



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Automotriz

**Procedimientos normados para evaluar una muestra de aceite usado en  
vehículos a gasolina**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

Ingeniero Automotriz

**Autor:**

César Andrés Jara Valdivieso

**Director:**

Ing. Thelmo Fernando Guerrero Palacios, Mgtr.

**Cuenca – Ecuador**

**2024**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, dedico este trabajo de graduación principalmente a dios, por permitirme estudiar la carrera que siempre quise, así como también por guiarme por el camino del bien, como una persona correcta y con valores, que gracias a las diferentes bendiciones que dios me ha brindado a lo largo de mi vida, he logrado salir adelante, consiguiendo un anhelo tan importante como es este título universitario

En segundo lugar, todo el esfuerzo, sacrificio, dedicación y entrega a lo largo de esta carrera universitaria, me lo dedico a mí mismo, por haber persistido siempre para alcanzar el objetivo de graduarme y no darme por vencido.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud para:

El Ingeniero Fernando Guerrero Palacios; quien se convirtió en mi mentor durante mi carrera universitaria, impartíendome sus conocimientos y enseñanzas, además brindándome todo su apoyo y confianza para conseguir todo lo que me proponga. Finalmente, me ha concedido el privilegio de gozar de su amistad y cariño, algo que llevaré conmigo en lo más profundo de mi corazón.

Mis abuelitos; César Augusto Jara y Albertina Beatriz Valdivieso, quienes desde mi nacimiento me han dado su amor más sincero y han estado para mí en todo momento, apoyándome a lo largo de mi vida y a quienes les debo todo lo que soy como persona y profesional.

Mi madre; María Augusta Jara, quien me dio la vida, me ha sacado adelante y me ha acompañado a lo largo de este proceso, con su apoyo, motivación, cariño y fuerzas para no desmayar cuando el camino se tornó difícil.

Mi tía y madrina; Lucía Valdivieso, que me ha brindado su cariño más sincero.

Mis fieles y leales amigos; Andrés Manzano, Francisco Vicuña, Juan Daniel Piedra, Mateo Beltrán, Pablo Balarezo y Rodrigo Cordero, al igual que a sus honorables familias, gracias por su amistad, respaldo y cariño que me han manifestado a lo largo de mi vida, ustedes también son parte esencial de este triunfo.

Los docentes que conforman la prestigiosa escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay, de los cuales tuve el privilegio de ser alumno, gracias por impartirme todos sus conocimientos a lo largo de mi educación universitaria, que me han permitido formarme como un profesional exitoso al servicio de la sociedad. También agradecerles a los docentes con los cuales se conformó una relación de amistad y respeto la cual conservaré con mucha alegría por el resto de mi vida.

**A todas estas personas, reciban un abrazo que signifique:**

**¡Gracias de verdad!**

**César.**

## **Resumen**

En la actualidad, el reemplazo del aceite de motor está dictado por los manuales de cada vehículo o por las sugerencias de los mecánicos y/o asesores de servicio de los talleres en donde este procedimiento se realiza, así mismo, los consumidores de igual manera se fundamentan en la publicidad de algunas marcas que comercializan el aceite, las cuales establecen kilometrajes predeterminados para renovar el lubricante. El presente estudio tiene como objetivo explicar por medio de una revisión e investigación bibliográfica, las principales normativas aplicadas por los laboratorios de análisis de aceite en el Ecuador, considerando los materiales y/o equipos requeridos, así como también la metodología de ensayo, para determinar y cuantificar las propiedades de: viscosidad cinemática, número total de base (TBN) y contaminantes detectados en diferentes análisis de muestras de aceite usado. La investigación está orientada a proporcionar el conocimiento requerido para analizar e interpretar la condición de operación y funcionamiento del fluido de lubricación, a través de una guía didáctica para evaluar una muestra de aceite usado.

**Palabras clave:** normativas, lubricantes, viscosidad, número total de base, metales de desgaste, dilución con combustible.

## **Abstract**

Currently, the replacement of motor oil is dictated by the manuals of each vehicle or by the suggestions of the mechanics and/or service advisors of the workshops where this procedure is performed, likewise, consumers also rely on the advertising of some brands that market the oil, which establish predetermined mileages to renew the lubricant. The objective of this study is to explain, through a bibliographic review and research, the main regulations applied by oil analysis laboratories in Ecuador, considering the materials and/or equipment required, as well as the test methodology to determine and quantify the properties of: kinematic viscosity, total base number (TBN) and contaminants detected in different analyses of used oil samples. The research is oriented to provide the knowledge required to analyze and interpret the operating condition and functioning of the lubrication fluid, through a didactic guide to evaluate a used oil sample.

**Keywords:** standards, lubricants, viscosity, total base number, wear metals, dilution with fuel.

## Índice de contenidos

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
Resumen .....	iii
Abstract.....	iv
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	x
Introducción.....	1
Antecedentes .....	1
Problemática .....	1
Justificación .....	2
Estado del arte .....	2
Marco teórico.....	3
Objetivos.....	8
Objetivo general .....	8
Objetivos específicos .....	8
Alcance .....	8
Planteamiento de la tesis.....	9
Capítulo 1: Lubricación .....	10
1.1) Lubricación en los motores.....	10
1.1.2) Lubricación límite .....	10
1.1.3) Lubricación semifluida.....	11
1.1.4) Lubricación fluida .....	11
1.2) Lubricantes .....	11
1.2.1) Minerales: .....	12
1.2.2) Sintéticos: .....	13

1.2.3) Semisintéticos:.....	13
1.3) Propiedades de los lubricantes.....	14
1.3.1) Viscosidad.....	14
1.3.1.1) Viscosidad dinámica o absoluta.....	14
1.3.1.2) Viscosidad cinemática o relativa .....	19
1.3.2) Índice de viscosidad.....	19
1.3.3) Densidad .....	20
1.3.4) Untuosidad.....	20
1.3.5) Acidez .....	20
1.3.6) Punto de inflamación .....	20
1.3.7) Punto de congelación.....	21
1.3.8) Volatilidad.....	21
1.3.9) Detergencia.....	21
1.3.10) Dispersión.....	21
1.3.11) Capacidad antiespumante .....	21
1.4) Aditivos .....	21
1.4.1) Aditivos antidesgaste .....	22
1.4.2) Aditivos antioxidantes del aceite .....	22
1.4.3) Aditivos anticorrosivos.....	23
1.4.4) Aditivos detergentes .....	23
1.4.5) Aditivos dispersantes .....	23
1.5) Categorías de lubricación .....	24
1.5.1) Lubricación forzada por presión.....	24
1.5.2) Lubricación forzada por cárter húmedo.....	25
1.6) Elementos de un circuito de lubricación.....	27

1.6.1) Cáster .....	27
1.6.2) Bomba de aceite .....	28
1.6.3) Bomba de engranes.....	28
1.6.4) Bomba de rotor .....	29
1.6.5) Filtro de aceite .....	30
1.6.6) Filtro blindado .....	31
1.6.7) Filtro de cartucho.....	32
1.7) Averías en el sistema de lubricación.....	33
1.8) (Sociedad de Ingenieros Automotrices) SAE .....	34
1.9) Clasificación de la viscosidad según norma (Sociedad de ingenieros automotrices) SAE	35
1.10) Mantenimiento predictivo.....	38
1.10.1) Técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo.....	39
1.11) Teoría del análisis de aceite usado como técnica de diagnóstico.....	40
1.11.1) Oxidación, nitración y sulfatación .....	41
1.12) Tribología.....	42
1.12.1) Fricción.....	42
1.12.2) Desgaste.....	43
Capítulo 2: Normativas ASTM: metodología de ensayo e instrumental requerido.....	44
2.1) (Instituto Americano del Petróleo) API.....	44
2.2) (Sociedad Americana para Materiales y Pruebas) ASTM.....	48
2.3) Límites condenatorios .....	48
2.4) Aceites para motores de ciclo Otto (gasolina).....	49
2.5) Viscosidad de aceite para motor a gasolina recomendada por Mitsubishi Motors. ....	49
2.6) Normativa ASTM D445. Viscosidad cinemática a temperatura normal de funcionamiento del motor.....	50



2.6.1) Metodología de ensayo para la viscosidad cinemática .....	51
2.6.2) Instrumental requerido para el análisis de la viscosidad cinemática .....	52
2.6.3) Cálculo de la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) .....	53
2.6.4) Cálculo de la viscosidad dinámica $\eta$ .....	53
2.6.5) Especificación de la densidad a través del método del picnómetro de Bingham. ..	54
2.7) Normativa ASTM D2896. (Número Total de Base) TBN.....	58
2.7.1) Metodología de ensayo para la variación del TBN .....	58
2.7.2) Instrumental requerido para determinar la variación del TBN.....	59
2.8) Normativa ASTM D6595. Concentración de metales producto del desgaste de los componentes internos del motor.....	61
2.8.1) Metodología de ensayo para la determinación de metales de desgaste.....	62
2.8.2) Instrumental requerido para la examinación de metales de desgaste. ....	65
2.9) Normativa ASTM E2412. Dilución con combustible .....	65
2.9.1) Metodología de ensayo para establecer la dilución con combustible.....	66
2.9.2) Instrumental requerido para la inspección de la dilución con combustible.....	70
Capítulo 3: Análisis técnico de muestras de aceite usado .....	72
3.1) Características principales según fabricante .....	72
3.2) Especificación de límites condenatorios según fabricante.....	74
3.3) Análisis de muestras categoría de viscosidad 10W30 API SN – Havoline.....	76
3.4) Análisis de muestras categoría de viscosidad 20W50 API SN – Havoline.....	79
3.5) Análisis de aceite en flotas vehiculares .....	83
Capítulo 4: Guía didáctica .....	85
Resultados.....	87
Conclusiones.....	89
Lista de referencias.....	90

## Índice de tablas

Tabla 1. Clases de hidrocarburos en el aceite lubricante.....	13
Tabla 2. Clasificación SAE según viscosidad. ....	36
Tabla 3. Categorías de servicio API.....	48
Tabla 4 . Partículas metálicas de desgaste del MCIA.....	62
Tabla 5 . Elementos y longitudes de onda correspondientes .....	64
Tabla 6 . Parámetros de monitoreo. ....	68
Tabla 7. Características de lubricantes 5W-20, 5W30 y 10W30.....	73
Tabla 8. Características de lubricantes: 10W-40, 20W50 y SAE 30.....	74
Tabla 9. Límites condensatorios para MCIA. ....	75
Tabla 10. Muestra Havoline 10W30 – 2961 KM. ....	76
Tabla 11. Muestra Havoline 10W30 – 5001 KM. ....	77
Tabla 12. Muestra Havoline 10W30 – 5723 KM. ....	78
Tabla 13. Muestra Havoline 10W30 – 5987 KM. ....	79
Tabla 14. Muestra Havoline 20W50 – 4343 Km.....	80
Tabla 15. Muestra Havoline 20W50 – 4810 KM. ....	81
Tabla 16. Muestra Havoline 20W50 – 4959 KM. ....	82
Tabla 17. Muestra Havoline 20W50 – 5490 KM. ....	83

## Índice de figuras

Figura 1. Cuadro sinóptico pruebas ASTM. ....	7
Figura 2. Tipos de lubricación. ....	10
Figura 3 . Comportamiento de un fluido situado entre dos placas. ....	15
Figura 4. Comparación de aceites con distinta viscosidad. ....	17
Figura 5. Razón de deformación de un fluido newtoniano.....	18
Figura 6. Modificación del esfuerzo cortante. ....	19
Figura 7. Estructura del aditivo ZDDP. ....	22
Figura 8. Circuito de lubricación para vehículo. ....	25
Figura 9. Conducto de aceite al bulón. ....	26
Figura 10. Canal de refrigeración del pistón. ....	26
Figura 11. Conducto de aceite al turbocompresor. ....	27
Figura 12. Varilla para nivel de aceite. ....	28
Figura 13. Bomba de engranajes. ....	29
Figura 14. Bomba de rotor.....	30
Figura 15. Filtro de aceite blindado.....	32
Figura 16. Filtro de cartucho. ....	33
Figura 17. Variación de la viscosidad entre aceite monógrado y multigrado.....	38
Figura 18. Nivel de vibración de una máquina.....	39
Figura 19. Clasificación API. ....	45
Figura 20. Certificación API.....	45
Figura 21. Símbolo de servicio “donut”.....	47
Figura 22. Aceites para motores gasolina según temperatura. ....	49
Figura 23. Viscosidades sugeridas por Mitsubishi Motors. ....	50
Figura 24. Viscosímetros de vidrio.....	52
Figura 25. Esquema del picnómetro de Bingham. ....	57
Figura 26. Variación del número total de base (TBN).....	59
Figura 27. Titulador potenciométrico. ....	60
Figura 28. Espectrómetro por electrodo y disco rotario (RDE). ....	63
Figura 29. Medición del combustible en aceites. ....	67
Figura 30. Zona de análisis del combustible Diésel para lubricantes a base de petróleo. ....	69

Figura 31 Guía didáctica – parte 1.....	85
Figura 32. Guía didáctica – parte 2.....	86

## **Introducción**

### **Antecedentes**

El aceite que se utiliza para lubricar los motores debe cumplir con características exigidas por los fabricantes, puesto que los diseñadores y constructores de motores deben tener claras las propiedades físicas y químicas de los aceites, estas se encuentran reguladas por (Sociedad de Ingenieros Automotrices) SAE así como también por (Instituto Americano del Petróleo) API, de esta manera al estar normadas las características así como también los procedimientos que se realizan para cada una de las evaluaciones de laboratorio de las propiedades físico - químicas de un aceite lubricante al igual que para la verificación de contaminantes, es posible evaluar un tipo de lubricante en específico y conocer cuál es su condición de operación y funcionamiento. Por otro lado, realizar un análisis periódico de aceites usados, logra un correcto mantenimiento preventivo del motor.

### **Problemática**

En la actualidad, el reemplazo del aceite de motor está dictado por los manuales de cada vehículo o por las sugerencias de los mecánicos y/o asesores de servicio de los talleres en dónde este procedimiento se realiza, así mismo, los consumidores de igual manera se fundamentan en la publicidad de algunas marcas que comercializan el aceite, las cuales establecen kilometrajes predeterminados para renovar el lubricante, pero por lo general se desconoce cuáles son realmente las características y condiciones que se analizan para conocer el estado de operación y funcionamiento del fluido lubricante de motor para establecer su calidad de rendimiento.

De acuerdo a (Volskswagen, 2023), se indican algunas consideraciones que se deben tener en cuenta para renovar el aceite de motor, éstas son: el tipo de vehículo en cuestión, el fabricante y la categoría de viscosidad adecuada que se debe emplear de acuerdo a la tecnología y prestaciones del motor. Por otra parte, se recomienda sustituir el aceite de motor cada 5,000 a 7,500 kilómetros esto dependiendo del tipo de aceite utilizado, o en términos de tiempo cada seis meses, lo que suceda primero.

## **Justificación**

La determinación de las pérdidas de las propiedades físico - químicas al igual que la identificación de contaminantes en un aceite para motores de vehículos a gasolina, mediante el análisis de aceite, a través de los procedimientos normados para cada una de las propiedades principales del aceite y contaminantes respectivos, es el procedimiento técnicamente correcto para examinar y evaluar las condiciones de operación y funcionamiento, así como también conocer la vida útil del fluido de lubricación. Por lo anteriormente mencionado, es preciso elaborar una guía didáctica que proporcione el conocimiento requerido para analizar e interpretar una muestra de aceite usado y de esta manera comprender la calidad que tiene el aceite dentro del motor.

## **Estado del arte**

En concordancia con (Ochoa Pesantez & Veintimilla Ramos, 2010) saber si un aceite en específico cumple con las características predeterminadas por el fabricante, es algo trascendental al momento de elegir un lubricante, por lo que sustentó su investigación en comprobar las características de mayor relevancia de un aceite previamente indicado, por medio de pruebas físicas y químicas en laboratorio, primero para analizar la cuantificación de partículas de desgaste en el aceite usado a través de espectroscopía de absorción atómica, segundo la espectroscopía infrarroja para determinar la degradación ocasionada por la oxidación y nitración del aceite por medio de la medición de la viscosidad y finalmente el análisis de contaminación del aceite por concentración de combustible, mediante la aplicación de espectroscopía infrarroja y análisis termo gravimétricos.

De acuerdo a (Guerrero, 2016) es primordial conocer y comprender cuáles son los parámetros y límites condenatorios que están asociados a la degradación y contaminación del aceite en motores de vehículos a gasolina, es por esto que centró su estudio en el análisis de las propiedades más representativas del aceite lubricante, estas son : viscosidad, número total de base (TBN), al igual que, los contaminantes; metales de desgaste y dilución con combustible (gasolina), para poder evaluar la condición de operación y funcionamiento del aceite en una flota de 22 taxis en la ciudad de Cuenca. En base a este estudio se puede afirmar que, las principales propiedades y contaminantes que se deben tener en cuenta para establecer la idoneidad del aceite para motores de vehículos a gasolina, son las anteriormente nombradas,

por lo que el presente trabajo de investigación pretende explicar las normativas actuales empleadas por los laboratorios de análisis de aceite en el Ecuador para evaluar, determinar y cuantificar dichas propiedades al igual que los contaminantes presentes en una muestra de aceite usado, considerando especialmente a los equipos y/o materiales requeridos así como también a la respectiva metodología de ensayo.

Por otro lado, según (Avila, 2017) es de vital importancia emplear la técnica de análisis de aceite usado, para poder determinar el estado de desgaste interno del motor. Así entonces direccionó su publicación especialmente a la evaluación de los metales de desgaste presentes en el fluido lubricante según el kilometraje recorrido, para una flota de camiones conforme a las normativas correspondientes a los diferentes ensayos de laboratorio, para elaborar un plan adecuado de mantenimiento preventivo.

### **Marco teórico**

La importancia de la lubricación en el motor, radica principalmente en la reducción de la fricción de las superficies que se encuentran en movimiento relativo y por ende en contacto entre sí, ya que, disminuyendo la fricción, también se consigue un menor desgaste de las piezas del motor. Además, la lubricación también desempeña otras funciones, como: disminuir el consumo de energía, absorber el calor provocado, proteger contra la corrosión, alargar la vida útil de las piezas del motor y arrastrar los contaminantes generados, el elemento empleado para cumplir estos cometidos se denomina lubricante (Tormos, 2005). (Rivas et al., 2011) afirman que: ‘‘los lubricantes son mezclas en estado sólido, líquido o gaseoso que se emplean entre dos superficies, para disminuir el contacto y la fricción entre sí’’. En lo que refiere a la lubricación del motor para vehículos se emplean lubricantes líquidos o aceites que cuentan con una viscosidad específica, el aceite genera una película protectora entre las superficies; para obstaculizar el contacto de las piezas que se lubrican.

La tribología es la ciencia que examina el contacto de superficies en movimiento relativo, esto es, en contacto mutuo y los fenómenos relacionados. Dentro de la tribología, se abarcan temáticas como: fricción, rugosidad, lubricación, diseño y mantenimiento, etc. (Tormos, 2005).

Por sus siglas en inglés (Sociedad de Ingenieros Automotrices) SAE es una organización internacional que se dedica a la regulación y desarrollo en la industria automotriz, fundada

en 1905, SAE es un ente que establece estándares técnicos y publica información científica. En cuanto a lubricantes para automóviles, SAE dispone una clasificación para indicar la viscosidad adecuada del aceite a utilizar (Plaza, 2023).

De acuerdo a (Sanguinetti, 2020) al momento en el que a un fluido se le ejerce una fuerza o un esfuerzo cortante, dicho fluido genera resistencia al movimiento, mientras se mantiene el esfuerzo, el fluido es propenso a deformarse. Luego de esto fluye y la velocidad incrementa según se intensifica el esfuerzo. La resistencia al flujo relativo en las capas cercanas al fluido constituye una de sus propiedades, concretamente: la viscosidad.

SAE fija un sistema de números que se aplican para indicar la viscosidad del aceite en diferentes temperaturas. La clasificación SAE para la viscosidad de los aceites de motor es una norma que se utiliza a nivel global y es reconocida por toda la industria automotriz. Esta clasificación facilita a los usuarios a seleccionar el lubricante correcto para su vehículo, de acuerdo a las especificaciones estipuladas por el fabricante y las condiciones climáticas en las que se desempeña el automóvil (Plaza, 2023).

(Instituto Americano del Petróleo) API por sus siglas en inglés, es una organización americana que, desde el año 1974, desarrolla ensayos de aceites lubricantes y los certifica por medio de siglas y símbolos que muestran su calidad y el uso para el que está dirigido. API clasifica a los aceites lubricantes en función de su calidad utilizando principalmente dos letras. La primera letra señala si es para motor gasolina o Diésel: S para gasolina y C para Diésel. La segunda letra corresponde al indicador de calidad: empezando por la A y siguiendo sucesivamente con las letras del abecedario. Así mismo, un aceite lubricante para motor que posee el sello de calidad API cumple con la norma actual de protección para motores de gasolina y los requisitos de economía de combustible del Comité Internacional de Normalización y Aprobación de Lubricantes (ILSAC) (Rivas et al., 2011).

Por otra parte, (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) ASTM por sus siglas en inglés, es un organismo internacional que dicta normas técnicas para un amplio segmento de materiales y productos (Cracks, 2023).



En consecuencia, las normativas ASTM respecto al petróleo crudo permiten evaluar propiedades físicas, reológicas, térmicas y químicas de aceites principalmente (ASTM, 2022).

El análisis de aceite como técnica de mantenimiento predictivo es una metodología de diagnóstico en motores de combustión interna alternativos (MCIA) muy utilizada por la información que proporciona. En el testeo de aceites se establecen dos grupos principales de parámetros; los que caracterizan la degradación y los que cuantifican la contaminación, dando como resultado un conglomerado de pruebas y ensayos cuyos resultados, proporcionan un diagnóstico eficaz (Payri González & Desantes Fernández, 2011).

La degradación del aceite disminuye la capacidad del mismo para cumplir sus funciones, dando lugar a la variación de sus propiedades físico – químicas, por lo que el conocimiento de este parámetro resulta de gran relevancia para establecer la vida útil del lubricante y su condición de funcionamiento. Concretamente las características de viscosidad, basicidad (TBN), acidez (TAN), oxidación, nitración y sulfatación son medidas y comparadas con límites condenatorios establecidos por fabricantes de motores o industrias productoras del lubricante.

En referencia a los límites condenatorios, como su nombre lo indica, son valores límites admisibles, para cada propiedad y/o contaminante en específico del lubricante, por lo que cuando son excedidos, se convierten en un indicador claro y efectivo para una solución inmediata, siendo la principal solución la sustitución del fluido lubricante, así como también la identificación del origen de las causas que generaron el desmesurado desgaste y degradación del aceite (Guerrero, 2016).

La contaminación anormal del aceite puede provocarse por fallos en diferentes sistemas del motor como: desproporcionada materia carbonosa generada como resultado de una mala combustión, dilución con combustible ocasionada por fugas en el sistema de inyección, existencia de agua o glicol por defectuosa estanqueidad en el sistema de refrigeración, polvo atmosférico por deficiente filtración en el sistema de admisión, etc.

Otro contaminante de gran relevancia que se puede encontrar presente en el aceite usado, es el agua que se obtiene como resultado de la combustión, ya que los principales productos que

se derivan de una combustión completa son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Es lógico pensar, que cuando el motor está funcionando a una temperatura normal, el agua se conserva en estado de vapor y es enviada a la atmósfera por medio del sistema de escape, pero el vapor de agua presente en los gases de recirculación que fluyen por la válvula (Positive Crankcase Valve) PCV pasan al cárter a una temperatura más fría, lo que puede implicar una condensación en el mismo. El agua en estado líquido puede adherirse a diferentes partes, piezas o mecanismos del motor causando oxidación en los mismos o a su vez mezclarse con el aceite dando como resultado una especie de barro. Por lo general, la parte más fría del motor es la tapa donde se ubican los balancines y es aquí donde también suele condensarse el agua formando el barro anteriormente mencionado (Tormos, 2005).

