



22-Abril-2016

# Caracterización de Aceites de Motor por sus Propiedades Ópticas

Facultad de Ingeniería y Tecnología.  
Universidad de Montemorelos, N.L.

AUTOR:

FRANCISCO DAVID CORELLA JIMENEZ  
1120253

Asesores:

Dra. JUANA ROSAURA KANTÚN MONTIEL  
M.C. GILDARDO PABLO LEMUS ALONSO

## Contenido

<b>I. Introducción</b> .....	2
A. Antecedentes .....	2
B. Definición del problema ....	2
C. Justificación .....	2
D. Objetivos .....	3
E. Hipótesis .....	3
<b>II. Fundamentos Teóricos</b> .....	3
A. Marco Teórico .....	3
B. Estado del Arte .....	7
<b>III. Resultados</b> .....	8
A. Metodología .....	8
B. Resultados .....	10
C. Discusión. ....	12
<b>IV. Conclusiones</b> .....	13
<b>V. Anexos</b> .....	13
<b>VI. Referencias</b> .....	13

# Caracterización de Aceites de Motor Sintéticos por sus Propiedades Ópticas

*Francisco David Corella Jiménez, Juana Rosaura Katún Montiel, Gildardo Pablo Lemus Alonso.*

**Abstracto**— El índice de contaminación ambiental es uno de los problemas más importantes y comunes, debido al aumento de desechos contaminantes y peligrosos. Los aceites lubricantes usados para evitar el desgaste de los automóviles, son cambiados constantemente debido a que pierde sus propiedades de viscosidad y pureza. Una gota de este derivado del petróleo puede causar efectos irreversibles si se desecha en aguas, suelos, o aire. Este trabajo trata sobre la relación entre la viscosidad de los aceites automotrices y sus propiedades ópticas como lo es su índice de refracción, absorción, reflexión. Este protocolo no destructivo, no invasivo, rápido y de bajo costo puede ser una herramienta para diversas aplicaciones en la ingeniería y la ciencia. Se trabajó con aceites de un grado de viscosidad SAE 5w-30, que es el recomendado para automóviles nuevos. La muestra consta de 5 tipos de aceites de motor multigrado, 3 de ellos sintéticos (Marcas Mobil 1, AutoZone y Valvoline) y 2 aceites minerales multigrado (Castrol y Mobil Super). Se muestran resultados de mediciones del índice de refracción a través del refractómetro digital y de absorción usando un espectrómetro. Los resultados indican que es posible predecir el nivel de viscosidad indirectamente al medir su índice de refracción.

**Índice de términos**— Absorbancia, Aceites, Caracterización de fluidos, Índice de refracción óptica, Viscosidad.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Antecedentes

En la actualidad la calidad es un factor prioritario en la gestión de cualquier empresa o producto. Los precios de los productos se hacen cada vez menos relevantes y factores como la calidad son elementos de decisión. Calidad es un término muy heterogéneo que implica valor, excelencia o superioridad, o simplemente el cumplimiento de una condición o requisito y es aplicable tanto a materiales, a procesos como a productos[1].

El aceite del motor es vital para el correcto funcionamiento del mismo, su principal trabajo es mantener las partes móviles lubricadas, protegerlas de la corrosión. El aceite lubricante utilizado en los motores debe cumplir unos requisitos de calidad tales que se impida la formación de lodos, gomas y barnices, así como de espuma, al tiempo que se mantenga un índice de viscosidad relativamente estable dentro de amplios márgenes de temperatura, impidiendo la oxidación y corrosión de los elementos en contacto [2].

Las técnicas ópticas no destructivas y sus aplicaciones industriales han jugado un papel muy importante en los últimos años. Esto es debido a que se pueden hacer mediciones sin estar en contacto con los objetos a medir. En adición, es posible hacer la medición en campo completo y casi en tiempo real[3].

La luz y sus distintos fenómenos representan varios de los más interesantes estudios es todo el campo de la física. Son interesantes porque los resultados de muchos experimentos se manifiestan por medio del sentido de la vista como fenómenos de colores, igualmente importante y de interés es el desarrollo histórico y descubrimiento de diferentes principios, conceptos y propiedades de la luz [4].

### B. Definición del problema

La evaluación de los análisis de aceite lubricante sirve para controlar las propiedades físicas y químicas de operación del lubricante, como son la viscosidad, alcalinidad, punto de inflamación, disolución por combustibles, contaminantes como agua, hollín, lodos. Estos datos nos ayudan a saber si el producto utilizado mantiene las propiedades y es apto para continuar en servicio [5].

Existen actualmente métodos analíticos como la medición de la viscosidad, insolubles, TBN, oxidación, entre otros para la evaluación de la calidad de aceites. Sin embargo la gran mayoría de estos métodos, aunque precisos, son de larga ejecución y la carencia de facilidades de laboratorio en los establecimientos automotrices, limitan el cumplimiento de las normas de calidad existentes y en muchas ocasiones se hace un cambio de aceite en los automóviles cuando el aceite todavía puede seguir siendo utilizado. Es por eso que es necesario investigar y desarrollar nuevas técnicas que sean capaces de medir los niveles de viscosidad en tiempo real y con un bajo costo.

La viscosidad es una característica importante del aceite automotriz. Se desea conocer la relación existente entre las propiedades ópticas de los aceites como su índice de refracción y absorción con la viscosidad de estos.

### C. Justificación

El desarrollo de la humanidad en el último siglo ha generado muchas mejoras a la calidad de vida; este desarrollo ha generado grandes consumos de recursos del planeta, de los cuales muchos de ellos no son renovables como el petróleo, metales y otros materiales usados por el hombre. Este desarrollo genera emisiones desechos hacia el ambiente, en la actualidad

la sociedad en su conjunto aún no se desarrolla sustentablemente; es decir, se ha logrado satisfacer las necesidades del presente, pero se está comprometiendo las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades [6].

El índice de contaminación ambiental es uno de los problemas más importantes y comunes que se ha presentado en todo el mundo, debido a la falta de compromiso, desde el ciudadano hasta las grandes empresas e industrias generadoras de desechos contaminantes y peligrosos para el ambiente [7].

La administración nacional oceánica y atmosférica de Estados Unidos (NOAA) anuncio que la primera mitad del año 2015 en su conjunto entre enero y junio la temperatura global del planeta fue 0,85°C superior a la media desde que comenzaron los registros en 1880. El 2015 es el año con las temperaturas más altas de la historia [8]. Fenómenos climatológicos como el niño se está intensificando y se prevé que sea el episodio más fuerte desde 1997, se esperan graves sequías en los países afectados [9].

El aceite lubricante es una sustancia usada para evitar el desgaste y otros efectos entre dos piezas que trabajan en contacto. A consecuencia de ello, el aceite lubricante pierde sus propiedades y se presenta la necesidad de cambiarlo. Una gota de este derivado del petróleo puede causar efectos irreversibles si se desecha en aguas (una gota puede contaminar cuatro litros de agua), suelos, o bien si es incinerado a cielo abierto [10].

La mayoría de los aceites usados contienen compuestos tóxicos los cuales al quemarse son liberados a la atmósfera, es categorizado como un residuo líquido peligroso, es uno de los puntos a tratar por partes de todas las entidades e instituciones en diferentes países, por tal motivo se ha visto en la obligación de reducir el índice de contaminación causado por el aceite. El lubricante utilizado por el sector automotriz representa uno de los principales contaminantes del medio ambiente en nuestro país. Pese a ello y a los esfuerzos que realizan algunas compañías recicladoras, sólo se logra recolectar un 10 por ciento de los seis millones de galones de aceite usados cada año [2].

Para determinar la composición química del aceite automotriz y sus contaminantes se realizan análisis fisicoquímicos como; Densidad de acuerdo al método ASTM-D 1298 [11], viscosidad de acuerdo al método ASTM-D 445 [11], acidez de acuerdo al método ASTM-D 664 [12], cenizas sulfatadas de acuerdo al método B-IP 4/53 [13]. Humedad, de acuerdo al método Karl Fisher [13].

Sin embargo estas técnicas no están exentas de problemas, ya sea por variabilidad en la composición de los aceites, como en las dificultades de su implementación, preparación de muestras, uso de reactivos y aceptación por parte de los mecánicos y laboratoristas.

#### D. Objetivos

##### Objetivo General

- Determinar si es posible la caracterización de la viscosidad de los aceites lubricantes automotrices por medio de sus propiedades ópticas como índice de

refracción, absorción y reflexión como base para un futuro.

##### Objetivo Específicos

- Investigar si existe la relación entre la absorbancia de los aceites automotrices y su viscosidad.
- Investigar si existe alguna relación entre el índice de refracción de los aceites automotrices y su viscosidad.

