se ajusten a las mismas condiciones operacionales, procedimentales y físicas de los viscosímetros prescritos por ASTM 445.

La norma establece procedimientos, parámetros y tolerancias para:

- Calibrar la verticalidad del soporte del viscosímetro. El soporte del viscosímetro debe ubicarse de manera vertical y dentro de las tolerancias de inclinación según el tipo de instrumento utilizado.
- Estandarizar el procedimiento del control de la temperatura. Se indica que para las diferentes pruebas prescritas en la norma se deben realizar las mediciones a temperaturas controladas (Viscosímetro con baño de temperatura controlada).
- Medición de la temperatura. Se establece que se utilicen dos instrumentos de medición, entre los que no debería existir variaciones de lectura que excedan la tolerancia según el tipo de termómetros utilizados.
- Respecto al cronómetro se dice que este debe ser capaz de registrar los valores con una diferencia de 0.1 segundos o superior.
- Ejecutar los procedimientos de limpieza y secado del viscosímetro.

❖ **Cálculo de la viscosidad cinemática ( $\nu$ ).**

Calcular las viscosidades cinemáticas  $\nu_1$  y  $\nu_2$ , con la fórmula:

$$\nu_{1,2} = C \cdot t_{1,2} \quad (2.1)$$

En donde,

C es la constante de calibración del viscosímetro en  $\text{mm}^2/\text{s}^2$ .

$t_{1,2}$  son los tiempos de flujo cronometrados para  $t_1$  y  $t_2$ , respectivamente,

#### 2.3.1.4 Cálculo de la viscosidad dinámica ( $\eta$ ).

Una vez obtenida la viscosidad cinemática ( $\nu$ ), y la densidad ( $\rho$ ), calcule la viscosidad dinámica usando la siguiente ecuación:

$$\eta = \nu \times \rho \times 10^{-3} \quad (2. 2)$$

Donde:

$\eta$  = viscosidad dinámica, mPa·s

$\rho$  = densidad, kg/m<sup>3</sup>, a la misma temperatura utilizada para la determinación de la viscosidad cinemática, y

$\nu$  = viscosidad cinemática, mm<sup>2</sup>/s.

Para determinar la densidad de la muestra debe ejecutarse el procedimiento a la misma temperatura a la que se evaluó la viscosidad cinemática, los métodos de prueba también están normalizados por D1217, D1480, o D1481.

#### ❖ **Determinación de la densidad utilizando el método del picnómetro de Bingham.**(ASTM International, 1998).

Método para determinar la densidad de los productos derivados del petróleo, los mismos que se encuentran en estado líquido a las temperaturas de pruebas especificadas, 20°C y 25°C. El método incluye el cálculo para transformar la densidad a densidad relativa.

La determinación de la densidad es de fundamental importancia para caracterizar los hidrocarburos. La precisión es de 0,00003 g/mL.

Definiciones:

- **La densidad.**- Se define como el cociente de la masa (peso en vacío) por el volumen que ocupa el mismo, a una temperatura establecida; las unidades del sistema internacional son los Kg/m<sup>3</sup>, sin embargo, frecuentemente se utiliza los g/ml o g/cm<sup>3</sup>; por ejemplo la densidad del agua es 1000 kg/m<sup>3</sup> o 1 gr/cm<sup>3</sup>.
- **La densidad relativa.**- Es la relación entre el peso en vacío (masa) de un volumen dado de material, a una temperatura establecida T1, y la masa de un volumen análogo de agua, a una temperatura de referencia T2. Es decir es la correspondencia entre las densidades del agua a T2 y la densidad del material a T1.

Procedimiento para determinar la densidad mediante el uso del picnómetro de Bingham.

El método del picnómetro es utilizado para determinar la densidad de un líquido a través de la determinación de la masa del picnómetro en tres situaciones diferentes.

➤ **Materiales y equipos requeridos:**

- Picnómetro.
- Balanza analítica
- Líquido a medir.
- Agua destillada como líquido de referencia.
- Sujetadores para mantener al picnómetro en baño a temperatura constante.
- Dispositivo para conservar el baño a temperatura constante con una tolerancia de +/- 0,01 °C.
- Termómetro para determinar la temperatura del baño calibrado con una exactitud de 0,01 °C.
- Jeringa hipodérmica de 30 mL de vidrio resistente al ataque químico, con aguja de llenado.
- Aguja de extracción de acero inoxidable.

➤ **Metodología:**

Determinar la masa del picnómetro vacío mediante la balanza analítica  $m_{\text{picnómetro}}$ .

Enfriar la muestra de referencia, es decir el agua destilada hasta 5 a 10° C por debajo del valor de la temperatura establecida para la prueba, llenar el picnómetro con esta agua destilada valiéndose de la jeringa hipodérmica y la aguja de llenado hasta la marca que indica el nivel para la realización de la prueba (en la figura 2.4, “corte lineal muy fino hecho con diamante”); tener la precaución de evitar la formación de burbujas al momento de llenar el picnómetro.

Tapar el picnómetro y sumergir hasta cubrir la señal indicadora del nivel en el baño a temperatura constante calibrado hasta el valor determinado para la prueba y con variaciones de +/- 0,01 °C, durante el tiempo requerido hasta que se detenga la expansión, esto indica que se ha alcanzado la temperatura del baño, levantar el picnómetro y extraer el exceso de fluido que se encuentre por encima de la señal (evitar los errores de paralelaje) con la ayuda de la aguja de extracción de acero inoxidable y la jeringa. Secar el fluido que puede quedarse adherido a las paredes internas del

picnómetro por encima de la señal (en la figura 2.4, “corte lineal muy fino hecho con diamante”) con un secador de tubos o con la aguja de extracción, secar externamente el picnómetro y determinar la masa del picnómetro más la masa del agua.

$$m_{\text{picnómetro} + \text{agua}} \quad (2.3)$$

Para encontrar la masa del fluido de referencia se debe restar de la masa del picnómetro más la masa del agua, el valor de la masa del picnómetro.

$$m_{\text{agua}} = m_{\text{picnómetro} + \text{agua}} - m_{\text{picnómetro}} \quad (2.4)$$

Para determinar la densidad del nuevo fluido, calcule la masa del picnómetro enrasado con el nuevo líquido siguiendo un procedimiento análogo al anotado en el párrafo anterior. Registre el valor de la masa del picnómetro más la de la muestra. La masa de la muestra se determinará de la siguiente manera:

$$m_{\text{muestra}} = m_{\text{picnómetro} + \text{muestra}} - m_{\text{picnómetro}} \quad (2.5)$$

Entonces la densidad se calcularía de la siguiente manera:

$$\rho_{\text{muestra}} = \frac{m_{\text{muestra}}}{V_{\text{picnómetro}}} \quad (2.6)$$

Remplazando 2.5 en 2.6 se tiene:

$$\rho_{\text{muestra}} = \frac{(m_{\text{picnómetro} + \text{muestra}} - m_{\text{picnómetro}})}{V_{\text{picnómetro}}} \quad (2.7)$$

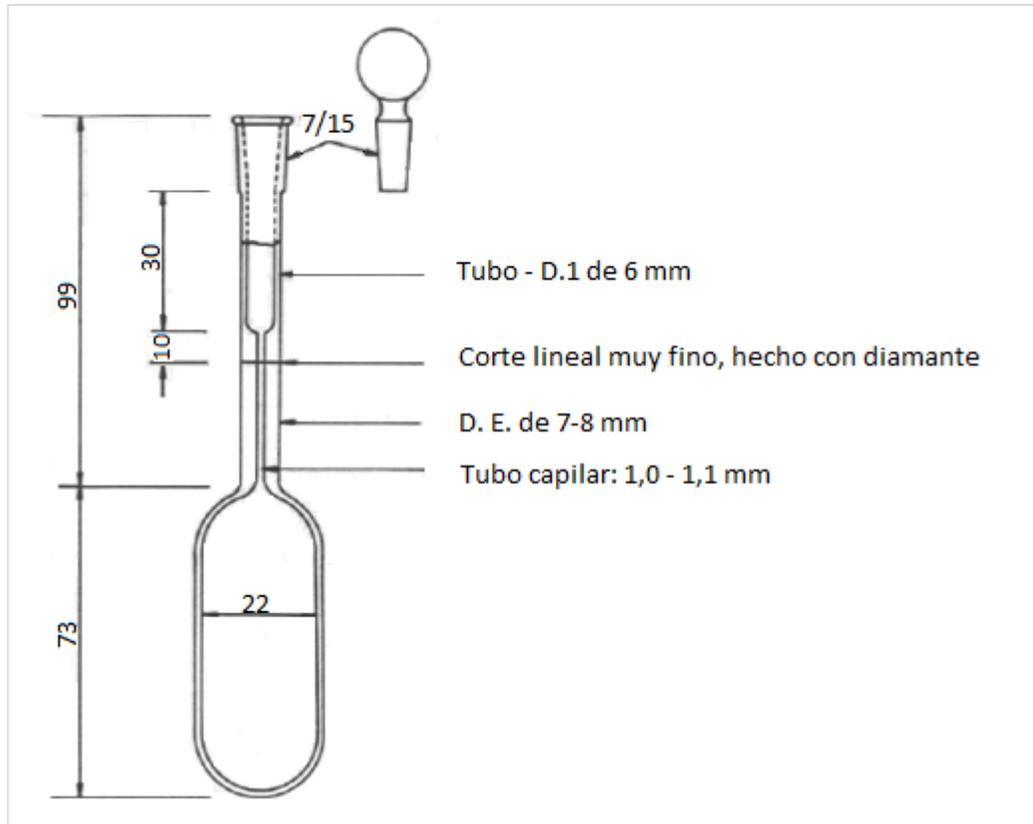


Fig. 2.4.- Pícnómetro de Bingham. Fuente:(ASTM International, 1998)

El volumen del picnómetro se determinará a partir de:

$$\rho_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua}}}{V_{\text{picnómetro}}} \quad (2.8)$$

Despejando se tiene:

$$V_{\text{picnómetro}} = \frac{m_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad (2.9)$$

Remplazando 2.4 en 2.9 se tiene:

$$V_{\text{picnómetro}} = \frac{m_{\text{picnómetro} + \text{agua}} - m_{\text{picnómetro}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad (2.10)$$

Ahora remplazando 2.10 en 2.7 se tiene:

$$\rho_{\text{muestra}} = \frac{(m_{\text{picnómetro}} + \text{muestra} - m_{\text{picnómetro}})}{(m_{\text{picnómetro}} + \text{agua} - m_{\text{picnómetro}}) (\rho_{\text{agua}})} \quad (2.11)$$

Obteniéndose finalmente la ecuación que se utilizará:

$$\rho_{\text{muestra}} = \frac{(m_{\text{picnómetro}} + \text{muestra} - m_{\text{picnómetro}})}{(m_{\text{picnómetro}} + \text{agua} - m_{\text{picnómetro}}) \rho_{\text{agua}}} \quad (2.12)$$

Como la densidad del agua es 1 g/ml, entonces:

$$\rho_{\text{muestra}} = \frac{(m_{\text{picnómetro}} + \text{muestra} - m_{\text{picnómetro}})}{(m_{\text{picnómetro}} + \text{agua} - m_{\text{picnómetro}})} \quad (2.13)$$

### 2.3.2 Determinación del TBN (ASTM International, 2006).

En química el pH es la abreviatura de Potencial Hidrógeno, este parámetro es muy utilizado para determinar el grado de acidez o alcalinidad (basicidad) de una sustancia. La escala para evaluar el pH varía de 0 a 14, se consideran ácidas las sustancias con un pH menor a 7, alcalinas las mayores a 7 y neutras las que son iguales a 7. Mientras más se aleje el valor del PH de 7 serán sustancias más alcalinas o más ácidas. (Paz, 2004).

Como se anotó en el capítulo 1, el TBN (Número Total de Base) indica el grado de alcalinidad de un lubricante de motor, ASTM 2896 define como la cantidad de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) necesario para neutralizar los compuestos básicos de 1 gr de aceite de muestra. La prueba debe realizarse con la ayuda de un titulador potenciométrico con una aproximación de +/- 3%. El aceite de muestra deberá disolverse en una emulsión de ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y clorobenceno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ ), luego debe emplazarse en un electrodo de vidrio con perclorato de potasio ( $\text{KClO}_4$ ) y titularse con una composición de ácido acético y ácido perclórico, adicionando en cantidades de 0,1  $\text{cm}^3$  hasta neutralizar la muestra. La información que el potenciómetro ofrece se grafica como una expresión del volumen de la solución tituladora utilizada, el valor del TBN es el que se expresa en el punto de inflexión de la figura 2.5.

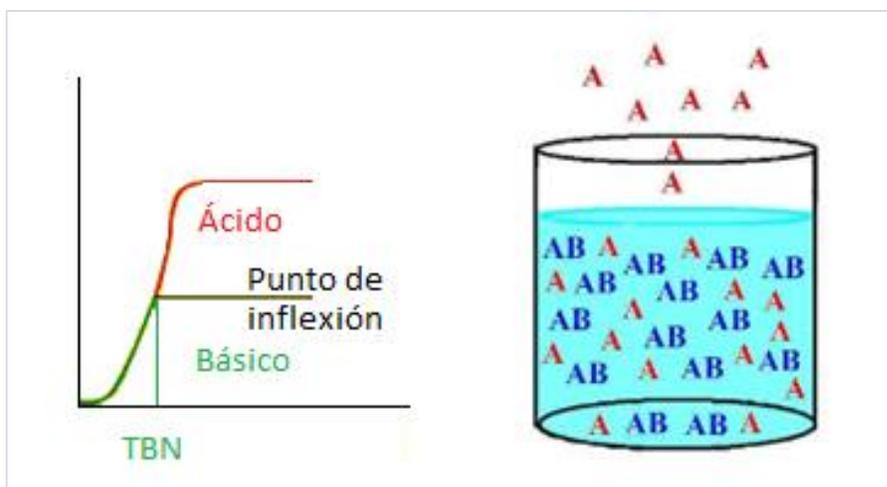


Fig. 2.5.- Número total de base (TBN). Fuente: (Martins, n.d.).

➤ **Instrumental requerido:**

Para el desarrollo de la prueba se requiere de un titulador potenciométrico (figura 2.6) y una balanza.

➤ **Reactivos:**

Los reactivos necesarios para la evaluación del TBN son:

- Ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).
- Anhídrido acético ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ ).
- Clorobenceno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ ).
- Solución de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) 0.1 N estandarizada (0,1 N en química es el grado de concentración de soluciones).
- Solvente de titulación (Líquido estandarizado para calibrar el potenciómetro y para ejecutar la prueba).



Fig. 2.6.- Titulador potenciométrico. Fuente: (Liaoning Huake Petroleum Apparatus Science y Technology Co. Ltd., 2016)

Este método de análisis cubre la determinación de constituyentes básicos en productos de petróleo por titulación con ácido perclórico en ácido acético glacial. A continuación se resume el procedimiento:

El proceso de la prueba para determinar el TBN, consiste en: confirmar los parámetros del equipo, limpiar el electrodo, calcular la cantidad de muestra requerida de acuerdo al número base esperado, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Peso aproximado de la muestra, g} = 10/\text{TBN esperado}$$

Posteriormente se debe pesar la muestra en un vaso plástico de 100 ml, luego añadir 60 ml de solvente de titulación (40 ml de Clorobenceno más 20 ml de ácido acético glacial). Coloque el vaso en el soporte del titulador potenciométrico y ubique el electrodo dentro del vaso, ahora se digita el peso de la muestra, se prosigue con la titulación con la solución de ácido perclórico 0.1 N (N=normal) previamente estandarizado, confirmar que la agitación esté en 4 r.p.m.; por último, se debe esperar hasta que las lecturas del equipo se detengan y se presente el resultado de TBN en la pantalla.

### **2.3.3 Análisis por espectrometría de emisión atómica por disco rotativo (ASTM International, 2011).**

El proceso de electrodo de disco rotativo de espectro (RDE) para análisis de aceite (sean estos sintéticos o minerales) emplea tecnologías espectroscópicas utilizadas para evaluar los contaminantes, aditivos y desgaste del motor. (Leal De Rivas et al., 2014)

El equipo utilizado (figura 2.7) dispone de un eje, el mismo que le hace rotar a un disco de carbono, este se encuentra ligeramente sumergido en la muestra del aceite en

análisis, este aceite es transportado por el disco, entre este disco y un electrodo de carbono instalado en la parte superior salta entonces un chispazo. La chispa provoca la vaporización del lubricante el mismo que emite una luz, con distintas longitudes de onda (tabla 2.1), particularidad de los metales presentes en la muestra, a su vez la mayor concentración de estos metales va a incrementar la intensidad de la luz. Esta técnica permite analizar hasta más de veinte elementos a la vez.



Fig. 2.7.- Espectrómetro por electrodo y disco rotatorio (RDE) Fuente: (Noria Corporation, 2014)

Este método tiene el inconveniente de necesitar la excitación de átomos individuales, por este motivo la muestra deberá vaporizarse por completo para evaluar la totalidad de elementos que contiene el aceite en estudio. El procedimiento de análisis es capaz de revelar y ponderar elementos resultantes de contaminación y desgaste de tamaños reducidos que se encuentran suspendidos en el aceite (partículas de aproximadamente 10 micras de tamaño como máximo). Es necesario entonces que esta técnica se complemente con otras como las de conteo de partículas, consistencia ferrosa y la microscopía de membrana, todas estas son útiles para evaluar partículas más grandes. (Noria Corporation, 2014).

Las unidades en las que se expresan los reportes son mg / kg (ppm en masa), los metales de desgaste presentes en las muestras fluctúan desde unas cuantas partes por millón (ppm) hasta algunos cientos de ppm y algunos miles de ppm para los aditivos.

El análisis de los resultados de concentraciones de metales de desgaste, aditivos y contaminantes es importante no solo atender el valor absoluto, es muy significativo trazar una tendencia en muestras contiguas que reflejen el desgaste de componentes, la eficiencia entre diferentes lubricantes, la calidad de mecanismos (manufactura y materiales); este análisis se convertirá en una herramienta valiosa para determinar a tiempo averías que podrían de otra manera agravarse.

Tabla 2.1.- Elementos y longitudes de onda recomendados Fuente:(ASTM International, 2011)

Elemento	Longitud de onda, nm	Elemento	Longitud de onda, nm
Aluminio	308.21	Níquel	341.48
Bario	230.48, 455.40	Fosforo	255.32, 214.91
Boro	249.67	Potasio	766.49
Calcio	393.37, 445.48	Silicio	251.60
Cromo	425.43	Plata	328.07, 243.78
Cobre	324.75, 224.26	Sodio	588.89, 589.59
Hierro	259.94	Estaño	317.51
Plomo	283.31	Titanio	334.94
Litio	670.78	Tungsteno	400.87
Manganeso	403.07, 294.92	Vanadio	290.88, 437.92
Magnesio	280.20, 518.36	Zinc	213.86
Molibdeno	281.60		

Es muy importante para la persona que realiza e interpreta los análisis de aceites conocer la metalurgia de los componentes del motor al igual que la composición química de los contaminantes que pueden estar presentes en el fluido de lubricación, para establecer con certeza la procedencia de los metales y contaminantes que se presenten en los reportes de laboratorio. También es necesario que se conozca la composición química de la línea base del aceite, para comparar el grado de agotamiento de los aditivos a medida que se va utilizando y degradando el mismo.

