



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

INFLUENCIA DEL INDICE DE VISCOSIDAD DEL LUBRICANTE EN EL NIVEL DE DESGASTE DE LAS PIEZAS DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA Y EN LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Presentado por:

MARVIN MORAN VELASQUEZ

Autor de la Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 05% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 18 de mayo del 2022


.....
SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA


106/22

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE IN GENIERIA PETROQUIMICA



TESIS:

**“Influencia del índice de viscosidad del lubricante
en el nivel de desgaste de las piezas del motor de
combustión interna y en la contaminación
atmosférica”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
PETROQUIMICO

Bachiller Moran Velásquez, Marvin

Línea de investigación:

CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y PROCESOS
INDUSTRIALES SOSTENIBLES

Asesor:

Dr. Rosalio Cusi Palomino

ICA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi madre por haberme forjado como la persona que soy actualmente; mucho de mis logros se los debo a ella, entre los que se incluye este. Me formó con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivó constantemente para alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, agradezco a Dios por bendecir mi camino en cada objetivo logrado, a mis padres, a mi familia por su apoyo incondicional y a la Universidad San Luis Gonzaga de Ica por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi asesor de tesis el Ing. Rosalio Cusi Palomino por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, también agradezco a todos mis compañeros de clase durante todos los ciclos de universidad, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

RESUMEN

La presente tesis es un estudio teórico-experimental cuyo objetivo es demostrar la influencia del índice de viscosidad de los lubricantes en el desgaste del motor y la contaminación ambiental. La investigación por su tipo es aplicada y de diseño experimental. El problema metodológico formulado en la investigación fue ¿El índice de viscosidad del lubricante influye en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna y en la contaminación atmosférica?, frente a este se planteó la hipótesis El índice de viscosidad del lubricante influye directa y significativamente en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna y en la contaminación atmosférica. Para demostrar la hipótesis planteada se llevó a cabo ensayos de laboratorio empleando para ello cuatro tipos de lubricantes, dos de los cuales fueron monogrados y los otros dos multigrados. Los dos primeros con un índice de viscosidad bajo entre 96 y 100 y los otros con un alto índice de viscosidad entre 149 y 175. Según los reportes de laboratorio, los motores que se lubrican con monogrados tienen un mayor desgaste, con el aceite lubricante Castrol monogrado presentan un mayor desgaste mayor en Fe (35 ppm), Cu (19 ppm) y sílice (13 ppm), en este último componente supera los límites máximos establecidos, lo mismo sucede con el multigrado y con los lubricantes Petroperú. Así mismo la emisión de Coque (3%) y el material particulado (2256 ppm) superan ampliamente los valores límites al igual que los Hidrocarburos (703 ppm) en el motor que emplea lubricante monogrado de las dos marcas comerciales. Estadísticamente se ha demostrado una alta correlación entre las variables y se concluye que los aceites monogrados debido a su índice de viscosidad bajo, no resisten altas presiones y temperaturas y generan desgaste y contaminación ambiental.

PALABRAS CLAVES: Lubricante, índice de viscosidad, multigrado, monogrado.

ABSTRACT

This thesis is a theoretical-experimental study whose objective is to demonstrate the influence of the viscosity index of lubricants on engine wear and environmental pollution. Research of its kind is applied and experimental in design. The methodological problem formulated in the research was: Does the lubricant viscosity index influence the level of wear of the internal combustion engine parts and the atmospheric pollution? Against this, the hypothesis was raised The viscosity index of the lubricant influences directly and significantly in the level of wear of the internal combustion engine parts and in atmospheric pollution To demonstrate the hypothesis, laboratory tests were carried out using four types of lubricants, two of which were monograde and the others two multigrades. The first two with a low viscosity index between 96 and 100 and the others with a high viscosity index between 149 and 175. According to laboratory reports, engines that are lubricated with monogrades have a greater wear, with Castrol lubricating oil Monograde present greater wear in Fe (35 ppm), Cu (19 ppm) and silica (13 ppm), in this last component it exceeds the established maximum limits, the same happens with the multigrade and with Petroperú lubricants. Likewise, the emission of Coke (3%) and particulate matter (2256 ppm) widely exceed the limit values as well as Hydrocarbons (703 ppm) in the engine that uses monograde lubricant of the two commercial brands. Statistically, a high correlation between the variables has been demonstrated and it is concluded that monograde oils, due to their low viscosity index, do not withstand high pressures and temperatures and generate wear and environmental pollution.

KEY WORDS: Lubricant, Viscosity Index, Multigrade, Monograde

INDICE

	Pág.
PRESENTACIÓN	01
DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTOS	03
RESUMEN	04
ABSTRACT	05
ÍNDICE	06
INTRODUCCIÓN	08
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	09
1.1 Los antecedentes	09
1.2 Las bases teóricas	12
1.3 El marco conceptual	26
CAPITULO II: EL PROBLEMA, LOS OBJETIVOS Y LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	28
2.1 Situación problemática	28
2.2 Formulación del problema	28
2.3 Objetivos	29
2.4 Hipótesis	29
2.5 Variables e indicadores	30
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	31
3.1 Tipo y nivel de investigación	31
3.2 Población y muestra	31
3.3 Diseño del método de investigación	31
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de información	31
3.5 Técnicas de análisis de resultados	32
CAPITULO IV: MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	33
4.1 Materiales, instrumentación y equipos.	33
4.2 Métodos y procedimientos	33

CAPITULO V: RESULTADOS, ANÁLISIS, DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS	50
5.1 Resultados	50
5.2 Análisis y discusión de resultados	55
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	60
FUENTES DE INFORMACIÓN	61
ANEXO	62

INTRODUCCIÓN

Generalmente cuando se selecciona un lubricante para motores de combustión interna, el índice de viscosidad (IV) no se considera un parámetro en la selección de lubricantes, esto se debe a que es poco conocido y si se conoce no se entiende cuál es su función. Algunos consideran que el índice de viscosidad está incluido en el grado de viscosidad del aceite, pero no es así. Es un diferenciador independiente del rendimiento del lubricante.