#### E. Hipótesis

Al degradarse el aceite automotriz cambia sus propiedades físicas como viscosidad y color del aceite, estos cambios físicos y químicos provocan un cambio en las propiedades ópticas del aceite, entonces al medir los índices de refracción, absorción y reflexión se puede predecir el nivel de viscosidad de una muestra de aceite.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### A. Marco Teórico

#### 1) Historia de la óptica

Los orígenes de las tecnologías relacionadas con la óptica se remontan a la época del Éxodo. En Éxodo 38:8 se relata, mientras se preparaba el arca y el tabernáculo, Besalel remoldaba “los espejos de las mujeres” en el lavacro de bronce. Los primeros espejos se hicieron de cobre pulido y bronce. Diversos filósofos griegos desarrollaron teorías sobre la naturaleza de la luz relacionada con la propagación rectilínea de la luz, ley de la reflexión, mediciones de los ángulos de incidencia y refracción para distintos medios. En la edad media no hubo progreso científico en Europa y la óptica se estudió y difundió en el Mundo árabe donde trabajaron con la ley de reflexión, espejos esféricos, parabólicos y describieron detalladamente el ojo humano [14].

A finales del siglo XIII en Europa comenzó el despertar científico y diferentes científicos trabajaron con lentes y espejos. Estos Eventos constituyen lo que se podría llamar como el primer periodo de la óptica [14].

Desde el siglo XVII empezaron importantes descubrimientos en el área de la óptica, con la invención del telescopio refractor, el microscopio, Willerbrod Snell abrió la puerta para la óptica aplicada moderna al conocer exactamente como los rayos de luz son redirigidos al atravesar una frontera entre dos medios. Se estudiaron los fenómenos de la difracción y los patrones de interferencia coloreados. Newton estudio la naturaleza de la luz y concluyo que la luz blanca estaba compuesta de una mezcla de una gama completa de colores independientes. Christian Huygens dedujo las leyes de refracción y reflexión, usando su teoría ondulatoria y descubrió el fenómeno de la polarización. A partir del siglo XIX muchos científicos han aportado al campo de la óptica, Thomas Young, Jean Fresnel, Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Albert Abraham Michelson, Bohr, Heisenberg, Schrödinger [14].

#### 2) Propiedades de luz

Las diversas propiedades conocidas de la luz están descritas en función de experimentos por las cuales fueron descubiertas y por los experimentos actuales con los que son demostradas y validadas. La óptica puede dividirse en 3 grupos: Óptica

geométrica trata los fenómenos ópticos que se describen con líneas rectas y geometría plana, óptica física se ocupa de la naturaleza ondulatoria de la luz y Óptica cuántica que se refiere a los aspectos cuánticos de la luz [4].

Los fenómenos ópticos se pueden explicar satisfactoriamente cuando se consideran 2 modelos: El modelo ondulatorio de la luz y el modelo corpuscular de la luz. El modelo ondulatorio describe a la luz como una onda electromagnética que se genera y se propaga en campos eléctricos y magnéticos a la vez que se propagan en el vacío a una velocidad característica de  $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ . El ojo humano es capaz de detectar la radiación electromagnética de un determinado intervalo de frecuencias (400 a 700 nm) [15].

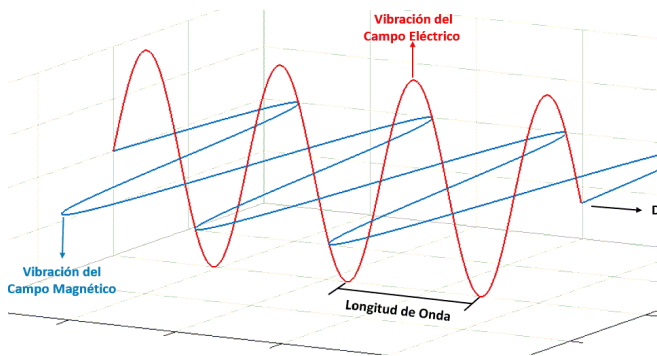


Figura 1.- Esquema de onda Electromagnética en un instante.

El modelo corpuscular describe la luz según la energía que es transportada por ondas luminosas que están empaquetadas en partículas discretas conocidos como fotones o cuantos. La luz posee características de onda y de partícula, se acepta que la luz tiene propiedades duales. En algunos casos se comporta como onda y en otros como partícula [15].

### 3) Índice de Refracción

La luz siempre se desplaza con más lentitud en un material que en el vacío. La relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un medio se le llama “Índice de refracción del medio” es representado con la letra  $n$ , es muy importante en la óptica geométrica. Es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío ( $c$ ) entre la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula ( $v$ ).

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Sustituyendo las velocidades, se pueden calcular diferentes índices de refracción para distintos medios. Cada sustancia transparente tiene su propio índice de refracción.

El índice de refracción es un parámetro muy útil de los medios homogéneos, este está estrechamente vinculado a las fuerzas intermoleculares a través de su dependencia con la densidad. Es ampliamente utilizado en la determinación de la concentración de numerosas soluciones, además es un medio sencillo y barato de caracterización de compuestos simples en colaboración con otras técnicas. [16]

### 4) Reflexión y Refracción de la luz

Cuando la luz se propaga a través de un medio con índice de refracción  $n_1$  incide sobre la superficie de separación con otro medio de índice de refracción distinto  $n_2$  parte de la luz se refleja siguiendo la ley de reflexión y el resto de la luz se refracta y entra en el segundo medio.

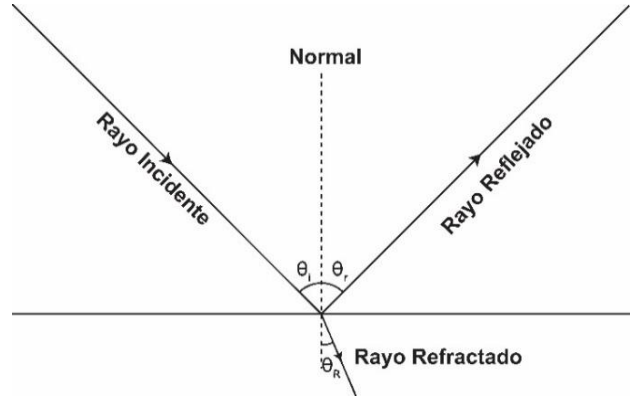


Figura 2.- Reflexión y refracción de la luz en el límite de una superficie de un medio.

### 5) Absorción

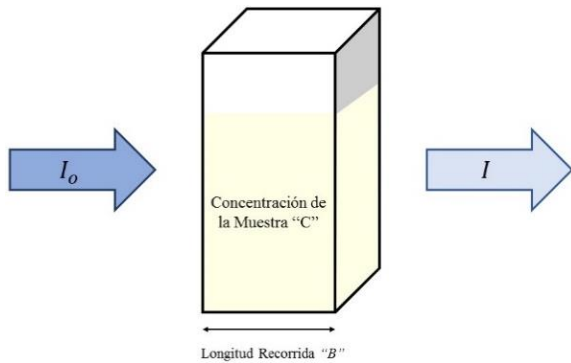
Las sustancias son capaces de absorber luz (radiación electromagnética) de determinadas longitudes de onda. Cuando un haz de luz monocromática (una sola longitud de onda) incide sobre una solución de una sustancia que absorbe, la intensidad de la luz transmitida (la que atraviesa la solución) es menor que la incidente. Así pues, la transmitancia ( $T$ ) de una solución se define como el cociente de la luz transmitida por la solución entre la luz incidente. Se expresa en porcentaje:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

Donde  $I$  es la intensidad de luz después del paso a través de una muestra (transmitida) y  $I_0$  es la intensidad de luz inicial (incidente). La absorbancia es el logaritmo decimal del inverso de la transmitancia. La ecuación es la siguiente:

$$A = -\log_{10} T = -\log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

La fracción de luz absorbida en una longitud de onda específica, se denomina absorptividad o coeficiente de extinción. La absorbancia de una sustancia en solución depende del espesor de la muestra, de la concentración del compuesto absorbente y de la naturaleza química de éste. Esto se expresa mediante la ley de Lambert-Beer- Bouguer. [17]



**Figura 3.- Ley de Bouguer-Lambert-Beer.** La intensidad de la luz que sale del modelo depende de la intensidad de entrada ( $I_0$ ), la concentración de la muestra ( $C$ ) y la distancia recorrida ( $B$ ).

Ley de Lambert-Beer- Bouguer: La absorbancia de una radiación monocromática es directamente proporcional al espesor de la radiación a través de la solución y a la concentración de la especie absorbente que se encuentra en solución:  $A = abc$ . Esta ley se aplica a sustancias que absorben energía radiante y relaciona la concentración de un soluto en solución con la intensidad de la luz transmitida a través de la solución. Cuando se trabaja en unidad de molaridad, la  $a$  cambia a  $\epsilon$  [18].