Es preciso recalcar, que, si el agua proviene del sistema de refrigeración, ésta contiene una proporción de glicol, el cual es un aditivo anticongelante comúnmente empleado en los refrigerantes, mismo que también es un causante de la contaminación del aceite (Tormos, 2005).

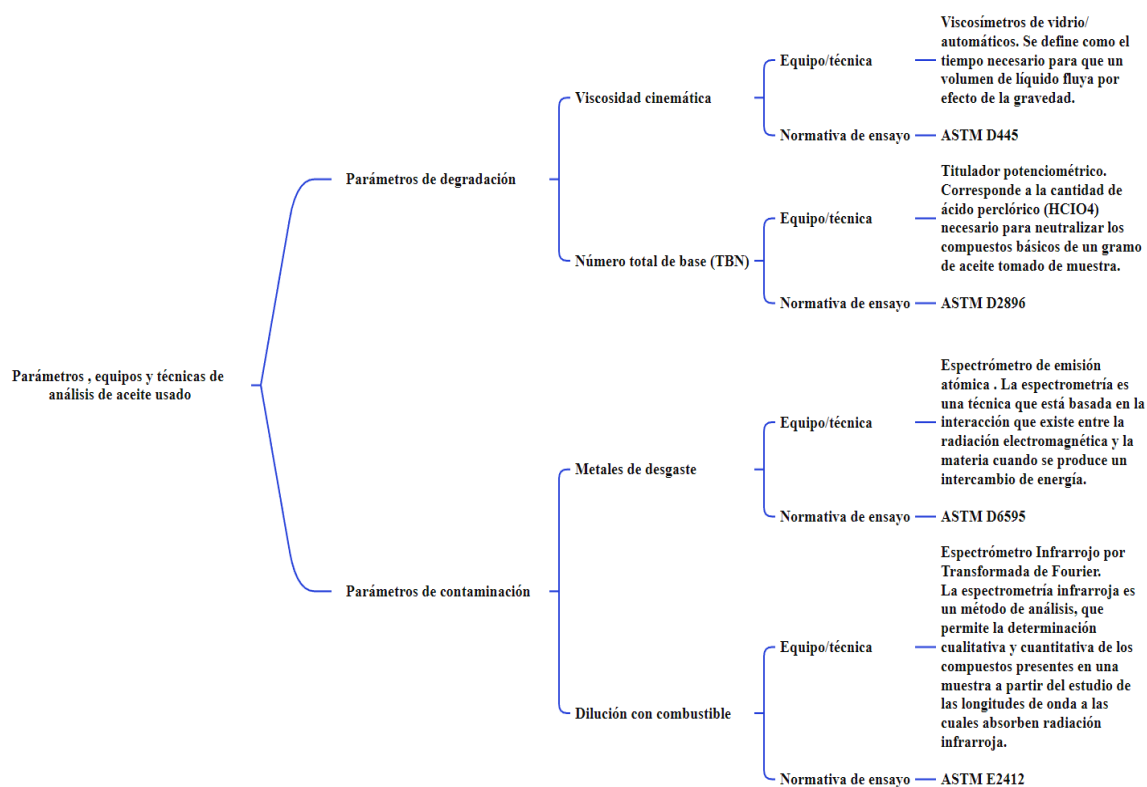
Un aspecto importante a tener en consideración, es que el aire contiene una cantidad significativa de impurezas, cuya composición varía según el ambiente. En el aire, se encuentra el silicio, que después del oxígeno es el elemento más abundante sobre la superficie de la tierra. El silicio no se encuentra de forma natural, sino que combinado con oxígeno da lugar a la formación del sílice ( $\text{SiO}_2$ ), el cual se distingue en forma de: cuarzo, polvo, etc. o combinado con variedad de óxidos metálicos formando los silicatos. Se puede indicar que aproximadamente el 70% de la composición del polvo atmosférico es silicio. Por lo anteriormente mencionado, el silicio es el principal indicador de contaminación externa en el motor. De acuerdo a varios estudios se ha corroborado, que la contaminación del lubricante por silicio (polvo) es la causa más importante de un desgaste excesivo en el motor (Tormos, 2005).

De igual forma, es de gran relevancia identificar la contaminación del aceite con metales de desgaste provenientes de las piezas sometidas a fricción dentro del motor, este tipo de análisis se realizan en laboratorios usando técnicas de alta exactitud, como la espectrometría, la ferrografía o el contaje de partículas, que determinan la cantidad y según se requiera la

morfología de estas partículas de metales de desgaste siendo las de mayor interés las de: hierro, cobre, plomo, estaño, níquel, aluminio, etc.

Aparte de las técnicas de medida indicadas por las normas ASTM para laboratorios, existen otros equipos de medida implementados para su utilización, como viscosímetros de bolas o rampa, la cuantificación del TBN y TAN los cuáles se examinan mediante pruebas químicas en las que se involucra el hidróxido de potasio y finalmente la presencia de agua mediante la utilización de celdas de reacción o ensayos simples como la mancha de aceite. (Payri González & Desantes Fernández, 2011).

En definitiva, el conglomerado de pruebas y análisis de aceite, generan datos cuyo seguimiento periódico permite mantener cada motor bajo control según su estado particular, de la misma manera que con un ensayo de sangre en humanos.



**Figura 1. Cuadro sinóptico pruebas ASTM.**

En la figura 1 se indica un cuadro sinóptico a manera de resumen, que engloba la información de mayor importancia con respecto a los parámetros que cuantifican y determinan la

degradación y contaminación del aceite, a su vez también se especifica los equipos prescritos por las normas ASTM para realizar los ensayos de laboratorio, así como de igual manera una breve descripción de la metodología de ensayo a seguir dictada por cada una de las normas.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Detallar los procesos normalizados para evaluar una muestra de aceite usado.

### **Objetivos específicos**

- 1) Describir la norma ASTM D445 para medir la viscosidad a temperatura normal de funcionamiento del motor.
- 2) Especificar la variación del número total de base (TBN) de acuerdo a la norma ASTM D2896.
- 3) Indicar la concentración de metales producto del desgaste de los componentes internos del motor en base a la norma ASTM D6595.
- 4) Explicar la dilución con combustible del aceite lubricante conforme a la norma ASTM E2412.
- 5) Elaborar una guía de diagnóstico para evaluar una muestra de aceite usado en base a las normas estudiadas.

### **Alcance**

El presente estudio bibliográfico tiene como finalidad indicar y presentar los principales factores que inciden para evaluar una muestra de aceite usado y definir una guía didáctica para comprender la degradación y contaminación del aceite lubricante en motores para vehículos a gasolina, esto a través de las respectivas normas que rigen a los parámetros de análisis. De esta manera, se detalla las normativas vigentes para el caso Ecuador, aplicadas por el laboratorio para análisis de aceite de la empresa “Lubrival S.A” ubicado en la ciudad de Guayaquil, el mismo que cuenta con las certificaciones ISO 9001 e ISO 14001. El estudio se realizó en el periodo comprendido entre los meses de Junio a Noviembre de 2024.

## **Planteamiento de la tesis**

La presente tesis se estructura en cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

El primer capítulo muestra una recopilación bibliográfica sobre la temática de la lubricación en motores de vehículos principalmente a gasolina, abarcando sus fundamentos teóricos y científicos, considerando esencialmente a las propiedades más representativas del aceite lubricante, los tipos de aditivos que se utilizan en los lubricantes, las diferentes categorías de lubricación, los elementos que constituyen un circuito de lubricación, las posibles fallas y averías en el sistema de lubricación, la clasificación de la viscosidad de un lubricante para motor de acuerdo a la norma SAE J300, la técnica del análisis de aceite usado como metodología de diagnóstico, los fenómenos de: oxidación, nitración y sulfatación para finalizar con la temática de la tribología.

En el segundo capítulo se aborda al organismo (Instituto Americano del Petróleo) API el cual es el ente regulador y clasificador de los diferentes usos y calidades del aceite lubricante, para consecuentemente continuar con la descripción y pormenorización de las diferentes normativas (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) ASTM empleadas para realizar el análisis de aceite usado.

En el tercer capítulo se detalla la interpretación técnica del informe de laboratorio para ocho muestras de aceite usado, en las cuales se describe la evaluación de cada una de las propiedades y contaminantes considerados en el análisis, comparando a éstas con sus respectivos límites condenatorios, para consecuentemente establecer conclusiones y emitir un comentario final sobre la calidad del fluido lubricante sometido a ensayo.

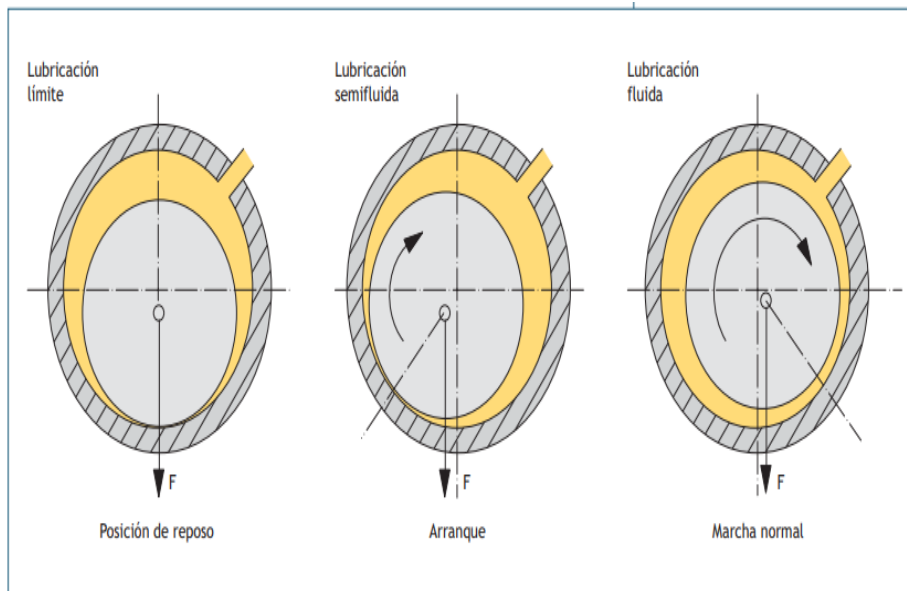
El cuarto capítulo contempla la elaboración de una guía didáctica de comprensión e interpretación de parámetros y límites condenatorios admisibles para cada una de las propiedades y contaminantes que componen un análisis de aceite, esta información se detallará en un tríptico impreso que será el entregable final de la presente investigación bibliográfica.

## Capítulo 1: Lubricación

### Fundamento teórico.

#### 1.1) Lubricación en los motores

De acuerdo a (Rivas et al., 2011) según la película lubricante que se interpone entre las superficies, existen tres procesos de lubricación, las cuales se indican en la figura 2.



**Figura 2. Procesos de lubricación. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

#### 1.1.2) Lubricación límite

Se caracteriza por ser la lubricación más deficiente, se da cuando no existe las condiciones adecuadas para generar presión como consecuencia de la baja velocidad relativa entre las superficies o por características inherentes del lubricante. De esta manera, se producirá rozamiento directo entre las irregularidades de las piezas que se lubrican. Dentro del motor este tipo de lubricación ocurre al iniciar el arranque en frío, precisamente el momento que comienza el movimiento, lo que incrementa los desgastes. Es por este motivo, que es de vital importancia la calidad del lubricante y su respectiva fluidez para lubricar a la mayor brevedad posible todas las piezas y consecuentemente reducir al máximo el desgaste (Rivas et al., 2011).

### **1.1.3) Lubricación semifluida**

Se distingue por ejecutarse al momento de que las superficies se sitúan parcialmente separadas por la película de aceite, considerando que esta es de menor grosor producto de que existe una velocidad menor que en la lubricación fluida, un lubricante de características bajas o un aumento de carga entre las piezas, da lugar a algún ligero contacto entre dichas piezas. Refiriéndose concretamente al caso del motor, se puede afirmar que esta forma de lubricación sucede principalmente también en los arranques, en el transcurso en el cual aún no ha llegado la presión suficiente principalmente a las partes altas del motor. También, acontece en zonas que se lubrican sin presión, tales como; el cilindro, los segmentos, los pistones, etc. Así también se producen desgastes leves (Rivas et al., 2011).

### **1.1.4) Lubricación fluida**

Es considerada como la mejor forma de lubricación y es la más adecuada en todos los casos, dado que la película de aceite es lo suficientemente gruesa para obstaculizar completamente el contacto entre las piezas que se lubrican. Con la finalidad de conseguir esta película, es imprescindible emplear un lubricante adecuado; para alcanzar una presión superior a 2.5 bar se requiere que la bomba de presión gire a una velocidad adecuada (ralentí), mientras que a velocidades angulares altas 6000 revoluciones por minuto (rpm) en motores Otto (gasolina) la presión oscila en valores de alrededor de 6 bar, principalmente controlado mediante la válvula de máxima presión. Con esto se consigue minimizar los desgastes por ejemplo en: los apoyos del cigüeñal, árbol de levas, etc. Únicamente bajo estas condiciones se producen los menores desgastes (Rivas et al., 2011).

## **1.2) Lubricantes**

En lo que refiere a la lubricación del motor para automóviles se emplean lubricantes líquidos o aceites que cuentan con una viscosidad específica, para obstaculizar el contacto de las piezas que se lubrican. Entre los objetivos principales de un lubricante, se pueden destacar los siguientes: reducir la temperatura de las piezas lubricadas, proporcionar una protección química a las superficies contra la oxidación, establecer un correcto sellado entre: pistón, segmentos, cilindro y demás espacios con desgaste, y para concluir la limpieza y arrastre de contaminantes (Rivas et al., 2011).

Un lubricante común está constituido por un aceite base (70 al 85%) y de aditivos (15 al 30%). El aceite base proviene esencialmente del petróleo crudo, que se obtiene mediante un proceso de destilación a presión atmosférica, aumentando la temperatura hasta aproximadamente 350 °C, conforme se incrementa la temperatura en una primera destilación se generan los siguientes compuestos: gases ligeros, gasolinas, gasóleos, así como también un residuo atmosférico, el cual puede ser utilizado nuevamente en una segunda destilación, en vacío, con el propósito de no elevar excesivamente la temperatura para no variar el producto. En consecuencia, de la segunda destilación se obtienen gasóleo de vacío y tres tipos aceite base: pesado, medio y ligero, estos tres destilados son refinados y con estos se consigue finalmente el aceite base, al cual posteriormente se le agregan un conjunto de aditivos para formar el lubricante.

En base a lo anteriormente mencionado, los lubricantes pueden ser:


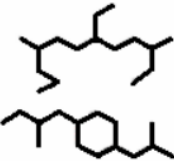
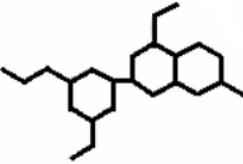
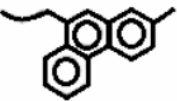
**1.2.1) Minerales:** corresponden a aceites básicos que se producen a través de destilación al vacío del petróleo crudo (Villafuerte, 2020). Los aceites están constituidos por variadas clases de hidrocarburos, mismos que cuentan con distintas estructuras químicas y de acuerdo a esto, se clasifican en aceites parafínicos, nafténicos y aromáticos (Guerrero, 2016).

- **Parafínicos:** se establecen en base a enlaces de átomos de carbón, ofrecen buena resistencia contra el calor y la oxidación. Poseen un alto índice de viscosidad, pero funcionan inadecuadamente en bajas temperaturas (Villafuerte, 2020).
- **Nafténicos:** son conformados por enlaces cerrados de átomos de carbón, se caracterizan por ser menos consistentes que los parafínicos, ya que la viscosidad es más susceptible a variar en función de la temperatura (Villafuerte, 2020).
- **Aromáticos:** están dotados de una baja cantidad de hidrógeno, pero destacan por ser útiles como solventes y recubridores. Se asocian a deficientes propiedades de viscosidad (Villafuerte, 2020).

En la tabla 1 se muestra un cuadro expositivo de lo anteriormente mencionado.



**Tabla 1. Clases de hidrocarburos en el aceite lubricante. Fuente:** (Guerrero, 2016).

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.

**1.2.2) Sintéticos:** también provienen del petróleo por síntesis para conseguir un lubricante de alta precisión, con características seleccionadas por medio de procesos fisicoquímicos específicos. Generalmente tienen un costo elevado. Los lubricantes sintéticos se distinguen principalmente por; ser más fluidos a bajas temperaturas lo que reduce el consumo de combustible, poseer un mayor índice de viscosidad y brindar una protección superior contra el desgaste (Rivas et al., 2011).

**1.2.3) Semisintéticos:** este tipo de lubricante está constituido en su mayoría por una gran proporción de aceite mineral y una reducida proporción de aceite sintético. Así mismo, se consigue reducir el precio en comparación a los sintéticos y mejorar la protección, además reducir el consumo de combustible (Rivas et al., 2011).

En la actualidad (Sociedad de Ingenieros Automotrices) SAE prescribe en su norma J357 las características físicas y químicas, al igual que las propiedades específicas que deben cumplir los lubricantes obtenidos por síntesis química (Tormos, 2005).

### **1.3) Propiedades de los lubricantes**

En este fragmento, se indican las principales propiedades que componen a los lubricantes para motor.

#### **1.3.1) Viscosidad**

De acuerdo a (Rivas et al., 2011) la viscosidad se define como: “la resistencia que presentan las moléculas de un fluido al movimiento, por lo que mientras más viscoso es un líquido mayor dificultad tiene al momento de fluir”.

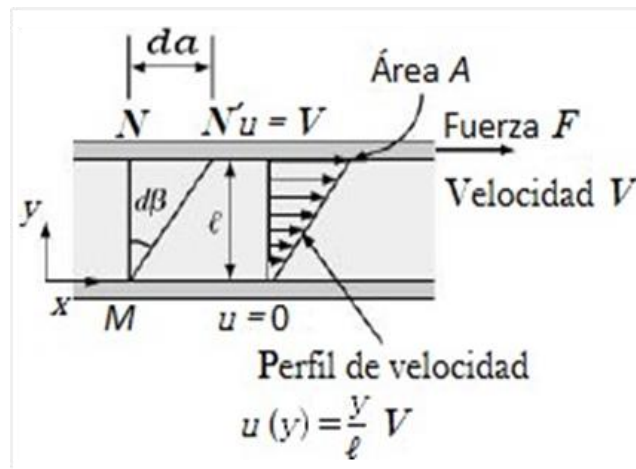
##### **1.3.1.1) Viscosidad dinámica o absoluta**

La viscosidad dinámica o absoluta se clasifica como la fuerza requerida para contrarrestar la resistencia a la fricción de un fluido, al mover sobre éste una placa a velocidad constante por acción de una fuerza externa, mientras que, otra placa permanece en reposo, es decir estática, interponiéndose entre ellas una distancia con el mencionado fluido. El aceite en cuestión se une a las dos placas por igual; el fluido que está en contacto con la placa móvil se desplaza a la misma velocidad que ésta y el que está en contacto con la placa estática permanece a su vez, en reposo. Las variaciones de velocidad al interior del aceite provocan rozamientos los cuales están relacionados con la viscosidad (Rivas et al., 2011).

En cuanto a las unidades de medida de esta magnitud, se especifican las siguientes; en el Sistema Internacional es el **pascal segundo (Pa · s)**, un submúltiplo es el **milipascal segundo (mPa · s)**, mientras que en el Sistema Cegesimal es el **poise (P)**, siendo el submúltiplo más utilizado el **centipoise (cP)**.

Para obtener una relación que indique la viscosidad dinámica, se disponen dos placas paralelas recubiertas por un fluido como indica la figura 3, las mismas que están separadas por una distancia; así entonces a la placa superior se le aplica una fuerza externa denominada “F”, mientras que la placa inferior se mantiene estática. Por tal razón, se generará que la

placa superior se mueva, venciendo la resistencia al corte de la película interpuesta, esto se aplica únicamente para fluidos newtonianos (Guerrero, 2016).



**Figura 3. Comportamiento de un fluido situado entre dos placas. Fuente:** (White, 2004).

Al considerar a la velocidad constante  $V$  como resultado del esfuerzo  $F$ ; el fluido más próximo a la placa superior se moverá a la misma velocidad que esta placa, mientras que el esfuerzo cortante  $\tau$  que actúa sobre la película del fluido adherida a la placa superior y que tiene un área de contacto  $A$ , está dado por:

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

La placa inferior que se mantiene en reposo indicada en la figura 3, ocasiona que el fluido en contacto con ésta tenga una velocidad correspondiente a cero, para flujo laminar estacionario, el gradiente y el perfil de velocidad cambian de manera lineal para las velocidades 0 y  $V$ , por lo que:

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

Para un diferencial establecido de tiempo  $dt$ , la placa superior se traslada un diferencial de distancia  $da$  igual a  $V dt$ , caracterizando un diferencial de ángulo  $d\beta$ ; la deformación por esfuerzo cortante o desplazamiento está en función de:

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

Rescribiendo términos de la ecuación anterior referentes al cociente de la deformación y al gradiente de velocidad, como resultado del esfuerzo cortante se establece:

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

Considerando a la expresión anterior se puede afirmar que el cociente de deformación corresponde al gradiente de velocidad ( $du/dy$ ) (Çengel & Cimbala, 2006).

De la misma manera, es posible verificar de manera experimental que, para un gran conjunto de fluidos, el cociente de deformación (y, en consecuencia, el gradiente de velocidad) es directamente proporcional al esfuerzo cortante  $\tau$ .

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

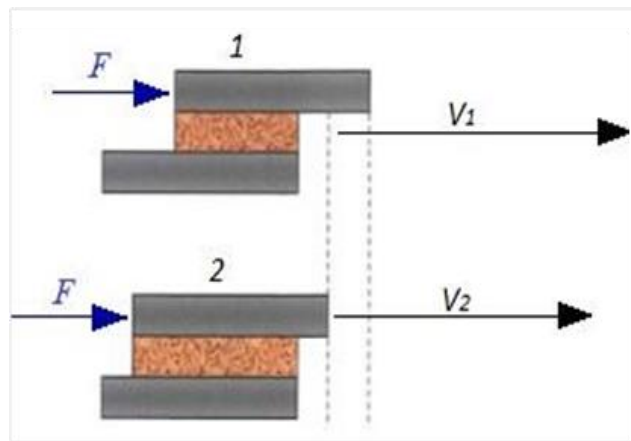
Los fluidos en los que el cociente de deformación es proporcional al esfuerzo cortante se llaman **fluidos newtonianos** teniendo en cuenta al físico y matemático inglés Isaac Newton. Generalmente, los fluidos comunes, tales como el agua, el aire, la gasolina y los aceites son considerados newtonianos. Al contrario, fluidos como la sangre y los plásticos líquidos se categorizan como fluidos no-newtonianos.

Considerando el flujo tangencial unidimensional para fluidos newtonianos, el esfuerzo cortante se representa de la siguiente manera:

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

En esta expresión, la constante de proporcionalidad  $\mu$  se define como el **coeficiente de viscosidad o viscosidad dinámica (absoluta)** del fluido (Çengel & Cimbala, 2006).

En la figura 4 se puede apreciar la comparación de aceites con diferentes viscosidades dinámicas, para esto se dispone de dos placas en movimiento colocadas encima de otras dos que permanecen estáticas, para el caso de las dos placas móviles se aplica la misma fuerza  $F$ , de tal manera se obtiene una velocidad  $V_1$  y una velocidad  $V_2$ ; la figura también demuestra que  $V_1$  es mayor a  $V_2$  esto se debe principalmente a que en el primer ejemplo el aceite es de menor viscosidad.