#### **2.3.4 Dilución por combustible** (ASTM International, 1996).

Para los análisis del aceite de lubricación del motor por dilución con combustible, se utiliza por parte del laboratorio "Swissoil" de la ciudad de Guayaquil (el mismo que cuenta con las certificaciones ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, y en proceso de implementación de la Norma ISO 17025) la norma ASTM E 2412, el procedimiento

también puede ser útil para establecer el agotamiento de los aditivos, la presencia de contaminantes como el refrigerante y el hollín y la misma degradación de la base del aceite; ésta consiste en usar la espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), técnica que determina las longitudes de onda a la que absorben radiación infrarroja los diferentes compuestos que se encuentran en el aceite para formar un interferograma el mismo que se somete entonces a una transformada de Fourier para obtener un número de onda-amplitud (o longitud de onda en  $\text{cm}^{-1}$ ) del espectro.

El espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR), es un instrumento configurado con una fuente, divisor de haz y un detector para cubrir adecuadamente el rango infrarrojo medio de  $4000 \text{ cm}^{-1}$  a  $550 \text{ cm}^{-1}$ .

#### **2.3.4.1 Para el desarrollo de la prueba se requiere también:**

Celdas de muestreo infrarrojo de líquido de transmisión. La ventana para el muestreo de celdas, generalmente es construida de seleniuro de zinc (ZnSe), fluoruro de bario (BaF<sub>2</sub>), bromuro de potasio (KBr), con un espesor de capa de 0,1 mm (100 $\mu\text{m}$ ).

Debido al gran cambio del índice de refracción cuando el haz infrarrojo pasa del aire a las ventanas de ZnSe, una franja de reducción es necesaria para proporcionar resultados consistentes.

#### **2.3.4.2 Limpieza de las celdas:**

Para ejecutar este proceso debe emplearse solventes que no tengan como característica la absorción significativa en el monitoreo de condición de áreas de interés y que puedan secarse rápidamente cuando se bombea aire a través del sistema de lavado. Disolventes de lavado típicos utilizados para analizar algunos lubricantes sintéticos son los hidrocarburos alifáticos ligeros tales como heptano o ciclohexano.

#### **2.3.4.3 Procedimientos y determinación de la dilución por combustible.**

- **Introducción de la muestra.** Una muestra representativa se debe introducir manualmente o por un sistema de bombeo automático dentro de la celda de transmisión por infrarrojos.
- **Comprobación de la integridad de la muestra.** Para garantizar la precisión y la consistencia de los resultados, el espectro infrarrojo de la muestra debe ser comprobado,

de manera que la celda esté completamente llena y que el aire o burbujas que pasan a través de la misma durante la recolección de datos no vayan a influir sobre los resultados.

- **Procesamiento de datos.** Todos los espectros se procesarán en unidades de la absorbancia como una función del número de onda.
- **Análisis espectral de datos de la muestra.** Para los reportes se deben realizar mediciones de las regiones espectrales que contienen información relevante para el monitoreo. Los parámetros de una muestra de aceite nuevo se utilizan como punto de partida para la evaluación de la degradación y contaminación de un lubricante.
- **Contaminación por combustible:**

Para determinar la contaminación del lubricante por combustible, en el cárter de los motores se recomienda analizar las zonas comprendidas entre 805 a 815  $\text{cm}^{-1}$  para el caso del diésel y de 745 a 756  $\text{cm}^{-1}$  para los motores que utilizan gasolina. Algunas características espectrales de los aceites diluidos con combustibles diésel se aprecian en la figura 2.8, a su vez en la tabla 2.2 se presentan otros parámetros de monitoreo propios de las características relevantes a la hora de analizar aceites usados.

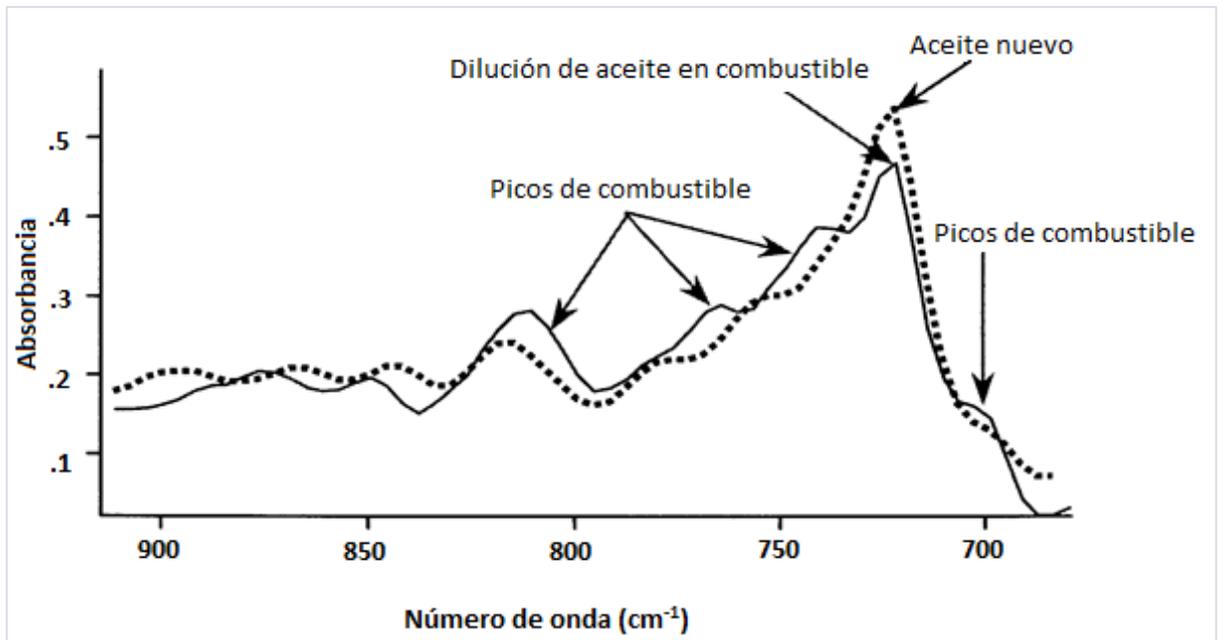


Fig. 2.8.- Medición del combustible en aceites Fuente: (ASTM International, 1996).

Pruebas independientes, para determinar el cambio de viscosidad, el punto de inflamación, o la cromatografía de gas se puede utilizar para confirmar una indicación de la presencia de combustible en el espectro de FT-IR del aceite.

En la figura 2.9 se aprecia un pico en el rango indicado anteriormente, este provoca el incremento del área bajo la curva, este aumento inusual se reporta en porcentaje del peso de combustible diésel degradado.

Tabla 2.2.- Parámetros de monitoreo de condición. Fuente: (ASTM International, 1996)

<b>Tendencia Directa</b>			
Componente	Área medida (cm <sup>-1</sup> )	Puntos Línea Base (cm <sup>-1</sup> )	Reporte
Agua	Área 3500 a 3150	Mínima 4000 a 3680 y 2200 a 1900	Reporte valores como se midió
Carga de hollín	Intensidad de absorbancia a 2000	Ninguno	Valor X 100
Oxidación	Área 1800 a 1670	Mínima 2200 a 1900 y 650 a 550	Reporte valores como se midió
Nitración	Área desde 1650 a 1600	Mínima 2200 a 1900 y 650 a 550	Reporte valores como se midió
Componentes Anti desgaste (Aditivo fosfato, típicamente ZDDP)	Área 1025 a 960	Mínima 2200 a 1900 y 650 a 550	Reporte valores como se midió
Gasolina	Área 755 a 745	Mínima 780 a 760 y 750 a 730	Reporte valores como se midió
Diésel (JP-5, JP-8)	Área 815 a 805	Mínima 835 a 825 y 805 a 795	(valor + 2) X 100
Sulfatos por productos	Área 1180 a 1120	Mínima 2200 a 1900 y 650 a 550	Reporte valores como se midió
Refrigerante Etilenglicol	Área 1100 a 1030	Mínima 1130 a 1100 y 1030 a 1010	Reporte valores como se midió
<p><sup>A</sup> Informes valores de absorbancia / 0.1 mm.</p> <p><sup>B</sup> Se ha encontrado que características espectrales de diésel y otros combustibles indicados pueden variar. Si está trabajando actualmente en otras áreas de medición IR y técnicas, las medidas de la lista se pueden utilizar como una guía, pero no se pretende que sea la única medición de contaminación del combustible, a base de infrarrojos. Se recomienda la comprobación de los indicadores de las bandas de absorbancia para verificar la presencia de las fuentes de combustible sospechosas.</p>			

➤ **Residuos de Combustible:**

La medida de los residuos de combustible es muy difícil por cualquier método. La principal diferencia entre el combustible y el aceite de base está en el peso molecular o intervalo de ebullición y el porcentaje relativo de materiales aromáticos. El combustible tiene un intervalo de ebullición más bajo y un porcentaje más alto de material aromático. Los métodos convencionales tales como cromatografía de gases o punto de inflamación hacen uso de la gama de ebullición más baja, mientras que el enfoque de infrarrojos examina el contenido de aromáticos para indicar si el combustible está presente. La característica espectral causada por bandas de aromáticos en el rango de 817 a 804  $\text{cm}^{-1}$  se utiliza para este propósito.

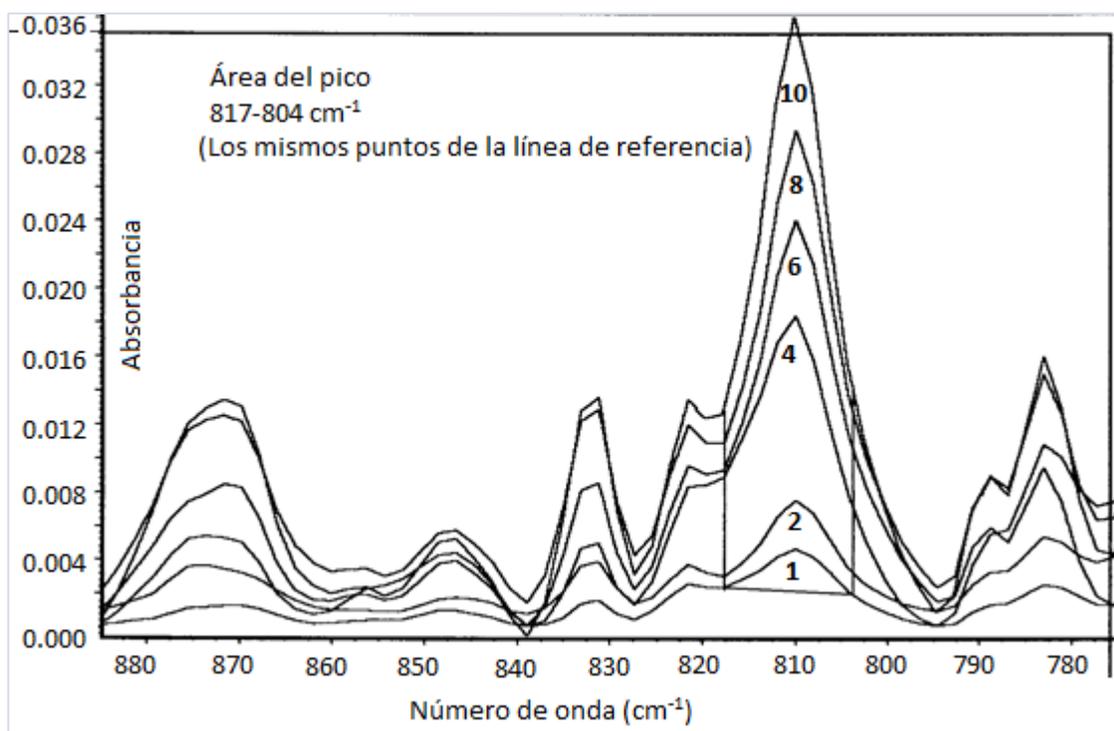


Fig. 2.9.- Región de análisis de combustible Diésel para lubricantes a base de petróleo.

Fuente: (ASTM International, 1996)

La detección de la contaminación por gasolina es menos problemática que la localización de la contaminación por combustible Diésel, debido al contenido aromático relativo más alta de la gasolina. La cuantificación de la gasolina se calibra usando un área de pico en el rango de 734 a 721  $\text{cm}^{-1}$ .

Una prueba independiente, como el cambio de viscosidad, punto de inflamación, o cromatografía de gases, se puede utilizar para confirmar una indicación de la presencia de combustible en el espectro FT-IR del aceite.

#### **2.4 Valoración de los límites de desgaste máximo en los motores de combustión interna.**

Con el propósito de tener un límite de referencia máximo, varias empresas (constructoras de motores y de lubricantes) han definido los valores máximos en ppm de los metales en suspensión en los aceites lubricantes con los que están contruidos los motores, así como también los parámetros máximos de contaminación y degradación del lubricante del motor. Para desarrollar estas tablas de referencia las empresas realizan múltiples pruebas de laboratorio de las muestras de aceite que se obtienen de los motores bajo circunstancias de trabajo extremas y controladas. Los aceites de motor que sobrepasan estos valores límites deben renovarse debido a que los mismos no están protegiendo al motor contra el desgaste y por lo tanto están provocando que las condiciones de operación sean extremas, esto se desencadena en un efecto multiplicador del desgaste al interior del motor. Este es el motivo por el que estos valores deben considerarse como condenatorios y no valores de operación normal.

##### **2.4.1 Definición de límites condenatorios**

Son los valores límites tolerables, una vez que se sobrepasan los mismos se debe tomar una decisión inmediata, como es la renovación del fluido y la determinación y reparación de las causas que provocaron el excesivo desgaste y degradación de los aceites. Se consideran algunas variables que determinan la idoneidad o no del aceite, como el TBN, la viscosidad, el nivel de aditivos, la concentración de metales desgastados de los componentes del motor en el aceite, entre otras.

##### **2.4.2 Información de los límites condenatorios.**

Los valores que definen estos límites son propiedad intelectual y producto de la investigación de las empresas constructoras de motores y lubricantes, en esta tesis se presenta la información de dos fuentes confiables. En la tabla 2.3 se indica los límites condenatorios de los aceites para motores de combustión interna, según las investigaciones de la empresa Chevron-Texaco y la presentada por Gómez Estrada D. Yesid Antonio en la tesis doctoral "Contribución al desarrollo y mejora para la

cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCIA a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)". Febrero 2013.

## 2.5 Análisis del tipo de vehículos y lubricantes recomendados.

### 2.5.1 Tipo de vehículos que participarán en la investigación.

Para el estudio de la degradación y contaminación del aceite de motores de ciclo Otto en función del kilometraje recorrido, se tomarán muestras de aceite de "Taxis" debido a que éstos, en muchos de los casos, trabajan durante las 24 horas del día y por lo tanto, se pueden obtener más muestras en menos tiempo; esto se puede verificar por la frecuencia con la que acuden a los talleres de mantenimiento para renovar el aceite de motor, la misma que en la mayoría de casos no supera las tres semanas.

Tabla 2.3.- Límites de las principales propiedades indicadoras de desgaste y degradación en los aceites de MCIA. Fuente: (Gómez Estrada, 2013)

Ensayo	Chevron-Texaco	Valores típicos fabricantes *
Viscosidad a 100° C	.+/- 20 % Aceite nuevo	.+/- 20 % Aceite nuevo
Disminución del TBN	50 % del aceite nuevo	50 % del aceite nuevo y > 2
Dilución por combustible [%]	Máximo 5%	-
Agua [%]	Ningún	> 1000 ppm
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595. [ppm]		
CROMO, Cr	Máximo 15	Máximo 5
NIQUEL, Ni	Máximo 10	Máximo 3
COBRE, Cu	Máximo 30	Máximo 15
Estaño, Sn	Máximo 20	Máximo 5
Aluminio, Al	Máximo 20	Máximo 10
Plomo, Pb	Máximo 30	Máximo 20
Hierro, Fe	Máximo 75	Máximo 20
Silicio, Si	Máximo 25	Máximo 7

Con el propósito de tener condiciones similares entre los diferentes vehículos que se seleccionen para el estudio, se ha analizado la base de datos de la empresa pública municipal de movilidad, tránsito y transporte de Cuenca (EMOV EP) respecto a las marcas de vehículos más utilizadas para dar el servicio de transporte denominado de "Taxi", esta información se presenta en la tabla 2.4, en ésta y en la figura 2.10 se puede apreciar que las tres marcas más comunes son: Hyundai, Chevrolet y Nissan, con sus modelos predilectos el Accent, Chevytaxi y Sentra respectivamente. Otros parámetros que se definieron para la selección de los automotores que participaron en el estudio, es el año de fabricación de los vehículos, el mismo que deberá ser superior al 2005 y la cilindrada de los motores la misma que deberá estar comprendida entre los 1300 y 2000 cm<sup>3</sup>.

Tabla 2.4.- Marcas de automotores más utilizadas para dar el servicio de taxis en Cuenca. Fuente: EMOV EP

MARCA DE VEHICULOS	Número de Unidades	Porcentaje
HYUNDAI	1681	46,5%
CHEVROLET	748	20,7%
NISSAN	552	15,3%
TOYOTA	166	4,6%
KIA	146	4,0%
DAEWOO	140	3,9%
MAZDA	117	3,2%
RENAULT	29	0,8%
LADA	9	0,2%
SKODA	8	0,2%
MITSUBISHI	6	0,2%
VOLKSWAGEN	6	0,2%
JAC	3	0,1%
TATA	1	0,0%
CITROEN	1	0,0%
PEUGEOT	1	0,0%
SIN MARCA	1	0,0%
<b>TOTAL</b>	<b>3615</b>	<b>100,0%</b>

### 2.5.2 Características de los aceites que recomiendan los fabricantes y talleres autorizados.

Para el desarrollo del presente estudio se ha indagado en los manuales de mantenimiento para los propietarios de los tres modelos de autos más utilizados para el servicio de transporte del tipo taxi de la ciudad de Cuenca.

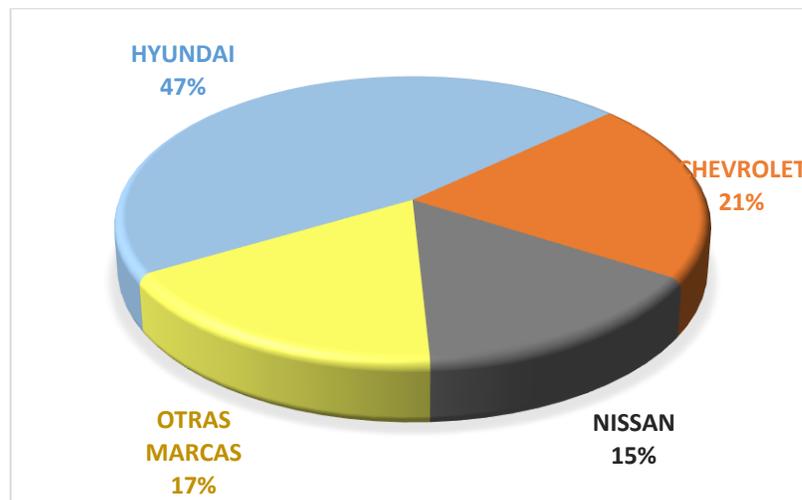


Fig. 2.10.- Representación de las marcas de automotores más utilizadas para dar el servicio de taxis en Cuenca. Fuente: EMOV EP

- La marca Hyundai para los modelos Accent y Matrix recomienda el uso del aceite 5W30, sin embargo, permiten a los propietarios de estos modelos de vehículos utilizar aceites de otras viscosidades, según el rango de temperatura externa que se prevea para la región en la que operará el motor. Esta selección se realizará según la información de la figura 2.11. Respecto a la clasificación API, se manifiesta en este mismo manual el uso de un aceite API SM o superior.