**TABLA I**  
**LEY DE LAMBERT-BEER- BOUGUER**

$A = abc$	$A = \epsilon bC$
$a =$ Longitud de onda dependiente del coeficiente de absorción	$\epsilon =$ Longitud de onda dependiente del coeficiente de absorción molar ( $Lmol^{-1} cm^{-1}$ )
$b =$ Longitud de trayectoria (cm)	$b =$ Longitud de trayectoria (cm)
$c =$ Concentración del compuesto (g/L)	$C =$ Concentración del compuesto ( $mol L^{-1}$ )

### 6) Interferencia

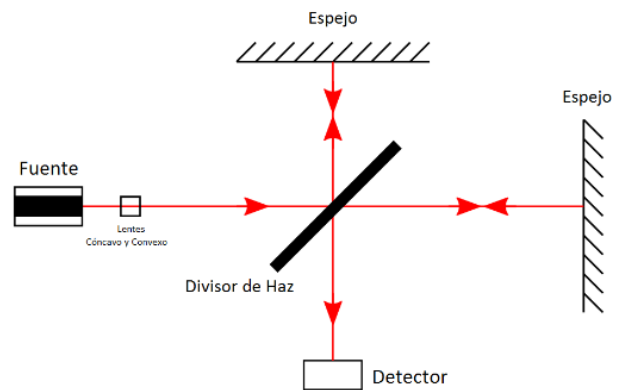
La interferometría óptica es un fenómeno basado en la naturaleza ondulatoria de la luz que permite realizar medidas precisas de las formas o de las distancias, ya que proporciona una resolución extraordinaria y no requiere un contacto físico directo con la superficie sometida a estudio. La expresión matemática que describe la perturbación óptica es una ecuación diferencial parcial homogénea de segundo orden y obedece al principio de superposición. La interferencia óptica se puede decir que es una interacción de dos o más ondas de luz que producen una intensidad resultante, la cual se desvía de la suma de las intensidades componentes.

El principio fundamental de la interferometría consiste en la interacción o interferencia entre dos ondas luminosas que se encuentran una con otra, de forma parecida a lo que sucede cuando se encuentran dos ondas superficiales en el agua. En cualquiera de estos casos, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de la otra, la interferencia es destructiva y las ondas se anulan. Cuando coinciden las dos crestas o los dos valles, las ondas se refuerzan mutuamente, la interferencia es constructiva y las ondas se suman [19].

Los interferómetros pueden dividirse en dos clases:

- Los basados en la división del frente de onda: En este caso se usan porciones del frente de onda primario bien sea directamente como fuentes para emitir ondas secundarias o conjuntamente con sistemas ópticos para producir fuentes virtuales de ondas secundarias. Luego se hace que se encuentren estas ondas secundarias para interferir. Como ejemplo de esto se pueden mencionar el biprisma de Fresnel, los espejos de Fresnel y el espejo de Lloyd.
- Los que se fundamentan en la división de la amplitud: En este caso la onda primaria se divide en dos segmentos los cuales viajan por diferentes caminos antes de recombinarse e interferir.

La principal ventaja del Interferómetro de Michelson sobre las técnicas primitivas de producir interferencias es que los haces están ampliamente separados, pudiéndose variar la diferencia de recorrido ya sea moviendo uno de los espejos o introduciendo una sustancia en la trayectoria de uno de los haces. Las técnicas interferométricas son ampliamente usadas por su gran resolución [19].



**Figura 4.- Diagrama del Interferómetro de Michelson.**

### 7) Aceites Lubricantes de Motor.

Un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento [20]. Los aceites lubricantes están constituidos por una base, la cual provee las características primarias de lubricación; la base puede ser mineral, sintética o vegetal [7].

Básicamente los aceites lubricantes son una mezcla de hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos obtenidos por destilación de crudos petrolíferos (aceites minerales) o por síntesis a partir de productos petroquímicos (aceites sintéticos). La variación en la proporción de los diferentes tipos de hidrocarburos en la mezcla determina las características físicas y químicas de los aceites. Una alta fracción de hidrocarburos parafínicos confiere al aceite una mayor resistencia a la oxidación, mientras que un alto contenido de hidrocarburos aromáticos favorece la estabilidad térmica [21].

El aceite lubricante utilizado en los motores debe cumplir unos requisitos de calidad tales que se impida la formación de lodos, gomas y barnices, así como de espuma, al tiempo que se mantenga un índice de viscosidad relativamente estable dentro de márgenes de temperatura, impidiendo la oxidación y corrosión de los elementos en contacto. Dado que la película de lubricante va a estar sometida en el funcionamiento del motor a elevadas temperaturas y presiones, se comprende que la calidad del mismo ha de ser tal que no se queme ni rompa la película, lo que se consigue utilizando aceites minerales. Estos aceites se extraen del petróleo bruto, destilándole a más de 360°C y están constituidos por una mezcla de hidrocarburos [22].

Esencialmente, un lubricante depende de un aceite base y ciertos tipos de aditivos empleados. Estas propiedades pueden ser:

Numero de bases totales (TBN): Cantidad de ácido clorhídrico (HCl) en mg necesaria para neutralizar los componentes alcalinos de una muestra de 1 g de aceite. Se utiliza en aceites de motor. Es el encargado de medir la cantidad de reserva antiácida del lubricante disponible para neutralizar los ácidos que se forman por la combustión [7].

Número de ácido total (TAN): Cantidad de ácido expresado en términos del número equivalente de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesaria para neutralizar todos los constituyentes ácidos presentes en 1 g de aceite incluyendo débiles y fuertes. La acidez total se origina debido a la presencia de aditivos o compuestos que se forman durante ciertos procesos de oxidación y degradación [20].

Expansión térmica: Incremento en el volumen de un material a medida que aumenta su temperatura; por lo general, se expresa como un cambio fraccionario en las medidas por unidad de cambio de temperatura [7].

Punto de inflamación: El punto de inflamación de un aceite lo determina la temperatura mínima a la cual desprende vapores inflamables que se encienden en presencia de una llama o de un punto incandescente. Este punto debe ser lo más alto posible para evitar que el aceite se incendie al estar en contacto con zonas del motor a altas temperaturas. El punto de inflamación de un aceite usado sube con el tiempo de uso debido a la evaporación de las sustancias volátiles del mismo [23, 24].

Viscosidad: Es la propiedad de un fluido que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. En un aceite lubricante expresa la capacidad que tiene éste, para separar superficies que se encuentran en contacto de forma dinámica o cinemática. Un aceite con una viscosidad alta (espeso), forma una película de lubricante que es capaz de soportar grandes cargas sin ser desplazada impidiendo el contacto directo de las piezas [7, 25].

El índice de viscosidad es una medida de cuanto cambia la viscosidad de un aceite con la temperatura. Un índice bajo significa que el aceite tiene una viscosidad relativamente alta a baja temperatura y una viscosidad baja a temperatura alta. En los motores es conveniente que este índice sea elevado. En la actualidad se utiliza preferentemente la llamada viscosidad cinemática, la cual se mide por medio de viscosímetros apropiados, que tienen por objeto averiguar la relación entre la viscosidad absoluta o dinámica (medida en Poises) y el peso específico (medidos en gramos-centímetros cúbicos) la

viscosidad cinemática se expresa en unidades Stokes (St) o sus submúltiplo centistokes (CSt) [22].

Existen varios grados de aceites de una sola viscosidad (Monogrado). Se han clasificado para invierno y para lo que no es invierno. Los aceites de clasificación invernal son SAE 0W, SAE 5W, SAE 10W, SAE 15W, SAE 20W y SAE 25W. SAE es Society of Automotive Engineers, quienes desarrollaron el sistema de clasificación correspondiente. La W significa invierno. Para usos distintos al de invierno, los grados de aceite de una sola viscosidad son, SAE 20, SAE 30, SAE 40, y SAE 50. Mientras más elevado sea el número, más espeso será el aceite. Muchos aceites de motor tienen agregado un mejorador del índice de viscosidad. Esto permite que la viscosidad de aceite se conserve relativamente sin cambios, caliente o frío (Multigrado). Un aceite multigrado clasificado como SAE 5W-30, tiene la viscosidad SAE 5W cuando está frío y de SAE 30 cuando está caliente. Los fabricantes de automóviles recomiendan aceite multigrado para la mayor parte de las condiciones de manejo [2].

Color: El color del aceite era de gran importancia ya que este era un índice de la calidad de la refinación. Actualmente las compañías petroleras colorean sus aceites lubricantes con diversas sustancias, constituyendo el color del aceite algo así como una marca de identificación para el consumidor. Por lo tanto actualmente el color del aceite no es ya una característica indicadora de la calidad del mismo. En los aceites en servicio, un cambio de color puede alertar sobre una posible alteración en su integridad, deterioro, contaminación, etc. Las coloraciones oscuras en los aceites están dadas por determinados compuestos como las impurezas de compuestos sulfurados e hidrocarburos aromáticos que forman compuestos complejos por oxidación. La contaminación con fracciones más ligeras que el aceite aclaran el color de éste [26].