**Figura 4. Comparación de aceites con distinta viscosidad. Fuente:** (Guerrero, 2016).

La viscosidad dinámica decreta la velocidad de deformación del líquido cuando este se somete a un esfuerzo cortante, en síntesis, la viscosidad dinámica señala la resistencia que proporcionan los fluidos al movimiento interno de sus partículas cuando están bajo la acción de un esfuerzo.

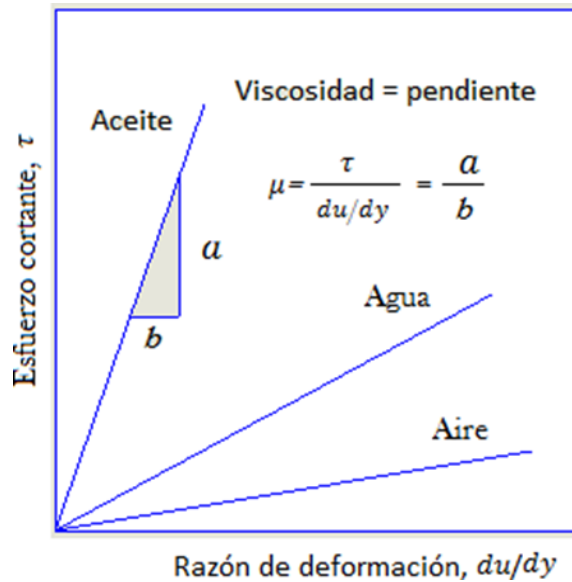
En la figura 5 se aprecia un diagrama del esfuerzo cortante en relación al gradiente de velocidad o del cociente de deformación, para los **fluidos newtonianos** este esquema corresponde a una recta la cual simboliza su pendiente como la viscosidad del fluido.

En caso de ser necesario calcular el esfuerzo cortante que actúa sobre un margen de un fluido newtoniano se plantea que:

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

En concordancia con la figura 3 también es preciso mencionar que el valor de la fuerza requerido para desplazar la placa superior a una velocidad constante  $V$ , es:

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

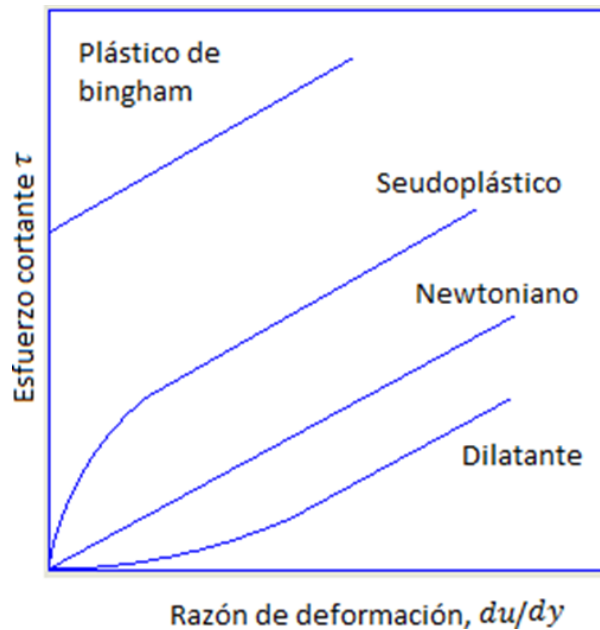


**Figura 5. Razón de deformación de un fluido newtoniano. Fuente:** (White, 2004).

Con la finalidad de fijar la viscosidad dinámica  $\mu$  es necesario hacer uso de la fórmula 1.8, de igual manera será necesario definir el valor de la fuerza cortante ( $F$ ), el área de la placa ( $A$ ), la velocidad ( $V$ ) y la distancia entre las placas ( $\ell$ ).

En cuanto a **fluidos no-newtonianos**, es claro que no existe una relación lineal entre la velocidad de deformación o el cociente de deformación y el esfuerzo cortante, esto se puede apreciar en el gráfico de la figura 6, la pendiente de estas curvas es conocida como viscosidad aparente.

Los fluidos en los cuales la viscosidad aparente aumenta con la velocidad de deformación se clasifican como fluidos dilatantes, mientras que en los que se mantiene un comportamiento contrario se denominan fluidos seudoplásticos o adelgazantes. Los fluidos plásticos de Bingham conservan un comportamiento lineal entre el esfuerzo cortante y el cociente de deformación después de lograr un valor determinado de esfuerzo cortante.



**Figura 6. Modificación del esfuerzo cortante. Fuente:** (White, 2004).

### 1.3.1.2) Viscosidad cinemática o relativa

Al referirse a la viscosidad cinemática o relativa se hace mención a la resistencia que provoca un fluido cuando este debe fluir por acción de la fuerza de la gravedad. Se considera a este tipo de viscosidad como la más empleada comercialmente. A su vez, se define como el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido. Sus unidades de medida en el Sistema Internacional es el **metro cuadrado segundo (m<sup>2</sup>/s)**, un submúltiplo comúnmente empleado es el **milímetro cuadrado segundo (mm<sup>2</sup>/s)** y para el Sistema Cegesimal es el **stoke (St)**, siendo el submúltiplo correspondiente el **centistoke (cSt)** (Rivas et al., 2011).

la viscosidad absoluta o dinámica ( $\mu$ ) se puede obtener a partir de la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) y la densidad del fluido ( $\rho$ ), en conformidad con la relación:

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

### 1.3.2) Índice de viscosidad

El índice de viscosidad (VI) determina la variación de la viscosidad en función de la temperatura. Es un factor determinante a tener en consideración en cuanto a la viscosidad: ya

que mientras mayor es el VI más distantes estarán los dos grados de un aceite multigrado y menor será la influencia de la temperatura en la viscosidad. Por ejemplo, un lubricante 15W40 tiene menor índice de viscosidad que un lubricante 5W50. (Rivas et al., 2011).

### **1.3.3) Densidad**

Por densidad se entiende a la masa que contiene el aceite por cada unidad de volumen (Rivas et al., 2011).

### **1.3.4) Untuosidad**

La untuosidad corresponde a la propiedad que poseen los lubricantes para adherirse firmemente a las piezas que se lubrican (Rivas et al., 2011).

### **1.3.5) Acidez**

El potencial hidrógeno o también denominado como pH de una disolución corresponde a la concentración de iones de hidrógeno que posee la misma, de tal manera, se concluye que a mayor número de hidrógenos mayor acidez y viceversa. Para clasificar al pH, esta magnitud se expresa en valores de 0 a 14 para disolución acuosa, estableciendo las disoluciones con número menor de como 7 ácidas, para número mayor de 7, como alcalinas o básicas y las equivalentes a 7 indican que el pH es neutro en la disolución, entendiéndose de esta forma un equilibrio entre ácido y base (Rivas et al., 2011).

El azufre contenido en los combustibles, pero de menor manera presente en la gasolina, mezclado con oxígeno y agua dan como resultado el ácido sulfúrico, el cual es potencialmente corrosivo y provoca desgaste. En síntesis, el Número Total de Base (TBN) denota la reserva alcalina del aceite para neutralizar los ácidos que resultan en la combustión.

El TBN se reporta en miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que hay en un gramo de lubricante para motor (mgKOH/gr) (Martins, 2024).

### **1.3.6) Punto de inflamación**

Es una característica que se basa en la temperatura a la que el aceite emite vapores inflamables al producirse contacto con una llama, generalmente esta temperatura oscila por encima de los 200 °C (Rivas et al., 2011).



### **1.3.7) Punto de congelación**

Es un indicador que demuestra la temperatura más baja a la cual una muestra de aceite puede fluir al enfriarse progresivamente, depende principalmente de la viscosidad, por lo que, a mayor viscosidad más fácil es la congelación (Rivas et al., 2011).

### **1.3.8) Volatilidad**

Se define a la volatilidad como el porcentaje de sustancia que, en ciertas condiciones preestablecidas de temperatura, se termina evaporando. Una volatilidad elevada origina alta evaporación, contribuyendo con ello a la modificación de las propiedades físicas del aceite, lo que es contraproducente (Quintana & Silva, 2021).

### **1.3.9) Detergencia**

Se describe a la detergencia como la capacidad de un aceite para evitar la formación de barnices y carbonilla en el transcurso del funcionamiento del motor (Rivas et al., 2011).

### **1.3.10) Dispersión**

La dispersión hace mención a la funcionalidad que posee el aceite para transportar las partículas que ha limpiado gracias a la detergencia, impidiendo de esta manera que se acumulen y ocasionen una obstrucción del circuito de lubricación (Rivas et al., 2011).

### **1.3.11) Capacidad antiespumante**

Corresponde simplemente a la capacidad del aceite lubricante para evitar la formación y acumulación de espumas (Rivas et al., 2011).

## **1.4) Aditivos**

De acuerdo a (Rivas et al., 2011) se denominan aditivos a: “los compuestos químicos que se agregan al aceite base para mejorar sus características y lograr una calidad determinada”.

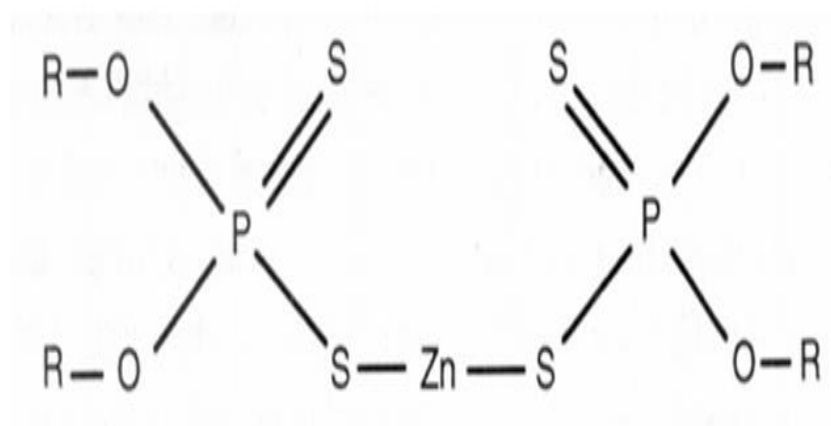
A continuación, se presentan algunos tipos de aditivos principales:

### 1.4.1) Aditivos antidesgaste

Este tipo de aditivo se emplea principalmente para obstaculizar el contacto de las piezas interponiendo una capa lubricante adicional que impide que disminuya el espesor de la película de aceite.

Los aditivos de zinc se presentan como un compuesto organometálico que contiene zinc, azufre y fósforo. Actualmente el dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP) es el aditivo antidesgaste mayormente utilizado en los aceites lubricantes para motor. Este aditivo está catalogado como una sustancia polar, el término polar hace referencia a que la sustancia puede proporcionar una atracción magnética natural hacia otros compuestos que sean igualmente polares o materiales como el hierro y otros elementos que constituyen la metalurgia de las piezas del motor. Este tipo de atracción magnética, permite que el aditivo se adhiera a las superficies metálicas brindando una capa adicional de protección particularmente en las zonas donde la película lubricante es fina debido a las condiciones de funcionamiento (Noria, 2023).

En la figura 7 se indica la estructura química del aditivo ZDDP.



**Figura 7. Estructura del aditivo ZDDP. Fuente: (Tormos, 2005).**

### 1.4.2) Aditivos antioxidantes del aceite

Su función principal radica en prevenir la oxidación del aceite con el oxígeno del aire y con los gases producto de la combustión.

El ZDDP también está empleado para poder evitar la oxidación del aceite, los aditivos conformados a partir de zinc están proyectados para mitigar el proceso natural de oxidación del aceite y así dotar al lubricante de una vida útil más prolongada (Noria, 2023).

Los ditiofosfatos aplicados como compuestos anti- desgaste son considerados también como adecuados aditivos antioxidantes, estos se constituyen a partir del grupo de elementos químicos tales como: fenoles remplazados por aminas aromáticas (Vimos Patajalo & Coro Medina, 2021).

#### **1.4.3) Aditivos anticorrosivos**

De acuerdo a como su mismo nombre lo indica, este tipo de aditivos se utilizan fundamentalmente para neutralizar los ácidos y contrarrestar la corrosión como resultado de la condensación, residuos de la combustión etc. Por otro lado, también se puede afirmar que mientras más aditivos anticorrosivos tenga el aceite, también aumentará el TBN.

Los principales aditivos anticorrosivos utilizados en la actualidad son: sulfonatos alcalinos o alcalino-terrosos, neutros o básicos (sales de sodio, magnesio y calcio), de ácidos o de aminas grasas, de ácidos alqueniilsuccínicos y derivados (Vimos Patajalo & Coro Medina, 2021).

#### **1.4.4) Aditivos detergentes**

Estos aditivos se destinan para limpiar los residuos, tales como los de materia carbonosa (hollín) albergados en el circuito de lubricación, removiendo y disolviendo las impurezas en pistones, segmentos, etc. Este aditivo impide que las partículas se adhieran a las piezas metálicas, conservándolas limpias.

Los compuestos químicos mayormente empleados en la actualidad como aditivos detergentes son sales metálicas de: calcio, magnesio o sulfonato de sodio que corresponden al grupo de elementos químicos abarcados por: alquilaril - sulfanato, alquifenato, alquilosalicilato. (Widman, 2018).

#### **1.4.5) Aditivos dispersantes**

Su función principal es la reducción de la formación de lodo. Comúnmente los lodos son generados a causa de la descomposición del aceite que se forman a regímenes y temperaturas bajas del motor, almacenándose en el cárter.

Se considera también a las sales metálicas de calcio, magnesio o sulfonato de sodio, como los principales aditivos dispersantes empleados en los lubricantes actuales para motores que comúnmente están elaborados por compuestos correspondientes a las alquenilsuccínioamidas, provenientes de los ésteres succínicos o de sus derivados (Widman, 2018).

### **1.5) Categorías de lubricación**

Es de vital importancia que todas las piezas móviles del motor reciban lubricación, pero por las particularidades propias de cada una de ellas, es preciso mencionar que existen diferentes categorías de lubricación, siendo las principales: lubricación directa a través del combustible, lubricación por barboteo (paletas) y lubricación forzada por presión, siendo esta última categoría la más actual y utilizada en la mayoría de motores modernos (Rivas et al., 2011).

#### **1.5.1) Lubricación forzada por presión**

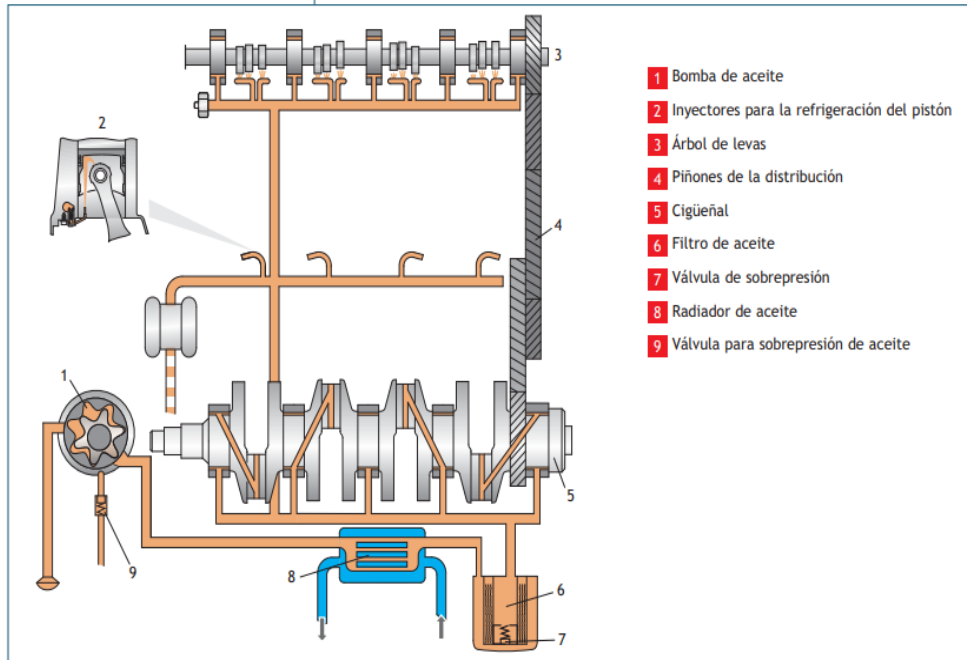
En los motores modernos es de vital importancia contar con una lubricación apropiada de las partes que están mayormente sometidas a esfuerzos y desgaste continuo, como consecuencia de las complejas condiciones de operación y funcionamiento a las que están sometidas (Rivas et al., 2011).

Para lograr dicha lubricación, es necesario el accionamiento de una bomba, que es impulsada directamente por el cigüeñal, la misma que tiene como propósito crear presión y caudal suficiente para hacer circular el lubricante a través de conductos a todas las secciones del motor.

Esta lubricación se subdivide de acuerdo a:

- Cárter húmedo. Actual y moderna.
- Cárter seco. Requerida en motocicletas y vehículos de competencia.

### 1.5.2) Lubricación forzada por cárter húmedo.



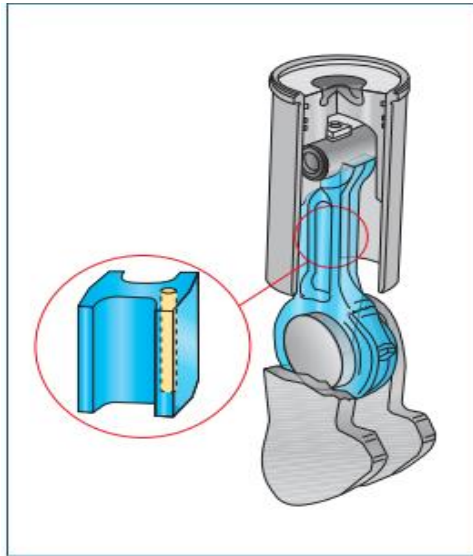
**Figura 8. Circuito de lubricación para vehículo. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

En la figura 8 se identifican a los componentes esenciales que conforman al circuito de lubricación para vehículos, dicho circuito se constituye principalmente por un elemento motriz, que es precisamente una bomba que envía el lubricante a presión a todo el circuito. El motor cuenta con un depósito incorporado en la parte baja del mismo, el cual se denomina cárter, donde se almacena el lubricante (Rivas et al., 2011).

Es justamente en el interior del cárter donde se encuentra sumergida la bomba, este elemento absorbe previamente el lubricante a través de una rejilla o prefiltro, que se aplica para evitar captar impurezas grandes y de esta manera enviarlo a presión al filtro. Por otro lado, la bomba de aceite está dotada de una válvula de regulación para controlar su presión máxima.

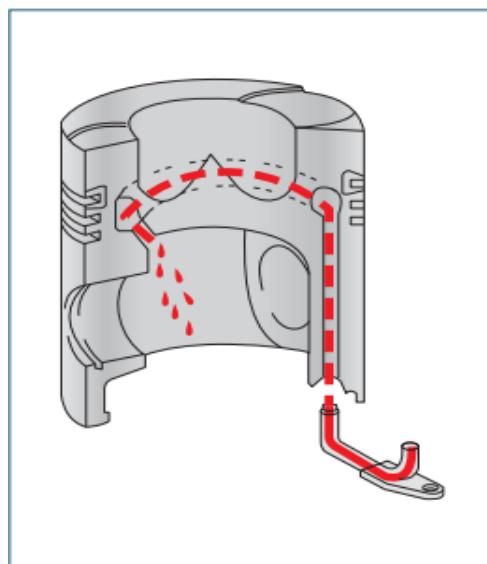
En lo que refiere al filtro de aceite, como su nombre lo indica este elemento se encarga de filtrar y contener las impurezas adheridas en el lubricante, para después pasar a los conductos y canalizaciones principales de lubricación donde el lubricante se reparte a varios puntos que conducen el aceite a presión, iniciando primordialmente en las muñequillas de bancada; luego por medio de agujeros interiores en el cigüeñal el lubricante llega a la zona donde se sitúan las muñequillas de biela y desde este punto mediante otro conducto puede ir hasta el bulón,

que se instala dentro del pistón como se indica en la figura 9. Otro aspecto importante de énfasis es que, la parte baja de la cabeza del pistón y los cilindros también se lubrican directamente gracias a la colocación de unos inyectores para este cometido, sobre todo en motores Diésel (Rivas et al., 2011).



**Figura 9. Conducto de aceite al bulón. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

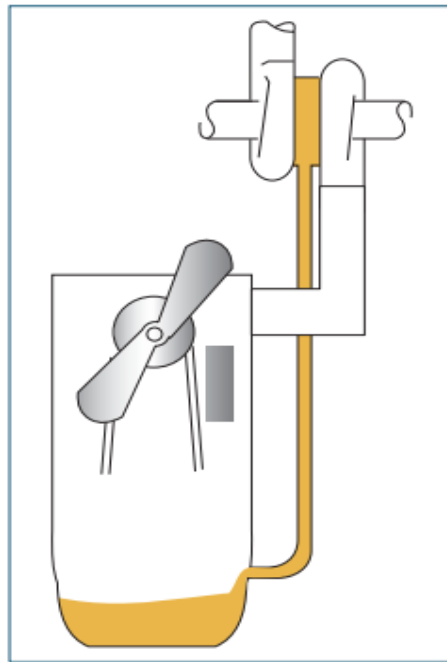
De la misma manera, ciertos pistones cuentan con un canal interior en la cabeza del pistón por donde ingresa lubricante para refrigeración, según se aprecia en la figura 10.



**Figura 10. Canal de refrigeración del pistón. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

Finalmente, el aceite también es enviado a la culata, dentro la cual lubrica principalmente los apoyos del árbol de levas y naturalmente también a las levas.

Del mismo modo, en los motores que cuentan con sistema de sobrealimentación, también se dispone de un conducto que transporta lubricante al eje del turbocompresor para lubricar y refrigerar dicho eje, una vez que esto sucede, el aceite es devuelto al cárter por el efecto de la fuerza de la gravedad, como se observa en la figura 11.



**Figura 11. Conducto de aceite al turbocompresor. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

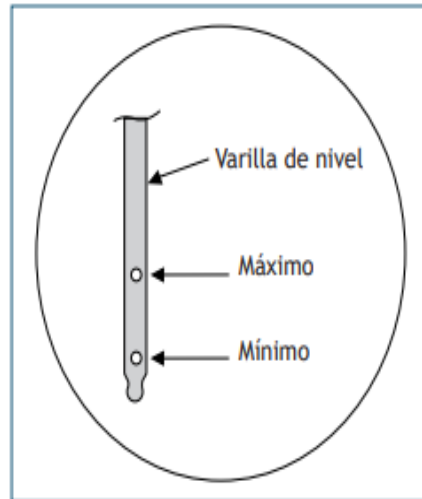
## 1.6) Elementos de un circuito de lubricación

En este apartado se detallan los principales componentes que integran un sistema de lubricación.

### 1.6.1) Cárter

El cárter es un depósito situado en la parte inferior del motor, dentro del cual se almacena el líquido lubricante. El material generalmente utilizado para la fabricación del cárter es el aluminio, por su cualidad para refrigerar y evacuar el calor con facilidad. Por otra parte, el cárter tiene incorporado un tapón, el cual tiene como propósito permitir el vaciado del aceite, al momento de la sustitución del fluido lubricante. Además, la cantidad de aceite existente en

el cárter, se puede medir por medio del uso de una varilla, que se observa en la figura 12, la cual cuenta con señalizaciones que indican los niveles mínimo y máximo respectivamente (Rivas et al., 2011).