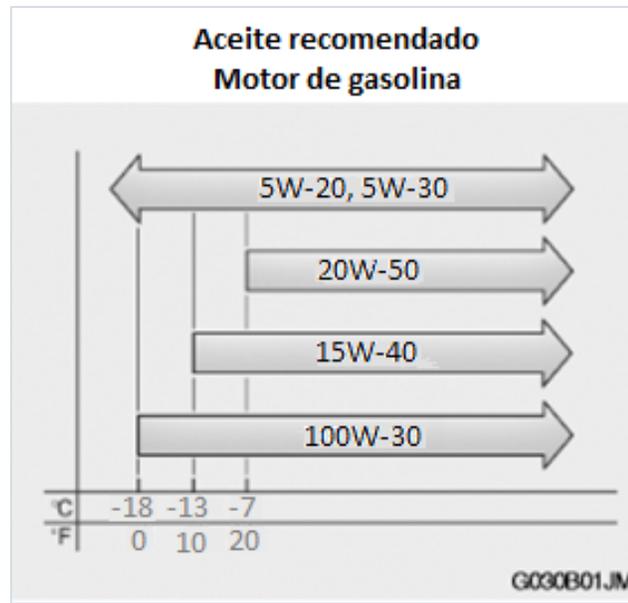


Fig. 2.11.- Aceites recomendados por Hyundai en función de la temperatura externa que se prevea para la región en la que funcionará el motor. Fuente: (Hyundai Motor Company, 2010).

- El manual de mantenimiento de los vehículos Chevrolet Aveo (Chevytaxi) en la sección 4 (pg.183) recomienda el uso de un aceite de viscosidad SAE 10W30; sin embargo, en los talleres concesionarios de esta marca se lubrica también con aceites SAE 20W50 con la clasificación API SN.
- Los manuales de mantenimiento de los modelos de vehículos Nissan con motores Otto y en específico el Sentra para países de América Latina exceptuando a México y Brasil, recomiendan el uso de aceite 5W30, sin embargo, también presentan en la figura 2.12 las diferentes viscosidades para que se seleccione la más apropiada en función de la temperatura exterior del lugar en el que operará el vehículo.

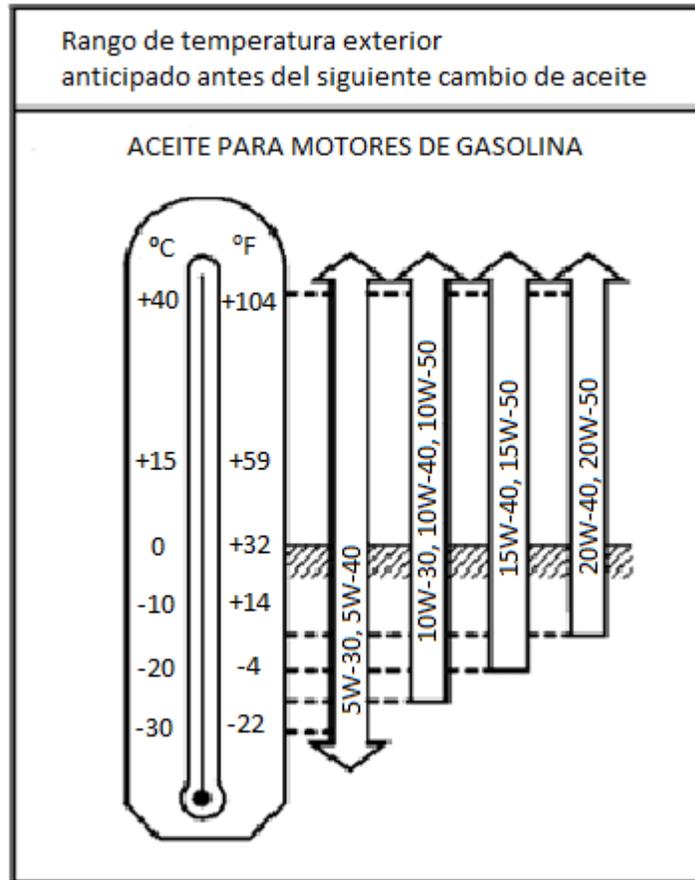


Fig. 2.12.- Aceites recomendados por Nissan en función de la temperatura externa que se prevea para la región en la que funcionará el motor. Fuente: (Nissan Motor Company, 2011)

En función de las recomendaciones sobre la viscosidad presentadas en las figuras 2.11 y 2.12 y en atención a las operaciones de mantenimiento ejecutadas en la ciudad de Cuenca por los técnicos de las empresas concesionarias de las marcas antes indicadas, se ha decidido lubricar a los motores con los aceites de viscosidad SAE 10W30 ó 20W50 de clasificación API SN.

## 2.6 Metodología de para la toma de muestras de aceite.

### 2.6.1 Toma de muestras de aceite de motor.

Es importante definir un proceso para la toma de muestras de aceite, el mismo debe garantizar que los resultados que se obtengan de los análisis de aceite desarrollados en los laboratorios, sean totalmente ciertos. La muestra que se ha de tomar para cada uno de los análisis debe ser lo más representativa posible del aceite que se encuentra

circulando en el sistema de lubricación y se debe evitar que al momento de su extracción se contamine con agentes externos a la máquina; con este mismo propósito de tener una muestra que sintetice las propiedades del aceite del sistema, se recomienda que al momento de la toma de la muestra se lo haga durante el funcionamiento del motor, es decir, mientras el fluido se encuentra en circulación, esto con el objeto de evitar tomar muestras de lugares en los que se puedan tener mayores concentraciones de partículas metálicas precipitadas, barnices, lodos, concentración de ácidos u otros contaminantes.

### 2.6.2 Precauciones respecto a la toma de muestras de aceite:

- El recipiente para la toma de muestras debe ser esterilizado.
- Precaución de evitar el contacto del frasco con el ambiente del entorno al lugar en el que se toma la muestra.
- Los envases para recibir las muestras deben estar cerrados y al interior de una bolsa de plástico sellada con banda de presión.
- El motor del que se va a tomar la muestra debe estar a la temperatura normal de funcionamiento.
- La cañería para la toma de muestras debe ser desechable y debe cortarse del tamaño igual a la longitud de la varilla de aceite. Figura 2.13.

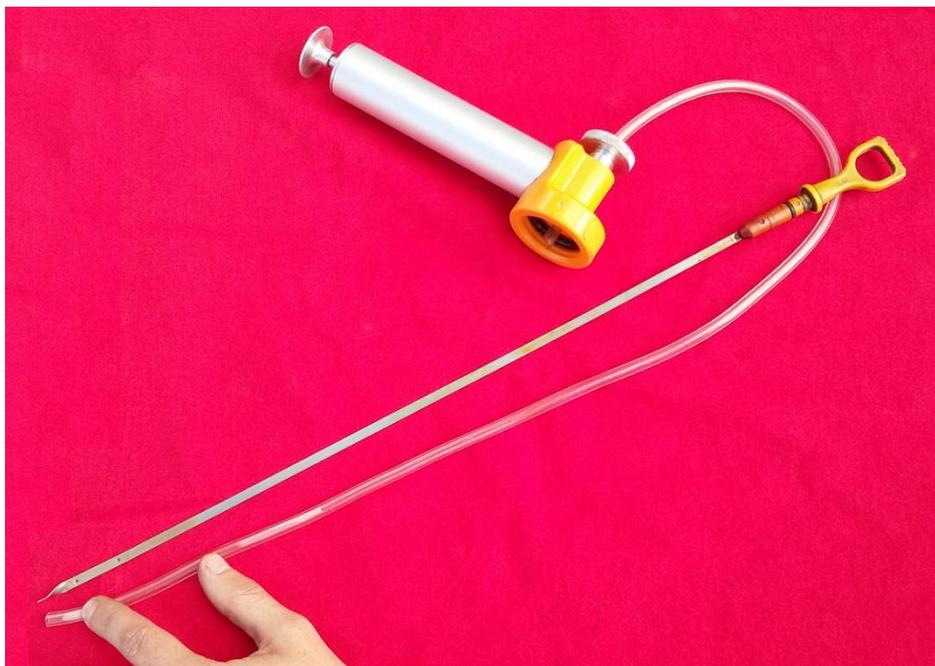


Fig. 2.13.- Bomba de succión y longitud de la cañería para toma muestras. Fuente: El autor.

- Los elementos y dispositivos para la toma de muestras deben estar dentro de una bolsa de plástico sellada con banda de presión.
- Las muestras de aceite obtenidas se almacenarán en lugares oscuros y secos, para evitar la contaminación y degradación por causa de la luz solar (figura 2.14).

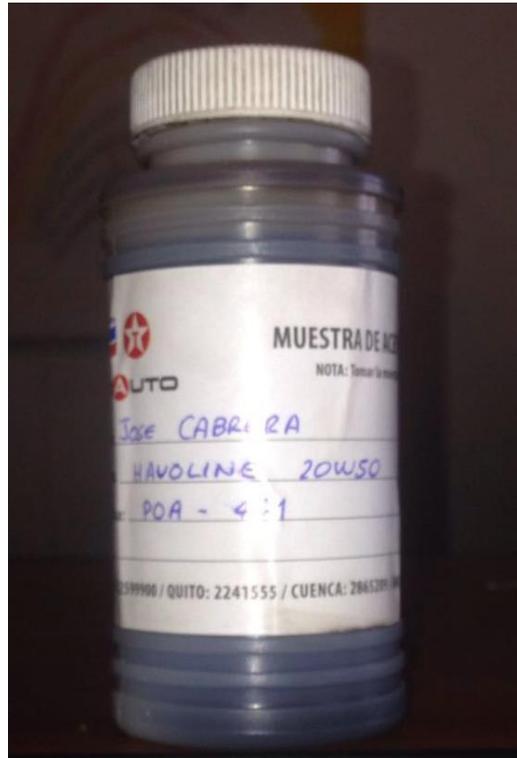


Fig. 2.14.- El almacenamiento de las muestras debe realizarse en lugares oscuros y secos. Fuente: El autor.

### 2.6.3 Procedimiento para la toma de una muestra de aceite de motor.

El procedimiento a seguir para la toma de muestras, en el caso de la presente investigación, es el siguiente:

- Parquear el automotor en un lugar horizontal y verificar que el motor se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento.
- Apagar el motor.
- Revisar que el nivel de aceite se encuentre dentro de las marcas estipuladas por el fabricante.

- En el momento que se va a proceder a tomar la muestra (cuando se está frente al motor) abrir el frasco para la muestra sin sacarle de la funda de plástico, la tapa también se deberá dejar en el interior de la funda.
- Llevar la boca del frasco contra la pared de la funda y en ese momento sacar la bomba de vacío y enroscar al frasco conjuntamente con el plástico de la funda (figura 2.15), posteriormente colocar la cañería de poliuretano para succión y con ésta ejerciendo un poco de presión, perforar el plástico.
- Introducir el otro extremo de la cañería hasta el cárter del motor a través del conducto para la varilla de medición del aceite (la longitud de la cañería debe ser igual al largo útil de la varilla de medición de aceite).
- Poner en marcha el motor (vehículo detenido).
- Succionar el aceite con la ayuda de la bomba hasta el nivel requerido (125 ml aproximadamente).
- Desenroscar la bomba y sin sacar el frasco de la funda plástica, tapar el frasco asegurándose que haya buena estanqueidad.
- Etiquetar el recipiente con el nombre del propietario, con la información: del vehículo, del aceite, del recorrido ejecutado (en maquinaria horas de funcionamiento), con la fecha, en observaciones se debe indicar de ser el caso si hubo adiciones de aceite nuevo y las características del mismo.

La información de la etiqueta y las precauciones anotadas deben ejecutarse con el propósito de obtener resultados ciertos y adecuadamente organizados para facilitar la tarea de tabulación.

Las cañerías para la toma de muestras deben ser renovadas para cada análisis con el objeto de evitar la contaminación. De otro lado, luego de que se desenroscó la bomba de vacío, proceder a guardar la misma en otra funda plástica sellada con banda de presión. De esta manera hemos evitado el contacto del recipiente y de los instrumentos para toma de muestras con el entorno de la máquina, que podría ser una mina de áridos o un lugar con exagerada humedad que pudiese contaminar la muestra.

Durante el proceso de extracción mantener la bomba de vacío siempre en posición horizontal y con el frasco para el aceite enroscado y éste en posición vertical para evitar derrames de aceite hacia la bomba de vacío; si llegase a contaminarse la bomba, debe desarmarse y lavarse para evitar incorrecciones en futuras evaluaciones.



Fig. 2.15.- Proceso previo a la extracción de las muestras de aceite. El autor.

## CAPITULO III

### ANALISIS DE LA DEGRADACION Y CONTAMINACION DEL ACEITE EN MOTORES OTTO

#### 3.1 Conceptos estadísticos para el análisis de datos.

##### 3.1.1 Tamaño de la muestra.

Al tratarse de un estudio de tipo experimental, en el cual se monitorean los parámetros que demuestran la calidad del aceite usado en autos de alto recorrido (taxis), para determinar el kilometraje óptimo al que debe renovarse el aceite del motor, se realizará un seguimiento a un grupo piloto de 22 taxis. Los propietarios firmaron un acta “de consentimiento informado” que les compromete a entregar una muestra de aceite de motor cada 1000 km a partir de 4000 km de uso del aceite; sin embargo, en un grupo de cinco automotores (los primeros) se comenzarán a extraer las muestras a partir de los 3000 km con el propósito de conocer las propiedades, analizar el comportamiento y tener más información para establecer las tendencias que permitan proyectar la vida útil del lubricante en mención. Las herramientas estadísticas a utilizar para interpretar el comportamiento de las variables, están diseñadas para grupos menores a 30 elementos y es denominada: “Prueba de Hipótesis” (Spiegel M y Stephens L, 2009).

##### 3.1.2 Regresión lineal y correlación.

Mediante este procedimiento estadístico se pretende encontrar una relación que permita predecir el valor de una variable dependiente “y” (variable de respuesta) en función de una variable independiente “x” (variable de pronóstico), para conseguir este propósito se deberá encontrar la ecuación de la recta que represente la tendencia de una serie de datos bivariados. La relación lineal se deberá presentar en la forma de la ecuación de la recta, esto es:

$$y = a + bx \quad (3.1)$$

En la fórmula 3.1, “a” representa el valor de “y” para “x=0”; mientras que “b” corresponde a la pendiente de la recta (m), que se define como el valor en el que cambia “y”, para la variación de una unidad en “x”, según se muestra en la figura 3.1.

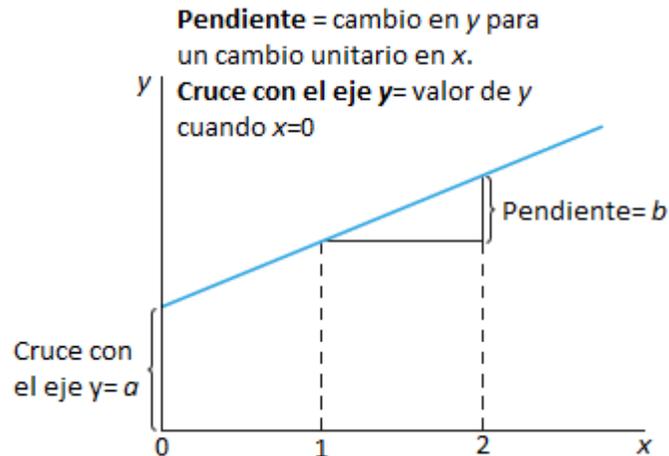


Fig. 3.1.- Intersección con el eje y y pendiente de la recta

Fuente: (Mendenhall, Beaver, & Beaver, 2010)

Para establecer el nivel de correlación existente entre las variables dependientes “y” y las independientes “x” se evaluará el coeficiente de correlación “R” presentado en la figura 3.2.

### 3.1.3 Coeficiente de correlación de Pearson (R).

A la medida de relación lineal cuantitativa entre una variable dependiente y una independiente se la denomina coeficiente de correlación de Pearson.

Para interpretar este coeficiente que puede variar entre -1 y 1 obsérvese las siguientes posibilidades:

- Para  $R=1$ ; indica una correlación positiva total entre las variables, lo que indica que si la variable independiente se incrementa la dependiente también lo hace conservando un valor constante de la pendiente.
- Para  $0 < R < 1$ , la correlación es positiva.
- Si  $R = 0$ , entonces no existe correlación entre las variables.

- Para  $-1 < R < 0$ , la correlación es negativa.
- Para  $R = -1$ , existe una correlación negativa total entre las dos variables, que indica que si una variable se incrementa, la otra sufre un decremento constante.

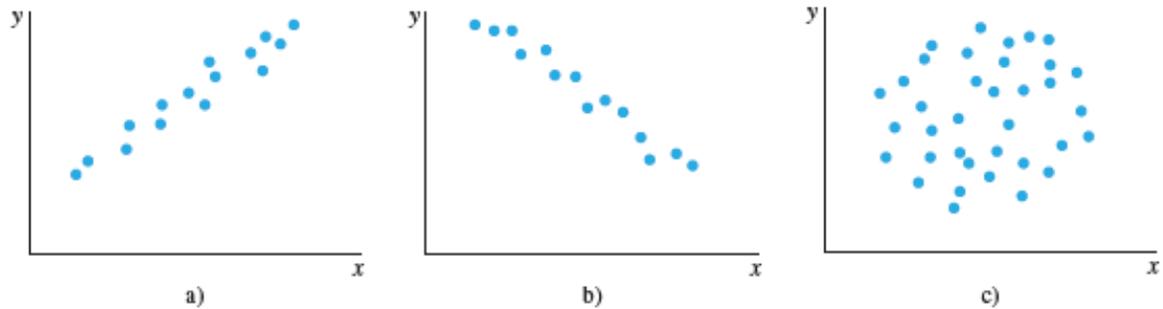


Fig. 3.2.- Gráficas de dispersión o variabilidad con diferentes coeficientes de correlación. a) Fuerte correlación lineal positiva,  $R$  cercana a 1; b) Fuerte correlación lineal negativa,  $R$  cercano a -1; c) No existe correlación lineal aparente,  $R$  cercano a 0. Fuente: (Mendenhall et al., 2010)

### 3.1.4 Coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Es indicativo del porcentaje de cambio de una variable dependiente ( $y$ ) en función de otra independiente ( $x$ ), los valores fluctúan entre “0 y 1”. Este coeficiente se obtiene en el presente trabajo usando el programa de Excel, luego de agregar una línea de tendencia al gráfico de dispersión y solicitar el valor de  $R^2$  (que corresponde al cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson para el caso de aproximaciones únicamente lineales), si este valor se acerca a 1, es indicativo de una mayor exactitud en la predicción de resultados de un modelo matemático para una serie de datos. A continuación se presenta la fórmula para calcular  $R$  (Spiegel M y Stephens L, 2009), para una muestra de tamaño  $n$ .