Corrosividad: Es la tendencia del lubricante a reaccionar fácilmente con metales ferrosos y no ferrosos, acelerando así la oxidación catalíticamente. La corrosividad se reduce mediante aditivos y se controla por la detección oportuna de productos de oxidación y corrosión [7].

#### 8) Aceites lubricantes sintéticos.

Un lubricante sintético contiene aceites base altamente refinados más que los usados en aceites minerales convencionales, ofreciéndole una mayor protección y rendimiento. Los lubricantes sintéticos están elaborados con procesos más avanzados de refinación y tienen una mayor pureza y calidad. Esto no sólo elimina más impurezas del petróleo crudo, sino que también permite que se modifiquen las moléculas individuales en el aceite para ajustarse a las demandas de los motores modernos [37]. Las características que hacen que el aceite sintético tenga mayor calidad son:

El rendimiento de los aceites sintéticos típicamente es más robusto, especialmente en términos de bombeabilidad a temperaturas bajas, estabilidad a temperaturas altas y protección contra depósitos. Estos atributos pueden ayudar a la reducción en el desgaste del motor, un posible ahorro de combustible y una mayor vida del motor.

Los aceites sintéticos se han desarrollado específicamente para lidiar con las condiciones extremas que se encuentran en los motores modernos. Éstos fluyen mucho más libremente que

los aceites minerales tradicionales. El mayor beneficio es que aumenta en gran medida la protección del motor. Cuando un motor se arranca, al aceite mineral le toma algún tiempo circular, permitiendo la fricción entre las partes no lubricadas y causando desgaste. A diferencia de esto, un lubricante sintético empieza a circular inmediatamente, protegiendo cada parte móvil dentro del motor.

Los aceites sintéticos también pueden aumentar significativamente el ahorro de combustible. Durante el periodo de calentamiento del recorrido de un camión típico, los aceites minerales son más espesos y se mueven más lentamente, haciendo que el motor necesite más combustible y sea menos eficiente. Sin embargo, los sintéticos empiezan a trabajar más rápidamente y el motor alcanza su eficiencia operativa máxima más rápido [27].

Excelente flujo a temperaturas bajas – El punto de escurrimiento es una medida de la habilidad del lubricante para fluir a bajas temperaturas. Están diseñados para reducir la fricción interna, lo cual tiene como resultado características sobresalientes de flujo a bajas temperaturas. Como resultado, los componentes se encuentran lubricados más efectivamente, especialmente durante un arranque en frío donde puede ocurrir una cantidad significativa de desgaste [27].

Estabilidad de viscosidad – Un índice más alto de viscosidad se traduce en una viscosidad más estable en un rango más amplio de temperatura.

Mayor estabilidad térmica y de oxidación – La mayor estabilidad térmica y de oxidación de los lubricantes sintéticos tiene como resultado un menor aumento de viscosidad con la edad, un mejor control de depósitos, lo cual conlleva menos cambios de aceite, menos tiempo muerto con una posibilidad de extensión en los intervalos de drenaje de aceite [37].

## B. Estado del Arte

En diferentes universidades y lugares se ha trabajado con métodos de análisis ópticos de absorción, interferometría, espectrometría como alternativa para caracterizar propiedades de materiales, fluidos, etc.

Marta Miranda [28] en La Universidad de Vigo ha trabajado con algoritmos diferenciales de desplazamiento de fase para interferometría, La interferometría de campo completo tiene muchas aplicaciones porque la información de cualquier magnitud natural que puede ser relacionada con la fase óptica. Se diseñaron y caracterizaron novedosos algoritmos de evaluación de la diferencia o suma de la fase óptica. Esto permite que el cálculo directo de la diferencia de fase óptica codificada en dos patrones de franjas puede llevarse a cabo mediante el empleo de los algoritmos diferenciales de desplazamiento de fase (ADDFs), los cuales pueden ser obtenidos por ejemplo combinando apropiadamente de forma no lineal los conocidos algoritmos de desplazamiento de fase (ADF), evitando el delicado proceso de reconstrucción si el resultado obtenido es directamente el valor continuo de la diferencia de fase. En este trabajo se presentan de forma metódica los protocolos de diseño de las principales familias de ADDFs caracterizando pormenorizadamente el efecto de las principales fuentes de error sistemático lo que proporciona valiosa información sobre las sensibilidades de los diferentes ADDFs, los relaciona si es el caso genéticamente con sus ADFs

precursores e indica procedimientos de cancelación y/o comparación.

Los métodos ópticos se aplican incluso en el área de la medicina, un ejemplo de esto es la oximetría, La oximetría de pulso es un método no invasivo que contribuye a garantizar la seguridad de la anestesia basada en la ley de absorción de Lambert-Beer- Bouguer. El oxímetro de pulso cuantifica la saturación de  $O_2$ , al valorar la absorbancia de luz en la longitud de onda entre 400 y 700 nanómetros (nm) corresponden a la luz visible. Las características del espectro de absorción de luz de la hemoglobina oxigenada ( $O_2Hb$ ) y no oxigenada, desoxihemoglobina o reducida (RHb), presentan diferencias que son máximas en la región roja e infrarroja del espectro. Estas dos luces de diferente longitud de onda, roja e infrarroja, se pasan a través del árbol arterial y el porcentaje de  $O_2Hb$  y RHb es determinado por un fotodetector [17].

En otros sectores como el de la alimentación también se desea conocer las características físicas diferentes fluidos utilizados en las comidas, por ejemplo los aceites comestibles, B. Briseño Tepepal [29] midió la difusividad térmica de algunos aceites comestibles, Para esto se aplicó el método de detección de interferencia de ondas térmicas, a temperatura ambiente, que se montó y automatizó, posteriormente se presenta una comparación de los valores medidos con los reportados en la literatura. Los resultados de las mediciones demostraron que el proceso de cocinado se manifiesta de manera muy evidente en variaciones en la difusividad térmica.

Métodos como interferometría son usados para determinar campos de temperatura en fluidos. Morales G. R. [30] presenta la construcción de un sistema interferométrico para su aplicación en la caracterización de la dinámica de fluidos como medios de transferencia de calor por convección. Los datos experimentales son fotografías de patrones de interferencia obtenidos con el interferómetro de Mach-Zender. Posteriormente a las imágenes se les trata y analiza para extraer la información de la distribución de temperaturas del fluido.

Julio Enrique Duarte [19] usó interferometría para caracterizar membranas termoneumáticas, La caracterización de dispositivos que modifican su estructura geométrica exige disponer de una técnica de medida precisa, fiable, eficiente y que se ajuste a los requerimientos experimentales. En este sentido, se ilustra el Interferómetro de Michelson como dispositivo para la medición de deflexiones en micromembranas de silicio actuadas termoneumáticamente. Se obtuvieron los anillos de interferencia debido a las modificaciones de la superficie de las membranas los cuales, al ser contabilizados, permiten establecer el comportamiento dinámico de la membrana. La estructura de prueba tiene un área de  $4000 \mu m^2$ ,  $14 \mu m$  de grosor y una cavidad de actuación con una profundidad de  $300 \mu m$ .

Julio César Mosquera [31] estudió el análisis espectral de imágenes ópticas de muestras de frutos de café en cereza. El procesamiento espectral se realizó en el espectro visible de radiación electromagnética a través de un filtro acusto-óptico (FAO) fabricado con un cristal de dióxido de Telurio ( $TeO_2$ ). La velocidad con la cual se obtienen las imágenes procesadas es superior a la de los métodos basados únicamente en técnicas DIP (Digital Imaging Processing), considerándose como un análisis en verdadero tiempo real. En particular, se muestra que



este tipo de dispositivos representa una excelente alternativa en el procesamiento de imágenes para aplicaciones industriales de selección de granos de café según su estado de maduración y en conjunto con un menor procesamiento DIP.

Andrés Mauricio Villegas Hincapié; Carolina Pérez Henao investigaron la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) que es una herramienta para la identificación de procedencia y la cuantificación de compuestos químicos en productos agrícolas; especialmente en café es una herramienta de autenticación, por ser de fácil utilización, precisa, reproducible, ajustable a las condiciones particulares de los productos y de bajo costo. Se tomaron muestras de café (verde y tostado) para realizar la evaluación de la técnica NIRS, utilizando un equipo de mesa y un equipo portátil, con el fin de explorar su potencial en la identificación de procedencia y cuantificación de tres compuestos químicos en café verde y tostado. Los resultados mostraron que la implementación de la técnica NIRS mediante el uso de equipos portátiles ofrece ventajas similares a los equipos de laboratorio en cuanto a robustez y exactitud, tanto para la identificación de orígenes como para la predicción de características químicas asociadas a la calidad [32].