**Figura 12. Varilla para nivel de aceite. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

### **1.6.2) Bomba de aceite**

Como se indicó anteriormente, la bomba de aceite es el elemento encargado de suministrar el aceite en todo el circuito de lubricación con la suficiente presión y caudal, tiene incorporado un conducto que va directamente introducido en el cárter, para absorber el aceite. Su accionamiento puede ser a través del mismo cigüeñal por medio de una cadena o banda o a su vez por un conjunto de engranes, así mismo, también se puede emplear al árbol de levas para su funcionamiento a través de una varilla que es solidaria a un piñón (Rivas et al., 2011). Para los lubricantes de motor se usan básicamente dos tipos bombas:

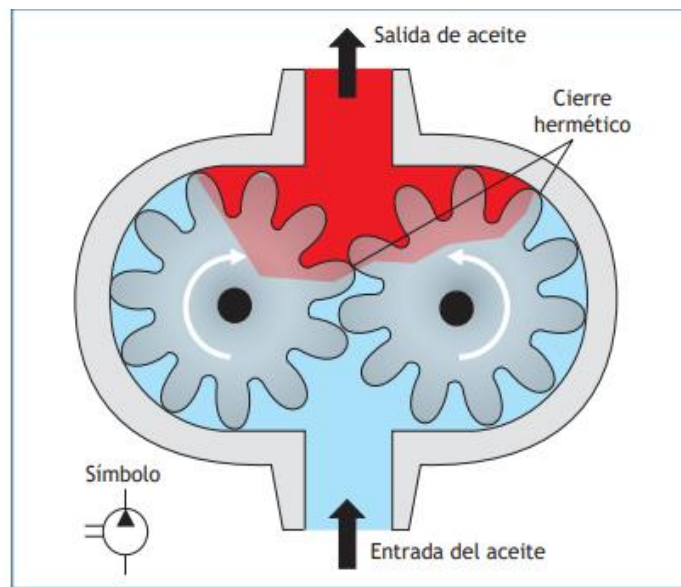
- Bomba de engranes
- Bomba de rotor

### **1.6.3) Bomba de engranes**

Este modelo de bomba está compuesto por dos engranes que rotan en el interior de una carcasa, para lo cual las dimensiones son precisas y se ajustan a los diámetros y contornos exteriores de los engranajes, además forman dos cámaras; por un lado, la de admisión por



donde ingresa el aceite y por otro lado la de escape, por donde el aceite es expulsado a presión, como se muestra en la figura 13.



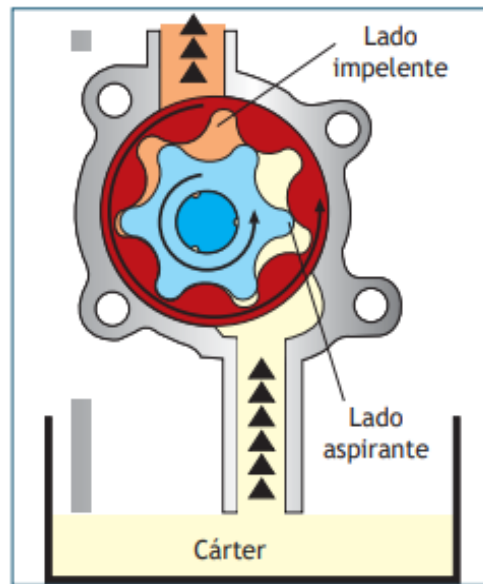
**Figura 13. Bomba de engranajes. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

En cuanto al funcionamiento de la bomba de engranajes, se especifica que cuando uno de los engranajes es directamente accionado por medio de su eje a través del cigüeñal o el árbol de levas, esto provoca la rotación en sentido contrario al segundo engranaje que se mueve sobre su propio eje. Cuando los dos engranajes están en movimiento, en la cámara de admisión por donde entra el aceite proveniente del cárter se crea una depresión ya que el aceite es enviado desde ahí, entre los dientes exteriores de los engranajes y la carcasa, a la cámara de escape donde se acumula el aceite e incrementa su presión para llegar finalmente al filtro.

En conclusión, este modelo de bomba destaca principalmente por lograr una baja presión de aceite en bajas revoluciones del motor, por lo que en la actualidad ya no es tan utilizada en motores sofisticados (Rivas et al., 2011).

#### **1.6.4) Bomba de rotor**

También denominada como bomba de lóbulos, es un tipo de bomba que como se aprecia en la figura 14, está conformada a base de un rotor movido a través de una varilla que hace rotar un anillo circular en la parte exterior y con lóbulos en el interior. Es preciso aclarar que, el anillo contiene un lóbulo más que los dientes que posee el rotor.



**Figura 14. Bomba de rotor. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

Como resultado de la diferente posición de rotación a la que se localizan los ejes para el rotor y el anillo, cuando ambos se encuentran girando esto provoca un incremento del espacio en el lado aspirante, por donde ingresa el aceite del cárter; y de esta manera por el lado impelente se reduce el volumen con lo cual se aumenta la presión del aceite previo a ser enviado al filtro.

De igual manera, en ciertos motores la bomba va localizada junto con la estructura del cigüeñal y de este modo el rotor funciona directamente gracias a la utilización de una chaveta para transmitir el movimiento al rotor, lo cual proporciona la ventaja de prescindir de piezas como ejes, engranajes, cadenas, etc., disminuyendo el peso y los rozamientos.

Finalmente, la bomba de rotor es la más empleada actualmente por la elevada presión de trabajo que puede suministrar, aunque es propensa a acumular mayor cantidad de suciedad, por lo que el filtrado en esta bomba debe ser mejor y diferente que en otro tipo de bombas (Rivas et al., 2011).

### **1.6.5) Filtro de aceite**

El aceite lubricante para motor acumula residuos e impurezas principalmente provocadas por; la degradación causada por aumentos de temperatura, cizallamiento, etc., residuos

propios de la combustión, así como también partículas metálicas expulsadas desde el interior del motor como consecuencia de rozamientos (Rivas et al., 2011).

Los residuos y partículas se almacenan y adhieren directamente en el lubricante, provocando una reducción de la eficiencia del mismo y ocasionando desgaste en la bomba de aceite y en el motor.

Para contrarrestar los efectos adversos anteriormente mencionados, se requiere un filtro de aceite, el cual se encarga de limpiar y purificar cualquier residuo o sustancia anómala contenida en el lubricante, extendiendo en definitiva el periodo útil de este y, por consiguiente, también la capacidad operativa de la bomba aceite y del propio motor. De la misma manera, el filtro de aceite requiere ser sustituido periódicamente de acuerdo a intervalos de kilometraje, esto con la finalidad de remover completamente las impurezas filtradas que pudieran quedarse albergadas al interior del filtro (Rivas et al., 2011).

En cuanto al elemento filtrante su constitución es básicamente por un papel microporoso el cual es enrollado en forma circular para garantizar el filtrado óptimo durante su funcionamiento. En relación a los poros del papel estos son de 1 a 5 micras ( $\mu\text{m}$ ), según el tipo de motor en el cual se utilizan.

#### **Principalmente se identifican dos tipos de filtros:**

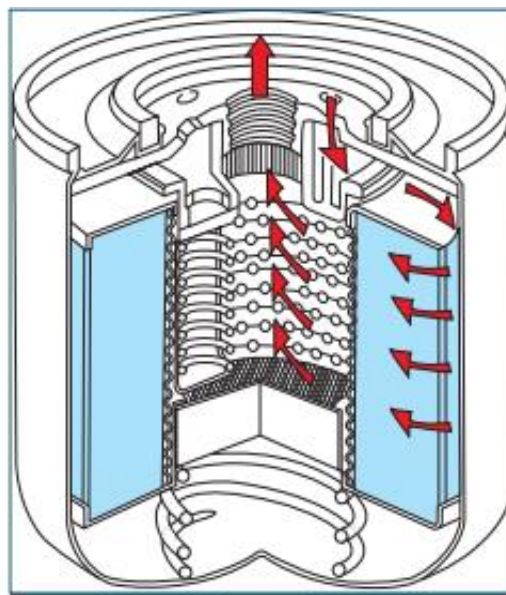
- **Filtros blindados.**
- **Filtros de cartucho.**

#### **1.6.6) Filtro blindado**

El filtro de tipo blindado está conformado primordialmente de papel filtrante, una rosca de acoplamiento y sujeción al exterior del bloque motor o al elemento de unión según corresponda y finalmente una carcasa exterior metálica que rodea y cubre al elemento filtrante. Con la finalidad de evitar fugas de aceite, este tipo de filtro está equipado con una junta plana que se interpone entre el filtro y bloque. Por otro lado, en cuanto al flujo de aceite dentro del filtro se puede traer a colación que, el aceite ingresa por orificios localizados en el exterior de la superficie de acoplamiento al motor y fluye directamente a través del papel filtrante, saliendo expulsado el lubricante filtrado por la parte central del filtro como se

aprecia en la figura 15. El filtro blindado es el comúnmente más empleado en vehículos modernos (Rivas et al., 2011).

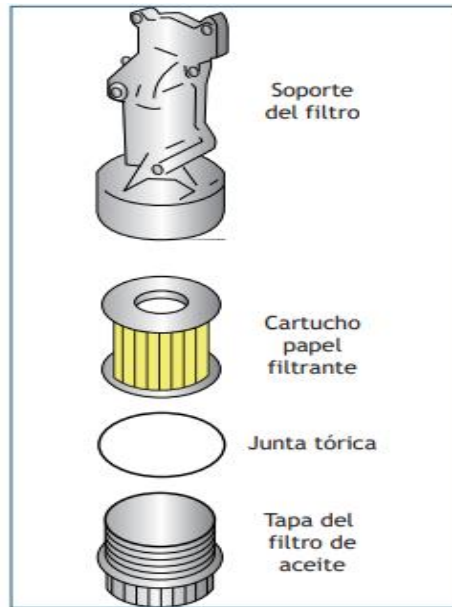
Una particularidad trascendental de este tipo de filtro, es que en su interior contiene una válvula de seguridad o también denominada válvula ‘‘ by-pass’’, esta válvula que se ubica en la parte inferior del filtro , cumple la misión de permitir el suministro de aceite aunque el filtro se encuentre totalmente obstruido, dado que una falta de aceite que lubrique a las piezas móviles del motor puede ocasionar daños graves, además un aceite sucio y sin filtrar es preferible y mejor a no tener lubricación alguna (Castrol, 2023).



**Figura 15. Filtro de aceite blindado. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

#### **1.6.7) Filtro de cartucho**

Acercas del filtro de cartucho, que se muestra en la figura 16, se puede enunciar que este tipo de filtro se compone como su nombre lo indica, por un cartucho que abarca al papel filtrante, ubicando así a la válvula de seguridad y el soporte del filtro fijos al motor, respecto al soporte del filtro este por lo general tiene una tapa roscada con una junta tórica que permite la correcta estanqueidad entre piezas y que al momento de retirarla posibilita la extracción del cartucho para su correspondiente reemplazo (Rivas et al., 2011).



**Figura 16. Filtro de cartucho. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

### 1.7) Averías en el sistema de lubricación

Al momento de especificar sobre el mantenimiento que se debe realizar en el circuito de lubricación, esta práctica se centra en el remplazo del aceite y del filtro, dicha labor de mantenimiento se realiza periódicamente de acuerdo a un determinado kilometraje recorrido por el vehículo o en base de las horas de funcionamiento en el caso de excavadoras o motores estacionarios etc. Cuando el mantenimiento del sistema de lubricación simplemente no se realiza o se realiza incorrectamente, pueden provocarse múltiples averías (Rivas et al., 2011).

Siendo las principales y más destacadas:

- **Fugas de aceite hacia el exterior:** puede ser causada por falta de estanqueidad en el circuito de lubricación por medio de alguna junta, racor, retén, etc.
- **Fugas de aceite a otros circuitos:**
  - **Al circuito de refrigeración:** esto es principalmente ocasionado por una junta de culata en mal estado o su vez también por un recalentamiento excesivo del motor, lo que provoca que el aceite se filtre a través de los conductos de refrigeración mezclándose con el refrigerante y produciendo un solo fluido.
  - **A la cámara de combustión:** el aceite ingresa directamente al cilindro y se quema junto con la mezcla aire – combustible, produciendo la reducción del volumen de

aceite y humo contaminante de color azul en el sistema de escape. Esta avería se relaciona directamente con problemas con la junta de culata, desgaste en segmentos y cilindros, sellos de válvula deteriorados, etc. Esta avería comúnmente es denominada “consumo de aceite”.

- **Baja presión de aceite:** una insuficiente presión y un bajo caudal de aceite pueden causar daños en el cigüeñal, en los muñones de bancada, al igual que en los de biela y sus cojinetes de fricción. De la misma manera, en la parte superior del motor como; árbol de levas, balancines, taqués, varillas empujadoras, etc. Las principales razones se aducen a:
  - Selección de viscosidad inadecuada del aceite.
  - Incompleta cantidad de aceite en el cárter: ocasionando que pase aire y disminuya significativamente la presión.
  - Problemas en la bomba de aceite: como presencia de aire en el tubo de succión desde el cárter, también problemas internos en el mecanismo de funcionamiento de la bomba que limitan su capacidad operativa reduciendo considerablemente la presión nominal de trabajo.
  - Filtro de aceite obstruido: Al no realizar la sustitución periódica de este elemento, el filtro podría llegar a taponarse con impurezas y residuos de la lubricación, con lo que se restringe el paso de aceite fresco y presurizado desde la bomba de aceite.
  - Fugas internas en el motor: producto de un elevado desgaste en muñones y cojinetes de fricción en bancada y biela.

### **1.8) (Sociedad de Ingenieros Automotrices) SAE**

Por sus siglas en inglés (Sociedad de Ingenieros Automotrices) SAE es una organización internacional que se dedica a la regulación y desarrollo en la industria automotriz, fundada en 1905, SAE es un ente que establece estándares técnicos y publica información científica. En cuanto a lubricantes para automóviles, SAE dispone una clasificación para indicar la viscosidad adecuada del aceite a utilizar, SAE fija un sistema de números que se aplican para indicar la viscosidad del aceite en diferentes temperaturas. La clasificación SAE para la viscosidad de los aceites de motor es una norma internacional que se utiliza a nivel global y

es reconocida por la industria automotriz. Esta clasificación facilita a los usuarios a seleccionar el lubricante correcto para su vehículo, de acuerdo a las especificaciones estipuladas por el fabricante y las condiciones climáticas en las que se desempeña el automóvil (Plaza, 2023).

### **1.9) Clasificación de la viscosidad según norma (Sociedad de ingenieros automotrices) SAE**

A nivel mundial la industria automotriz reconoce y clasifica a los aceites para motor en función de la viscosidad de acuerdo a la norma SAE J300, la cual especifica a los aceites por grados (Rivas et al., 2011). De acuerdo a:

- La viscosidad dinámica en frío: desde  $-10$  a  $-35$  °C conforme el grado.
- La bombeabilidad en frío: desde  $-15$  a  $-40$  °C conforme el grado.
- La viscosidad cinemática y dinámica en caliente: a 100 y 150 °C.

Teniendo en consideración a la tabla 2 basada en la clasificación de la norma SAE J300, se puede distinguir que existen dos grados de viscosidad SAE:

- El primer grado clasifica a los aceites de acuerdo a su viscosidad en frío. Esto se simboliza por múltiplos de 5 entre 0 y 25, acompañados de la letra W (Winter o invierno).
- El segundo grado clasifica los aceites según su viscosidad en caliente. Esto se representa por múltiplos de 8, posteriormente 12, 16 y 20 y a partir de este valor por múltiplos de 10 que varían entre 20 y 60.

**Tabla 2. Clasificación SAE según 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

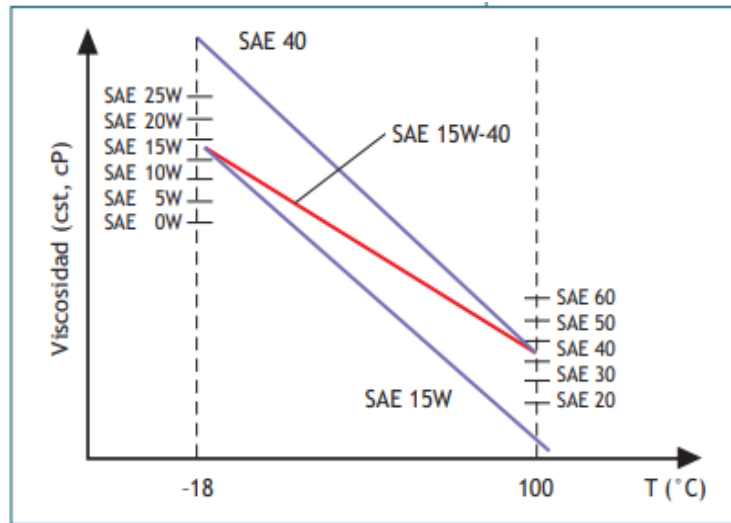


La viscosidad real de trabajo que la tabla 2 muestra para temperaturas extremas de 150 °C corresponde a la viscosidad HTHS (alta temperatura, alto gradiente de cizallamiento) que es la viscosidad dinámica de un aceite expuesto a condiciones de cizallamiento extremadamente severas. Su **magnitud de medida es el cP o en mPa · s**. Esta viscosidad está directamente asociada al nivel mínimo de seguridad requerido por los aceites de baja viscosidad, ya que estos son los más propensos a no mantener y quebrar la película de aceite en condiciones extremas de operación, por lo que brindan una menor protección contra el desgaste (Guerrero, 2016).

Otro aspecto importante a tener en consideración, es que la norma SAE J300 también divide a los aceites lubricantes en dos grupos principales: monógrado y multigrado (Rivas et al., 2011). Los cuales se indican a continuación:

- Aceites monógrado: esta clasificación de aceite satisface un solo grado SAE, por ejemplo, SAE 30 o SAE 20W, variando considerablemente la viscosidad con la temperatura (Rivas et al., 2011). SAE estipula que los aceites con la letra W corresponden a Winter (invierno) por lo que su desempeño es mejor en frío y, al contrario, los aceites que no cuentan con la letra W están propuestos para funcionar mejor a altas temperaturas. Este tipo de aceite conserva su viscosidad para un valor de temperatura definido, por lo que generalmente se emplean cuando la temperatura de funcionamiento no experimenta cambios o variaciones.
- Aceites multigrado: este tipo de aceite corresponde a los que su viscosidad está englobada entre los grados que la delimitan. Siendo así, por ejemplo, un SAE 15W40 indica que en frío tendrá la viscosidad de un SAE 15W, mientras que a 100 °C funcionará con la viscosidad de un SAE 40. Es preciso mencionar que, los aceites multigrados presentan una mayor estabilidad con respecto al choque térmico ocasionado en el motor por la diferencia de temperaturas en las diversas partes del circuito de lubricación (90°C en el cárter y aproximadamente 300°C en partes calientes), por lo que estos aceites tienen una menor probabilidad de descomponerse y deteriorarse. Son los más utilizados actualmente.

En la figura 17 se observa una gráfica comparativa entre los aceites monógrado y multigrado.



**Figura 17. Comparación de la viscosidad entre aceite monógrado y multigrado.**

**Fuente:** (Rivas et al., 2011).

Los lubricantes más fluidos proporcionan excelente lubricación en frío, que es precisamente cuando se ocasionan los desgastes más significativos, conservando también la capacidad de lubricación en caliente y de igual manera logrando una reducción de consumo de combustible (Rivas et al., 2011).

En referencia a los grados de viscosidad SAE que se deben elegir, estos dependen de las características propias del motor, sus tolerancias y del clima donde se usa el aceite, etc. Por lo tanto, los grados de viscosidad SAE son especificados por el fabricante en el manual del propietario en función del clima donde se vaya a desempeñar el vehículo (Rivas et al., 2011).

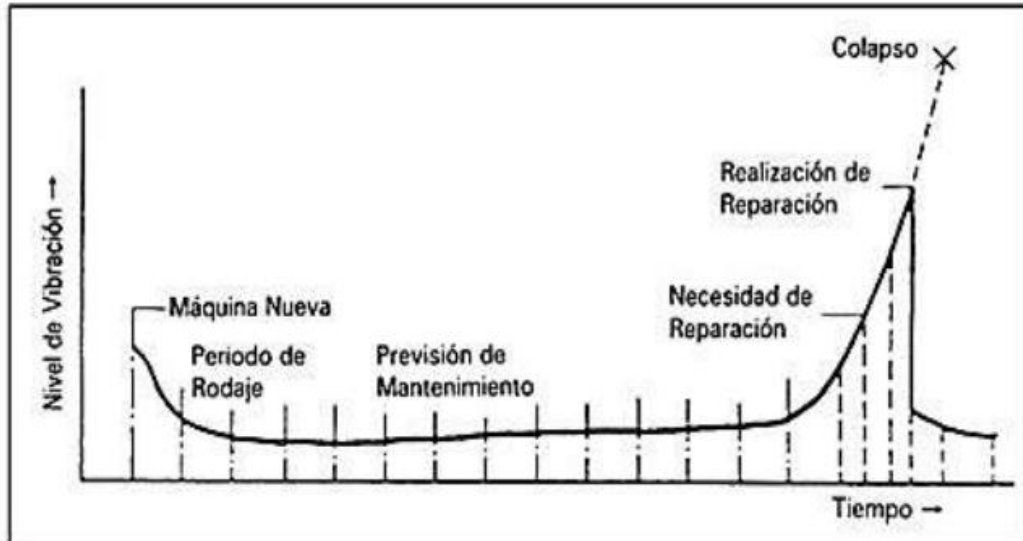
En síntesis, un mismo motor está en la capacidad de funcionar con aceites de distintas viscosidades dependiendo si el vehículo está en un región cálida o fría (Rivas et al., 2011).

### **1.10) Mantenimiento predictivo**

Teniendo en cuenta a (Avila, 2017) el mantenimiento predictivo se fundamenta en las posibilidades de que suscite una avería porque se han llevado a cabo inspecciones periódicas de un parámetro previamente determinado, por lo que, cuando se tiene dicha información se dispone el requerimiento de proceder o no con las respectivas labores de mantenimiento.

Al momento de elaborar un plan de mantenimiento predictivo es imprescindible tener un registro del parámetro que se desea monitorizar, esto en función del tiempo como muestra la

gráfica de la figura 18. En conclusión, esto permite tener información válida y cuantificada hasta que se produce el desperfecto del elemento, sirviendo dicha información para predecir fallas.



**Figura 18. Nivel de vibración de una máquina. Fuente: (Avila, 2017).**

#### **1.10.1) Técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo**

En este apartado se dan a conocer algunas de las técnicas que se adaptan a programas de mantenimiento predictivo en concordancia con (Guerrero, 2016).

- **Análisis de vibraciones:** por medio de la identificación de la amplitud en la vibración de un elemento mecánico, se conocen las causas y soluciones al problema. La vibración está directamente relacionada con: pérdida de potencia, desgaste y aumento de esfuerzos que generan averías en los componentes.
- **Termografía infrarroja:** es una técnica utilizada para medir la temperatura de trabajo de los elementos de una máquina con un alto nivel de precisión y sin la necesidad de tener contacto físico.
- **Análisis por ultrasonido:** se define como una metodología fundamentada en las ondas de baja frecuencia emitidas por los componentes mecánicos que no pueden ser captadas por el ser humano.

### **1.11) Teoría del análisis de aceite usado como técnica de diagnóstico**

El análisis del lubricante usado como técnica de diagnóstico de fallos en MCIA (Motores de combustión interna alternativos) es una metodología muy eficaz por la veracidad de la información que proporciona. Es una herramienta muy empleada en la actualidad para la aplicación del mantenimiento predictivo. En el análisis de los aceites se caracterizan dos grupos principales de parámetros, por un lado, los que caracterizan la degradación y por otro los que cuantifican la contaminación del mismo, dando como resultado un conglomerado de pruebas que, en conjunto, dan a conocer la condición de operación del fluido lubricante (Payri González & Desantes Fernández, 2011).