(3. 2)

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

### 3.1.5 Mínimos cuadrados.

Es un procedimiento estadístico que permite encontrar la ecuación (3.1) de la recta que mejor se ajusta a un conjunto de datos bivariados (tabla 3.1), de forma que la distancia desde esta recta a cada uno de los puntos  $(x_i, y_i)$  que corresponde a las desviaciones, se minimice.

Tabla 3.1.- Viscosidades de un aceite de motor en función del recorrido del vehículo.

X Recorrido [km]	Y Viscosidad a 100 °C [cSt]
3168	15,76
4465	15,55
5377	15,36
5955	15,51

Por ejemplo, para la serie de datos presentados en la tabla 3.1 correspondientes a la variación de la viscosidad en función del recorrido de un automotor desde que se renovó el lubricante, se presenta en la figura 3.3 la recta que mejor se ajusta utilizando el programa “Excel”.



Fig. 3.3.- Representación de la recta ajustada para un conjunto de datos bivariados.

Fuente: El autor

Para determinar matemáticamente los coeficientes “a” y “b” de la ecuación de la recta ajustada (ecuación 3.1) se puede usar el método de los mínimos cuadrados (Mendenhall et al., 2010), que propone las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \cdot \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3.3)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum Y \cdot \sum X}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3.414)$$

Para la aplicación de las fórmulas planteadas (3.2 y 3.3), se recomienda en primera instancia calcular los datos que a continuación se presentan en la tabla 3.2, los mismos que permitirán calcular los coeficientes “a” y “b”.

Tabla 3.2.- Datos requeridos para el cálculo de los coeficientes para aplicar mínimos cuadrados. Fuente: El autor

n	x	y	xy	x <sup>2</sup>
1	3168	15,76	49927,68	10036224
2	4465	15,55	69430,75	19936225
3	5377	15,36	82590,72	28912129
4	5955	15,51	92362,05	35462025
SUMATORIA	18965	62,18	294311,2	94346603

En función a los datos de la tabla 3.2 y a las fórmulas 3.2 y 3.3 se ha encontrado los coeficientes, los mismos que tienen los siguientes valores:

$$a = 16,08 \text{ y } b = -0,0001$$

Remplazando los valores en la ecuación 3.1:

$$y = a + bx$$

Se tiene:

$$y = 16,08 - 0,0001 x$$

Que corresponde exactamente a la calculada por el programa "Excel".

### 3.1.6 Definiciones y procedimientos de cálculo de algunas medidas de centro y variabilidad.

**3.1.6.1 Media o promedio.-** La media aritmética o estadística corresponde al promedio de una serie de datos, es decir que se calcula sumando cada uno de los valores y dividiéndolos para el número total de datos; esta medida es muy sensible cuando la dispersión es alta con valores extremos, debido a que los valores altos tienden a incrementarla, mientras que para valores reducidos le hacen disminuir, por este motivo no suele ser tan representativa de una muestra o población, las notaciones para cada caso son (Mendenhall et al., 2010):

Media muestral:

$$x = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.5)$$

Media poblacional:

$$\mu \quad (3.6)$$

**3.1.6.2 Rango (R).-** Es un valor que permite imaginar que tan dispersos están los datos, para su cálculo se debe restar del valor máximo de una serie, el valor mínimo; si el rango es grande indica que los datos están muy dispersos, mientras que si tiene un valor reducido, indica que existe concentración y cercanía entre los datos.

**3.1.6.3 Definición de rango tolerable (RT).-** Es el rango permisible que se define en este estudio por medio de los límites condenatorios.

**3.1.6.4 Varianza de una población ( $\sigma^2$ ).-** Para calcular su magnitud se debe obtener el valor del promedio de la población ( $\mu$ ), este valor se debe restar a cada uno de los datos de la población ( $x_i$ ) y esta diferencia elevarla al cuadrado, todos estos sumarlos y luego dividir para el total de mediciones (N), la fórmula entonces será (Mendenhall et al., 2010):

$$\sigma^2 = \frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N} \quad (3.7)$$

**3.1.6.5 Varianza de una muestra ( $s^2$ ).**- Su valor se calcula elevando al cuadrado la sumatoria de cada una de las diferencias entre los datos de la muestra ( $x_i$ ) y la media de la misma ( $\bar{x}$ ), esta sumatoria se divide para el número de mediciones ( $n$ ) menos uno, como se presenta en la siguiente fórmula (Mendenhall et al., 2010):

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (3.8)$$

**3.1.6.6 Desviación típica o estándar.** Es utilizada para medir el nivel de dispersión de los datos con respecto a la media o promedio de los mismos. Valores de desviación estándar reducidos permiten predecir con mayor exactitud el comportamiento de una serie de datos. El valor de la desviación estándar es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza de la población o de la muestra respectivamente (Mendenhall et al., 2010):

$$S = \sqrt{S^2} \text{ y } \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (3.915)$$

Entonces, para expresar la desviación típica de una muestra se utiliza “s” y para la de la población se utiliza “ $\sigma$ ”.

### 3.1.7 Análisis t de Student.

Se utiliza la t de Student en estudios en los que no se conoce la desviación estándar de una población ( $\sigma$ ) y se pretende estimar a partir de la desviación típica de una muestra ( $s$ ) con datos menores a 30 (teoría de muestras pequeñas); en estos casos la distribución t de Student permite establecer el intervalo de confianza con que se estima la media de la población. A la teoría de las muestras pequeñas se la denomina también teoría exacta del muestreo, de esta manera se establece que es también factible la utilización del análisis con t de Student para muestras aleatorias de tamaños mayores a 30, para realizar pruebas de hipótesis y para determinar si dos series de datos corresponden a la misma población.

### 3.1.8 Prueba de hipótesis en muestras pequeñas utilizando la t de Student.

Es factible ejecutar la prueba de hipótesis usando la distribución t de Student, cuando existe la posibilidad de calcular el promedio o media muestral y la desviación estándar.

El procedimiento se basa en el desarrollo de los siguientes pasos:

1. Planteamiento de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la alternativa ( $H_1$ ).- Es la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) la que plantea lo que se pretende demostrar; por lo tanto, la hipótesis nula ( $H_0$ ) expresa totalmente lo contrario.
2. Establecer el nivel de significancia ( $\alpha$ ): En el caso de investigaciones se recomienda utilizar un valor de 0,05; es decir, 95 % de confianza y 5 % de error.
3. Calcular el promedio o la media muestral y la desviación estándar.
4. Determinar el estadístico de prueba (t) y la probabilidad de error ( $p$ ), empleando la distribución t de Student:

$$t = \frac{X - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}} \quad (3. 10)$$

En donde:

$\bar{x}$  = Media

$\mu$  = Valor a analizar

$S_x$  = Desviación estándar

$n$  = Tamaño de muestra

5. Encontrar en la tabla de distribución t de Student (Anexo 1) el valor del coeficiente t tabulado, para esto, se deberá conocer el valor correspondiente al nivel de significancia ( $\alpha$ ) que para proyectos de investigación se asume por lo general el valor de  $\alpha = 0,05$ , también se deberá encontrar el valor de los grados de libertad (df), mediante la aplicación de la fórmula:

$$df = n - 1 \quad (3. 11)$$

En donde:

$n$  = número de datos correspondientes a la muestra.

Conociendo estos dos valores se procede a encontrar en la tabla de distribución  $t$  de Student (Anexo 1) el valor de  $t$  tabulado.

6. Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):
  - Rechazo de la hipótesis alternativa ( $H_i$ ), cuando la probabilidad de error ( $p$ ) es mayor que el nivel de significancia, para el presente estudio mayor a 0,05.
  - Aceptación de la hipótesis alternativa ( $H_i$ ), cuando la probabilidad de error ( $p$ ) es menor que el nivel de significancia. (Abanto, Carrasco, & Cordova, 2013).

Adicionalmente para rechazar o aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ), tomamos en cuenta el planteamiento de las hipótesis, y realizamos una comparación entre el  $t$  calculado y el  $t$  tabulado (ver ejemplo en el apartado 3.2.1).

### **3.2 Análisis de la degradación de la viscosidad.**

La viscosidad quizás es considerada una de las propiedades más importantes al momento de realizar un análisis del aceite usado, en la tabla de especificaciones técnicas de los lubricantes utilizados para el presente estudio (Anexo 2), se indica por parte de la empresa que tiene los derechos de propiedad, que la viscosidad de un aceite 20W50 y 10W30 es de 17,3 y 10,3 cSt a 100 °C respectivamente, y si consideramos que el límite condenatorio para analizar la viscosidad es de +/- 20% del dato original (Tabla 2.3), el aceite 20W50 utilizado para este estudio se condenará por viscosidad cuando el valor sea menor a 13,84 o mayor a 20,76 cSt a 100 °C; si observamos la figura 3.4 podemos apreciar un gráfico en el que se encuentran representados los datos de viscosidad que corresponden a cada uno de los análisis de aceite ejecutados en los diferentes vehículos en los kilometrajes de referencia (kilometrajes a los que se planificó extraer muestras de aceite, esto es 3000, 4000, 5000 y 6000 km), sin embargo, debido a varias situaciones ajenas al equipo técnico que extraía las muestras de aceite para el estudio y más bien propias de la clase de vehículos utilizados (Taxis que circulan un promedio de 450 km diarios) se tienen datos cercanos a estos kilometrajes de referencia, como se aprecia en el gráfico (Construido en base a los datos reportados por el laboratorio, los mismos que se presentan en el anexo 3), la variación de la viscosidad en estas muestras no es la causa para considerar la renovación del aceite, ésta ha disminuido respecto al valor que tiene cuando el aceite es nuevo, sin embargo, se encuentra en el rango comprendido entre los límites condenatorios, exceptuando 6

resultados que corresponden a dos vehículos que presentan un comportamiento totalmente distinto a la mayoría de autos que participaron en el estudio.

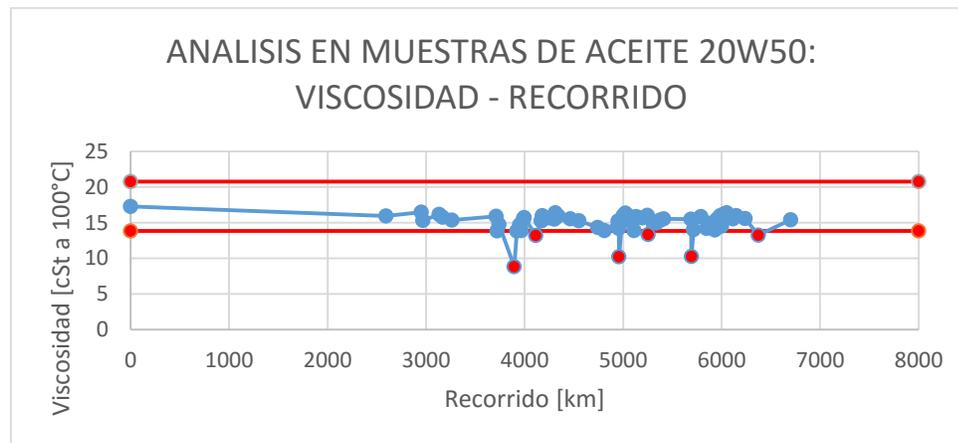


Fig. 3.4.- Comportamiento de la viscosidad del aceite SAE 20W50 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

En la figura 3.5 se presentan los resultados del comportamiento de la viscosidad en los automotores que utilizaron el aceite SAE 10W30, se observa que el comportamiento es similar a los resultados del análisis en los que utilizaron aceite SAE 20W50 (se nota también una disminución de la viscosidad en función del incremento del kilometraje recorrido), solamente que en este caso ninguna muestra presenta un comportamiento que rebasa los límites condenatorios (8,4 límite inferior y 12,36 cSt a 100° C límite superior).

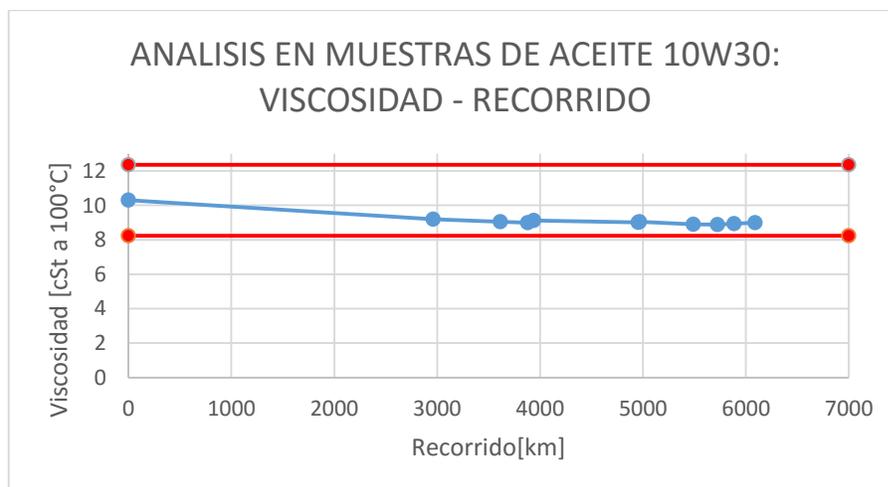


Fig. 3.5.- Comportamiento de la viscosidad del aceite SAE 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

La base de datos correspondiente a los resultados de los análisis se presenta en el Anexo 3. En función a esta base de datos se han realizado varios cálculos estadísticos descriptivos de la muestra, entre estos:

- Se agruparon los resultados correspondientes a los análisis de viscosidad de las muestras de aceite en función a los kilometrajes de referencia y se han calificado cualitativamente como “aptos” o “no aptos”, según la comparación con los límites condenatorios de viscosidad (mínimo 13,84 y máximo 20,76 para un aceite 20W50 y mínimo 8,4 y máximo 12,36 para un aceite 10W30), estos resultados se presentan en la Tabla 3.3. y 3.4; como se observa en la evaluación de la viscosidad de las muestras, los aceites están aptos para continuar en servicio incluso hasta los 6000 km de recorrido (solo un 10% de muestras que corresponden a los aceites SAE 20W50 no están aptas).

Tabla 3.3.- Evaluación descriptiva de la viscosidad en las muestras de aceite SAE 20W50 en función a los kilometrajes de referencia. Fuente: El autor.

RECORRIDO DE REFERENCIA	CALIFICACION DEL ACEITE SEGUN: VISCOSIDAD		ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS MUESTRA	
	APTO [%]	NO APTO [%]	MEDIA [cSt a 100 °C]	DESVIACION ESTANDAR
[km]				
3000	100	0	15,84	0,45
4000	89,47	10,53	14,79	1,68
5000	90	10	14,90	1,37
6000	90	10	14,87	1,37

Tabla 3.4.- Evaluación descriptiva de la viscosidad en las muestras de aceite SAE 10W30 en función a los kilometrajes de referencia. Fuente: El autor.

RECORRIDO DE REFERENCIA	CALIFICACION DEL ACEITE SEGUN: VISCOSIDAD		ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS MUESTRA	
	APTO [%]	NO APTO [%]	MEDIA [cSt a 100 °C]	DESVIACION ESTANDAR
[km]				
3000	100	0	9,12	0,11
4000	100	0	9,07	0,09
5000	100	0	8,99	0,08
6000	100	0	8,94	0,06

Las barras de las figuras 3.6 y 3.7 representan el valor promedio de las viscosidades de las muestras extraídas en los kilometrajes de referencia, las líneas de tendencia

insertadas permiten imaginar que las viscosidades van a disminuir en función al incremento del recorrido;  $R^2$  tiene un valor cercano a uno, indicativo de la precisión con la que se pronostica el comportamiento de esta propiedad.

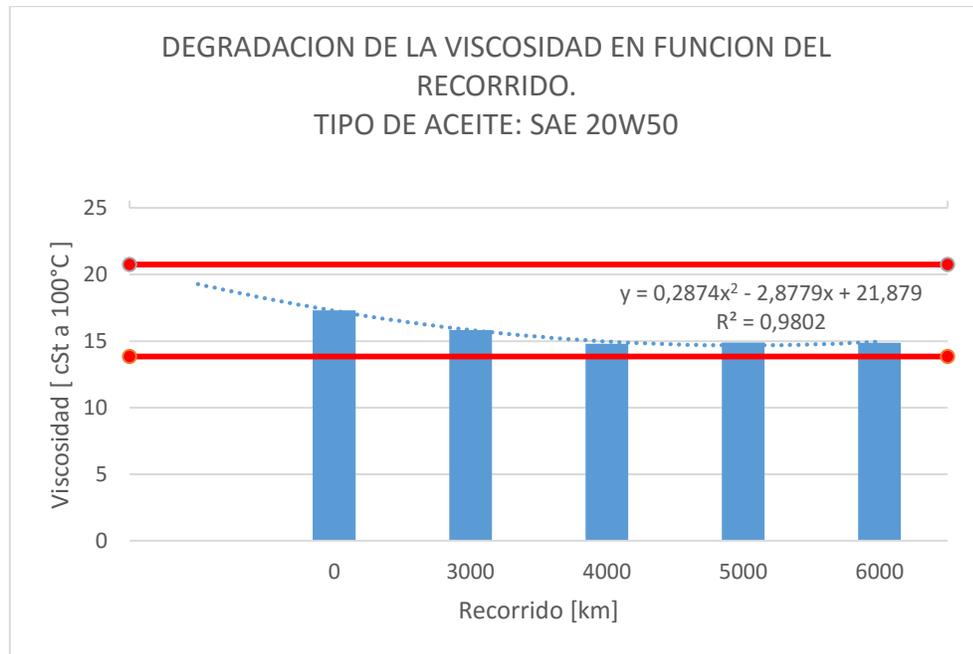


Fig. 3.6.- Promedios de viscosidad en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 20W50. Fuente: El autor.

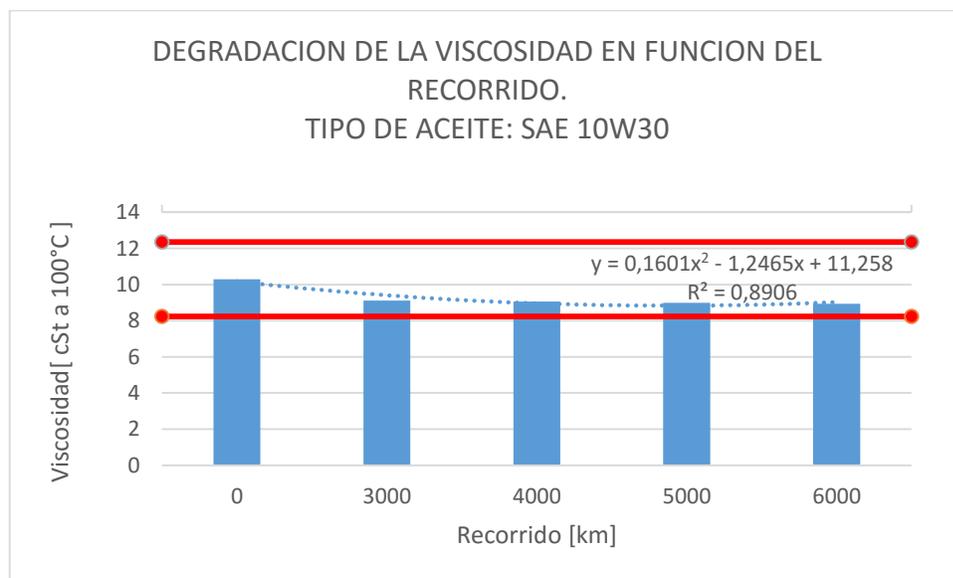


Fig. 3.7.- Promedios de viscosidad en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 10W30. Fuente: El autor.