Ortega, M. A. y Rodríguez, L. investigaron la evaluación de la interacción entre colorantes y nanopartículas coloidales mediante los procesos radiativos y no radiativos del sistema. Emplearon NPS generadas por la ablación láser de placas de metales sumergidas en soluciones etanólicas de Rodamina 110. Se emplea TEM, para el análisis morfológico del sistema. Se realiza la caracterización óptica lineal empleando espectroscopía UV-Visible. Se determinan las contribuciones de las diferentes vías de relajación del sistema, mediante espectroscopía de fluorescencia y Lente Térmica.

En la actualidad existe una producción de más de 100 000 aceros diferentes de acuerdo a su composición química y propiedades mecánicas; sin embargo, una vez en el mercado, no existe técnica alguna capaz de idéntica y clásica cualquier acero según su clase o grado. Contreras, U., Meneses-Nava, M. A. [33] Describen un método capaz de identificar y clasificar aceros a través de la determinación de su composición química. El método propuesto se basa en un análisis de espectroscopia atómica procedente de la técnica LIBS así como del análisis multivariado de los espectros de emisión. Para aceros pertenecientes a diferentes clases se detectaron diferencias espectrales considerables debidas a su composición elemental, lo que hace posible su identificación de una manera rápida. En el caso de dos aceros analizados de una misma clase, pero de distinto grado, la información espectral no es suficiente para una discriminación satisfactoria a simple vista ya que las diferencias en composición son relativamente bajas (< 0.5%); sin embargo, con el análisis de componentes principales se logró la discriminación de las 4 muestras de acero (de acuerdo a su clase y grado).

C Chavez Venegas y J Felix Navarrete [5] estudiaron sobre la optimización de consumo de lubricantes en las máquinas de propulsión y generadores auxiliares de una embarcación mediante la evaluación de los resultados de los análisis del aceite lubricante, que a su vez sirve como herramienta de mantenimiento predictivo. El seguimiento de los parámetros e control de los aceite lubricantes ayudo a determinar los efectos

del deterioro en lubricación de los equipos y el aumento de los contaminantes en el aceite, lo que permitió determinar las causas de las condiciones de operación de los equipos. Con el control realizado se emitieron las recomendaciones de corrección de operación, mantenimiento y su posterior seguimiento. Con la información obtenida se determinó el intervalo de cambio de aceite lubricante que los equipos se pueden operar sin inconvenientes y mejorar el desempeño disminuyendo el consumo de lubricantes. Graficas de control de elementos de desgaste permiten predecir cuál es el comportamiento que mantiene los equipos y permiten emitir alertas de control cuando se superan las tendencias de operación de los equipos.

Guillermo José Martínez Miranda [10] trabajo con la evaluación del ciclo de vida del aceite de motor como producto sostenible en los Santanderes se llevó a cabo bajo la norma LCA LifeCycleAssessment, norma expuesta por la ISO 14040, se tuvieron en cuenta los pasos "de la cuna a la tumba", con el fin de tener la información completa y exacta del proceso. Las etapas que se tuvieron en cuenta entre la recolección de información son las entradas que contemplan las materias primas utilizadas, la fabricación y producción, y por último el reciclaje e impacto ambiental. El estudio muestra una visión frente a la problemática existente en la región, y nuevas alternativas basadas en la evaluación y conclusión del mismo.

L. Montoro [34] presenta los estudios realizados para comparar de manera objetiva la información proporcionada por técnicas de análisis químico, principalmente la espectrometría de emisión de plasma (ICP-OES) frente a técnicas de análisis físico de las partículas, siendo en este caso seleccionada la ferrografía analítica. Las muestras de aceite objeto del estudio proceden de maquinaria real de diferentes industrias y extraídas siguiendo los correspondientes protocolos de muestreo recomendados por los fabricantes de cada una de ellas. El análisis mediante espectrometría de emisión ha sido efectuado en laboratorios externos debidamente acreditados, además, de forma paralela y a fin de comparar resultados, se han realizado en nuestras instalaciones análisis mediante espectrometría de absorción atómica de los mismos aceites lubricantes. Los estudios ferrográficos se han llevado a cabo íntegramente en las instalaciones de la Universitat de Girona, efectuándose modificaciones sobre la técnica de ferrográfica tradicional con el objetivo de mejorar la detección de partículas y agilizar el proceso analítico. Los resultados finales han sido estructurados en función del tipo de maquinaria y de los tipos de metales y partículas detectados, mostrando las ventajas e inconvenientes observadas para cada una de las técnicas de diagnóstico empleadas

### III. RESULTADOS

#### A. Metodología

Se decidió trabajar con aceites comerciales, se usaron aceites con un grado de viscosidad SAE 5w-30 ya que es de los grados recomendados para automóviles nuevos. La muestra consta de 5 tipos de aceites de motor multigrado, 3 de ellos sintéticos (Marcas Mobil 1, AutoZone y Valvoline) y 2 aceites minerales multigrado (Castrol, Mobil Super).

Se realizaron mediciones del índice de refracción a través del refractómetro digital de Bolsillo PAL-3 Atago, Fig.5 el cual nos da una medida en Brix que es utilizado para medir la sacarosa en las substancias pero nos da una medida indirecta del índice de refracción. La viscosidad es un factor que es afectado por la temperatura, es importante considerar las temperaturas de operación a las que se va a someter al aceite por lo que cada una de las cinco muestras fueron sometidas a tres ciclos de cambios de temperatura.



**Figura 5.-** Refractómetro de Bolsillo PAL-3.

Se tomo 400 ml de las cinco muestras de aceite y se aumentó su temperatura en un recipiente.

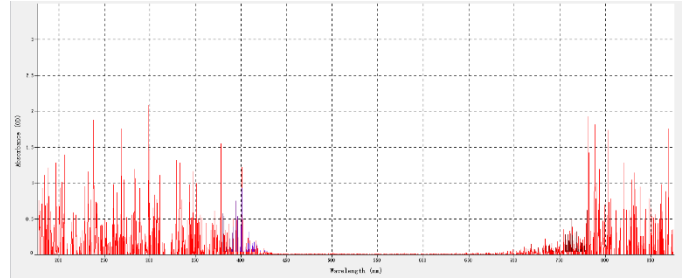
En cada ciclo el aceite se calentó hasta los 90°C y se dejó enfriar hasta los 20°C se tomaron gotas de aceite para medir su índice de refracción en intervalos de 10 C°. Esto con el objetivo de observar si existen cambios del índice de refracción a diferentes temperaturas en los aceites, es conocido que la viscosidad de un aceite varía como función de la temperatura.

Los datos obtenidos se registraron para posteriormente obtener los valores del índice de refracción en tablas de conversión de Brix a índice de refracción [35] (Anexo 1) .

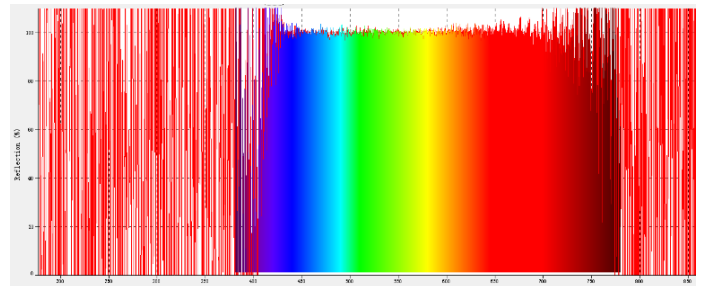


**Figura 6.-** Muestra de aceite.

Por otro lado, se analizaron los cambios de absorción entre las diferencias marcas de aceite a temperatura ambiente de 20 C. para establecer si existe un método para diferenciar la calidad o la viscosidad entre aceites. Se realizaron mediciones con el espectrómetro Ocean Optics USB 2000 con el cual es posible hacer medidas de absorción, transmisión, reflexión, emisión y otras aplicaciones, cubre el rango de 200-1100 nm como fuente de iluminación se utilizó un circuito que consta de un led blanco, resistencia y una fuente de alimentación la cual se le regulo el voltaje para que el espectrómetro no se saturara.



**Figura 7a.-** Referencia de Absorción de agua destilada.



**Figura 7b.-** Referencia de Reflexión de agua destilada.

Para la calibración del espectrómetro se tomó como referencia agua destilada (Figuras 7a y 7b). En un ambiente controlado se Realizaron las mediciones de absorción y reflexión con las muestras de los aceites colocadas en cubetas macro (PMMA) Brand a una temperatura de las muestras de 20°C. Los datos obtenidos de la absorción y reflexión respecto a cada longitud de onda fueron guardados en el software de hoja de cálculo Microsoft Excel.