La degradación del aceite disminuye la capacidad del mismo para cumplir funciones esenciales, dando lugar a la alteración de propiedades fisicoquímicas, por lo que su interpretación es de gran relevancia para establecer la vida útil del mismo. Los principales parámetros a considerar son: viscosidad, basicidad, acidez, oxidación, nitración, sulfatación etc., los cuales son medidos y comparados con sus respectivos límites condenatorios, para evaluar el estado del aceite.

En referencia a los límites condenatorios, estos son valores límites admisibles, para cada propiedad y contaminante en específico del lubricante, por lo que cuando son excedidos, se convierten en un indicador claro y efectivo para una solución inmediata, siendo la principal solución la sustitución del fluido lubricante, así como también la identificación del origen de las causas que generaron el desmesurado desgaste y degradación del aceite (Guerrero, 2016).

La contaminación anormal del aceite es consecuencia de fallos en diferentes sistemas del motor como: residuos de carbonilla por mala o incompleta combustión, dilución con combustible por fugas en el sistema de inyección, presencia de agua o glicol por falta de estanqueidad en el sistema de refrigeración, polvo atmosférico por mala filtración en la admisión, etc.

En conclusión, es valioso resaltar el interés de la determinación de la contaminación del aceite generado por partículas metálicas de desgaste de los elementos constructivos del motor sometidos a fricción constante. Estos análisis son llevados a cabo por laboratorios calificados por medio de técnicas especializadas tales como la espectrometría, la ferrografía o el contaje de partículas, que determinan la cantidad y en algunos casos la morfología de dichas

partículas metálicas de desgaste, destacando principalmente las de: hierro, cobre, plomo, estaño, níquel, aluminio, etc. Según la presencia anormal de ciertos metales, se puede evidenciar si existe alguna anomalía dentro del motor, si las partículas metálicas provienen principalmente del pistón, cilindros, segmentos, casquillos de fricción, sistema de distribución, etc., (Payri González & Desantes Fernández, 2011).

El conglomerado de pruebas para el análisis de aceite, proporciona datos cuyo seguimiento periódico logra mantener al motor bajo control según su estado actual, igual que una analítica de sangre en humanos.

### **1.11.1) Oxidación, nitración y sulfatación**

La oxidación, nitración y sulfatación son fenómenos esenciales a tener en consideración para el control del estado del fluido lubricante, estos se encuentran directamente enlazados entre sí y son motivo de variaciones en la viscosidad. El aumento de estos fenómenos con el pasar del tiempo, se convierte en una señal clara y directa de fallas en el motor o en cualquier sistema que integra al mismo (Cañaverall, 2021).

Conforme avanza el período de uso del aceite y esto agregado a las altas temperaturas que experimenta, provoca que este tienda a su degradación, dando lugar a la formación de sustancias químicas como son ésteres, ácidos carboxílicos etc., dichas sustancias acidifican el aceite reduciendo las reservas alcalinas del mismo. La oxidación del aceite, también es una consecuencia de los metales de desgaste que actúan como promotores de este proceso. Por otro lado, la oxidación del aceite provoca un aumento en la viscosidad y un comportamiento corrosivo del aceite derivado de la acidificación.

Por su parte, el fenómeno de la nitración surge como resultado de la correlación del aceite con el NOx (óxidos de nitrógeno) generado en la combustión, esto se asocia con el tipo de mezcla en la combustión, estableciendo que para mezclas ricas se producen niveles reducidos de nitración y, por el contrario, en cuanto a mezclas pobres se producirán altos niveles de nitración. En resumidas cuentas, la nitración acarrea un aumento de la viscosidad del aceite.

De manera semejante a la nitración, la sulfatación se origina por la oxidación de los elementos de azufre provenientes de los aditivos del lubricante o la contaminación del combustible, formando dióxido de azufre, que de igual manera reduce las reservas alcalinas

del aceite. La sulfatación del aceite lubricante genera un espesamiento en el aceite, lo que denota una evidente degradación del aceite.

## **1.12) Tribología**

De acuerdo a lo descrito por (Tormos, 2005) se define a la tribología como: “la ciencia que examina el contacto de superficies en movimiento relativo, esto es, en contacto mutuo y los fenómenos relacionados”.

Dentro de la tribología, se abarcan dos temáticas principales que corresponden a la fricción y el desgaste, mismas que se detallan a continuación.

### **1.12.1) Fricción**

En conformidad a lo expresado por (Quintana & Silva, 2021) , la fricción es un fenómeno que se explica como: “la resistencia al movimiento entre dos cuerpos en contacto o movimiento relativo”. Los efectos derivados de la fricción generan consecuencias perjudiciales para la tribología, siendo la principal una pérdida de energía mecánica desde que inicia el movimiento relativo entre las superficies que se someten a contacto, hasta que finaliza el proceso.

En el campo de la Ingeniería Automotriz se considera que la fricción puede tener aspectos positivos, así como también negativos, estos se aclaran a continuación:

- **Aspecto positivo:** al referirse en concreto a componentes del automóvil, como embragues y frenos, la fricción es la forma más aprovechada para conseguir la fuerza requerida y necesaria con la finalidad de; acelerar, detener o conservar el movimiento de una máquina. La fuerza de fricción se vincula directamente con la fuerza normal que se interpone entre dos superficies en deslizamiento, esta fuerza puede ser obtenida en base a campos magnéticos, campos eléctricos, presión neumática, presión hidráulica, resortes o gravedad (Rivera, 2016).
- **Aspecto negativo:** considerando un efecto adverso ocasionado por la fricción, es apropiado indicar que en el caso del conjunto ; pistón – segmentos – cilindro la constante fricción a la cual estos elementos están sometidos, genera daños a largo plazo en el motor, esto principalmente por las exigentes condiciones de funcionamiento del motor, tales como: velocidad de deslizamiento, presiones y

temperaturas altas, entornos críticos de lubricación, corrosión y presencia de materiales abrasivos provenientes del aire admitido (Avila, 2017). Las principales zonas de desgaste como consecuencia de la fricción son:

- **En el pistón:** ranuras de alojamiento de los segmentos, la falda y la zona de apoyo del bulón.
- **En los segmentos:** en la parte externa que está constantemente en contacto directo con el cilindro.
- **En el cilindro:** principalmente en las paredes, así como también a lo largo de la trayectoria que describe el pistón.

### 1.12.2) Desgaste

Teniendo en cuenta a (Quintana & Silva, 2021), el desgaste se refiere a: “la pérdida de material en la superficie límite de dos cuerpos, el cual se origina por el desprendimiento de partículas en la superficie de un cuerpo y/o el desplazamiento de material en las zonas de contacto directo”. El desgaste está vinculado a diversos factores como:

- Fuerzas aplicadas
- Temperaturas de trabajo
- Forma y geometría de los cuerpos
- Tipo de movimiento

De igual manera, se distinguen los siguientes tipos de desgaste:

- **Desgaste adhesivo:** se presenta como resultado del contacto entre metal – metal, se produce cuando las superficies no están totalmente separadas por la película de lubricante.
- **Desgaste abrasivo:** es un tipo de desgaste que se genera por la presencia de sustancias extrañas (contaminantes) en el lubricante, así como también por el desprendimiento de partículas duras, estas partículas duras se impregnan en la superficie, ocasionando deformación y desprendiendo residuos metálicos.
- **Desgaste corrosivo:** la causa principal de este tipo de desgaste, es principalmente por utilizar el aceite lubricante indebidamente por más tiempo del establecido, generando

la exposición de las superficies a ácidos, dando como resultado la formación de grietas o fisuras.

- **Desgaste por cavitación:** surge por la formación de burbujas a causa del cambio de presión del lubricante, por efectos de la circulación de una zona a otra. Este desgaste comúnmente se evidencia con picaduras en las superficies al igual que con ruidos y vibraciones.

## **Capítulo 2: Normativas ASTM: metodología de ensayo e instrumental requerido.**

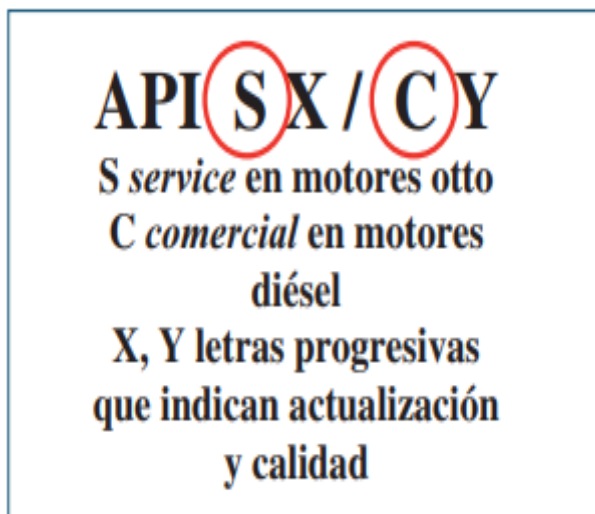
### **Fundamento teórico**

#### **2.1) (Instituto Americano del Petróleo) API**

API por sus siglas en inglés, es una entidad americana que, desde el año 1974, desarrolla ensayos de aceites lubricantes y los certifica por medio de siglas y símbolos que muestran su calidad y el uso para el que está dirigido. API clasifica a los aceites lubricantes en función de su calidad utilizando principalmente dos letras como se indica en la figura 19. La primera letra señala si es para motor Otto (gasolina) o Diésel: S para motores gasolina y C para motores Diésel. La segunda letra corresponde al indicador de calidad: empezando por la A y siguiendo sucesivamente con las letras del abecedario (Rivas et al., 2011).

Así mismo, un aceite lubricante para motor que posee la marca de certificación API que se muestra en la figura 20, indica que cumple con la norma actual de protección para motores de gasolina y los requisitos de economía de combustible del Comité Internacional de Normalización y Aprobación de Lubricantes (ILSAC).





**Figura 19. Clasificación API. Fuente:**(Rivas et al., 2011).

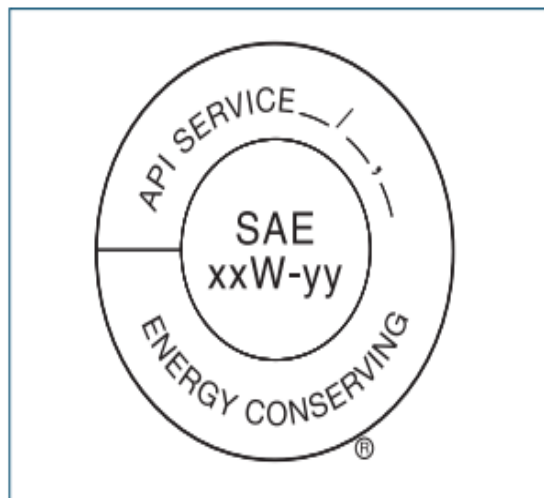


**Figura 20. Certificación API. Fuente:** (Rivas et al., 2011).

Por otro lado, API también emplea su propio símbolo de servicio, denominado como ‘‘donut’’ el cual expone información de gran relevancia entre las cuales destacan; la viscosidad del aceite, las especificaciones de calidad que cumple y si es un aceite que reduce el consumo de combustible. También es preciso mencionar que los aceites que cuentan con la certificación API, están considerados en una metodología de análisis y ensayos en el mercado, en otras palabras, se someten a evaluación muestras aleatoriamente comercializadas en el mercado (Rivas et al., 2011).

De acuerdo a la figura 21, las principales partes del “donut” son:

- En primer lugar, la parte superior corresponde a la categoría de uso y la calidad:
  - Aceite para motor de gasolina empleado en: vehículos livianos, vehículos para transporte de mercancía y camionetas con motor de gasolina: categoría S (service) de API.
  - Aceite para motor diésel utilizado en: camiones de trabajo pesado y vehículos equipados con motores diésel: categoría C (comercial) de API.
- En segundo lugar, el centro del donut exhibe el grado de viscosidad SAE: lo que se interpreta como la capacidad del lubricante para fluir a temperaturas específicas en concordancia con la norma SAE.
- Finalmente, la parte inferior denota si el aceite es Energy Conserving o CI-4 PLUS:
  - Energy Conserving (ahorro de energía): contempla a aceites empleados en automóviles, vehículos de transporte de mercancía y camionetas con motor de gasolina (SM o SL). Optar por la selección de aceites Energy Conserving puede brindar ciertas facilidades tales como: el ahorro general de combustible, lo que se especifica de acuerdo a:
    - Mayor al 1,4% asociado a aceites con viscosidades englobadas entre 0W20 y 5W20.
    - Mayor al 1,1% para aceites con viscosidades delimitadas entre 0WXX y 5WXX, siendo XX superior a 20.
    - Mayor al 0,5% concretamente en aceites con viscosidades 10WXX.
  - CI-4 PLUS: enfocado al uso combinado de API CI-4 y CJ-4. Catalogado para los aceites asignados a ofrecer un nivel elevado de protección contra el aumento de la viscosidad como consecuencia del hollín y para contrarrestar la pérdida de viscosidad debida al cizallamiento, esto principalmente en motores diésel.



**Figura 21. Símbolo de servicio “donut”. Fuente: (Rivas et al., 2011).**

Finalmente, en la tabla 3 se indican las diferentes categorías de servicio empleadas por API utilizadas en los lubricantes para motores de vehículos a gasolina, en base a la información proporcionada por la tabla, se puede afirmar que en la actualidad se encuentran vigentes las categorías de servicio: API SN, SM, SL y SJ, mientras que todas las otras se encuentran obsoletas y descontinuadas.

**Tabla 3. Categorías de servicio API. Fuente: (API, 2011).**

<b>MOTORES DE GASOLINA</b> (Siga las recomendaciones del fabricante de su vehículo respecto de los niveles de calidad del aceite)		
<b>Categoría</b>	<b>Estado</b>	<b>Aplicación</b>
<b>SN</b>	<b>Vigente</b>	Se comenzó a utilizar en octubre de 2010 y fue diseñado para proporcionar una mejor protección de los pistones frente a la formación de depósitos a alta temperatura, mayor control de lodos y compatibilidad con juntas. Los aceites con categoría API SN con Ahorro de Combustible se corresponden con la categoría ILSAC GF-5, al combinar el nivel de prestaciones de los aceites API SN con una mejor economía de combustible, protección del turbocompresor, compatibilidad con los sistemas de control de emisiones y protección de los motores que utilizan combustibles con etanol hasta E85.
<b>SM</b>	<b>Vigente</b>	Para motores de automóviles del año 2010 y anteriores.
<b>SL</b>	<b>Vigente</b>	Para motores de automóviles del año 2004 y anteriores.
<b>SJ</b>	<b>Vigente</b>	Para motores de automóviles del año 2001 y anteriores.
<b>SH</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>OBSOLETO:</b> Para motores de automóviles del año 1996 y anteriores.
<b>SG</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>ADVERTENCIA:</b> No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles de gasolina fabricados después del año 1993. No proporciona una protección adecuada frente a la acumulación de lodos en el motor, oxidación o desgaste.
<b>SF</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>ADVERTENCIA:</b> No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles de gasolina fabricados después del año 1988. No proporciona una protección adecuada frente a la acumulación de lodos en el motor.
<b>SE</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>ADVERTENCIA:</b> No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles de gasolina fabricados después del año 1979.
<b>SD</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>ADVERTENCIA:</b> No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles de gasolina fabricados después del año 1971. Su utilización en motores más modernos puede conducir a un comportamiento no deseado o dañar el equipo.
<b>SC</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>ADVERTENCIA:</b> No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles de gasolina fabricados después del año 1967. Su utilización en motores más modernos puede conducir a un comportamiento no deseado o dañar el equipo.
<b>SB</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>ADVERTENCIA:</b> No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles de gasolina fabricados después del año 1951. Su utilización en motores más modernos puede conducir a un comportamiento no deseado o dañar el equipo.
<b>SA</b>	<b>Obsoleto</b>	<b>ADVERTENCIA:</b> No contiene aditivos. No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles de gasolina fabricados después del año 1930. Su utilización en motores más modernos puede conducir a un comportamiento no deseado o dañar el equipo.

## 2.2) (Sociedad Americana para Materiales y Pruebas) ASTM

ASTM por sus siglas en inglés, es una institución de estándares internacionales que desarrolla y publica normas técnicas para una variedad de materiales y productos (Cracks, 2023).

En consecuencia, las normativas ASTM respecto al petróleo crudo permiten evaluar propiedades físicas, reológicas, térmicas y químicas de aceites principalmente (ASTM, 2022).

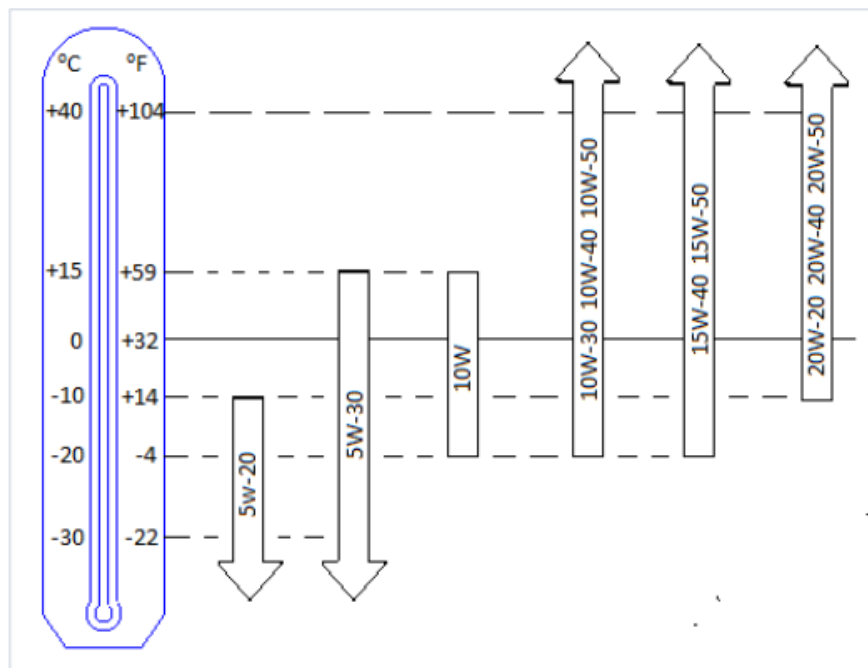
## 2.3) Límites condenatorios

Como se indicó en el capítulo 1 (apartado 1.11), los límites condenatorios, como su nombre lo señala son valores límites admisibles, para cada propiedad y contaminante en específico del lubricante, por lo que cuando son excedidos, se convierten en un indicador claro y

efectivo para una solución inmediata, siendo la principal solución la sustitución del fluido lubricante.

#### 2.4) Aceites para motores de ciclo Otto (gasolina)

Al momento de elegir un aceite lubricante para desempeñarse en invierno o climas fríos, es imprescindible tener en cuenta la temperatura más baja a la cual el aceite puede operar, principalmente por el volumen de bombeo que el sistema de lubricación del motor puede suministrar y la potencia de arranque siendo estos dos parámetros directamente responsables de afectar el rendimiento del motor concretamente a bajas temperaturas; por este argumento, para seleccionar correctamente un aceite para una máquina o motor de combustión interna es oportuno contemplar la temperatura de la región donde ésta operará como indica la figura 22 (Guerrero, 2016).



**Figura 22. Aceites para motores gasolina según temperatura. Fuente:** (Guerrero, 2016).

#### 2.5) Viscosidad de aceite para motor a gasolina recomendada por Mitsubishi Motors.

De acuerdo a las especificaciones técnicas indicadas por (Mitsubishi Motors, 2003) en el manual del propietario para vehículos a gasolina emplear un aceite con la calidad API requerida y la viscosidad adecuada, tiene gran influencia en el rendimiento del motor, puesto

que esto repercutirá directamente en los intervalos de mantenimiento. En base a lo anteriormente mencionado, el fabricante sugiere emplear el aceite especificado por la marca y no mezclar diferentes categorías de viscosidades de aceite a lo largo del funcionamiento del motor, así como también evitar combinar las diferentes marcas comerciales de los aceites en cuanto sea posible.

En la figura 23 se aprecia las clasificaciones de las viscosidades de aceite sugeridas por Mitsubishi Motors para sus vehículos. Por ejemplo, para las temperaturas habituales de la ciudad de Cuenca (Ecuador) se podría utilizar los siguientes tipos de aceite normados por SAE J300: SAE 10W30 o SAE 20W50 concretamente para el caso de vehículos a gasolina.

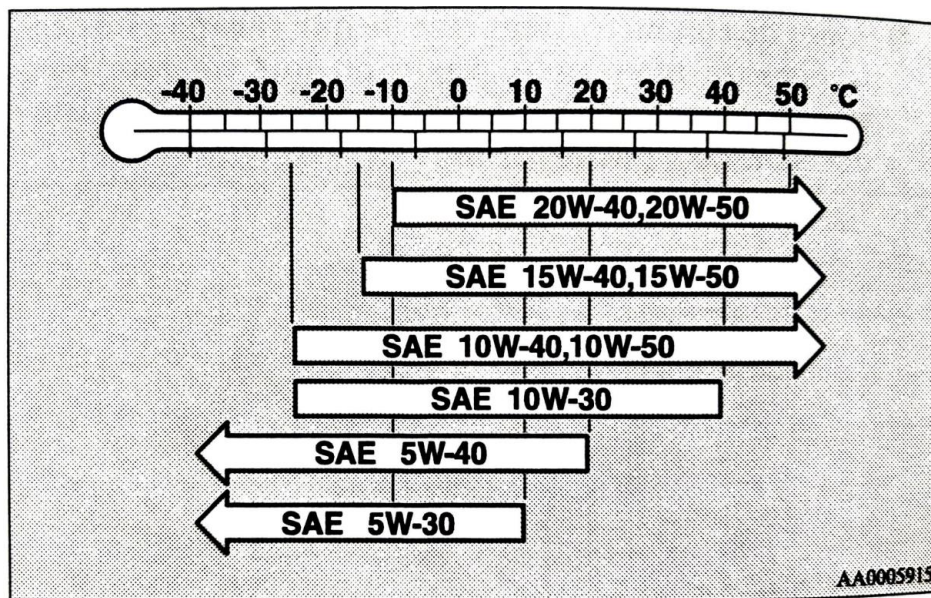


Figura 23. Viscosidades sugeridas por Mitsubishi Motors. Fuente: (Mitsubishi Motors, 2003).

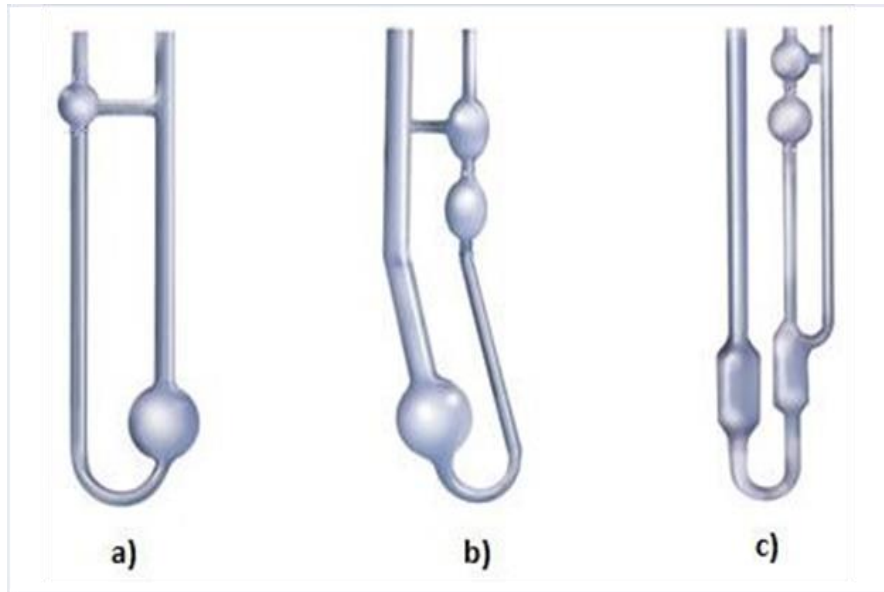
## 2.6) Normativa ASTM D445. Viscosidad cinemática a temperatura normal de funcionamiento del motor

La viscosidad cinemática que llega a desarrollar el aceite lubricante a la temperatura normal de funcionamiento del motor (100°C) se evalúa de acuerdo a la norma ASTM D445, y los correspondientes resultados se presentan según las magnitudes de medida en (mm<sup>2</sup>/s) milímetros cuadrados sobre segundo o centistokes (cSt) (1mm<sup>2</sup>/s es igual a 1 cSt) (ASTM, 2024).