Al tratarse de un diseño de experimentos basado en la teoría de muestras pequeñas (en las que  $n < 30$ ), se ha decidido realizar una prueba de hipótesis basada en la distribución t de Student para rechazar o aceptar las mismas (alternativa/nula), considerando dos grupos (de la muestra) para el análisis de la viscosidad, TBN y dilución, uno con recorridos menores a 5000 km y el otro con mayores; este procedimiento se presenta a continuación detallado para el análisis de la viscosidad en muestras de aceite 20W50 para recorridos menores a 5000 km; para recorridos superiores a este valor, así como para las de viscosidad correspondientes a SAE 10W30, TBN, dilución en los dos grupos de estudio, se presentará solo los datos relevantes para el análisis y las respectivas conclusiones.

Los pasos para desarrollar una prueba de hipótesis que se definió en el apartado 3.1.8 del presente trabajo, se detallan a continuación:

### 3.2.1 Análisis de la viscosidad para muestras menores a 5000 km. Aceite SAE 20W50

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Viscosidad  $< 13,84$  cSt a  $100$  °C.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Viscosidad  $\geq$  a  $13,84$  cSt a  $100$  °C.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): Se utilizará un valor de  $0,05$ ; es decir,  $95$  % de confianza y  $5$  % de error.

3.- Cálculo de la evidencia muestral, es decir de la media y de la desviación estándar. Éstos se realizaron con el software SPSS.

Tabla 3.5.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	31	14,8094	1,64393	,29526

4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), en el presente estudio se obtuvieron estos resultados también mediante el uso del software SPSS:

Tabla 3.6.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor.

	Valor de prueba = 13.84 cSt a 100°C					
	t	Df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	3,283	30	,003	,96935	,3664	1,5724

5.- Determinar el valor t tabulado, para esto se utilizará la tabla de distribución t de Student, (ver Anexo 1). En primera instancia determinamos el valor de los grados de libertad (df), esto es:

$$df = n - 1$$

En donde:

n= número de muestras, para el caso de muestras tomadas antes de los 5000 km de recorrido, n= 31.

Por lo tanto,

$$df = 30;$$

El valor de significancia para esta investigación será de  $\alpha = 0,05$ .

Con esta información ubicamos en la tabla el valor de "t" para una distribución de dos colas; este es:  $t_{0,95;30} = 2,042$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa (Hi):

Se compara el valor de t calculado con respecto al t tabulado; y para la toma de decisiones nos basamos en el planteamiento de las hipótesis; para el presente caso, si t calculado es mayor al t tabulado, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (Hi); esto es:

$t$  calculado = 3,283 es mayor que  $t$  tabulado = 2,042;

Además el valor de la probabilidad de error ( $p=0,003$ ) que se obtiene de la tabla de resultados del software de análisis estadístico es menor que el nivel de significancia ( $\alpha=0,05$ ). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), lo que permite concluir que:

En vehículos que utilizan aceites SAE 20W50 de las características similares a los considerados en el estudio y con recorridos desde que se renovó el aceite de motor menores que 5000 km, se puede afirmar con el 95 % de certeza, que la viscosidad va a tener valores aceptables, por lo tanto, no se requiere renovar el aceite debido a la degradación de esta propiedad.

### 3.2.2 Análisis de la viscosidad para muestras mayores a 5000 km. Aceite SAE 20W50

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Viscosidad < 13,84 cSt a 100 °C.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Viscosidad  $\geq$  a 13,84 cSt a 100 °C.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05

3.- Cálculo de la evidencia muestral:

Tabla 3.7.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	34	15,0726	1,18825	,20378

4.- Determinar el estadístico de prueba  $t$  ( $t$  calculado) y la probabilidad de error ( $p$ ):

Tabla 3.8.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor

	Valor de prueba = 13.84 cSt a 100°C					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	6,049	33	,000	1,23265	,8180	1,6472

5.- Determinar el valor t tabulado para  $df= 33$ :

t tabulado:  $t_{0,95;33}= 2,0345$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

t calculado = 6,049 es mayor que t tabulado = 2,0345; además,  $p < \alpha$ .

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_i$ ), llegando a la conclusión que:

En automotores que emplean aceites SAE 20W50 de características análogas a los contemplados en el presente trabajo y con kilometrajes mayores 5000 km desde que se cambió el aceite de motor, se puede afirmar con el 95 % de certeza, que la viscosidad va a tener valores admisibles, por lo tanto, no se requiere cambiar el aceite debido a la degradación de esta propiedad.

### 3.2.3 Análisis de la viscosidad para muestras menores a 5000 km. Aceite SAE 10W30

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Viscosidad  $< 8,24$  cSt a 100 °C.

Hipótesis alternativa ( $H_i$ ): Viscosidad  $\geq$  a 8,24 cSt a 100 °C.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05

3.- Cálculo de la evidencia muestral:

Tabla 3.9.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	6	9,070	,07457	,03044

4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), empleando el software SPSS:

Tabla 3.10.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor

	Valor de prueba = 8.24 cSt a 100°C					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	27,266	5	,000	,83000	,7517	,9083

5.- Determinar el valor t tabulado, para  $df = 5$ :

$$t_{0,95; 5} = 2,571$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

$$t \text{ calculado} = 27,266 \text{ es mayor que } t \text{ tabulado} = 2,571; \text{ además } p < \alpha$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_i$ ); concluyendo que:

En automóviles que usan óleos SAE 10W30 de características análogas a los considerados en el estudio y con periodos de uso menores a 5000 km desde la

renovación del aceite de motor, se puede aseverar con el 95 % de certidumbre, que la viscosidad va a tener valores tolerables; por lo tanto, no se requiere renovar el aceite a causa de la degradación de esta propiedad.

### 3.2.4 Análisis de la viscosidad para muestras mayores a 5000 km. Aceite SAE 10W30

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Viscosidad < 8,24 cSt a 100 °C.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Viscosidad  $\geq$  a 8,24 cSt a 100 °C.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05

3.- Cálculo de la evidencia muestral:

Tabla 3.11.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	4	8,9275	,05252	,02626

4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), empleando el software SPSS:

Tabla 3.12.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor.

	Valor de prueba = 8.24 cSt a 100°C					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	26,181	3	,000	,68750	,6039	,7711

5.- Determinar el valor de t tabulado, para  $df = 3$ :

$$t_{0,95;3} = 3,182$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa (Hi):

t calculado = 26,181 es mayor que t tabulado = 3,182; además  $p < \alpha$ .

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (Hi), llegando a la conclusión que:

En automotores que utilizan aceites SAE 10W30 de características análogas a los examinados en el presente trabajo y con kilometrajes mayores 5000 km desde que se cambió el aceite de motor, se puede afirmar con el 95 % de certeza, que la viscosidad va a tener valores tolerables, por lo tanto, no se requiere cambiar el aceite debido a la degradación de esta propiedad.

### 3.3 Análisis de la degradación del TBN.

En las figuras 3.8 y 3.9 se presentan los diagramas que indican el comportamiento del TBN en función del kilometraje recorrido por los automotores (se presentan todos los resultados correspondientes a los análisis de TBN practicados a la totalidad de muestras de aceite de los vehículos que participan en el presente estudio), el límite condinatorio para el TBN es de 50% del valor correspondiente al aceite nuevo, valores debajo de este límite es decir 4,25 y 4,2 mg de KOH/gr para los aceites SAE 20W50 y SAE 10W30 respectivamente son motivo para renovar el lubricante del cárter del motor.

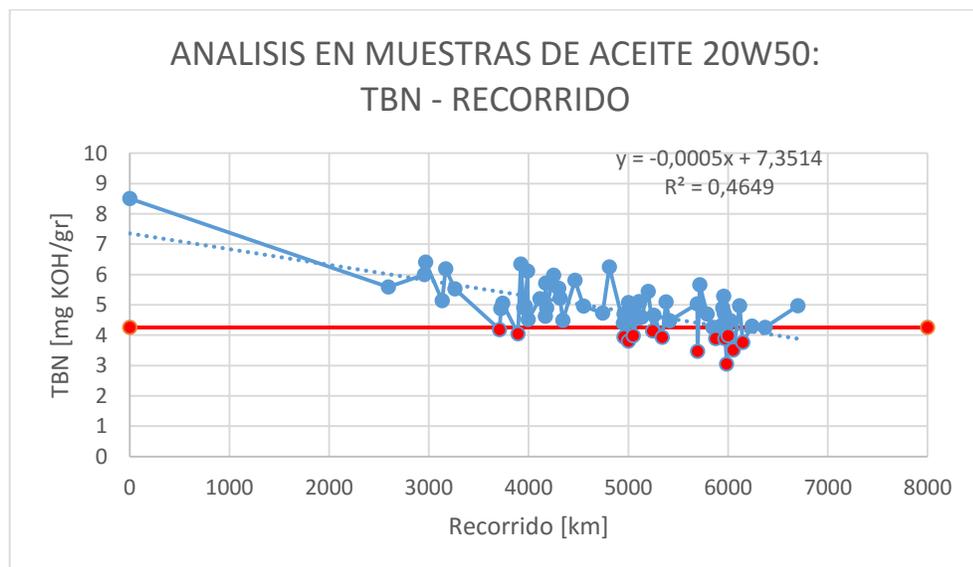


Fig. 3.8.- Comportamiento del TBN del aceite SAE 20W50 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

En la figura 3.8 correspondiente al análisis de los aceites SAE 20W50 se aprecian dos resultados de los análisis de TBN ejecutados en kilometrajes cercanos a los 4000 km que están por debajo del límite condenatorio marcado con la línea roja, estos resultados corresponden a dos vehículos que presentan un comportamiento diferente a la generalidad; por lo tanto, los vehículos de los cuales se obtuvieron estas muestras deberán ser observados para determinar la causa de esta degradación prematura, también se puede manifestar que en recorridos cercanos a los 5000 y 6000 km existe un 25% y un 40% respectivamente de automotores en los que la basicidad del lubricante se acerca a valores críticos; estos datos se pueden apreciar en la tabla 3.13.

Tabla 3.13.- Evaluación descriptiva del TBN en las muestras de aceite SAE 20W50 en función a los kilometrajes de referencia. Fuente: El autor.

RECORRIDO DE REFERENCIA	CALIFICACION DEL ACEITE SEGUN: TBN		ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS MUESTRA	
	APTO [%]	NO APTO [%]	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
3000	100	0	5,81	0,47
4000	89,47	10,53	5,13	0,64
5000	75	25	4,66	0,59
6000	60	40	4,33	0,65

Observando la figura 3.9 que presenta los resultados de los análisis del TBN de los aceites SAE 10W30 que se utilizaron para realizar este trabajo, se puede aseverar también, que a partir de los 5000 km no existe la suficiente alcalinidad que garantice la protección interna de los componentes del motor, como se ratifica observando los datos de la tabla 3.14, en los que el 66,67 % de muestras de aceite ya han rebasado el límite condenatorio.

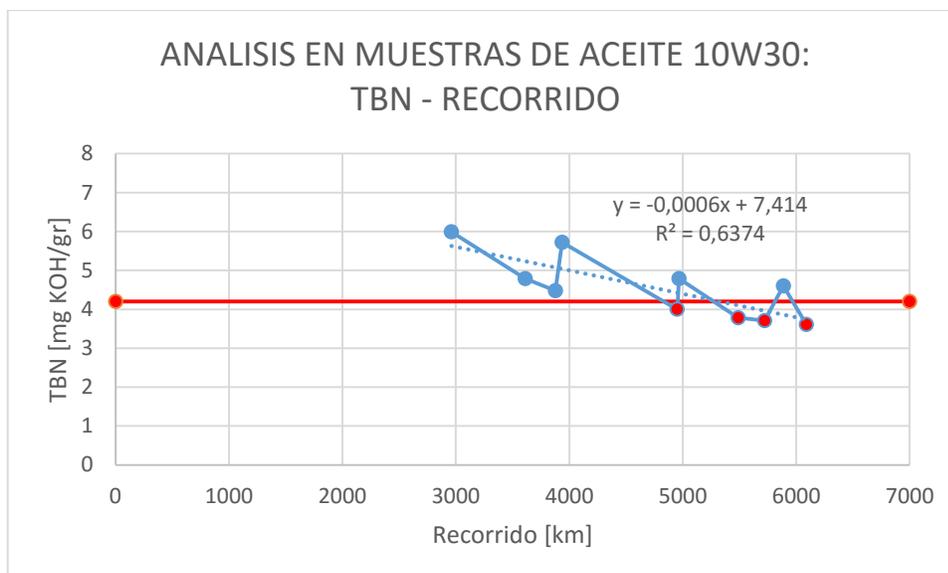


Fig. 3.9.- Comportamiento del TBN del aceite SAE 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

Tabla 3.14.- Evaluación descriptiva del TBN en las muestras de aceite SAE 10W30 en función a los kilometrajes de referencia. Fuente: El autor.

RECORRIDO DE REFERENCIA [km]	CALIFICACION DEL ACEITE SEGUN: TBN		ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS MUESTRA	
	APTO [%]	NO APTO [%]	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
3000	100	0	5,39	0,85
4000	100	0	5,10	0,88
5000	33,33	66,67	4,19	0,53
6000	33,33	66,67	3,97	0,55

Las tendencias señaladas en los acápite anteriores correspondientes al análisis de la degradación del TBN, concuerdan con los gráficos expuestos en las figuras 3.10 y 3.11 que representan el comportamiento de las medias muestrales del número básico total en cada uno de los kilometrajes de referencia que se planificaron al inicio de la investigación para la extracción de las muestras, esto permite observar que la degradación del TBN se presenta como crítica para recorridos cercanos a los 5000 km.

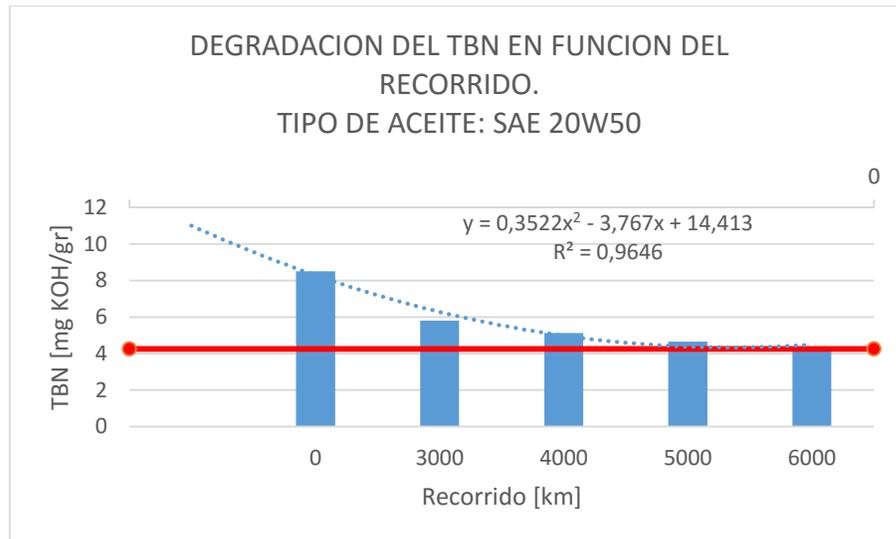


Fig. 3.10.- Promedios de TBN en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 20W50. Fuente: El autor.

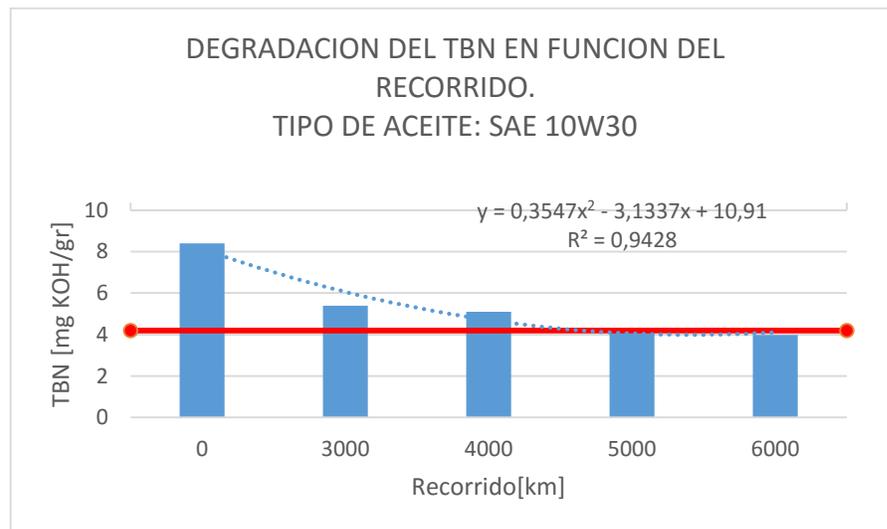


Fig. 3.11.- Promedios de TBN en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 10W30. Fuente: El autor.

Para realizar la prueba de hipótesis mediante el uso de la distribución t de Student, con el objetivo de sustentar la tendencia de la muestra para la población con un nivel de confianza propuesto para temas de investigación de un 95 %, se presenta a continuación el análisis realizado a dos grupos (de la muestra), uno con recorridos menores a 5000 km y el otro con mayores.

### 3.3.1 Análisis del TBN para muestras menores a 5000 km. Aceite SAE 20W50

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): TBN < 4,25 mg KOH/gr.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): TBN  $\geq$  a 4,25 mg KOH/gr.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05.

3.- Cálculo de la evidencia muestral.

Tabla 3.15.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor.

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	31	5,1852	,71296	,12805

4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), empleando el software SPSS:

Tabla 3.16.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor.

	Valor de prueba = 4.25 mg KOH/gr					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	7,303	30	,000	,93516	,6736	1,1967

5.- Determinar el valor t tabulado, para  $df = 30$ ;

$$t_{0,95;30} = 1,6973$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

$t$  calculado = 7,303 es mayor que  $t$  tabulado = 1,6973; además  $p < \alpha$ .

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_i$ ), llegando a la conclusión que:

En automóviles que usan aceites SAE 20W50 de características análogas a los considerados en el estudio y con períodos de uso menores a 5000 km desde la renovación del aceite de motor, se puede aseverar con el 95 % de certeza, que el TBN va a tener valores tolerables, por lo tanto, no se requiere renovar el aceite a causa de la degradación de esta propiedad.

### 3.3.2 Análisis del TBN para muestras mayores a 5000 km. Aceite SAE 20W50

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): TBN < 4,25 mg KOH/gr.

Hipótesis alternativa ( $H_i$ ): TBN  $\geq$  a 4,25 mg KOH/gr.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05.

3.- Cálculo de la evidencia muestra:

Tabla 3.17.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor.