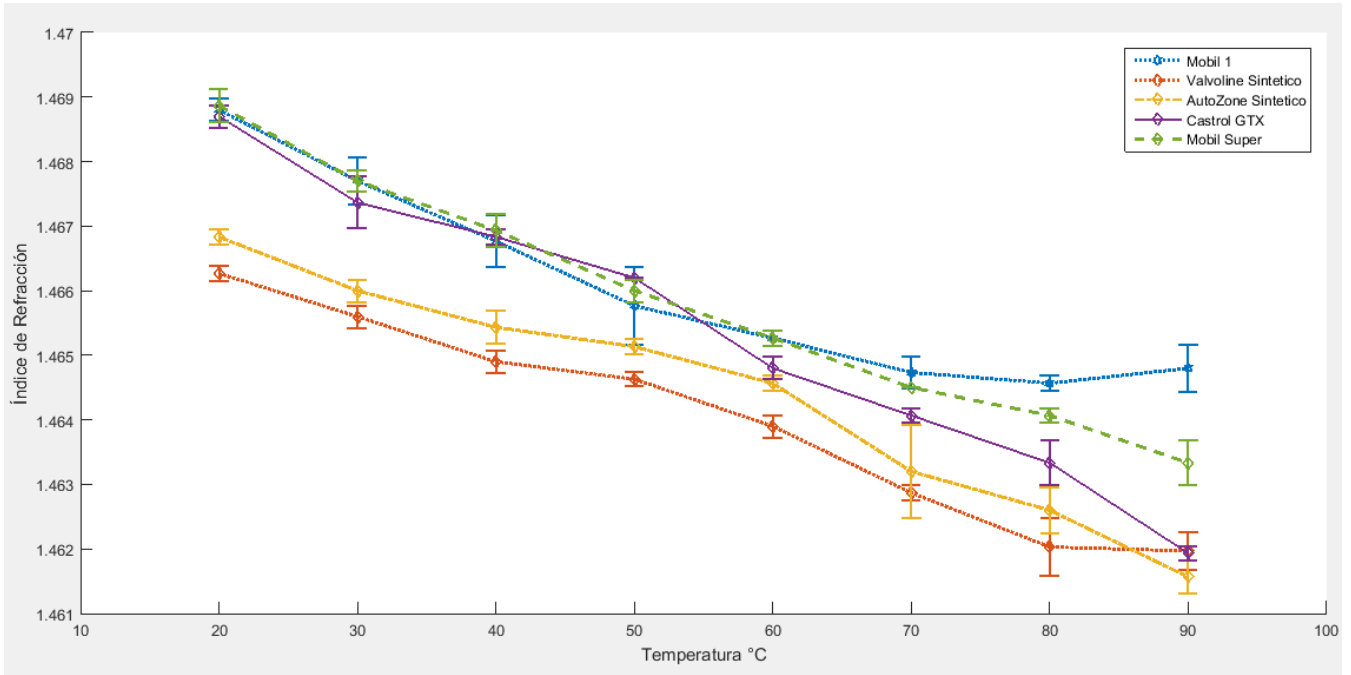


**Figura 8.-** Mediciones de absorción y reflexión.

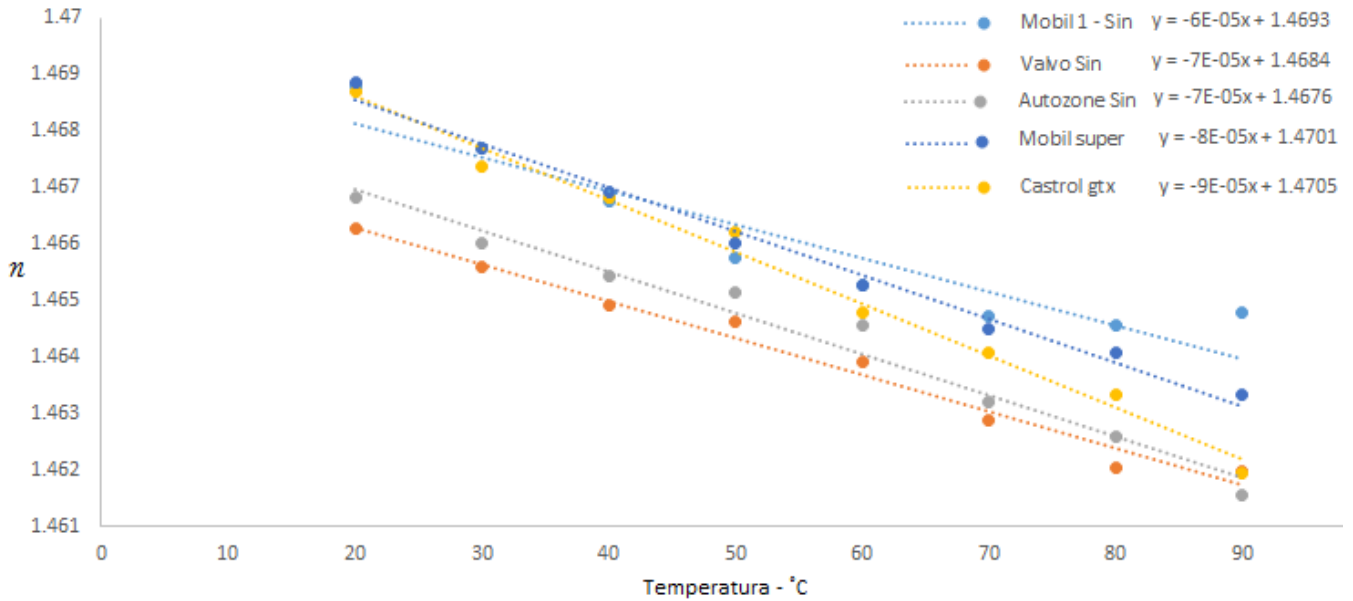
**B. Resultados.**

Con los datos obtenidos de los índices de refracción de los 3 ciclos se calculó la media y desviación estándar a los datos

para analizarlos. Se utilizó el software MATLAB, en la Fig. 9 podemos observar los índices de refracción con respecto a la temperatura de las cinco muestras de aceites.



**Figura 9.-** Gráfica de aceites a diferentes temperaturas y sus índices de refracción.



**Figura 10.-** Regresiones Lineales de aceites a diferentes temperaturas con índices de refracción.

Para analizar de una mejor manera cuales aceites sufren menos cambios en su índice de refracción por los cambios de temperatura se realizaron ajustes lineales a los grupos de datos obtenidos como lo muestra la Fig. 10. La viscosidad es un factor que es afectado por la temperatura, es importante la

temperatura. Los datos de los cambios de viscosidad con respecto a la temperatura fueron proporcionados por el fabricante (Mobil 1 (Sintético) Fig. 11 y Mobil Super (Mineral) Fig. 12 y se puede observar que los datos tienen una distribución cuadrática.

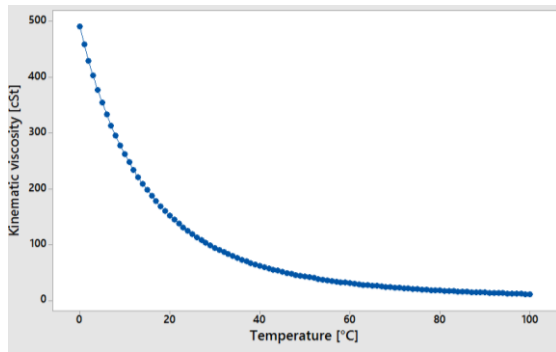


Figura 11.- Datos proporcionados por el fabricante, Viscosidad a rango de temperaturas de 0 – 100 °C Aceite Mobil 1 (Sintético)

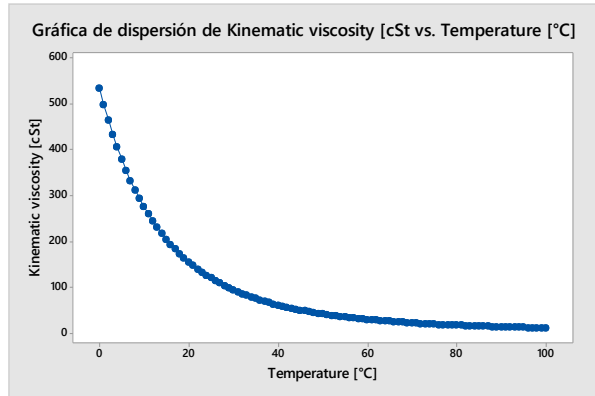


Figura 12.- Datos proporcionados por el fabricante, Viscosidad a rango de temperaturas de 0 – 100 °C Aceite Mobil Super (Mineral)

Por lo cual se efectuó un ajuste cuadrático a los datos del índice de refracción y se efectuaron las correlaciones Rho de Spearman y de Pearson para saber si hay una relación entre la viscosidad y el índice de refracción. Los resultados del ajuste de Mobil 1 se muestran en la tabla II y en la Fig. 13.