De la misma forma, se puede indicar que la viscosidad de alta cizalladura se define como un indicador reológico, es decir corresponde a un principio físico que analiza el movimiento de un fluido, por lo que es de gran relevancia para el rendimiento del motor a temperaturas normales de funcionamiento, este tipo de viscosidad debe ser medida a una temperatura extrema (150 ° C) e indicarse en **mPa·s o (cP)**. Por lo anteriormente mencionado, esta información es esencial específicamente cuando se desea mejorar la funcionalidad de determinados elementos expuestos a alta cizalladura en condiciones de funcionamiento severas, tales como; los cojinetes de fricción o a su vez, entre los segmentos y las paredes del cilindro, etc. (ASTM, 2024).

### **2.6.1) Metodología de ensayo para la viscosidad cinemática.**

La norma ASTM D445 caracteriza el procedimiento para obtener la viscosidad cinemática de productos derivados del petróleo, específicamente aceites, para esto se fundamenta en el principio que se emplea para decretar el tiempo necesario que un volumen fijo de fluido requiere para fluir producto del efecto de la fuerza de la gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio previamente calibrado (desde la marca superior a la inferior del viscosímetro) como se observa en la figura 24 bajo una cabeza de conducción reproducible y a una temperatura definida (baño termostático) (ASTM, 2024).



**Figura 24. Viscosímetros de vidrio. a) Ostwald b) Cannon - Fenske c) Ubbelohde.**

**Fuente:** (Guerrero, 2016).

En conclusión, la viscosidad cinemática se obtiene como producto de multiplicar la constante de calibración del viscosímetro por el tiempo de flujo preestablecido (promedio del tiempo cronometrado en tres pruebas). Los valores de viscosidad cinemática que abarca este método de prueba están comprendidos entre valores de 0.2 a 300000 mm<sup>2</sup>/s.

De igual manera, para calcular la viscosidad dinámica  $\eta$  es necesario multiplicar la viscosidad cinemática  $\nu$  por la densidad del fluido  $\rho$ .

### **2.6.2) Instrumental requerido para el análisis de la viscosidad cinemática**

Con referencia al instrumental utilizado para este procedimiento, se establece que los viscosímetros capilares de vidrio deben ser aptos para evaluar viscosidades cinemáticas establecidas en los estándares de exactitud prescritos por la norma. Algo semejante ocurre con los viscosímetros automatizados los cuales deben configurarse a las mismas condiciones operacionales, procedimentales y físicas de los viscosímetros prescritos por ASTM 445 (ASTM, 2024).

En conformidad con la norma, ésta dicta procedimientos, parámetros y tolerancias para:



- **Calibrar la verticalidad del soporte del viscosímetro:** el soporte del viscosímetro tiene que situarse verticalmente y considerando las tolerancias de inclinación según el tipo de instrumento utilizado (0.3° en todas las direcciones)
- **Estandarizar el procedimiento del control de la temperatura:** para las diversas pruebas recomendadas por la norma es estrictamente necesario realizar las mediciones a temperaturas controladas (viscosímetro con baño de temperatura controlada).
- **Medición de la temperatura:** es reglamentario e indispensable utilizar dos instrumentos de medición, en los cuales no pueden generarse variaciones de lectura que sobrepasen la tolerancia de acuerdo al tipo de termómetros empleados.
- En lo que refiere al cronómetro la norma señala que este equipo tiene que permitir procesar los valores con una variación de 0.1 segundos o mayor.
- Llevar a cabo las acciones de limpieza y secado del viscosímetro.

### 2.6.3) Cálculo de la viscosidad cinemática ( $\nu$ )

Para poder calcular las viscosidades  $\nu_1$  y  $\nu_2$ , se emplea la siguiente ecuación:

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

donde:

C indica la constante de calibración del viscosímetro en  $\text{mm}^2/\text{s}$  y  $t_{1,2}$  son los tiempos de flujo cronometrados para  $t_1$  y  $t_2$  correspondientemente.

### 2.6.4) Cálculo de la viscosidad dinámica $\eta$

Teniendo en cuenta a la viscosidad cinemática ( $\nu$ ), y la densidad ( $\rho$ ), es posible calcular la viscosidad dinámica, empleando la fórmula:

$$\eta = (\nu) (\rho) (10^{-3}) \quad (2.2)$$

donde:

$\eta$  = es la viscosidad dinámica, expresada en **mPa·s**.

$\rho$  = equivale a la densidad, en **kg/m<sup>3</sup>**, teniendo como referencia la misma temperatura aplicada para la determinación de la viscosidad cinemática y finalmente,  $\nu$  = viscosidad cinemática, en **mm<sup>2</sup>/s**.

Es preciso aclarar que para obtener la densidad de la muestra es imprescindible efectuar el procedimiento exactamente a la misma temperatura a la que se evaluó la viscosidad cinemática.

### **2.6.5) Especificación de la densidad a través del método del picnómetro de Bingham.**

En base al parecer de (Tamami, 2020) existe una manera concreta y precisa para determinar la densidad de un fluido por medio de un instrumento de laboratorio denominando picnómetro.

En el caso concreto de los productos derivados del petróleo, se precisa que deben estar en estado líquido a temperaturas de prueba debidamente especificadas, siendo estas: 20°C y 25°C respectivamente. El ensayo también contempla el cálculo requerido para convertir la densidad a densidad relativa (ASTM, 2020).

Poder cuantificar la densidad es de gran interés ya que esta propiedad permite caracterizar a los hidrocarburos. En cuanto a la precisión, se menciona que ésta es de 0,00003 g/mL. De igual manera, se debe tener en consideración ciertos conceptos fundamentales:

- **Densidad:** se entiende como la razón entre la masa (peso en vacío) para el volumen que ocupa el mismo, a una temperatura especificada; sus unidades de medida en el sistema internacional son: Kg/m<sup>3</sup>, así como también se puede presentar en: g/ml o g/cm<sup>3</sup>. Como ejemplo se puede denotar que la densidad del agua tiene un valor de 1000 kg/m<sup>3</sup> o 1 gr/cm<sup>3</sup> a 4°C.
- **Densidad relativa:** hace mención a la relación existente entre el peso en vacío (masa) para un volumen de material, a una temperatura fija denominada como T1, y por otro lado también considera la masa de un volumen análogo de agua, a una temperatura concreta asignada como T2. En resumidas cuentas, es la correlación entre las densidades del agua a T2 y la densidad del material a T1.

La metodología del picnómetro se usa principalmente para obtener la densidad de un líquido por medio de la obtención de la masa del picnómetro para tres casos concretos diferentes.

Para esto se especifican y requieren los siguientes materiales y equipos:

- Picnómetro.
- Balanza analítica.
- Líquido sujeto a medición.
- Agua destilada como fluido base.
- Soportes para conservar al picnómetro en baño a temperatura constante.
- Equipo para mantener el baño a temperatura constante: tolerancia de  $\pm 0,01$  °C.
- Termómetro para medir la temperatura del baño calibrado: exactitud de 0,01 °C.
- Jeringa hipodérmica de 30 mL (vidrio) con solidez para ataque químico y aguja de llenado.
- Aguja para extracción de acero inoxidable.

En cuanto al procedimiento técnico, se detalla lo siguiente:

Precisar la masa del picnómetro vacío mediante la balanza analítica  $m_{\text{picnómetro}}$ . Para esto es necesario enfriar la muestra de referencia, concretamente el agua destilada hasta 5 a 10° C menos del valor de la temperatura indicada para la prueba, consecuentemente llenar el picnómetro con agua destilada haciendo uso de la jeringa hipodérmica y la aguja de llenado hasta la señalización que muestra el nivel para la realización de la prueba como se aprecia en la figura 25, (“corte lineal muy fino hecho con diamante”), así también se sugiere la debida precaución para evitar el surgimiento de burbujas cuando se llena el picnómetro.

Una vez hecho esto , es necesario tapar el picnómetro y hundir el mismo hasta cubrir la señal del nivel correspondiente al baño a temperatura constante calibrado hasta el valor preestablecido para la prueba con modificaciones de  $\pm 0,01$  °C, durante el tiempo necesario hasta que se suspenda la expansión, esto denota que se ha logrado la temperatura del baño, a acto seguido es pertinente levantar el picnómetro y retirar el exceso de fluido que se sitúa por encima de la señal a través de la utilización de la aguja de extracción de acero inoxidable y la respectiva jeringa. Posteriormente, secar el fluido que puede quedarse impregnado a las paredes internas del picnómetro por encima de la señal mostrada en la figura 25, (“corte lineal muy fino hecho con diamante”) aplicando un secador de tubos o la aguja de extracción, para

así entonces secar externamente el picnómetro y calcular la masa del picnómetro más la masa del agua. De tal manera:

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

Con la finalidad de hallar la masa perteneciente al fluido de referencia es necesario restar de la masa del picnómetro más la masa del agua, el valor de la masa del picnómetro.

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

Para establecer la densidad del nuevo fluido, se requiere calcular la masa del picnómetro enrasado con el nuevo líquido basándose en un procedimiento similar al descrito en el párrafo anterior. Para esto, se debe precisar el valor de la masa del picnómetro más la de la muestra. Por lo tanto, la masa de la muestra se calculará siguiendo la relación:

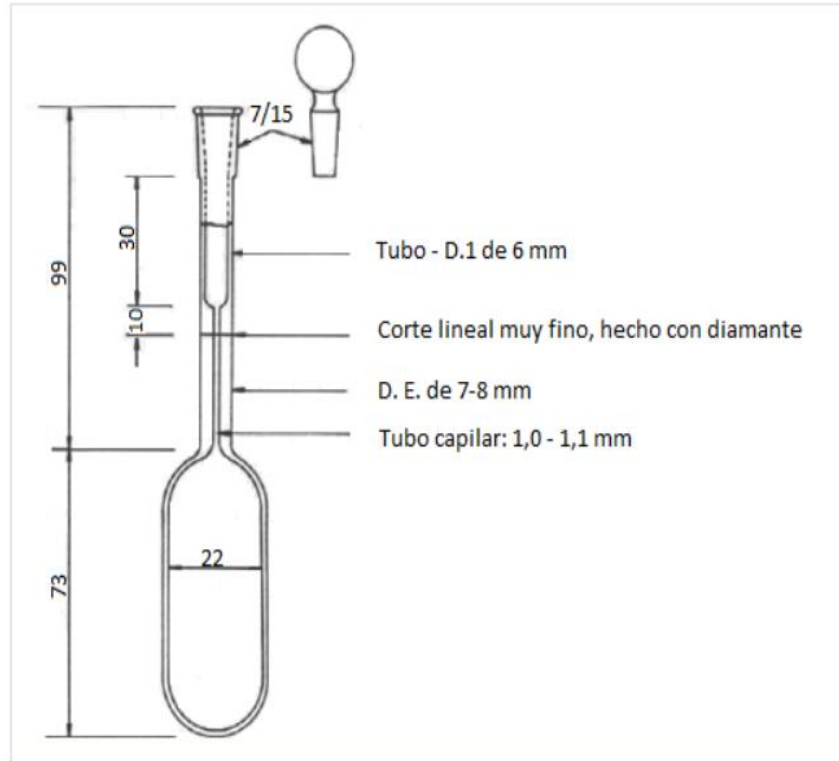
$$m_{\text{muestra}} = m_{\text{picnómetro + muestra}} - m_{\text{picnómetro}} \quad (2.5)$$

En consecuencia, la densidad se calcula de la siguiente manera:

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

Reemplazando 2.5 en 2.6:

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



**Figura 25. Esquema del picnómetro de Bingham. Fuente: (ASTM, 2020).**

El volumen del picnómetro se calcula en base a:

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

Al operar se tiene:

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

Reemplazando 2.4 en 2.9 se obtiene:

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

Se procede a sustituir 2.10 en 2.7 que da como resultado:

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

Dando finalmente como resultado la ecuación:

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

Al asumir que la densidad del agua tiene un valor de: 1 g/ml, entonces:

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

## 2.7) Normativa ASTM D2896. (Número Total de Base) TBN

De acuerdo a la información descrita en el capítulo 1 (apartado 1.3.5), el potencial hidrógeno también conocido como pH de una disolución corresponde a la concentración de iones de hidrógeno que posee la misma, de tal manera, se concluye que a mayor número de hidrógenos mayor acidez y viceversa. Para clasificar al pH, esta magnitud se expresa en valores de 0 a 14 para disolución acuosa, estableciendo las disoluciones con número menor de 7 como ácidas, para número mayor de 7, como alcalinas o básicas y las equivalentes a 7 indican que el pH es neutro en la disolución, entendiéndose de esta forma un equilibrio entre ácido y base (Rivas et al., 2011).

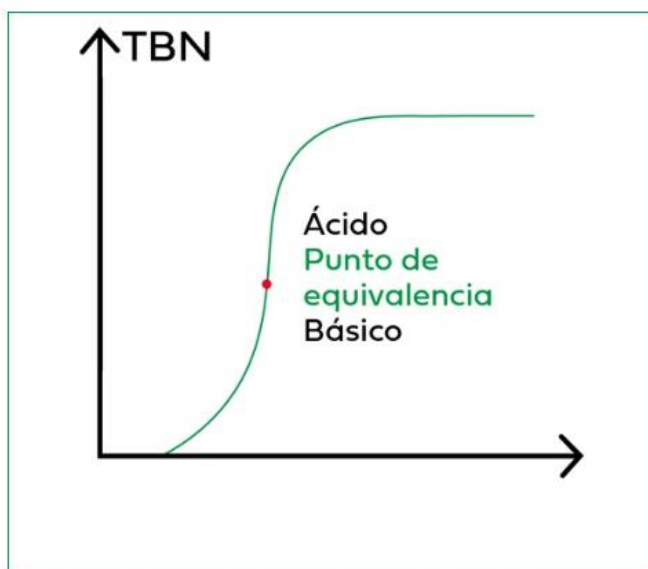
El azufre contenido en los combustibles, pero de menor manera presente en la gasolina mezclado con oxígeno y agua dan como resultado el ácido sulfúrico, el cual es potencialmente corrosivo y provoca desgaste. En síntesis, el Número Total de Base (TBN) denota la reserva alcalina del aceite para neutralizar los ácidos que resultan durante el proceso de la combustión.

El TBN se reporta en miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que hay en un gramo de lubricante para motor (mgKOH/gr) (Martins, 2024).

### 2.7.1) Metodología de ensayo para la variación del TBN

La normativa ASTM D2896 se caracteriza por ser un método de alta precisión y puntualiza la cantidad de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) necesario para neutralizar los compuestos básicos de 1 gramo de aceite tomado de muestra. Para la ejecución de la prueba se requiere el uso de

un titulador potenciométrico el cual debe manejar una aproximación comprendida entre +/- 3%. En cuanto al procedimiento de ensayo, la norma aclara que el aceite de muestra debe disolverse en una emulsión (mezcla homogénea de dos líquidos inmiscibles) de ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y clorobenceno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ ), para luego colocarse en un electrodo de vidrio con perclorato de potasio ( $\text{KClO}_4$ ) y titularse con una composición de ácido acético y ácido perclórico, agregado en cantidades de  $0,1 \text{ cm}^3$  hasta conseguir neutralizar la muestra (ASTM, 2016). Por otro lado, la información que el potenciómetro entrega se representa como una expresión del volumen de la solución tituladora aplicada, el valor correspondiente a la variación del TBN es el que se localiza en el punto de equivalencia de la gráfica mostrada en la figura 26.



**Figura 26. Variación del número total de base (TBN). Fuente:** (Martins, 2024).

### **2.7.2) Instrumental requerido para determinar la variación del TBN**

En lo que respecta al instrumental requerido para el desarrollo de la prueba, la normativa estipula que se requiere hacer uso de un titulador potenciométrico como el que se indica en la figura 27, de la misma manera una balanza y así como también un electrodo de vidrio dotado con un pH de 0 a 11 indicado para uso general. Es de suma importancia tener presente que la normativa también fija los reactivos necesarios a ser empleados para la evaluación del TBN, mismos que se indican a continuación:

- 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 señala el grado de concentración que tienen las soluciones).
- Solvente para titulación (es un líquido estandarizado que se utiliza para calibrar el potenciómetro y llevar a cabo la prueba).



**Figura 27. Titulador potenciométrico. Fuente:** (Guerrero, 2016).

Esta metodología de análisis permite la determinación de constituyentes básicos para productos derivados del petróleo por medio de la titulación con ácido perclórico en ácido acético glacial. En referencia al procedimiento para la realización de la prueba, la norma dicta lo siguiente: la prueba para determinar la variación del TBN, consiste en: verificar los parámetros de funcionamiento del equipo, limpiar el electrodo, calcular la cantidad de muestra requerida de acuerdo al número total de base esperado, en función de la siguiente fórmula:

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



Luego de esto se debe pesar la muestra en un vaso plástico de 100 ml, consecuentemente añadir 60 ml de solvente de titulación (40 ml de Clorobenceno más 20 ml de ácido acético glacial). Posteriormente, se debe colocar el vaso en el soporte del titulador potenciométrico y ubicar el electrodo dentro del vaso, así entonces se digita el peso de la muestra y se continúa con la titulación de la solución de ácido perclórico 0.1 N (N=normal) previamente estandarizado, es de vital importancia confirmar que la agitación sea establecida en 4 revoluciones por minuto (r.p.m.); y para culminar, se debe esperar hasta que las lecturas del equipo se detengan y se muestre el resultado de TBN en la pantalla.

## **2.8) Normativa ASTM D6595. Concentración de metales producto del desgaste de los componentes internos del motor**

### **Contextualización previa:**

En la actualidad existen documentos científicos que desarrollan estudios sobre la temática de análisis de aceite, tales como la tesis: “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)” desarrollada por el autor (Gómez Estrada, 2013) que recomiendan que, al conocer la metalurgia de los elementos constructivos del motor de combustión interna alternativo (MCIA), es posible establecer el origen de las principales partículas metálicas generadas como consecuencia del desgaste interno del motor, esta información se presenta en la tabla 4. El hecho de tener la presencia de metales de desgaste en una muestra de aceite usado, es un indicador claro y preciso de que el motor ha sufrido ya las primeras etapas de desgaste considerables.

**Tabla 4 . Partículas metálicas de desgaste del MCIA. Fuente: (Gómez Estrada, 2013).**

	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Anillos	X					X			
Árbol de levas	X								
Bielas	X								
Bomba de aceite	X			X					
Bujes		X		X			X		
Bujes de bielas		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 escape	X					X			

### 2.8.1) Metodología de ensayo para la determinación de metales de desgaste

La normativa ASTM D6595 permite establecer los metales de desgaste presentes en el aceite usado para motor mediante la técnica espectrometría de emisión atómica por disco rotativo de espectro (RDE) haciendo uso de técnicas espectroscópicas para cuantificar los contaminantes, aditivos y desgaste presente en el motor.

Es preciso aclarar que, la espectrometría es una técnica que está basada en la relación que existe entre la radiación electromagnética y la materia cuando se lleva a cabo un intercambio de energía, sabiendo que los átomos de cualquier elemento generan espectros electromagnéticos con características individuales y propias al ser excitados, con lo cual según la apariencia de los mismos es posible la identificación del elemento (Tormos, 2005).

Un espectrómetro de emisión atómica es un tipo de equipo que emplea la propiedad de los átomos que al ser excitados absorben energía la cual se requiere para que algunos de sus electrones cambien y suban a niveles de energía superiores, y emitiendo energía cuando retornan a sus niveles originales al momento que se interrumpe la excitación. Los átomos al emitir energía provocan espectros únicos, formados por longitudes de onda características.

La intensidad de energía emitida a una determinada longitud de onda es proporcional a la proporción del elemento en cuestión (Tormos, 2005).

El equipo que se muestra en la figura 28 tiene incorporado un eje, el cual genera la rotación de un disco de carbono, el mismo que se encuentra parcialmente sumergido en la muestra del aceite usado objeto del análisis, el aceite es transportado por el disco, por lo que entre este disco y un electrodo de carbono situado en la parte superior se provoca el salto de una chispa. Como consecuencia de la acción de la chispa, ésta provoca la vaporización del lubricante, el mismo que emite una luz, con distintas longitudes de onda como se aprecia en la tabla 5, característica fundamental de los metales presentes en la muestra, de igual manera se afirma que mientras mayor sea concentración de estos metales se obtendrá un aumento en la intensidad de la luz. La técnica empleada permite estudiar hasta más de veinte elementos simultáneamente (ASTM, 2017).



**Figura 28. Espectrómetro por electrodo y disco rotatorio (RDE). Fuente:** (Guerrero, 2016).

Por otro lado, este tipo de metodología presenta la desventaja de requerir la excitación de átomos individuales, por tal razón la muestra de aceite deberá vaporizarse por completo para conseguir determinar la totalidad de elementos metálicos presentes el aceite usado objeto del

análisis. Del mismo modo, el procedimiento de análisis es apto para evidenciar elementos resultantes de contaminación y desgaste de tamaños pequeños que se encuentran suspendidos en el aceite (partículas cercanas a 10 micras de tamaño como máximo). Así entonces, se vuelve imprescindible que esta técnica sea contrastada con otras tales como: conteo de partículas, consistencia ferrosa y la microscopia de membrana, siendo estas técnicas útiles para examinar principalmente partículas de mayor tamaño.

Vale la pena subrayar que, la norma también especifica las unidades en las que se deben expresar los resultados del análisis, para lo cual se indican las magnitudes de mg / kg (ppm en masa) (ASTM, 2017).

**Tabla 5 . Elementos y longitudes de onda correspondientes. Fuente:** (ASTM, 2017).

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		

## 2.8.2) Instrumental requerido para la examinación de metales de desgaste.

De acuerdo a lo indicado por la normativa, se establecen los siguientes materiales y equipos para llevar a cabo la prueba (ASTM, 2017):

- **Afilador de electrodos:** se requiere el uso de un afilador de electrodos para remover la parte contaminada del electrodo de varilla restante del análisis anterior. También se debe formar un nuevo ángulo de 160° en el extremo del electrodo.
- **Espectrómetro de emisión atómica de electrodo de disco rotatorio:** debe utilizarse un espectrómetro simultáneo que disponga una fuente de excitación, una óptica policromadora y un sistema de lectura. Los elementos y longitudes de onda sugeridos se muestran en la tabla 3. Cuando se indican varias longitudes de onda al mismo tiempo, se sugiere seguir el orden de preferencia o de rango analítico propuesto por la norma.
- **Baño ultrasónico calentado (recomendado):** un baño ultrasónico para calentar y homogeneizar las muestras de aceite usado con la finalidad de que las partículas se conviertan en una combinación homogénea. El baño ultrasónico se utilizará para muestras que contengan una gran cantidad de residuos y con muestras que hayan estado en tránsito o almacenadas durante 48 h o más.