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	34	4,4482	,60806	,10428

4.- Determinar el estadístico de prueba  $t$  ( $t$  calculado) y la probabilidad de error ( $p$ ), empleando el software SPSS:

Tabla 3.18.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor.

	Valor de prueba = 4.25 mg KOH/gr					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	1,901	33	,066	,19824	-,0139	,4104

5.- Determinar el valor t tabulado, para  $df = 33$

$$t_{0,95;33} = 1,6924$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

t calculado = 1,901 es mayor que t tabulado = 1,6924; pero se tiene que p (0,066) es ligeramente mayor que  $\alpha$  (0,05).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_i$ ), atendiendo la recomendación realizada por el instructivo del software estadístico "Minitab" para casos en los que el valor p es mayor que  $\alpha$ , se concluye que:

En automotores que emplean aceites SAE 20W50 de características análogas a los contemplados en el presente trabajo y con kilometrajes mayores 5000 km desde que se cambió el aceite de motor, no se puede afirmar con el 95 % de certeza, que el TBN va a tener valores aceptables.

### 3.3.3 Análisis del TBN para muestras menores a 5000 km. Aceite SAE 10W30

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ):  $TBN < 4,2$  mg KOH/gr.

Hipótesis alternativa ( $H_i$ ):  $TBN \geq 4,2$  mg KOH/gr.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05.

## 3.- Cálculo de la evidencia muestral:

Tabla 3.19.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	6	4,9617	,75476	,30813

## 4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), empleando el software SPSS:

Tabla 3.20.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor

	Valor de prueba = 4.2 mg KOH/gr					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	2,472	5	,056	,76167	-,0304	1,5537

5.- Determinar el valor t tabulado, para  $df = 5$ .

$$t_{0,95;5} = 2,0150$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

t calculado = 2,472 es mayor que t tabulado = 2,0150; pero se tiene también que p (0,056) es ligeramente mayor que  $\alpha$  (0,05).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_i$ ), sin embargo, en atención a la sugerencia realizada por el instructivo del software estadístico "Minitab" para casos en los que el valor p es mayor que  $\alpha$ , se concluye que:

En vehículos que emplean lubricantes SAE 10W30 de características semejantes a los estipulados en el presente trabajo y con recorridos menores a 5000 km desde que se renovó el aceite de motor, no se puede afirmar con el 95 % de certeza, que el TBN va a tener valores técnicamente admisibles.

### 3.3.4 Análisis del TBN para muestras mayores a 5000 km. Aceite SAE 10W30

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ):  $TBN < 4,2$  mg KOH/gr.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):  $TBN \geq a$  4,2 mg KOH/gr.

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05.

3.- Cálculo de la evidencia muestral:

Tabla 3.21.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor.

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	4	3,9250	,45538	,22769

4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), empleando el software SPSS.

Tabla 3.22.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos mayores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor

	Valor de prueba = 4.2 mg KOH/gr					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	-1,208	3	,314	-,27500	-,9996	,4496

5.- Determinar el valor t tabulado, para  $df = 3$ .

$$t_{0,95;3} = 2,3534$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

T calculado = -1,208 es menor que t tabulado = 2,3534; y también se tiene que p (0,314) es mayor que  $\alpha$  (0,05).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_i$ ) y se acepta la hipótesis nula ( $H_o$ ), concluyendo que:

En autos que utilizan aceites SAE 10W30 de características semejantes a los empleados en el presente estudio y con períodos de uso mayores a 5000 km desde que se reemplazó el aceite de motor, se recomienda realizar la renovación del lubricante debido a la pérdida de alcalinidad requerida para proteger los componentes internos del motor contra ataques de ácidos generados por la reacción con residuos de gases que pasan a través de los anillos del pistón hacia el cárter del motor.

### **3.4 Análisis de la contaminación por dilución de combustible en los aceites.**

La pérdida de viscosidad observada en los primeros exámenes de aceite ejecutados en este estudio fue el motivo para que se considere analizar también el porcentaje de contaminación del aceite con el combustible (éste análisis no se consideró en el diseño de esta investigación, fueron las circunstancias de pérdida de viscosidad las que generaron la inquietud de indagar las causas) , analizando la tabla 3.23 y la figura 3.12 se puede apreciar que el 66,67 % de análisis realizados a las muestras de aceite SAE 20W50 utilizadas en los vehículos de esta investigación rebasan el valor correspondiente al límite condenatorio a los 3000 km (incluso a los 2593 km ya se ha superado el valor en un 0,51 %).

### ANALISIS EN MUESTRAS DE ACEITE 20W50: DILUCIÓN POR COMBUSTIBLE - RECORRIDO

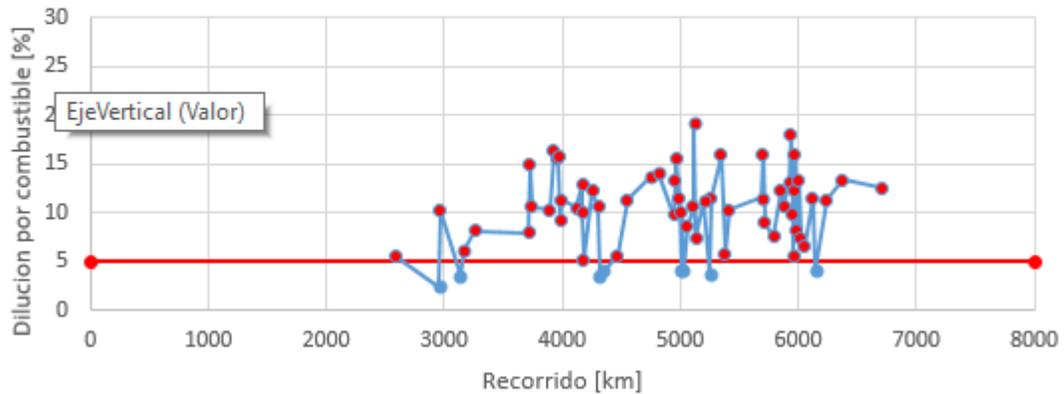


Fig. 3.12.- Comportamiento de la dilución por combustible del aceite SAE 20W50 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor. FOTO

Tabla 3.23.- Evaluación descriptiva de la dilución de combustible en las muestras de aceite SAE 20W50 en función a los kilometrajes de referencia. Fuente: El autor.

RECORRIDO DE REFERENCIA	CALIFICACION DEL ACEITE SEGUN: DILUCION		ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS MUESTRA	
	APTO [%]	NO APTO [%]	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
3000	33,33	66,67	6,03	2,87
4000	10,53	89,47	10,43	3,85
5000	15	85	10,60	4,17
6000	5	95	10,95	3,65

En la figura 3.13 correspondiente al estudio de las muestras de aceite SAE 10W30, se denota que a partir de los 4000 km todas las muestras analizadas superan el límite condenatorio de 5 % máximo de dilución, en la tabla 3.24 en recorridos correspondientes

a los 4000 y 5000 km se aprecia una dilución del orden de 50 hasta 100 % respectivamente.

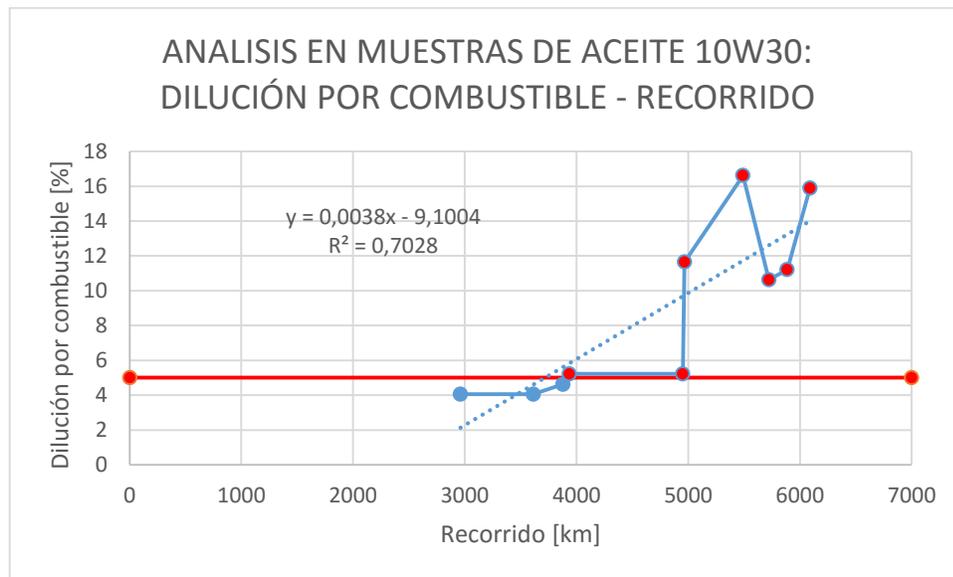


Fig. 3.13.- Comportamiento de la dilución por combustible del aceite SAE 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

Tabla 3.24.- Evaluación descriptiva de la dilución de combustible en las muestras de aceite SAE 10W30 en función a los kilometrajes de referencia. Fuente: El autor.

RECORRIDO DE REFERENCIA [km]	CALIFICACION DEL ACEITE SEGUN: DILUCION		ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS MUESTRA	
	APTO [%]	NO APTO [%]	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
3000	100	0	4,05	0
4000	50	50	4,93	0,42
5000	0	100	11,16	5,72
6000	0	100	12,58	2,88

Con el objetivo de que las tablas 3.23 y 3.24 adviertan visualmente el comportamiento de la dilución de combustible en el aceite y presenten una tendencia que deberá ser confirmada o rechazada mediante la prueba de hipótesis, se presentan a continuación las figuras 3.14 y 3.15, las mismas que se realizan con las medias muestrales de dilución de combustible para los recorridos de referencia planteados al inicio del diseño de la investigación; en estos gráficos se aprecia que ésta contaminación sí es crítica y merece ser considerada para ejecutar la renovación del aceite, es quizás el único motivo que

hasta el momento se presenta como el causante de la pérdida de condiciones normales y definidas por los límites condensorios para la buena performance del sistema de lubricación.

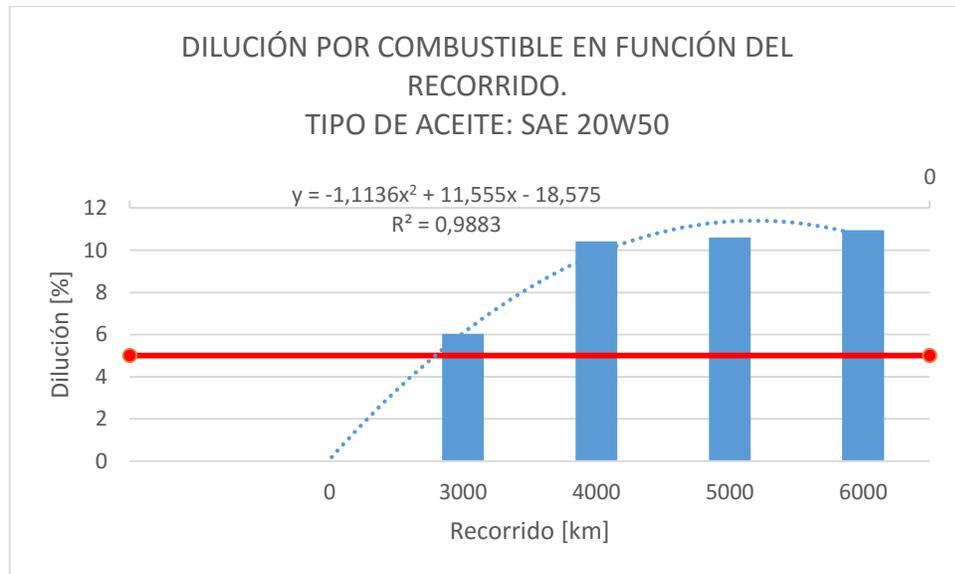


Fig. 3.14.- Promedios de la dilución por combustible en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 20W50. Fuente: El autor.

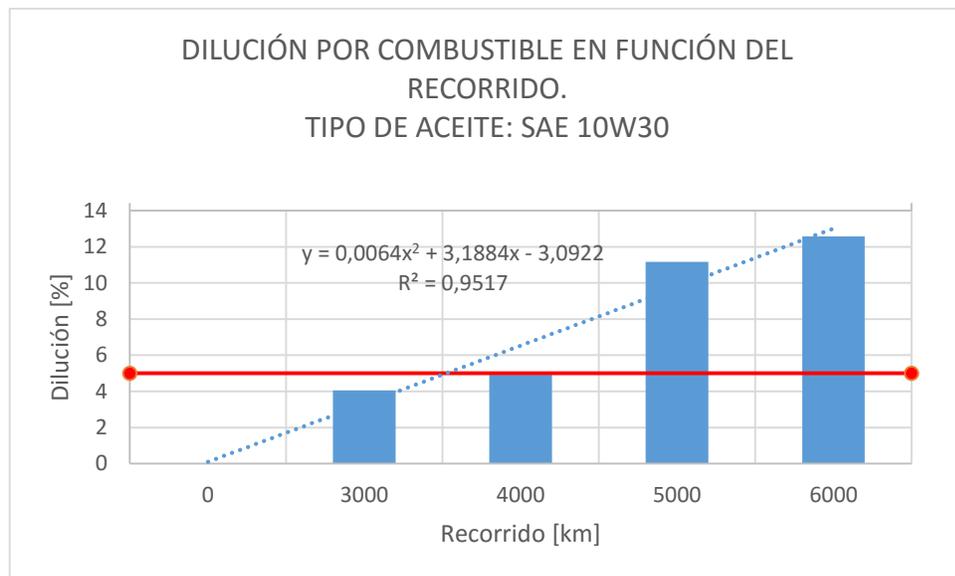


Fig. 3.15.- Promedios de la dilución por combustible en los diferentes kilometrajes de referencia y su tendencia para muestras de aceite SAE 10W30. Fuente: El autor.

Para realizar la prueba de hipótesis mediante el uso de la distribución t de Student, con el objetivo de sustentar la tendencia de la muestra para la población con un nivel de confianza propuesto para temas de investigación de un 95 %, se presenta a continuación el análisis realizado al primer grupo de estudio que se consideró para los análisis de viscosidad y TBN (muestras tomadas en recorridos hasta 5000 km), esto debido a que la tendencia a superar el límite condenatorio (máximo 5% de dilución) es totalmente marcada.

### 3.4.1 Análisis de la dilución de combustible para muestras menores a 5000 km. Aceite SAE 20W50

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Dilución  $> 5 \%$ .

Hipótesis alternativa ( $H_i$ ): Dilución  $\leq 5 \%$ .

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05.

3.- Cálculo de la evidencia muestral:

Tabla 3.25.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor.

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DILUCION	31	10,0735	4,00201	,71878

4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), empleando el software SPSS:

Tabla 3.26.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 20W50. Fuente: El Autor

	Valor de prueba = 5 %					
	t	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
DILUCION	7,059	30	,000	5,07355	3,6056	6,5415

5.- Determinar el valor t tabulado, para  $df = 30$ .

$$t_{0,95;30} = 1,6973$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

t calculado = 7,059 es mayor que t tabulado = 1,6973; a pesar que  $p < \alpha$ .

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_i$ ) y se acepta la hipótesis nula ( $H_o$ ), concluyendo que:

En vehículos que utilizan aceite de clasificación SAE 20W50 con características semejantes a las consideradas en este trabajo investigativo y con recorridos menores a 5000 km desde la renovación del lubricante del motor, se puede asegurar con el 95 % de certeza, que la dilución alcanza límites críticos, motivo por el que se debe reemplazar el aceite de la máquina. Si se pretende prolongar los períodos de mantenimiento del sistema de lubricación, se deberá encontrar las causas que provocan esta avería, para solucionarlas y de esta manera alargar la durabilidad de los elementos que intervienen al momento de renovar el aceite (filtro y aceite).

### **3.4.2 Análisis de la dilución de combustible para muestras menores a 5000 km. Aceite SAE 10W30**

1.- Planteamiento de hipótesis.

Hipótesis nula ( $H_o$ ): Dilución  $> 5 \%$ .

Hipótesis alternativa ( $H_i$ ): Dilución  $\leq 5 \%$ .

2.- Establecimiento del nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0,05.

3.- Cálculo de la evidencia muestral:

Tabla 3.27.- Resultados estadísticos de las muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor

	n	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DILUCION	6	5,8033	2,9116	1,1886

4.- Determinar el estadístico de prueba t (t calculado) y la probabilidad de error (p), empleando el software SPSS.

Tabla 3.28.- Resultados de la prueba t de Student: Muestras tomadas en recorridos menores a 5000 km, en las que se utilizaron aceites SAE 10W30. Fuente: El Autor.

	Valor de prueba = 5 %					
	T	df	Sig. (p)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
DILUCION	0,676	5	,529	,80333	-2,2523	3,8589

5.- Determinar el valor t tabulado, para  $df = 5$ .

$$t_{0,95;5} = 2,0150$$

6.- Toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa ( $H_i$ ):

$t$  calculado = 0,676 es menor que  $t$  tabulado = 2,0150; además que  $p > \alpha$ .

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_i$ ) y se acepta la hipótesis nula ( $H_o$ ), llegando a la misma conclusión que para el análisis de dilución de combustible para muestras menores a 5000 km en aceites de la clasificación SAE 20W50.

### 3.5 Análisis de la contaminación con silicio.

En la figura 3.16 se presenta gráficamente el comportamiento de la contaminación del aceite con polvo o silicio, según ésta, no se observa una tendencia que relacione directamente el recorrido con la contaminación; los valores reducidos de silicio en la mayoría de vehículos en los que se realizó esta evaluación permite concluir que este tipo de agente contaminante no se va a convertir en el motivo para realizar los cambios de lubricante; el único automotor en el que se rebasó el límite condinatorio tenía una entrada falsa de aire que evadía el depurador y por lo tanto, permitía el ingreso de polvo directamente a los cilindros.

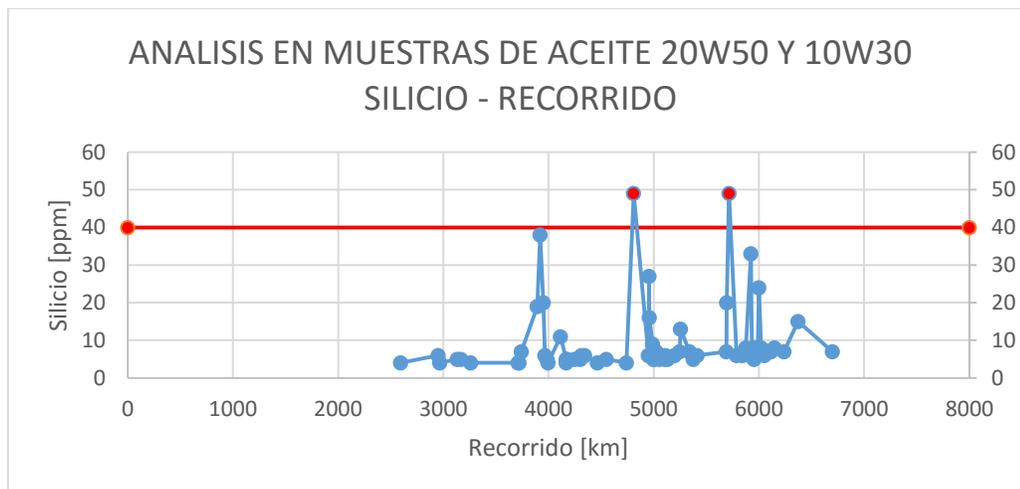


Fig. 3.16.- Presencia del silicio en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

### 3.6 Análisis de la contaminación del aceite en función de la presencia de metales en las muestras.

En el capítulo 2 se indicó que es preciso conocer la composición metalúrgica del motor para interpretar los resultados de los análisis de aceite de la máquina, los mismos que se reportan en mg de metal por kg de aceite (ppm en masa) y deben registrarse para

los diferentes recorridos de los vehículos (en kilómetros) o para las horas de funcionamiento en el caso de maquinaria de construcción o estacionaria.