TABLA II  
VALORES DE CORRELACIÓN DE ACEITE MOBIL 1 SINTÉTICO

Correlación	Valor R	Valor P
Rho de spearman	1	*
Pearson	0.939	0.001

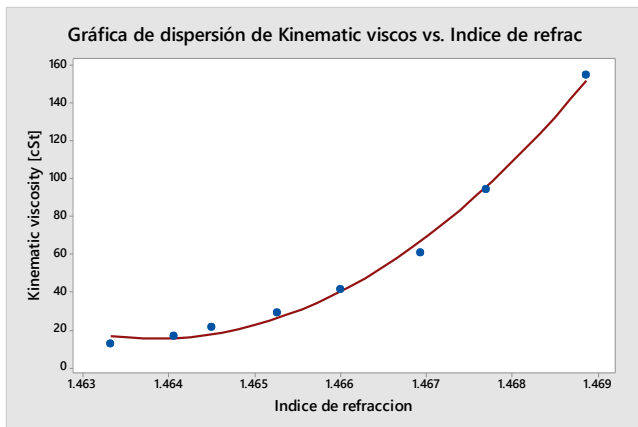


Figura 13.- Regresión Cuadrática de aceite Mobil 1 Sintético con variables Viscosidad e Índice de refracción.

Para el aceite mineral Mobil Super se ejecutaron las mismas pruebas de correlación y los resultados se reflejan en la tabla III y en la fig. 14.

TABLA III  
VALORES DE CORRELACIÓN DE ACEITE MOBIL SUPER

Correlación	Valor R	Valor P
Rho de spearman	1	*
Pearson	0.939	0.001

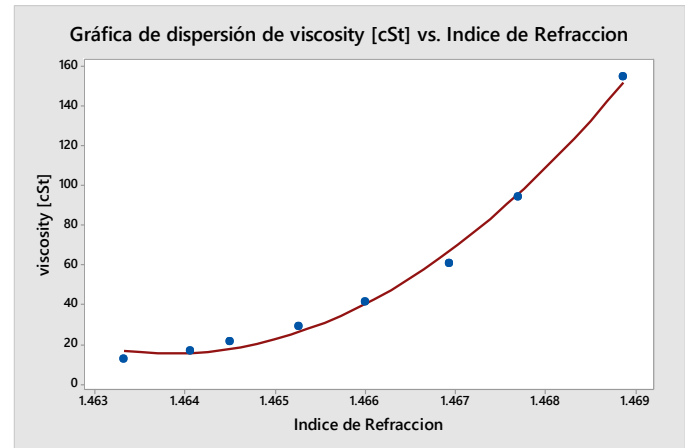


Figura 14.- Regresión Cuadrática de aceite Mobil Super Mineral con variables Viscosidad e Índice de refracción.

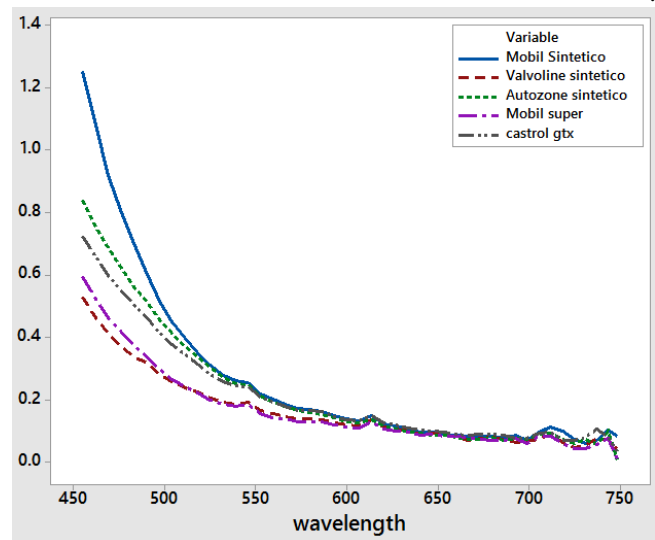
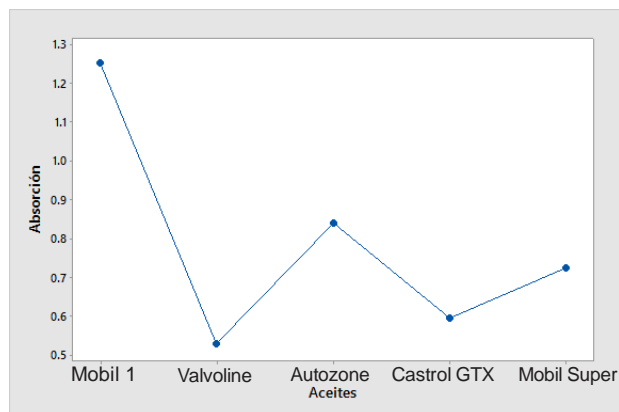


Figura 13.-. Gráfica de Absorción respecto a la longitud de onda de las muestras de aceite.

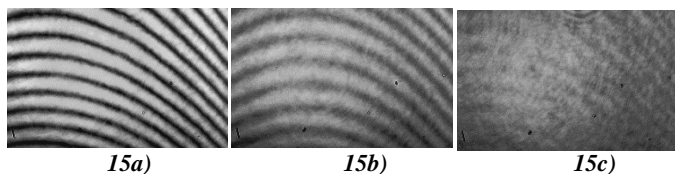
Las gráficas de las mediciones de índice de absorción como función de la longitud de onda se muestran en la Fig. 13. Se puede observar que las mayores diferencias entre los diferentes aceites y su absorción se encuentran en la longitud de 252.95 nanómetros, es por eso que la gráfica de la Fig. 13 se grafica en índice de absorción de cada marca de aceite.



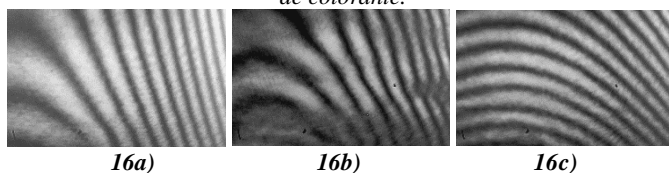
**Figura 14.-** Grafica de aceites y sus respectivas absorciones en la longitud de onda de 454.958 nm

### C. Discusión.

Algunos grupos de investigación han reportado el uso de técnicas de procesamiento de señales, como la transformada de Fourier y el análisis espectral, para el estudio de la decodificación y análisis de los interferogramas como técnica de caracterización [39]. Al inicio de esta investigación se tuvo contemplado usar el método de interferometría para obtener datos ópticos de los aceites. Se usó el interferómetro de Michelson debido a que tiene una configuración sencilla. Se realizaron pruebas con muestras de agua (Fig.16a) con colorantes a diferentes concentraciones, donde se puede observar que una baja concentración de colorantes da como resultado franjas más nítidas (Fig.16b) mientras que aumentando el colorante disminuye la visibilidad, es decir las franjas se ven más borrosas (Fig. 16c). Con esto concluimos que diferentes niveles de absorción cambian la visibilidad del patrón de interferencia. Por otro lado se analizaron los fluidos agua, aceite canola y glicerina con el mismo nivel de absorción (Fig. 17) pero variando los índices de refracción. Para esta prueba se observa el mismo grado de visibilidad en las franjas pero hay un cambio en la forma y grosor de las franjas. Por medio de estas pruebas se encontró que el interferómetro se puede hallar cambios en el índice de refracción y absorción en las muestras, pero es más complicado por lo cual se decidió emplear otras técnicas más sencillas para medir esos cambios.



**Figura 15.-** Interferogramas adquiridos con el interferómetro de Michelson. De Izquierda a derecha: Agua, 0.4 gr de colorante y 1 gr de colorante.



**Figura 16.-** Interferogramas de Izquierda a derecha: Aceite canola, glicerina y agua.

Es por eso que como se explicó en la metodología se midieron los cambios del índice de refracción y absorción de manera independiente. Los resultados obtenidos del índice de refracción fueron favorables como se puede apreciar en la Fig.9 donde se ve un cambio perceptible en el índice de refracción a causa de la temperatura. Los aceites sintéticos son los que sufren menos cambios en su índice de refracción por la variación de temperatura, en especial el aceite Mobil sintético 1. El aceite cuyo índice de refracción sufre mayores cambios respecto a la variación de temperatura y fue el Aceite Mineral Castrol GTX. Estas conclusiones son obtenidas de la Fig. 10, en ellas se muestran las pendientes de la regresión lineal realizada para cada una de las muestras. Si relacionamos una menor pendiente con una menor variación y una mayor pendiente con mayor variación los resultados coinciden la teoría de la referencia [37].