## 2.9) Normativa ASTM E2412. Dilución con combustible

### Contextualización previa:

De acuerdo a (Payri González & Desantes Fernández, 2011) la contaminación con combustible en el aceite de motor, también denominada como el fenómeno de dilución por combustible, puede originarse por diferentes causas y razones, siendo las principales: inyectores defectuosos (goteo), mangueras o cañerías que transportan el combustible con fugas, periodos de uso de aceite demasiado prolongados, etc. Se puede afirmar que los efectos derivados de esta contaminación son fundamentalmente: disminución de la viscosidad, por efecto de la mezcla de un compuesto de menor viscosidad (el combustible) con el aceite, y también una significativa descomposición del paquete de aditivos.

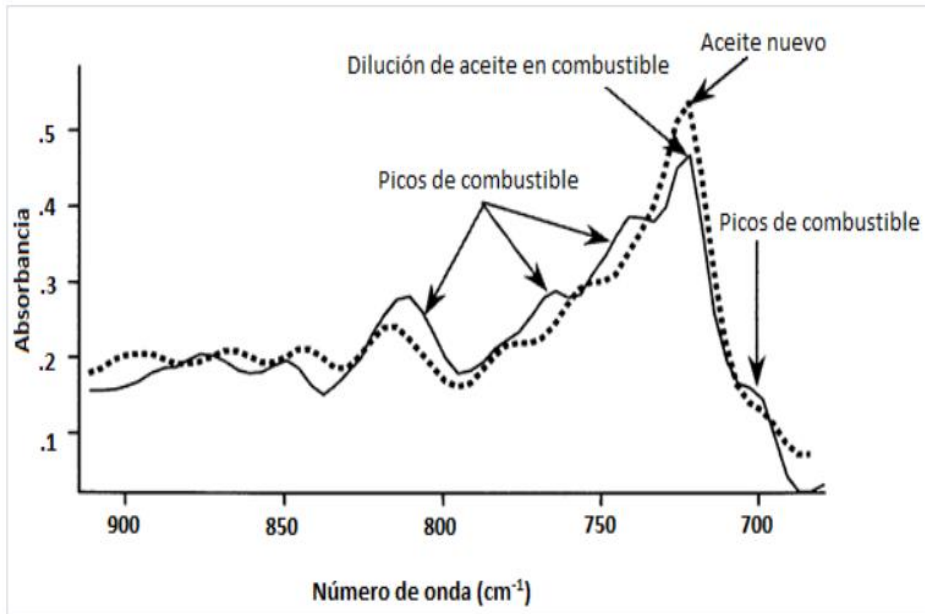
### 2.9.1) Metodología de ensayo para establecer la dilución con combustible

La normativa ASTM E2412 se emplea fundamentalmente para monitorear el agotamiento de aditivos y de igual manera la presencia de contaminantes dentro de los que se consideran a los más representativos, siendo estos: el agua, hollín, etilenglicol y finalmente los combustibles. Para lo cual, la normativa dictamina el uso de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), dicha técnica de análisis propone las longitudes de onda a la que absorben radiación infrarroja los múltiples elementos 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 también denominado como amplitud (o longitud de onda en  $\text{cm}^{-1}$ ) del espectro (ASTM, 2018).

A continuación, se indica el procedimiento a seguir dictado por la normativa (ASTM, 2018) para verificar la dilución con combustible.

- **Introducción de la muestra:** una muestra apta para análisis debe ser agregada manualmente o por un sistema de bombeo automático directamente en la celda de transmisión por infrarrojos.
- **Comprobación de la integridad de la muestra:** con la finalidad de avalar la precisión y la certeza de los resultados, el espectro infrarrojo de la muestra debe ser revisado previamente para que la celda esté completamente llena y que el aire o burbuja que pasan a través de la misma durante la recolección de datos no tengan injerencia sobre los resultados.
- **Procesamiento de datos:** el conjunto de espectros se procesará en unidades de la absorbancia de acuerdo al número de onda.
- **Análisis espectral de datos de la muestra:** para indicar los resultados se deben realizar mediciones de las zonas espectrales que contienen información significativa para el monitoreo. Los datos de una muestra de aceite nuevo sirven como referencia para la evaluación de la degradación y contaminación de un lubricante.
- **Verificación de la contaminación con combustible:** con el objetivo de mostrar la contaminación del lubricante con combustible, en el cárter de los motores se sugiere examinar las áreas comprendidas entre 805 a 815  $\text{cm}^{-1}$  para el caso del diésel y de 745 a 756  $\text{cm}^{-1}$  para la gasolina. Algunas características espectrales de los aceites diluidos

con combustibles se aprecian en la figura 29, a su vez en la tabla 6 se presentan otros parámetros de interés al momento de efectuar análisis de aceites usados.



**Figura 29. Medición del combustible en aceites. Fuente: (ASTM, 2018).**

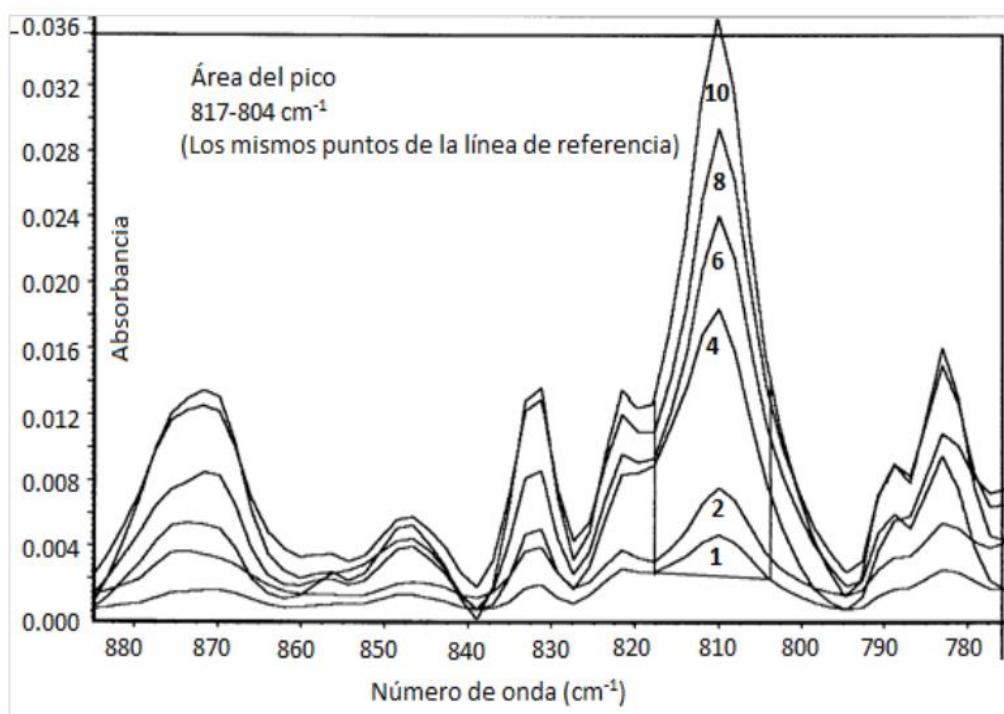
En la figura 30 se distingue un pico en el rango señalado anteriormente, por lo que se genera el incremento del área bajo la curva, el incremento anormal se indica en porcentaje del peso de combustible diésel degradado.

**Tabla 6 . Parámetros de monitoreo. Fuente: (ASTM, 2018).**

<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>			



En lo que refiere a la medida de los residuos de combustible esto es un parámetro difícil de determinar por cualquier método. La diferencia fundamental entre el combustible y el aceite base está en el peso molecular o intervalo de ebullición y el porcentaje relativo de materiales aromáticos. El combustible por su parte posee un intervalo de ebullición más bajo y un porcentaje más grande de material aromático. Los métodos comúnmente utilizados como la cromatografía de gases o punto de inflamación emplean la gama de ebullición más baja, mientras que el enfoque de infrarrojos analiza la cantidad de aromáticos para afirmar si el combustible ha sido detectado. La característica espectral causada por bandas de aromáticos en el rango de 817 a 804  $\text{cm}^{-1}$  se utiliza para este cometido.



**Figura 30. Zona de análisis del combustible Diésel para lubricantes a base de petróleo.**

**Fuente:** (ASTM, 2018).

La identificación de la contaminación con gasolina es más factible y viable que la determinación de la contaminación por diésel, como consecuencia del contenido aromático relativo más alto de la gasolina. Para poder distinguir la cuantificación de la gasolina se calibra usando un área de pico en el rango de 734 a 721  $\text{cm}^{-1}$ .

### 2.9.2) Instrumental requerido para la inspección de la dilución con combustible

Según la normativa se requieren obligatoriamente los siguientes materiales y equipos para llevar a cabo la prueba.

- **Espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR):** se define como un equipo configurado con una fuente de alimentación, un divisor de haz y finalmente un detector para cubrir adecuadamente el rango infrarrojo medio de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $550\text{ cm}^{-1}$ .

El sistema óptico del espectrómetro está constituido con un interferómetro que se encarga de evaluar la cantidad de frecuencia o intensidad en una señal policromática global sin tener que dispersarla. La radiación infrarroja se genera por medio de una lámpara la cual actúa en base a un alto voltaje. La misión del interferómetro es convertir la radiación generada en una señal en la cual se contemplen todas las frecuencias del infrarrojo preestablecidas, obteniendo esta señal a partir del movimiento de un espejo plano, el cual es regulado por un láser. La señal se transmite hasta el receptor de muestreo gracias a la aplicación de un sistema óptico. Finalmente, el detector capta la señal enviada por el interferómetro la cual presenta variaciones como consecuencia de la absorción de radiación de la muestra. La señal que se obtiene de la muestra es un interferograma, mismo que considera todas las frecuencias incluidas en la misma señal, por esta razón es necesario recurrir a la transformada de Fourier para convertir esta señal en un espectro donde se indiquen todas las frecuencias de la muestra, este espectro es el que evalúa la herramienta informática, relacionándolo con el contenido de compuestos diferentes en el aceite. En este tipo de equipos utilizados para el análisis de aceites usado, un equipo informático es el responsable de comparar los espectros de las muestras con el espectro perteneciente al aceite nuevo, dando como resultado por diferencia entre espectros de transmitancia, la cantidad de múltiples sustancias presentes en una muestra (Tormos, 2005).

- **Celdas de muestreo infrarrojo de líquido de transmisión:** La ventana para el muestreo de celdas, es elaborada a base de seleniuro de zinc (ZnSe), fluoruro de bario

(BaF<sub>2</sub>), bromuro de potasio (KBr), u otro material de ventana adecuado, que disponga una longitud de paso con un espesor de capa de 0,1 mm (100µm), espaciador de celdas paralelo (<0,5° de varianza). Los rangos de longitud de paso aceptables son de 0,080 mm a 0,120 mm. Como consecuencia del 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. La franja de reducción se puede lograr electrónicamente, vía óptica o mecánicamente para las celdas de ZnSe.

- **Solvente limpiador:** el solvente ideal que se debe emplear para limpiar las celdas entre diferentes tomas muestras para minimizar el arrastre no debería tener una absorción significativa de las áreas y condiciones de monitoreo en las zonas de interés y secarse rápidamente al bombear aire a través del sistema. Los disolventes de lavado típicos utilizados para el petróleo común y algunos lubricantes sintéticos son algunos tipos de hidrocarburos alifáticos ligeros de grado técnico sugerido, tales como el heptano o el ciclohexano. También es necesario precisar que, pueden ser necesarios otros disolventes para lubricantes sintéticos más especializados.

### **Capítulo 3: Análisis técnico de muestras de aceite usado**

El fluido de lubricación objeto de los siguientes análisis de aceite usado corresponde al lubricante de la marca Havoline, producido por el fabricante Chevron. En los diferentes análisis de muestras, se puede distinguir principalmente a las categorías de viscosidad 10W30 API SN y 20W50 API SN, propias para motores a gasolina. En cuanto a la procedencia de los análisis, se especifica que estos corresponden a muestras tomadas de diferentes vehículos (taxis) de la ciudad de Cuenca – Ecuador, mismos que participaron en la tesis de maestría titulada: “ Determinación de la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido ” realizada por (Guerrero, 2016), para lo que se indica el reporte de laboratorio emitido por la empresa Swissoil del Ecuador S.A, la cual fue la encargada de realizar el análisis de aceite.

#### **3.1) Características principales según fabricante**

En las tablas 7 y 8 se indican las principales características para lubricantes Havoline nuevos en fabricación normal producidos por la empresa Chevron, en estas tablas se puede visualizar a las propiedades más representativas consideradas para definir la condición óptima de un aceite previo a ser comercializado, siendo las principales: viscosidad cinemática a 40 °C y 100 °C, TBN entre otras, así como también los compuestos químicos correspondientes al paquete de aditivos que integran al aceite lubricante, refiriéndose concretamente a los elementos: magnesio, zinc y fósforo, es preciso señalar que las tablas anteriormente mencionadas también sugieren los valores óptimos que las propiedades del lubricante deben tener al momento de iniciar su uso y operación dentro del motor, por lo que estos valores deben servir como valores referenciales al momento de realizar la interpretación de los resultados del análisis de aceite en laboratorio, para poder compararlos con sus respectivos límites condinatorios según corresponda y establecer las respectivas conclusiones sobre el fluido de lubricación en uso.

**Tabla 7. Características de lubricantes 5W-20, 5W30 y 10W30. Fuente:** (Chevron, 2015).

<b>Grado SAE</b>	<b>5W-20</b>	<b>5W-30</b>	<b>10W-30</b>
<b>Número de Producto</b>	<b>223393</b>	<b>223394</b>	<b>223395</b>
<b>Número MSDS</b>			
<b>USA</b>	<b>26970</b>	<b>26970</b>	<b>26970</b>
<b>Colombia</b>	—	—	<b>31063</b>
<b>El Salvador</b>	—	—	<b>31407</b>
Densidad a 15°C, kg/L	0,861	0,860	0,873
Viscosidad, Cinemática			
mm <sup>2</sup> /s a 40°C	50,4	60,6	68,0
mm <sup>2</sup> /s a 100°C	8,4	10,0	10,0
Viscosidad, Arranque en Frío, °C/mPa.s	-30/6000	-30/6000	-25/6400
Índice de Viscosidad	142	151	131
Punto de Inflamación, °C(°F)	226(439)	230(446)	224(435)
Punto de Escurrimiento, °C(°F)	-42(-44)	-37(-35)	-36(-33)
Ceniza Sulfatada, masa %	0,9	0,9	0,9
Número Base, ASTM D2896, mgKOG/g	7,4	7,4	7,4
Fósforo, masa %	0,066	0,066	0,066
Zinc, masa %	0,075	0,075	0,075
Magnesio, masa %	0,004	0,004	0,004

**Tabla 8. Características de lubricantes: 10W-40, 20W50 y SAE 30. Fuente: (Chevron, 2015).**

<b>Grado SAE</b>	<b>10W-40</b>	<b>20W-50</b>	<b>30</b>
<b>Número de Producto</b>	<b>223396</b>	<b>223397</b>	<b>223391</b>
<b>Número MSDS</b>			
<b>USA</b>	<b>26970</b>	<b>26970</b>	<b>26970</b>
<b>Colombia</b>	—	<b>31063</b>	—
<b>El Salvador</b>	—	<b>31407</b>	—
Densidad a 15°C, kg/L	0,873	0,880	0,880
Viscosidad, Cinemática			
mm <sup>2</sup> /s a 40°C	102,0	157,2	97,0
mm <sup>2</sup> /s a 100°C	14,4	17,5	11,6
Viscosidad, Arranque en Frío, °C/mPa.s	-25/6400	-15/7200	—
Índice de Viscosidad	145	122	108
Punto de Inflamación, °C(°F)	>205(>401)	>205(>401)	250(482)
Punto de Escurrimiento, °C(°F)	-30(-22)	-24(-11)	-30(-22)
Ceniza Sulfatada, masa %	0,9	0,9	0,9
Número Base, ASTM D2896, mgKOG/g	7,4	7,4	7,4
Fósforo, masa %	0,066	0,066	0,066
Zinc, masa %	0,075	0,075	0,075
Magnesio, masa %	0,004	0,004	0,004

### 3.2) Especificación de límites condenatorios según fabricante

Los límites condenatorios son definidos y preestablecidos por los fabricantes de lubricantes, así como también por los diseñadores y constructores de motores. En la tabla 9 se muestran algunos valores típicos para límites condenatorios propuestos por las empresas Chevron – Texaco, así como también por algunos fabricantes de motores.

**Tabla 9. Límites condenatorios para MCI. 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

Por lo anteriormente expuesto, se puede establecer que para confirmar la correcta operación del aceite Havoline 10W30 API SN en base a la viscosidad cinemática a 100 °C, se debe tener en cuenta que los valores límites admisibles para esta propiedad serán de 8 y 12 mm<sup>2</sup>/s respectivamente, equivalente al límite condenatorio indicado en la tabla 9 el cual denota un +/- 20 % de la viscosidad del aceite nuevo.

De la misma manera, para evaluar el adecuado desempeño del aceite Havoline 20W50 API SN en función de la viscosidad cinemática a 100 °C, es preciso tener en consideración a su respectivo límite condenatorio mostrado en la tabla 9, que indica fijar los valores límites admisibles de 14 y 21 mm<sup>2</sup>/s correspondientemente, equivalente al +/- 20 % de la viscosidad del aceite nuevo.

En cuanto al TBN, se especifica que los dos lubricantes, tanto el 10W30 API SN como el 20W50 API SN, pueden experimentar una variación máxima del 50% del TBN original propuesto por el fabricante, según exhibe la tabla 9 en su respectivo límite condenatorio, por lo que para esta propiedad el valor límite admisible es equivalente a un valor igual o menor a 3.7 mgKOH/g.

### 3.3) Análisis de muestras categoría de viscosidad 10W30 API SN – Havoline

En este apartado se indican los análisis de muestras correspondientes a la categoría de viscosidad SAE 10W30 API SN del lubricante de la marca Havoline, para lo cual se muestra el respectivo informe de laboratorio de cada una de las muestras y así entonces establecer las respectivas conclusiones sobre el fluido lubricante en base a los resultados obtenidos.

**Tabla 10. Muestra Havoline 10W30 – 2961 KM. Fuente:** (Swissoil, 2015a).

TIEMPO DE SERVICIO: KM	2961
HORÓMETRO TOTAL: KM	102.198
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	9.19
TBN , ASTM D-2896	5.99
DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E2412	4.05
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	2
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	1
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	3
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	4

En la tabla 10 se indican los valores obtenidos para una primera muestra de aceite usado practicada al lubricante Havoline 10W30 API SN, la muestra corresponde a un kilometraje de servicio del aceite equivalente a 2961 Km. De esta manera entonces, se puede observar que la muestra obtenida, está dentro de los límites condenatorios admisibles sugeridos por Chevron, indicados en las tablas 7 y 9 para las propiedades de viscosidad, TBN y así como también para los contaminantes como la dilución con combustible (gasolina) y los metales



de desgaste del interior del motor. Dicho de otro modo, el lubricante objeto del análisis se encuentra en condiciones óptimas de rendimiento, esto considerando principalmente la prontitud de kilometraje a la cual se está evaluando la muestra.

En la tabla 11 se exponen los valores registrados para una segunda muestra de aceite usado conseguida del lubricante Havoline 10W30 API SN, la muestra fue extraída a un kilometraje de servicio del aceite correspondiente a 5001 Km. Al realizar una evaluación de los resultados obtenidos, se puede establecer que el TBN se encuentra dentro de su límite condenatorio admisible. Por otro lado, considerando la información proporcionada por Chevron, en la tabla 9, se puede afirmar que la viscosidad del aceite objeto del análisis registró un incremento de 3.97 (cSt) centistokes, por encima de su límite condenatorio superior admisible (12 mm<sup>2</sup>/s). Además, no se registra una presencia mayoritaria de ningún tipo de metal de desgaste y tampoco existe contaminación por dilución con combustible, ya que esta se encuentra dentro de su límite condenatorio admisible. En pocas palabras, se concluye que el aceite no está en condiciones adecuadas de funcionamiento, concretamente por una viscosidad alta, por lo que debe ser sustituido.

**Tabla 11. Muestra Havoline 10W30 – 5001 KM. Fuente:** (Swissoil, 2015b).

TIEMPO DE SERVICIO: KM	5.001
HORÓMETRO TOTAL: KM	406.599
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST, ASTM 445	15.97
TBN , ASTM D-2896	3.80
DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E2412	4.05
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	1
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	1
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	4
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	5

En la tabla 12 se observan los valores registrados para una tercera muestra de aceite usado ensayada al lubricante Havoline 10W30 API SN, la muestra fue tomada a un kilometraje de

servicio del aceite de 5723 Km. Valorando los resultados obtenidos, se puede establecer que existe contaminación del aceite lubricante por dilución con combustible, específicamente gasolina, la cual registra un porcentaje igual a 10.63, que, considerando la información proporcionada por Chevron en la tabla 9, evidentemente supera el límite condenatorio admisible. La contaminación del aceite lubricante con gasolina, incide directamente en una reducción de la viscosidad y en la descomposición del paquete de aditivos que conforman al aceite, y a su vez también se ocasionará el fenómeno de sulfatación como consecuencia del incremento de las concentraciones de azufre proveniente del combustible, dando como resultado el dióxido de azufre, el cual es altamente corrosivo para las piezas del motor y denota una clara reducción del TBN, mismo que está al borde de alcanzar su límite condenatorio admisible. Por otro lado, no se registra una presencia mayoritaria de ningún tipo de metal de desgaste. Finalmente se concluye, que el aceite no está en condiciones adecuadas de operación, por lo que debe ser sustituido y además se debe identificar la causa que generó la dilución con combustible para evitar que esta contaminación se siga suscitando.

**Tabla 12. Muestra Havoline 10W30 – 5723 KM. Fuente: (Swissoil, 2015c).**

TIEMPO DE SERVICIO: KM	5.723
HORÓMETRO TOTAL: KM	222.036
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	8.88
TBN , ASTM D-2896	3.71
DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E-2412	10.63
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	1
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	3
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	9
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	10

En la tabla 13 se revelan los valores registrados para una cuarta muestra de aceite usado ejecutada al lubricante Havoline 10W30 API SN, la muestra fue extraída a un kilometraje de servicio del aceite correspondiente a 5987 Km. Al llevar a cabo una evaluación de los resultados obtenidos, se evidencia una decremento del TBN que supera el límite condenatorio

admisible proporcionado por Chevron en conformidad con las tablas 7 y 9, lo cual podría incidir en una prematura oxidación del aceite, lo que causa que el mismo se convierta en un fluido potencialmente corrosivo y a su vez esto implicaría un aumento de la viscosidad del lubricante objeto del análisis, que de igual manera supera el límite condenatorio superior admisible fijado en un valor de 12 mm<sup>2</sup>/s. En cuanto a metales de desgaste, no se registra una presencia predominante de ningún tipo de estos elementos. En lo que respecta al análisis de dilución con combustible, se evidencia que este parámetro claramente ha superado su límite condenatorio admisible en un 3.29 %. En pocas palabras, se concluye que el aceite no está en condiciones adecuadas de funcionamiento, por lo que debe ser reemplazado.

**Tabla 13. Muestra Havoline 10W30 – 5987 KM. Fuente:** (Swissoil, 2015d).

TIEMPO DE SERVICIO: KM	5987
HORÓMETRO TOTAL: KM	407.587
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST, ASTM 445	15.97
TBN , ASTM D-2896	3.04
DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E2412	8.29
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	1
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	5
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	6

### 3.4) Análisis de muestras categoría de viscosidad 20W50 API SN – Havoline

En este inciso se indican los análisis de muestras correspondientes a la categoría de viscosidad 20W50 API SN del lubricante de la marca Havoline, para lo cual se muestra el respectivo informe de laboratorio de cada una de las muestras para de esta manera emitir las respectivas conclusiones sobre el fluido lubricante en base a los resultados obtenidos.