Tabla 3.29.- Metales y sus concentraciones máximas en las muestras de aceite tomadas para el presente estudio. Fuente: El autor.

ORDEN	METAL	ppm
1	HIERRO	71
3	ALUMINIO	15
4	CROMO	6
5	COBRE	5
6	PLOMO	5
7	ESTAÑO	3
8	NIQUEL	2

En el presente estudio, al ser la muestra de motores pertenecientes a vehículos, se han realizado observaciones en kilometrajes cercanos a los recorridos de referencia (los que se consideraron teóricamente para extraer la muestra: 3000, 4000, 5000 y 6000 km); con estos registros se han estructurado diagramas que presentan gráficamente en el eje de las ordenadas las partículas por millón de cada uno de los minerales con mayor presencia en los componentes del motor, el orden de la presentación de los diagramas en este documento coincide con el orden de concentración de los metales en el lubricante de la máquina (Tabla 3.29).

En el mantenimiento predictivo es importante que exista una coordinación estrecha entre el conocimiento de los metales que se usan para construir la máquina y el uso de la tecnología para realizar adecuados análisis de aceites; por ejemplo, al conocer un diagrama (figura 3.17) en el que se presente el grado de desgaste en ppm de un determinado metal en relación con el recorrido del automotor (o con las horas de funcionamiento de una maquinaria) se puede establecer una tendencia que relacione matemáticamente la variable independiente (ppm de un determinado metal desgastado de un componente del motor) con el recorrido que sería la variable dependiente; si se encuentra una tendencia con un coeficiente de determinación alto ( $R^2$  cercano a 1), se puede predecir el desgaste que un determinado mecanismo tendría para recorridos u

horas de funcionamiento proyectadas, de esa manera se podrá planificar las reparaciones con mayor precisión.

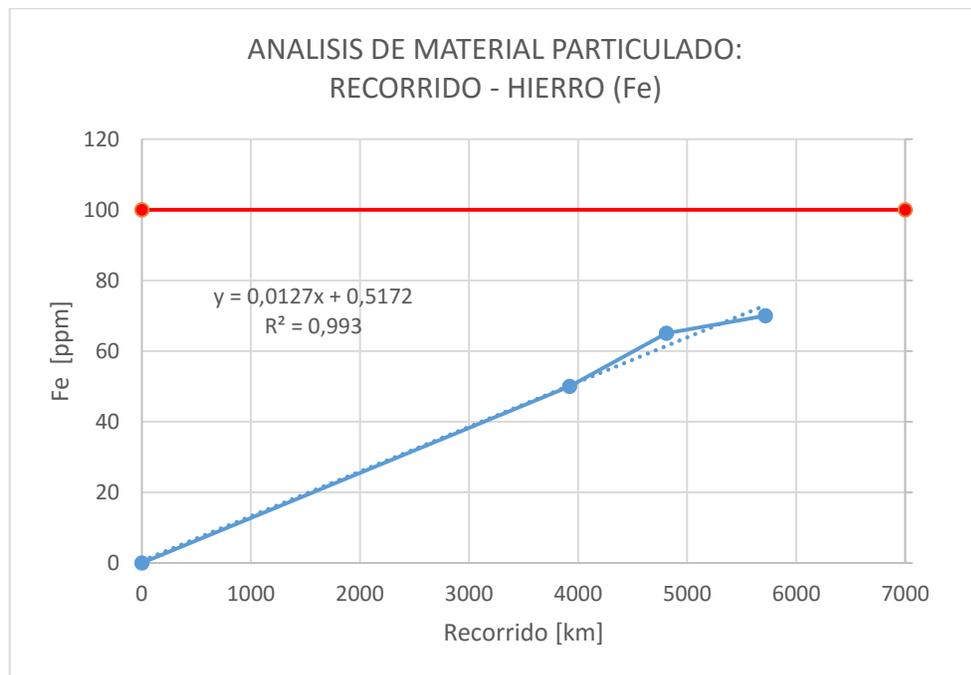


Fig. 3.17.- Evaluación de la presencia del hierro en el aceite de un motor en función del recorrido y su tendencia. Fuente: El autor.

En las muestras de aceite evaluadas para el presente estudio, el hierro se convirtió en el metal con mayor presencia (71 ppm); sin embargo, su valor está lejos de alcanzar el límite condenatorio (100 ppm como se muestra en la figura 3.18), las altas concentraciones de este metal en el lubricante se debe a que la gran mayoría de partes

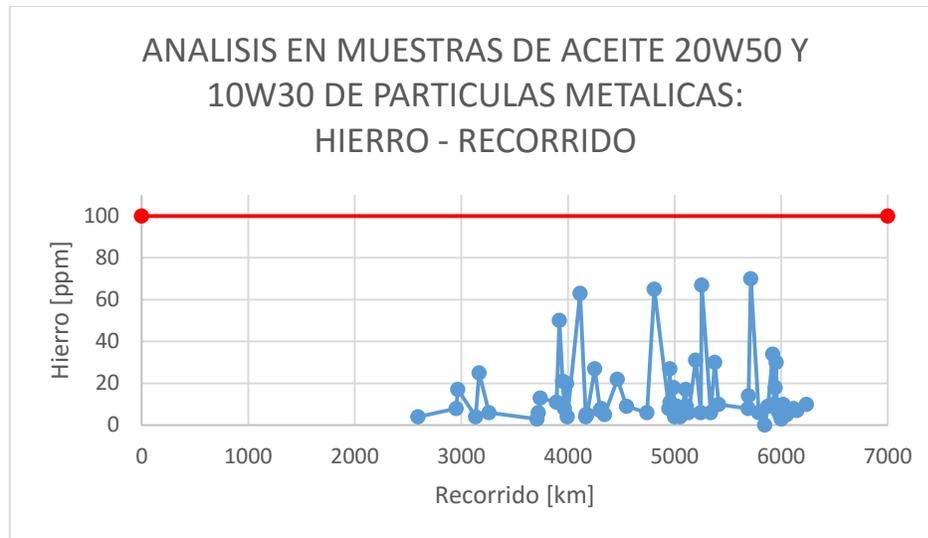


Fig. 3.18.- Presencia del hierro en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

que están sometidas a fricción son construidas con aleaciones en las que se encuentra presente, entre otras: camisas de cilindros, guías y asientos de válvula, cigüeñal, bielas, etc.

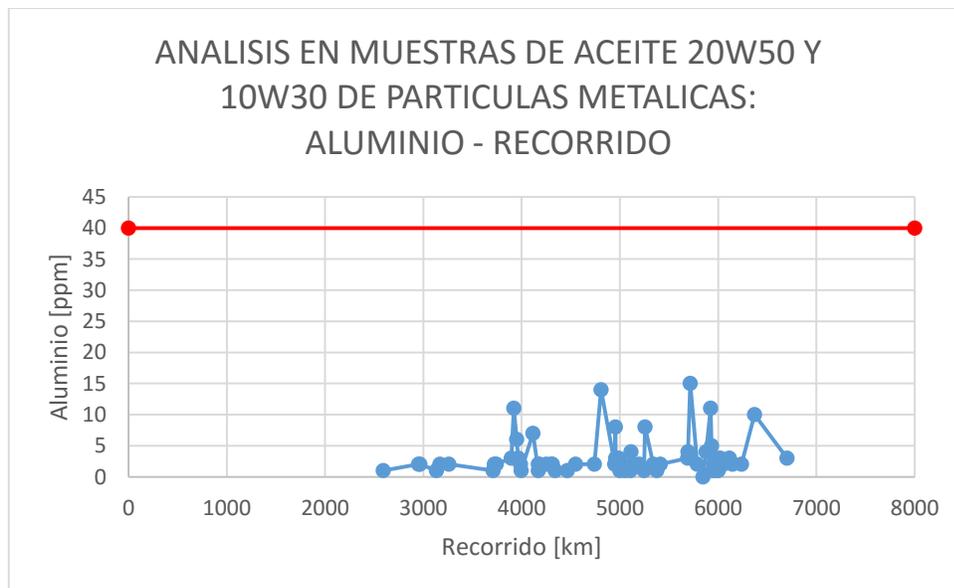


Fig. 3.19.- Presencia del aluminio en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

De acuerdo a los niveles de concentraciones de metales en las muestras de aceite tomadas para el estudio, el aluminio es el segundo metal en contribuir a la contaminación

metalúrgica del lubricante con una presencia de hasta 15 ppm (tabla 3.29), como puede observarse en la figura 3.19. Los pistones y el cabezote son los principales elementos de los motores en la actualidad que están contruidos con aleaciones de este metal.

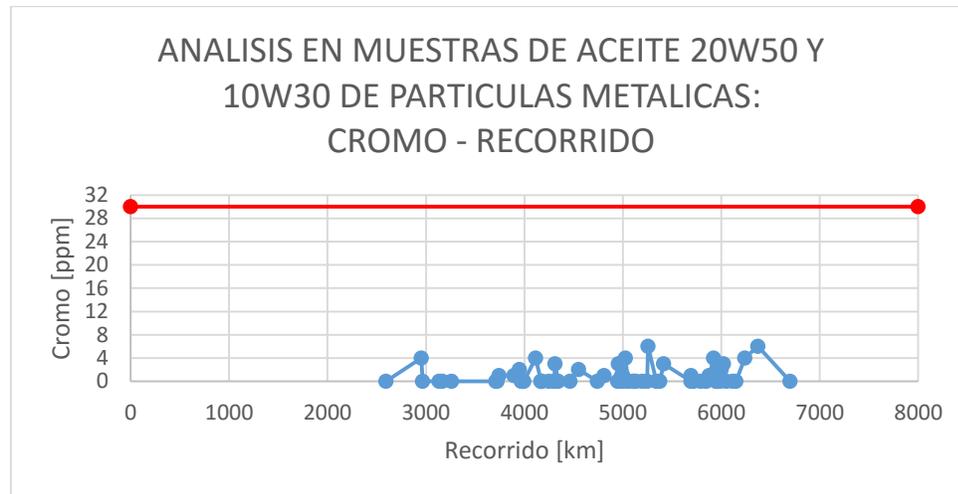


Fig. 3.20.- Presencia del cromo en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

El cromo y el cobre aportan con 6 y 5 mg por kg de masa de aceite respectivamente a la contaminación del lubricante del motor (figuras 3.20 y 3.21).

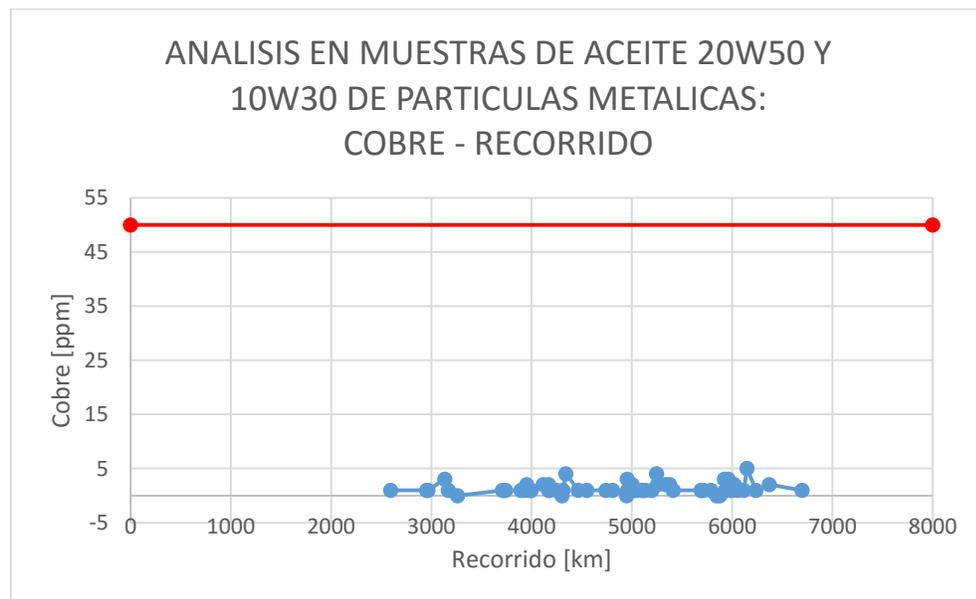


Fig. 3.21.- Presencia del cobre en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

El cromo se encuentra presente en el revestimiento de los rines, camisas, etc.; mientras que el cobre se halla en los cojinetes de biela, bancada y en los bujes de apoyo de algunos árboles del motor.

De acuerdo a los análisis ejecutados para evaluar las muestras de aceite, el plomo ha sido evaluado con concentraciones de 5 ppm en el lubricante de la máquina (figura 4.22), la posible procedencia de estas partículas, tal como se presenta en la tabla 1.6 (partículas metálicas en suspensión en el aceite y su procedencia) son los elementos de apoyo como los cojinetes y los bujes de la biela.

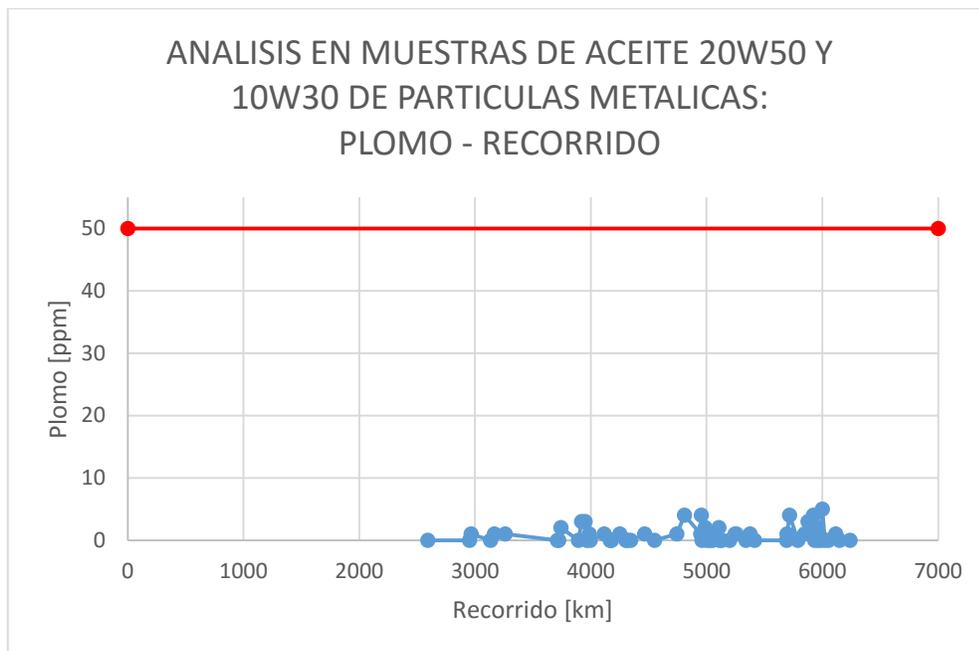


Fig. 3.22.- Presencia del plomo en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

El estaño y el níquel con 3 y 2 ppm (figuras 3.23 y 3.24) son los metales que menor presencia tienen en las muestras de aceite analizadas para el presente trabajo de investigación.

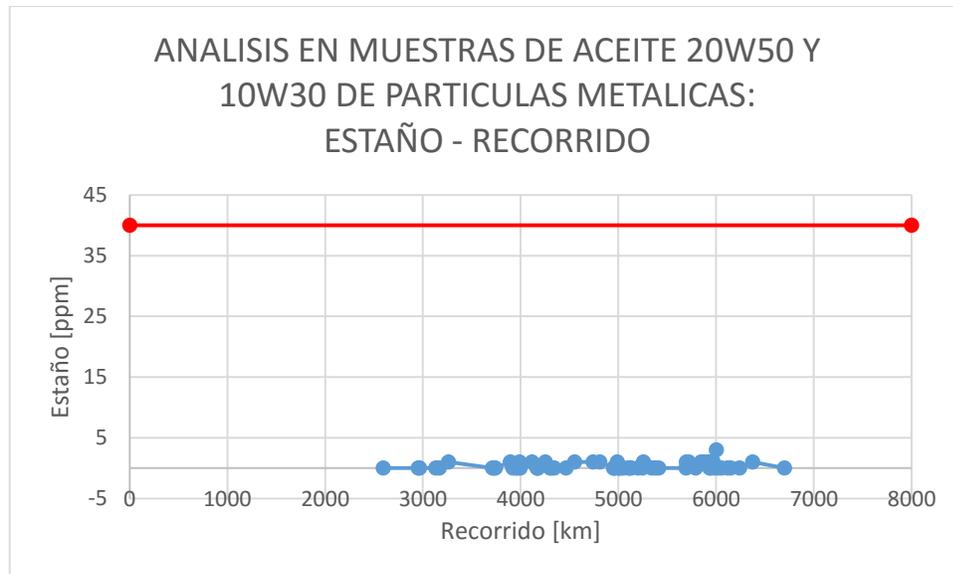


Fig. 3.23.- Presencia del estaño en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

El estaño forma parte de la composición de bujes y cojinetes; mientras que el níquel es un metal que se caracteriza por incrementar la dureza superficial de las piezas en las que éste se encuentra presente, por ejemplo: bloques motores, aros o segmentos, cigüeñales, árboles de levas, etc.

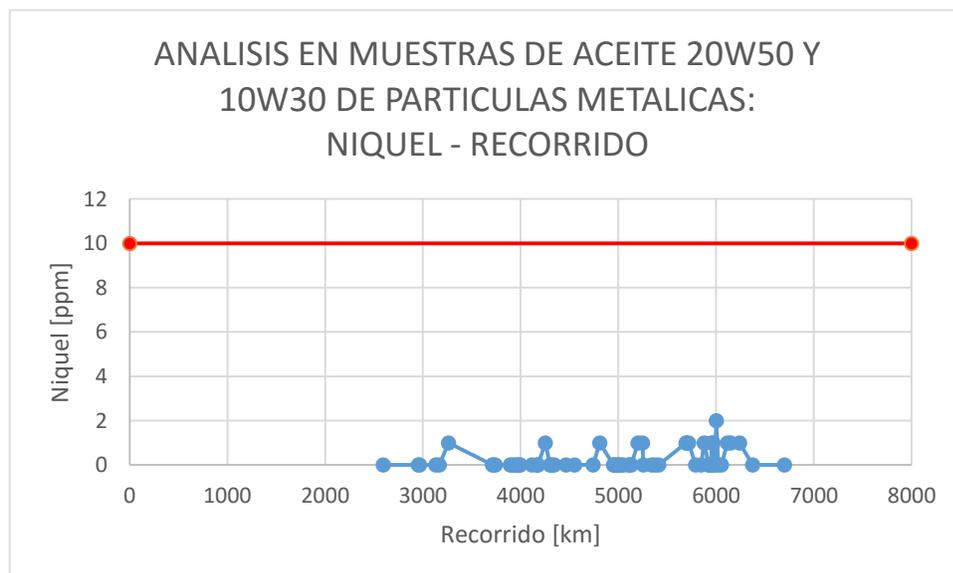


Fig. 3.24.- Presencia del níquel en muestras de aceite SAE 20W50 y 10W30 en función del recorrido de los automotores. Fuente: El autor.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES.