Es por esto que la intención de la investigación es establecer una relación entre la viscosidad y el índice de refracción.

Como se mencionó en el marco teórico la característica más importante en los aceites automotrices es su viscosidad es por ello que en la figuras 11 y 12 se muestran graficas de la variación de la viscosidad cinemática (cSt) respecto a la temperatura proporcionadas directamente por el fabricante Mobil. Con los Datos proporcionados por la Compañía Mobil se identificó que la viscosidad de los aceites responde a una función cuadrática del tiempo.

Para encontrar una relación se realizó una regresión cuadrática a los datos del índice de refracción contra la viscosidad cinemática (cSt). Las correlaciones Rho de Spearman y de Pearson, evalúan la asociación entre dos variables, el valor del coeficiente puede variar de -1 a +1. Mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación lineal entre las variables. Un valor absoluto de 1 indica una relación perfecta y un valor de cero indica ausencia de relación.

Los resultados de correlación para el aceite Mobil 1 (sintético) en la tabla II y Mobil Super (Mineral) tabla III se tienen unas correlaciones casi perfectas lo que indica que hay relación entre la viscosidad de los aceites y su índice de refracción.

En la figura 13 y 14 se presentan los datos obtenidos concernientes a la absorción, existe una mayor diferencia en la absorción de las cinco muestras de aceite en la longitud de onda correspondiente a 454.958 nm por lo que se propone que esta longitud de onda puede servir para diferenciar diferentes aceites mediante la absorción.

Las mediciones las propiedades ópticas de absorción y reflexión se muestran cambios en diferentes marcas de aceites. Con lo que se podrían sentar las bases para un estudio óptico para caracterizar y cuantiar la calidad en los aceites.

Actualmente existen dispositivos capaces de medir la viscosidad pero existen algunos inconvenientes, no es posible medir la viscosidad de todos los líquidos, debido al tipo de método que se utiliza permite sólo determinar líquidos de baja viscosidad, puesto que si su viscosidad es demasiado alta, el líquido no podrá pasar a través de las boquillas, en estas mediciones se tiene que tomar el tiempo manualmente lo que podría generar errores en la medición de la viscosidad y es imprescindibles limpiar el viscosímetro, pues de lo contrario,





- sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Azogues," 2015.
- [8] N. N. C. f. E. Information. (2015). *State of the Climate: Global Analysis for October 2015*. Available: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201510>
- [9] O. M. M. (OMM). (2015). *EL NIÑO/LA NIÑA HOY*. Available: [http://www.aemet.es/documentos/es/noticias/2015/EL-NINO-LA-NINA-NOVEMBER-2015-152082\\_es.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/noticias/2015/EL-NINO-LA-NINA-NOVEMBER-2015-152082_es.pdf)
- [10] G. J. M. MIRANDA and J. C. D. SANABRIA, "EVALUACION DEL CICLO DE VIDA DEL ACEITE DE MOTOR COMO PRODUCTO SOSTENIBLE EN LOS SANTANDERES LIFE CYCLE ASSESSMENT AS MOTOR OIL PRODUCT ON SUSTAINABLE SANTANDERES," *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, vol. 4, 2013.
- [11] TEXACO, "Lubricating Oil and Grease Digest " 1982.
- [12] R. Baboian, *Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation*: ASTM International, 2005.
- [13] ESSO, "Patrones de calidad para los aceites de los automotores," 1984.
- [14] E. Hecht, *Optics*: Addison-Wesley, 2002.
- [15] A. G. Arias, "¿ Qué es la luz?," *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 2, p. 10, 2008.
- [16] F. J. C. Mujica, "MÉTODO TEÓRICO PARA LA PREDICCIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN REFRACTOMETRÍA," *Boletín Científico Técnico INIMET*, pp. 1-18, 2013.
- [17] G. P. López-Herranz, "Oximetría de pulso: A la vanguardia en la monitorización no invasiva de la oxigenación," *Rev Med Hosp Gen Mex*, vol. 66, pp. 160-169, 2003.
- [18] A. M. Martínez, "Uso De Los Sensores De Fibra Óptica En La Detección De Gases En El Ambiente," *Revista de Ingeniería*, pp. 41-45, 2000.
- [19] J. E. Duarte, F. Fernández, and M. Moreno, "Caracterización de membranas termoneumáticas mediante interferometría óptica," *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, vol. 31, pp. 79-87, 2007.
- [20] D. Montiel and C. Lizzeth, "Reciclaje y reutilización de aceites lubricantes automotrices usados," 2015.
- [21] L. F. B. Ziolo, J. R. Gómez, S. Prieto-Cadavid, and S. C. Gallo, "Biorremediación de Suelos Contaminados con Aceites Usados de Motor," *Revista CINTEX*, vol. 20, 2015.
- [22] J. M. Alonso, *Técnicas del Automóvil: Motores: Paraninfo*, 2000.
- [23] J. M. J. Pawlak, "DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECICLAJE DE ACEITE LUBRICANTE USADO ", FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA 2007.
- [24] B. T. Martínez, *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*: Reverté, 2005.
- [25] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos aplicada*: Pearson Educación, 1996.
- [26] J. M. Jones P., "Diseño de un sistema de reciclaje de aceite lubricante usado. ," 2007.
- [27] M. Robles and K. David, "Re-refinación de Aceites Lubricantes Usados Mediante Procesos Físico-Químicos," 2016
- [28] M. M. García, "Análisis de nuevos algoritmos diferenciales de desplazamiento de fase para interferometría de campo completo," *Optica pura y aplicada*, vol. 45, pp. 437-448, 2012.
- [29] B. Briseño Tepepa, E. Marin, and A. Cruz-Orea, "Determinación Experimental de la Difusividad térmica en aceites comestibles y café," 2013.
- [30] G. R. Morales, R. D. L. Garza, S. M. Martínez, M. G. Yera, F. A. S. Cruz, J. M. R. Ávila, *et al.*, "CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN INTERFERÓMETRO PARA SU USO EN LA DETERMINACIÓN DE CAMPOS DE TEMPERATURA EN FLUIDOS."
- [31] J. C. Mosquera, A. Sepúlveda, and C. A. I. B. Isaza, "Procesamiento de imágenes ópticas de frutos café en cereza por medio de filtros acusto-ópticos," *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, vol. 21, pp. 93-101, 2011.
- [32] A. VILLEGAS, C. PEREZ, V. A. Arana, T. SANDOVAL, H. POSADA, A. GARRIDO, *et al.*, "Identificación de origen y calibración para tres compuestos químicos en café por espectroscopia de infrarojo cercano," 2015.
- [33] U. Contreras, M. Meneses-Nava, D. Torres-Armenta, J. Robles-Camacho, and O. Barbosa-García, "Identificación de aceros por espectroscopia de rompimiento inducido por láser (LIBS) y análisis de componentes principales," *Rev. Mex. Fis*, vol. 58, pp. 184-190, 2012.

- [34] L. Montoro, T. Pujol, J. Velayos, and J. González, "Comparativa entre la ferrografía analítica y las técnicas espectrométricas de análisis de aceites lubricantes usados," in *XVIII congreso nacional de ingeniería mecánica, Catalán*, 2010, p. 7.
- [35] *Demanda y Canales De Comercialization De Nuevos Productos de Posible Interes Para Latinoamerica En El Mercado Europeo*: Bib. Orton IICA / CATIE.
- [36] PCE-Instruments. (2016). *PCE Americas Inc. : Test Instruments Test Instruments, Control Systems, Scales and Laboratory Equipment*. Available: [https://www.pce-instruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/viscosimetro-pce-instruments-viscos\\_metro-de-copa-pce-127-det\\_2201864.htm?\\_list=kat&\\_listpos=1](https://www.pce-instruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/viscosimetro-pce-instruments-viscos_metro-de-copa-pce-127-det_2201864.htm?_list=kat&_listpos=1)
- [37] E. M. Corporation. (2015). *¿Qué es un lubricante sintético?* Available: [http://www.mobil.com.mx/Mexico-Spanish-LCW/heavydutyengineoils\\_why-mobil-delvac\\_why-synthetics.aspx](http://www.mobil.com.mx/Mexico-Spanish-LCW/heavydutyengineoils_why-mobil-delvac_why-synthetics.aspx)
- [38] M. Bass, E. W. Van Stryland, D. R. Williams, and W. L. Wolfe, "Handbook of Optics. Fundamentals, Techniques, and Design, Vol. 1," *General Principles (pp. 1.69-1.70)*. New York: McGraw-Hill, Inc, 1995.
- [39] A. Brecht, G. Gauglitz, W. Beck, R. Spohn, and G. Jung, "Spectral interferometric immunoassay with synthetic lipid-anchored polypeptide antigens," in *Fibers' 92*, 1993, pp. 36-44.