**Tabla 14. Muestra Havoline 20W50 – 4343 Km. Fuente:(Swissoil, 2015e).**

TIEMPO DE SERVICIO: KM	4343
HORÓMETRO TOTAL: KM	772
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 40°C CST,ASTM 445	15.94
DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E 2412	4.05
TBN , ASTM D-2896	4.49
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	4
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	1
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	5
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	6

En la tabla 14 se indican los valores obtenidos para una primera muestra de aceite usado practicada al lubricante Havoline 20W50 API SN, la muestra corresponde a un kilometraje de servicio del aceite igual a 4343 Km. De esta manera entonces, se puede observar que la muestra obtenida, está dentro de los límites condenatorios admisibles sugeridos por Chevron, indicados en las tablas 8 y 9 para las propiedades de viscosidad, TBN y así como también para los contaminantes como la dilución con combustible y los metales de desgaste del interior del motor. Dicho de otro modo, el lubricante objeto del análisis se encuentra en condiciones óptimas de rendimiento.

En la tabla 15 se observan los valores registrados para una segunda muestra de aceite usado obtenida del lubricante Havoline 20W50 API SN, la muestra fue tomada a un kilometraje de servicio del aceite correspondiente a 4810 Km. Emitiendo un juicio de valor acerca de los resultados, se puede asegurar la existencia de contaminación por dilución con combustible, misma que excede el límite condenatorio en un 9.13%, como consecuencia de este contaminante se ha generado una reducción de la viscosidad que supera el límite condenatorio inferior admisible equivalente a 14 mm<sup>2</sup>/s para el lubricante objeto de este

análisis, lo que generará un desgaste prematuro de este motor por una insuficiente película lubricante así como de la misma forma la desintegración del paquete de aditivos que contiene el aceite. En cuanto al TBN, esta propiedad se mantiene en un valor aceptable. Un aspecto de interés, es que la información proporcionada por la muestra manifiesta que existe una excesiva contaminación con silicio, la cual supera el límite condenatorio propuesto por Chevron, esto se aduce directamente a algún desperfecto en el sistema de filtración del aire que ingresa por la admisión para la combustión. Por último, si bien no excede el límite condenatorio, se registra una presencia considerable de partículas de hierro, concretamente 65 ppm, así como también una cantidad significativa de partículas de aluminio, exactamente 14 ppm, lo que sugiere pensar que este motor presenta un desgaste considerable en su interior y que las partículas metálicas encontradas en la muestra de aceite pueden provenir de piezas tales como: cigüeñal, válvulas, árbol de levas y/o bielas para el caso del hierro y en cambio de: bomba de aceite o pistones para el aluminio. En resumidas cuentas, el aceite no está en condiciones adecuadas de desempeño, por lo que debe ser sustituido y además se sugiere identificar cual es la razón por la cual existe un deficiente filtrado de aire.

**Tabla 15. Muestra Havoline 20W50 – 4810 KM. Fuente: (Swissoil, 2016a).**

TIEMPO DE SERVICIO: KM	4.810
HORÓMETRO TOTAL: KM	99.03
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST, ASTM 445	13.89
TBN , ASTM D-2896	6.25
% DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E 2412	14.13
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	1
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	1
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	1
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	14
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	4
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	65
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	49

En la tabla 16 se observan los valores registrados para una tercera muestra de aceite usado experimentada al lubricante Havoline 20W50 API SN, la muestra se obtuvo a un kilometraje

de servicio del aceite correspondiente a 4959 Km. Examinando los resultados proporcionados, es incuestionable que existe contaminación del aceite lubricante por dilución con combustible, la cual excede el límite condenatorio admisible en un 10.60 %, de acuerdo a los límites condenatorios recomendados por Chevron (tabla 9), la contaminación con combustible ha repercutido en una reducción de la viscosidad que de igual manera se encuentra por debajo de su límite condenatorio inferior aceptable, el cual es equivalente a 14 mm<sup>2</sup>/s. Igualmente, es pertinente destacar que el TBN se encuentra aún dentro de la franja límite admisible, por lo que se descarta una posible oxidación y acidificación del aceite. Por último, no se registra una existencia abundante de ningún tipo de metal de desgaste. En definitiva, se puede inferir que el aceite no está en condiciones adecuadas de funcionamiento, por lo que debe ser sustituido y además se debe identificar la causa que generó la dilución con combustible.

**Tabla 16. Muestra Havoline 20W50 – 4959 KM. Fuente: (Swissoil, 2016a).**

TIEMPO DE SERVICIO: KM	4.959
HORÓMETRO TOTAL: KM	133.566
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	10.22
TBN , ASTM D-2896	3.94
DILUCION POR COMBUSTIBLE, ASTM E2412	15.60
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	3
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	11
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	16

En la tabla 17 se indican los valores obtenidos para una cuarta muestra de aceite usado inspeccionada al lubricante Havoline 20W50 API SP, la muestra pertenece a un kilometraje de servicio del aceite correspondiente a 5490 Km. En conformidad con los resultados, se puede certificar que la muestra obtenida, presenta contaminación por dilución con

combustible (gasolina) en una magnitud excesiva de 11.62%, de igual forma la viscosidad señalada en el análisis, es de 8.90 mm<sup>2</sup>/s, la cual está muy por debajo de su límite condenatorio inferior equivalente a 14 mm<sup>2</sup>/s. Cabe resaltar que, el TBN se encuentra aún en un valor apropiado. Al referirse a los metales de desgaste del interior del motor, no se destaca la presencia de ningún elemento que supere su respectivo límite condenatorio, lo que descarta la posibilidad de considerar desgaste del motor. De este modo, se infiere que el lubricante objeto del análisis no se encuentra en condiciones idóneas de funcionamiento, por lo que debe ser reemplazado.

**Tabla 17. Muestra Havoline 20W50 – 5490 KM. Fuente:** (Swissoil, 2016b).

TIEMPO/KM DE SERVICIO: KM	5.490
HORÓMETRO/KM TOTAL: KM	106.413
APARIENCIA	CAFÉ OSCURO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445	8.90
TBN , ASTM D-2896	3.78
DILUCION POR COMBUSTIBLE FTIR ASTM E-2412 (%Wt)	16.62
<b>METALES DE DESGASTE, ASTM D-5185</b>	
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	1
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	2
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	1
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	3
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	1
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	8
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	11

### 3.5) Análisis de aceite en flotas vehiculares

Como se enunció en el apartado 1.11, la teoría del análisis de aceite usado, es una técnica de diagnóstico muy empleada en la actualidad para la aplicación del mantenimiento predictivo, esto por la eficacia y la veracidad de la información que proporciona. Por tal motivo, en base al criterio de (Lagreze, 2023), el análisis de aceite en motores de vehículos ofrece los siguientes beneficios:

- Reducción de costos de mantenimiento
- Mejor rendimiento del motor

- Anticipación a fallos y averías
- Aumento de la disponibilidad del equipo
- Mayor productividad

En base a la información anteriormente presentada es preciso mencionar y sugerir que implantar el análisis de aceite en flotas vehiculares va a tener un impacto positivo en el correcto desempeño de los motores, logrando conseguir su mayor eficiencia posible y reduciendo la degradación y contaminación interna que se puede generar como consecuencia de un lubricante en malas condiciones de uso y operación, esto a través del monitoreo de los diferentes parámetros de prueba para examinar un lubricante en específico. Adicionalmente, considerando el factor económico, este puede significar un ahorro de gran magnitud para las flotas vehiculares que decidan invertir en análisis de aceite, puesto que conocerán con exactitud y precisión el desempeño de los lubricantes empleados en los diferentes motores y de esta manera podrán proyectarse a mantener los intervalos de renovación del aceite adecuados y a su vez la utilización de las categorías de viscosidad correctas de acuerdo a las necesidades preestablecidas por los vehículos y la tecnología de los motores que equipen a los mismos.



## Capítulo 4: Guía didáctica

En esta sección se muestra la realización y presentación de la guía didáctica de comprensión e interpretación de parámetros y límites condensorios admisibles, que inciden para poder evaluar una muestra de aceite usado, así también se exponen consideraciones importantes con respecto a la temática.



The image shows a didactic guide for used oil analysis, divided into three main sections. The left section has a red background and contains the title '¿QUÉ ES EL ANÁLISIS DE ACEITE USADO?' followed by a definition: 'Se constituye como un conglomerado de pruebas de laboratorio, para examinar un lubricante en específico con fines de diagnóstico.' Below this, it states the main objective: 'El objetivo principal es reducir los costos de mantenimiento a través del monitoreo del estado del aceite.' A sub-section titled '¿PARA QUÉ SIRVE?' lists two points: '- SABER SI EL LUBRICANTE EN USO TIENE LAS CONDICIONES PARA SEGUIR EN EL MOTOR O DEBE SER SUSTITUIDO, ESTO EN BASE A SUS PROPIEDADES FUNDAMENTALES : VISCOSIDAD Y NUMERO TOTAL DE BASE (TBN).', and '- VERIFICAR SI EXISTE ALGÚN CONTAMINANTE QUE ALTERA LA FUNCIONALIDAD DEL ACEITE COMO : METALES DE DESGASTE O COMBUSTIBLE (GASOLINA).'. The middle section also has a red background and features a photo of oil being poured into an engine. Below the photo, it lists services: 'CONSULTAS, DUDAS Y ASESORÍA TÉCNICA EN LUBRICANTES PARA MOTOR', contact information 'JARAC857@GMAIL.COM', and a phone number '0987202474'. The right section has a white background and features the title 'ANÁLISIS DE ACEITE USADO', the author's name 'CÉSAR JARA', and the book title 'INGENIERÍA AUTOMOTRIZ 2024'. At the bottom of this section is a photo of oil being poured into an engine.

Figura 31 Guía didáctica – parte 1.

En la figura 31 se observa la parte uno de la guía didáctica realizada, en esta parte se engloba la información correspondiente a lo que es el análisis de aceite usado, cual es el objetivo principal de esta temática y así también se indica con que propósito se realiza un análisis de aceite usado.

## Límites condenatorios

Son valores límites admisibles para cada propiedad y/o contaminante en específico del lubricante, por lo que cuando son excedidos, son un indicador claro y efectivo para renovar el fluido de lubricación, los resultados de los análisis de aceite deben ser comparados con estos valores, para verificar la idoneidad del aceite.

Los límites condenatorios, son propuestos y aprobados por los fabricantes del aceite así como también por los diseñadores y constructores de motores.

Viscosidad a 100° C	./- 20 % Aceite nuevo
Disminución del TBN	50 % del aceite nuevo
Dilución por combustible [%]	Máximo 5%
Agua [%]	Ningún
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595, [ppm]	
CROMO, Cr	Máximo 15
NIQUEL, Ni	Máximo 10
COBRE, Cu	Máximo 30
Estaño, Sn	Máximo 20
Aluminio, Al	Máximo 20
Plomo, Pb	Máximo 30
Hierro, Fe	Máximo 75
Silicio, Si	Máximo 25

\* VALORES SUGERIDOS POR CHEVRON

### DEGRADACIÓN DEL ACEITE

SE ENTIENDE COMO LA PÉRDIDA DE LA CAPACIDAD DEL ACEITE PARA LUBRICAR, POR UN DETERIORO O AGOTAMIENTO DE SUS

#### PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS:

- **VISCOSIDAD CINEMÁTICA:** ES LA CARACTERÍSTICA MÁS IMPORTANTE DEL ACEITE EN CUANTO A SU DESEMPEÑO. UNA VISCOSIDAD BAJA PUEDE OCASIONAR EL CONTACTO METAL - METAL Y UNA MUY ALTA DIFICULTAR LA LLEGADA DEL ACEITE A TODAS LAS PARTES DEL MOTOR.
- **TBN :** ES EL NIVEL DE OXIDACIÓN Y ACIDIFICACIÓN QUE TIENE EL ACEITE, NIVELES BAJOS DE TBN SE INTERPRETAN COMO DESGASTE CORROSIVO.

#### CONTAMINACIÓN DEL ACEITE

SON COMPUESTOS, SUSTANCIAS O MATERIALES ANÓMALOS Y AJENOS AL ACEITE, QUE AL MEZCLARSE CON EL LUBRICANTE

VARIÁN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA, ALTERANDO LAS

#### FUNCIONES DEL ACEITE.

- **METALES DE DESGASTE:** EL TIPO Y CONCENTRACIÓN DE ESTAS PARTÍCULAS, PERMITEN CONOCER QUE PARTES DEL MOTOR PRESENTAN DESGASTE. LAS PARTÍCULAS METÁLICAS ACTÚAN COMO ESTIMULADORES DE LA OXIDACIÓN DEL ACEITE.
- **DILUCIÓN CON COMBUSTIBLE:** ES LA MEDIDA EN PORCENTAJE DE LOS ELEMENTOS VOLÁTILES EN EL ACEITE QUE SEÑALAN LA CONTAMINACIÓN CON GASOLINA. ALTAS CONCENTRACIONES DE GASOLINA EN EL ACEITE USADO GENERAN UN DECREMENTO Y REDUCCIÓN DE LA VISCOSIDAD AL IGUAL QUE LA DESCOMPOSICIÓN DEL PAQUETE DE ADITIVOS.

### Beneficios del análisis de aceite usado

- Reducción de costos de mantenimiento
- Mejor desempeño del motor
- Anticipación a fallos y averías
- Identificación de tendencias de desgaste

### Consideraciones importantes

La selección del lubricante adecuado para un vehículo, debe estar fundamentada en la recomendación del fabricante; considerando principalmente a la categoría de viscosidad y a la clasificación de servicio.

Durante el arranque del motor, la viscosidad de un lubricante debe ser baja para que pueda fluir con facilidad y ser bombeado a todas las partes móviles del motor.

Cuando el motor alcanza su temperatura normal de funcionamiento la viscosidad del lubricante debe ser lo suficientemente consistente para asegurar la formación de una película que logre separar las partes en movimiento.



Figura 32. Guía didáctica – parte 2.

En la figura 32 se muestra la parte dos de la guía didáctica realizada, en esta parte se abarca la información correspondiente a lo que son los límites condenatorios que establecen los fabricantes de lubricantes para los análisis de aceites, de igual manera se muestra la explicación e interpretación técnica de los factores relacionados a la contaminación y degradación del aceite y para finalizar se enuncian los beneficios del análisis de aceite usado y ciertas consideraciones de gran relevancia.

## Resultados

En referencia a la normativa ASTM D445 correspondiente a la viscosidad cinemática a temperatura normal de funcionamiento del motor, se puede afirmar que, de acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, la normativa estipula que es trascendental que los viscosímetros de vidrio o automáticos que se emplean en los análisis de aceite, estén debidamente calibrados, para los parámetros de rango de viscosidades detectables, temperatura y tiempo. En cuanto los valores de viscosidad cinemática que abarca este método de prueba estos se encuentran comprendidos entre valores de 0.2 a 300000 mm<sup>2</sup>/s. Para la temperatura a la cual se realiza el ensayo, se especifica que ésta debe permanecer constante durante todo el ensayo, para evitar variaciones en los valores obtenidos de viscosidad. Finalmente, en cuanto a los cronómetros que se deben emplear para medir el tiempo que tarda el líquido en fluir durante el ensayo, se indica que estos equipos deben estar en condiciones de permitir procesar los valores de tiempo con una diferencia de 0.1 segundos o superior.

En base a la indagación bibliográfica con relación a la normativa ASTM D2896 para obtener el número total de base (TBN), se señala que ésta es clara y precisa al informar que se debe utilizar un titulador potenciométrico el cual debe manejar una aproximación comprendida entre +/- 3%. De igual manera, la norma indica los reactivos químicos que son necesarios para evaluar correctamente al TBN, éstos son: ácido acético glacial (CH<sub>3</sub>COOH), anhídrido acético (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), clorobenceno (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl), solución de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) 0.1 N estandarizada y para concluir solvente para titulación.

Según la investigación de carácter bibliográfico, en lo que respecta a la normativa ASTM D6595, para medir la concentración de metales producto del desgaste de los componentes internos del motor, la normativa dicta que es indispensable la utilización de un espectrómetro de emisión atómica de electrodo por disco rotativo el cual debe disponer una fuente de excitación, una óptica policromadora y un sistema de lectura. Además, la norma indica que se debe vaporizar la muestra de aceite usado por completo, para de esta manera permitir la identificación de todas las partículas metálicas que se pueden desprender de la muestra de aceite.

Acerca de la revisión bibliográfica realizada para la normativa ASTM E2412, que permite identificar la contaminación por dilución con combustible la normativa dictamina el uso de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), dicha técnica de análisis determina las longitudes de onda a la que absorben radiación infrarroja los diferentes compuestos que se encuentran en el aceite usado para formar un interferograma el mismo que se somete entonces a una transformada de Fourier para obtener un número de onda también denominado como amplitud o longitud de onda en  $\text{cm}^{-1}$  del espectro. La normativa también precisa el uso del equipo adecuado para la verificación de la dilución con combustible el cual es un espectrómetro infrarrojo que es un equipo configurado con una fuente de alimentación, un divisor de haz y finalmente un detector para cubrir adecuadamente el rango infrarrojo medio de  $4000 \text{ cm}^{-1}$  a  $550 \text{ cm}^{-1}$ .

Finalmente, en cuanto a la guía didáctica se puede afirmar que la misma incluye la información suficiente y necesaria para explicar de manera clara y concisa, qué factores y parámetros son los que se consideran con mayor relevancia en el análisis de una muestra de aceite usado, así como también la respectiva interpretación técnica que se debe dar a los resultados emitidos en un informe por un laboratorio de análisis de aceite, para determinar el estado y la condición del fluido de lubricación dentro del motor y comprender si éste se encuentra operando con normalidad o debe ser sustituido.

## **Conclusiones**

En base a la revisión e investigación bibliográfica realizada, se puede concluir que es imprescindible emplear los equipos y/o materiales indicados en cada una de las normas, así como también aplicar la respectiva metodología de ensayo para determinar, identificar y cuantificar las propiedades y contaminantes que se analizan en un análisis de aceite. Por otro lado, en cuanto a la guía didáctica, es necesario afirmar que la misma es un instructivo informativo que permite adquirir el conocimiento para comprender las características que constituyen la degradación y contaminación del aceite. De igual manera, se ha podido corroborar las normativas vigentes aplicadas por los laboratorios de análisis de aceite en el Ecuador, para evaluar una muestra de aceite usado.

## Lista de referencias

- API. (2011). *El aceite para motor es importante. ¿Qué tipo de aceite es el adecuado?*  
[www.earth911.com](http://www.earth911.com).
- ASTM. (2016). *Método de prueba estándar para determinar el número base de productos derivados del petróleo mediante titulación potenciométrica con ácido perclórico.*  
<https://doi.org/10.1520/D2896-11>
- ASTM. (2017). *Método de prueba estándar para la determinación de metales de desgaste y contaminantes en aceites lubricantes usados o fluidos hidráulicos usados mediante espectrometría de emisión atómica con electrodo de disco rotatorio.* [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM. (2018). *Practica estándar para el monitoreo de condición de lubricantes usados mediante análisis de tendencias utilizando espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR).* <https://doi.org/10.1520/E2412-10R18>
- ASTM. (2020). *Método de prueba estándar para la densidad y la densidad relativa (gravedad específica) de líquidos mediante el picnómetro de Bingham.*  
<https://doi.org/10.1520/D1217>
- ASTM. (2024). *Método de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica).*  
<https://doi.org/10.1520/D0445-23>
- ASTM, I. (2022). *Petroleum Standards - Publications - Products & Services.*  
<https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/petroleum-standards.html>
- Avila, J. (2017). *Determinación del desgaste de los elementos mecánicos del motor mediante el análisis de aceite usado.*
- Cañaverall, J. (2021). *Análisis tribológico motores ISUZU.*
- Castrol. (2023, November). *Filtro de aceite: ¿Qué es, tipos y cuál es su importancia?*  
<https://lubricantesdistribuidor.com/blog/post/filtro-de-aceite-que-es-tipos-y-cual-es-su-importancia.html>

- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de Fluidos* (Primera).
- Chevron. (2015). *Havoline - Aceites para motor*. [www.grupoiridium.com](http://www.grupoiridium.com)
- Cracks, R. (2023, February 6). *¿Qué es ASTM y para qué sirve?* <https://rcracks.mx/que-es-astm-y-para-que-sirve/>
- Gómez Estrada, Y. A. (2013). *Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCLIA a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)*.
- Guerrero, F. (2016). *Degradación y contaminación del aceite lubricante de motores en función del kilometraje recorrido*.
- Lagreze, M. (2023). *Cómo el análisis de aceite mejora el mantenimiento predictivo*. <https://www.fractal.com/es/blog/que-es-el-analisis-de-aceite-en-mantenimiento-predictivo>
- Martins, M. (2024, July 11). *TBN en aceites: ¿Qué significa y por qué debería importarte?* <https://ingenierialiquida.castrolargentina.com.ar/castrol/tbn-en-aceites-que-significa-y-por-que-deberia-importarte>
- Mitsubishi Motors. (2003). *Manual del propietario - Mitsubishi Lancer*.
- Noria. (2023, August 7). *Beneficios del uso de aditivos de zinc en aceites de motor - Noria Latín América*. <https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/beneficios-del-uso-de-aditivos-de-zinc-en-aceites-de-motorbeneficios-del-uso-de-aditivos-de-zinc-en-aceites-de-motor/>
- Ochoa Pesantez, J. G., & Veintimilla Ramos, A. D. (2010). *Análisis y diagnóstico de la degradación del aceite Mobil15W40*.
- Payri González, Francisco., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Universitat Politècnica de València.
- Plaza, D. (2023, March 28). *SAE: qué es y por qué es importantes en los coches*. <https://www.motor.es/que-es/sae>

- Quintana, C., & Silva, L. (2021). *Análisis comparativo del comportamiento de un motor Honda Civic con diferentes grados de viscosidad de aceite a determinados regímenes de funcionamiento.*
- Rivas, J. L., Suárez, A., Escudero, S., & González, J. (2011). *Motores.*
- Rivera, E. (2016, September 10). *Selección, uso y mantenimiento de componentes de transmisión mecánica.* <https://componentesmecanicos.blogspot.com/>
- SAE. (2015, January 20). *J300\_201501: Engine Oil Viscosity Classification - SAE International.* [https://www.sae.org/standards/content/j300\\_201501/](https://www.sae.org/standards/content/j300_201501/)
- Sanguinetti, E. (2020, July 7). *Ley de la viscosidad de Newton: ecuación fundamental y explicación.* <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calefaccion-instalaciones-componentes/ley-de-la-viscosidad-de-newton-ecuacion-fundamental-y-explicacion.html>
- Swissoil. (2015a). *10W30 - 2961 Km.*
- Swissoil. (2015b). *10W30 - 5001 Km.*
- Swissoil. (2015c). *10W30 - 5723 Km.*
- Swissoil. (2015d). *10W30 - 5987 Km.*
- Swissoil. (2015e). *20W50 - 4343 Km.*
- Swissoil. (2016a). *20W50 - 4959 Km.*
- Swissoil. (2016b). *20W50 - 5490 Km.*
- Tamami, F. (2020). *PICNOMETRO-DE-BINGHAM.*
- Tormos, B. (2005). *Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis de aceite usado.*
- Villafuerte, J. (2020). *Aceite Lubricante.*
- Vimos Patajalo, L. X., & Coro Medina, O. X. (2021). *Estudio comparativo de la composición y propiedades fisicoquímicas de aceites lubricantes automotrices.*



Volkswagen. (2023, March 22). *¿Cuándo cambiar el aceite del motor?*

<https://www.vw.com.mx/es/experiencia/tips/cuando-cambiar-aceite-motor.html>

White, F. (2004). *Mecánica de fluidos* (Quinta).

Widman, I. (2018, November 18). *Análisis: Degradación del aceite.*

<https://www.widman.biz/Analisis/degradacion.html>