- Es necesario destacar la importancia de realizar un plan de mantenimiento predictivo (MPd) mediante la técnica de: análisis de aceite (AA), para presagiar el comportamiento de mecanismos y descubrir potenciales averías, con la finalidad de evitarse gastos de mantenimiento elevados y paralizaciones de los vehículos que seguramente generan dificultades a los propietarios, cuando estas no están planificadas.
- Para la adecuada interpretación de los informes del laboratorio (los mismos que deben atender los procedimientos de las normas ASTM) es necesario que el profesional a cargo del mantenimiento del motor conozca la metalurgia del mismo; para identificar los componentes que presentan desgaste en función a los resultados.
- En automotores que emplean aceites SAE 20W50 y 10W30 de características análogas a los contemplados en el presente trabajo y con recorridos de hasta 6000 km desde que se renovó el aceite de motor, se puede afirmar con el 95 % de certeza, que la viscosidad va a tener valores admisibles, por lo tanto, no se requiere cambiar el aceite debido a la degradación de esta propiedad antes del recorrido anotado.
- El análisis de la degradación de la alcalinidad o basicidad del aceite de motor (TBN) en las muestras analizadas permiten concluir que los aceites de los vehículos mantienen los niveles aceptables de esta propiedad hasta los 5000 km; después de este recorrido no se puede garantizar la idoneidad, por lo tanto, se recomienda realizar la renovación del lubricante del motor.
- Al examinar la dilución por combustible en las muestras de aceite correspondientes al presente estudio, se ha detectado que los porcentajes en los que se observó esta contaminación supera el límite condenatorio, incluso en el grupo de análisis de vehículos con recorridos menores a los 5000 km desde la renovación del aceite (grupos para análisis mediante la prueba de hipótesis), por lo tanto, se consideró también el análisis realizado con los valores medios de

dilución para los kilometrajes de referencia en los que se planificó al inicio de la investigación extraer las muestras para realizar las respectivas evaluaciones, la línea de tendencia trazada para estos diagramas, indica que es recomendable cambiar el lubricante a los 2800 km para el caso de los vehículos que utilizaron el aceite SAE 20w50 y a los 3500 km para aquellos que emplearon SAE 10w30. Es necesario que se puntualice también que al analizar algún grado de relación de la dilución con otras variables registradas como por ejemplo: kilometraje total recorrido por el vehículo, marca del mismo, etc. no se pudo establecer ninguna tendencia que las relacione.

- Según los reportes de los análisis de aceite, no se puede establecer que exista una tendencia que relacione directamente el recorrido con la contaminación por polvo; los valores reducidos de silicio en la mayoría de vehículos en los que se realizó esta evaluación permite concluir que este tipo de agente contaminante no se va a convertir en el motivo para realizar los cambios de lubricante; el único automotor en el que se rebasó el límite condensorio tenía una entrada falsa de aire que evadía el depurador y por lo tanto, permitía el ingreso de polvo directamente a los cilindros.
- Respecto a la presencia de material particulado producto del desgaste del motor en el aceite, se puede asegurar con la certeza de un 95% que los valores encontrados no superan la demarcación condensoria y que a pesar de la alta dilución del lubricante con el combustible el grado de desgaste, al igual que la viscosidad están dentro de los límites permisibles. Las máximas concentraciones de estos metales en las muestras analizadas incluso en recorridos de hasta 6700 km se presentan a continuación (Tabla 3.29 de la presente tesis).

ORDEN	METAL	Ppm
1	HIERRO	71
3	ALUMINIO	15
4	CROMO	6
5	COBRE	5
6	PLOMO	5
7	ESTAÑO	3
8	NIQUEL	2

- Estudios realizados como los de:
  - “ANÁLISIS DEL ENVEJECIMIENTO DE ACEITES LUBRICANTES DE AUTOMOTORES”, realizado en el año 2014, por Willams Patricio Hurtado Jarrín, postulante a Ing. Químico de la Universidad Central del Ecuador, manifiesta en su tesis que: *“Después del análisis de la variación de las propiedades físicoquímicas se llega a la conclusión final de que: para el taxi tiene un motor reparado , el cambio del aceite lubricante debería realizarse a los 4000 km tomando en cuenta el valor de su índice de viscosidad y densidad API”.*
  - APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. CASO ESTUDIO: ANALISIS DE ACEITE USADO EN UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA, realizado en el año 2013 para la *“Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI’2013) “* por Francisco Saldivia quien manifiesta: *“El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del motor a través del monitoreo de las propiedades físico – químicas y contaminación del lubricante y será llevado a cabo a través pruebas de laboratorio, con las cuales se obtendrán las tendencias dependiendo del tiempo de funcionamiento del motor y se establecerán relaciones entre las propiedades que servirán para la toma de decisiones respecto al mantenimiento del equipo. El estudio se realizó en un motor de combustión interna de encendido por compresión con un procedimiento de arranque y calentamiento que consistió en el funcionamiento del motor sin carga, velocidad de ralentí. Como resultado se obtiene una medida del efecto del contenido de combustible en la estabilidad de la película lubricante a través de la viscosidad, la cual no tiene mayor influencia en los metales de desgaste ya que se mantienen controlados, al igual que los niveles de aditivación, pero obliga a actuar sobre los parámetros operativos del equipo con la finalidad de corregir el problema de la contaminación con combustible.”*

Según lo estudiado y revisado en investigaciones similares, se puede apreciar que el problema de dilución de aceite por combustible afecta a la viscosidad del lubricante, haciéndola disminuir a valores preocupantes, sin embargo, esta anomalía no se ha traducido en afectaciones considerables de desgaste del motor.

**RECOMENDACION.**

- En función los altos porcentajes de dilución del aceite con el combustible encontrados en los vehículos que participaron en la presente investigación, se proyecta un nuevo tema de investigación que podría tener como finalidad encontrar los motivos que generan la contaminación del lubricante con la nafta, para proyectar las soluciones que corrijan la/s avería/s y de esta manera poder extender los períodos de duración del aceite para lubricación de los motores que de acuerdo a las otras variables evaluadas como degradación de propiedades y presencia de material particulado (de desgaste y contaminación con polvo) no se constituyen en una amenaza hasta los 5000 km de recorrido.

## BIBLIOGRAFIA

- Abanto, J., Carrasco, M., & Cordova, T. (2013). *Distribucion "t" de student*.
- ASTM International. ASTM E2412-10, Standard Practice for Condition Monitoring of Used Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry (1996). <http://doi.org/10.1520/E2412-10>
- ASTM International. Standard Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Liquids by Bingham Pycnometer (1998). <http://doi.org/10.1520/D1217-93R98>
- ASTM International. ASTM D2896-15, Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration. (2006). <http://doi.org/DOI: 10.1520/D2896-15>
- ASTM International. ASTM D445-15a, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity) (2007). <http://doi.org/DOI: 10.1520/D0445-15A>
- ASTM International. ASTM D6595-00(2011), Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry (2011). <http://doi.org/10.1520/D6595-00R11>
- Calleja, D. G. (2012). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*: Ediciones Paraninfo. S.A. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=ENKt0Slk3sAC>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. Corporation Noria. (2010). Comprendiendo las diferencias entre los grupos de aceites base.
- De Vita, Y. (1995). ADITIVOS para LUBRICANTES de MOTORES a GASOLINA. *Cuaderno FIRP S381.B*, 45. Retrieved from <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S831B.pdf>
- Dietsche, K. H. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Editorial Reverte. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=lvDitKKI1SAC>
- Escudero, S., González, J., & Rivas, J. L. (2011). *Motores*. Editorial Macmillan Iberia, S.A.
- Gómez Estrada, Y. A. (2013). *Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCI a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)*. Universidad Politécnica de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
- Hyundai Motor Company. (2010). *MANUAL DEL PROPIETARIO*.
- Lara Castro, O. J. (2007). Nuevas metodologías no invasivas de diagnosis de defectos incipientes en rodamientos de bola.
- Leal De Rivas, B., Luis, J., Bono, V., & Capuz Rizo, S. (2014). METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ACEITES USADOS EN AVIACIÓN BASADA EN TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS PRESENTADA POR.
- Liaoning Huake Petroleum Apparatus Science y Technology Co. Ltd. (2016). HK-2033

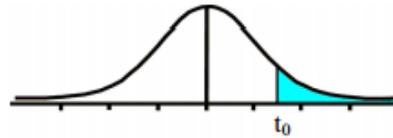
TAN/TBN titrator.

- Lima Silva, A. de., Gutierrez Duque, M., & E-libro, C. (2012). *Análisis del proceso de producción de aceites básicos en la refinería Sergio Soto mediante la simulación*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana. Retrieved from <http://ez.uamerica.edu.co/login?url=http://site.ebrary.com/lib/biblioamericasp/Doc?id=10624556>
- Maita, P. A. (2007, October 29). *Investigación de las características de adherencia sobre matrices de embutición de acero f-1110, y análisis mediante ensayos de emisión acústica, de recubrimientos de níquel-óxidos y carburos cerámicos aplicados por proyección térmica, y de las carac.* Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain). Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/1924>
- Martins, M. E. (n.d.). TBN : Número Básico Total - ¿ Conoce usted qué le está reportando su laboratorio ? Retrieved March 26, 2016, from <http://www.abrahamhnos.com/pdf/Consejo-TBN-Diferencias.pdf>
- Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*.
- Mott Robert L. (2006). *Mecánica de fluidos*. (I. Pearson Education, Ed.) (Sexta). México : Pablo Miguel Guerrero Rosas.
- Nissan Motor Company. (2011). *SENTRA MANUAL DEL CONDUCTOR*.
- Noria Corporation. (2014). Análisis de elementos. Retrieved from <http://noria.mx/lublearn/analisis-de-elementos/>
- Paz, A. F. (2004). Estudio Experimental Para La Regeneracion De Aceites Automotrices Usados Mediante La Extraccion De Supercritica. *Zhurnal Eksperimental'noi I Teoreticheskoi Fiziki*, 1–179. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>
- Pérez, J. M. A. (2002). *Motores*. Thomson, Paraninfo. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=IXL0NfxN0MkC>
- Rivera, J. (2004). *Práctica de Ingeniería de Yacimientos Petrolíferos*.
- Rojas, O., Briceño, M., & Avendaño, J. (2012). *FUNDAMENTOS DE REOLOGIA*. universidad de los andes.
- SAE. (2015). Clasificación de los aceites de motor SAE J300.
- Swissoil del Ecuador S.A. (2012). *aceites básicos*. Guayaquil. Retrieved from [http://www.swissoil.com.ec/boletines/SO\\_Boletin01\\_aceites\\_basicos.pdf](http://www.swissoil.com.ec/boletines/SO_Boletin01_aceites_basicos.pdf)
- Tormos Martínez, B. (2005). Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado, 28. Retrieved from [https://books.google.com/books?id=DqJuqL\\_UzjC&pgis=1](https://books.google.com/books?id=DqJuqL_UzjC&pgis=1)
- White, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos*. (McGraw-Hill, Ed.) (5a. ed).

## ANEXOS

## ANEXO 1.- TABLA "t" DE STUDENT

Tabla t-Student

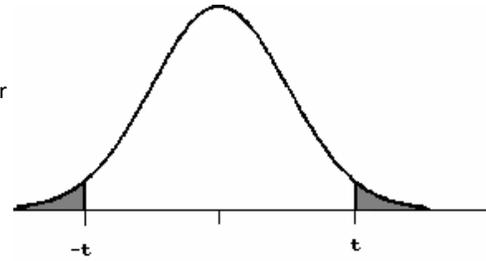


Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
$\infty$	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

### Tabla de Cuartiles de la distribución "t" de Student

- (a) El área de las dos colas está sombreada en la figura.  
 (b) Si  $H_A$  es direccional, las cabeceras de las columnas deben ser divididas por 2 cuando se acota el P-valor.



gl	0,2	0,1	ÁREA DE DOS		COLAS	0,001	0,0001
					0,01		
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6366,198
2	1,886	2,92	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,61	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,44	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,885
8	1,397	1,86	2,306	2,896	3,355	5,041	7,12
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,25	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,35	1,771	2,16	2,65	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,14	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,12	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,74	2,11	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,33	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,85	4,837
21	1,323	1,721	2,08	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,5	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,06	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,69	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,53
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,31	1,697	2,042	2,457	2,75	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2	2,39	2,66	3,46	4,169
100	1,29	1,66	1,984	2,364	2,626	3,39	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,96	2,326	2,576	3,291	3,891

## ANEXO 2.- HOJA TECNICA DE LOS ACEITES HAVOLINE 20W50 Y 10W30



### Havoline® Motor Oil – Continuación

Es también recomendado para algunos motores de alto desempeño utilizados en las carreras y rallys.

Nota: Consulte siempre su manual de propietario con respecto al grado de viscosidad.

Los aceites Havoline® Motor Oils satisfacen:

- **Las Categorías de Servicio API**
  - SN
  - SM, SL, SJ y todas las categorías de servicio API "S" anteriores
  - Conservación de Recurso para API SN (SAE 10W-30)
  - ILSAC GF-5 (SAE 10W-30)

- **requerimientos de desempeño de fabricantes**

- **Chrysler Group LLC**  
MS-6395 (SAE 10W-30)
- **General Motors**  
GM 6094M (SAE 10W-30)

### INFORMACIÓN DE PRUEBAS TÍPICAS

Grado SAE	10W-30	20W-50
Número de Producto	223410	223412
Número MSDS		
Gravedad API	30.5	29.0
Viscosidad, Cinemática cSt a 40°C cSt a 100°C	68.4 10.3	157.8 17.3
Viscosidad, Arranque en Frío, °C/Poise	-25/62	-15/75
Índice de Viscosidad	137	119
Punto de Inflamación, °C(°F)	>200(392)	>205(401)
Punto de Escurrimiento, °C(°F)	-36(-33)	-24(-11)
Ceniza Sulfatada, wt %	0.9	0.9
Número Base, ASTM D2896	8.4	8.5
Fósforo, wt %	0.076	0.077
Zinc, wt %	0.088	0.088
Magnesio, wt %	0.004	0.004

Pueden esperarse variaciones menores en la información de pruebas típicas en fabricación normal.

### ANEXO 3.- INFORMES DE ANALISIS REPORTADOS POR EL LABORATORIO SWISSOIL Y BASE DE DATOS CON ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LA MUESTRA.

Se presentan solo 2 informes escritos, los demás están en formato digital adjunto al documento.



#### REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

LABORATORIO NUMERO	371	372
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	<b>HAVOLINE 20W50</b>	<b>HAVOLINE 20W50</b>
NOMBRE DEL CLIENTE	<b>LENIN TENESACA</b>	<b>LENIN TENESACA</b>
REQUERIDO POR:	CONAUTO	CONAUTO
REFERENCIA	011/16	011/16
NUMERO DE MUESTRA:	1	2
FECHA DE OBTENCIÓN:	20/01/2016	27/02/2016
FECHA DE RECEPCIÓN:	03/02/2016	03/02/2016
FECHA DE ENTREGA:	04/02/2016	04/02/2016
PROCEDENCIA:	UAH-0655	UAH-0655
TIEMPO DE SERVICIO: KM	2.593	4.179
HORÓMETRO TOTAL: KM	410.939	412.525
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO	CAFÉ
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	15.93	16.00
TBN , ASTM D-2896	5.59	4.90
% DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E 2412	5.51	5.22
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>		
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	1	2
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	4	5
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	4	5



### REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

LABORATORIO NUMERO	379	380
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	<b>HAVOLINE 20W50</b>	<b>HAVOLINE 20W50</b>
NOMBRE DEL CLIENTE	<b>LENIN TENESACA</b>	<b>LENIN TENESACA</b>
REQUERIDO POR:	CONAUTO	CONAUTO
REFERENCIA	014/16	014/16
NUMERO DE MUESTRA:	1	2
FECHA DE OBTENCIÓN:	29/01/2016	01/02/2016
FECHA DE RECEPCIÓN:	05/02/2016	05/02/2016
FECHA DE ENTREGA:	12/02/2016	12/02/2016
PROCEDENCIA:	UAH-0655	UAH-0655
TIEMPO DE SERVICIO: KM	5.132	5.789
HORÓMETRO TOTAL: KM	413.478	414.135
APARIENCIA	CAFÉ	CAFÉ
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	15.84	15.86
TBN , ASTM D-2896	4.59	4.70
% DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E 2412	7.41	7.56
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>		
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	2	2
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	6	6
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	5	6











**ANEXO 4.- REPORTES DE RESULTADOS DEL SOFTWARE ESTADISTICO SPSS: ANALISIS "t" DE  
STUDENT .**

## PRUEBA T PARA MENORES 5000KM SAE 20W50

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos1]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	31	14,8094	1,64393	,29526

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 13.84					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	3,283	30	,003	,96935	,3664	1,5724

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos1]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	31	5,1852	,71296	,12805

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 4.25					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	7,303	30	,000	,93516	,6736	1,1967

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos1]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DILUCION	31	10,0735	4,00201	,71878

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 5					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
DILUCION	7,059	30	,000	5,07355	3,6056	6,5415

## PRUEBA T PARA MAYORES 5000KM SAE 20W50

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos2]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	34	15,0726	1,18825	,20378

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 13.84					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	6,049	33	,000	1,23265	,8180	1,6472

### Prueba T

[Conjunto\_de\_datos2]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	34	4,4482	,60806	,10428

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 4.25					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	1,901	33	,066	,19824	-,0139	,4104

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos2]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DILUCION	34	10,3815	4,00272	,68646

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 5					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
DILUCION	7,839	33	,000	5,38147	3,9849	6,7781

PRUEBA T PARA MENORES 5000KM SAE 10W30

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos3]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	6	9,0700	,07457	,03044

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 8.24					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	27,266	5	,000	,83000	,7517	,9083

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos3]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	6	4,9617	,75476	,30813

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 4.2					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	2,472	5	,056	,76167	-,0304	1,5537

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos3]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DILUCION	6	5,8033	2,91167	1,18868

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 5					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
DILUCION	,676	5	,529	,80333	-2,2523	3,8589

## PRUEBA T PARA MAYORES 5000KM SAE 10W30

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos4]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
VISCOSIDAD	4	8,9275	,05252	,02626

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 8.24					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
VISCOSIDAD	26,181	3	,000	,68750	,6039	,7711

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos4]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
TBN	4	3,9250	,45538	,22769

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 4.2					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
TBN	-1,208	3	,314	-,27500	-,9996	,4496

**Prueba T**

[Conjunto\_de\_datos4]

**Estadísticos para una muestra**

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DILUCION	4	13,5875	3,10359	1,55180

**Prueba para una muestra**

	Valor de prueba = 5					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
DILUCION	5,534	3	,012	8,58750	3,6490	13,5260