Si bien es cierto es de conocimiento que la viscosidad corresponde a ser la propiedad más importante de los lubricantes. Es una medida de la composición molecular basada en el tamaño de las cadenas de hidrocarburos que componen el lubricante. La viscosidad es el resultado de la fricción interna de las moléculas cuando el fluido se mueve. Cuanto mayor sea la fricción intermolecular (cuanto mayor sea la molécula), mayor será la viscosidad.

La viscosidad determina el espesor y la resistencia de la película de aceite lubricante en la máquina. El índice de viscosidad garantiza que la película lubricante límite, distribuida entre las piezas móviles a alta velocidad y alta temperatura, no se rompa debido a la pérdida de viscosidad.

La elección de este tema está relacionada con la falta de información disponible o con propietarios de automóviles que utilizan cualquier tipo de lubricante, buscando siempre el más económico, sin importar los problemas que este puede ocasionarle. La falta de lubricación en los motores de combustión interna puede provocar un desgaste excesivo que comprometa las piezas metálicas que se mueven entre sí y están sujetas a altas presiones y temperaturas. La importancia de esta investigación radica en la información experimental obtenida en el estudio de lubricantes, cuya difusión es muy necesaria para evitar el constante deterioro del parque automotor local.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. LOS ANTECEDENTES.

A nivel internacional

En el año 2016, Díaz, J. presentó su tesis titulada: “*Documento de apoyo a la gestión de mantenimiento, para la selección y aplicación de lubricantes*, a la Universidad Austral de Chile, en el estudio aborda temas acerca de la Lubricación, y Gestión de Lubricantes Industriales que se utilizan con mayor frecuencia (grasas y aceites). Algunos de los tópicos que se abordan en el trabajo son; características de los lubricantes, la selección, aplicación (planes de lubricación), manipulación, almacenaje y Sistemas de Análisis Aceite entre otros, prevaleciendo en él, el estudio del índice de viscosidad. En el estudio el autor llega a las siguientes conclusiones: Es importante que los ingenieros comprendan todo lo que ofrece una buena gestión de la lubricación, ya que sirve como herramienta para mantener en óptimas condiciones los equipos de los que son responsables. Se entiende por gestión de la lubricación el ciclo que va desde la selección, aplicación o uso hasta el almacenamiento y control de los lubricantes y los procesos de gestión de residuos. También incluye los servicios de consultoría externa sobre lubricación que los profesionales pueden necesitar en un momento dado. La información sobre el tema de los lubricantes y la lubricación es abundante y, por lo general, de fácil acceso, pero tiende a ser poco útil en la práctica industrial debido a su carácter disperso. El presente trabajo tiene el valor de investigar y ordenar los datos desde la perspectiva de la teoría práctica y presentarlos de forma ordenada, con el fin de orientar y servir de referencia a los ingenieros que deben enfrentarse a los problemas, especialmente a los de mantenimiento de la lubricación en la industria. Si el profesional comprende y aplica responsablemente los conocimientos impartidos en este oficio, la tarea de manejar lubricantes puede resultar muy lucrativa, tanto para la empresa a la que sirve como para su propio beneficio. Una vez que se desarrolla e implementa un buen sistema de gestión de lubricantes en una empresa, se optimizan los recursos para reducir los costos de lubricantes y aumentar la disponibilidad de los equipos”.

En el año 2016, Maussa, A. y Ortega, S., presentaron su tesis titulada “Análisis comparativo del desgaste en motores de vehículos a gasolina y gas natural vehicular para la empresa Servicar en la ciudad de Montería por medio de la cuantificación de elementos en aceites lubricantes empleando el espectrofotómetro de absorción atómica, a la Universidad de Córdoba, Argentina, cuyo objetivo fue hacer un estudio comparativo entre el nivel de desgaste de un motor alimentado con gasolina y otro alimentado con gas natural vehicular. Este estudio presenta los resultados de un estudio experimental en el que se compara el desgaste de un motor de gasolina y gas natural (GNV) de un Chevrolet Spark LS 1.0 L 8 V y se analiza el aceite mediante Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), teniendo en cuenta las recomendaciones de la empresa de taxis SERVICAR. El SAS, con sede en Montería, ha realizado un análisis comparativo de su flota de taxis, es decir, la condición del tipo de vehículo de servicio de transporte (taxi), el kilometraje medio de ida de 200 km o una doble jornada de 380 km Velocidad de la ciudad (30 km/h).) con una media de dos pasajeros (~140 kg) y poca o ninguna carga en el maletero junto al conductor. Las muestras de aceite se recogieron al final de la vida útil del motor (6000 km) y no se rellenaron durante la recogida. Se realizó un análisis EAA de las muestras de aceite para determinar las concentraciones de hierro elemental, aluminio, cobre, zinc, sodio, potasio y silicio. Los resultados mostraron que la tasa de desgaste global de las concentraciones de metales de desgaste era menor en los motores de GNV en comparación con los motores de gasolina, mientras que las tasas de desgaste del aluminio, el hierro y el cobre eran mayores en los vehículos que utilizaban combustibles convencionales, 102%, 107% y 104% respectivamente”.

A nivel nacional

En el año 2016, Apaza, R., presentó su tesis titulada: “Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de mixer durante su periodo de funcionamiento, a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, cuyo objetivo fue buscar el método para alargar la vida útil de los aceites lubricantes que se emplean en maquinaria pesada. El análisis del aceite lubricante de los motores de la

maquinaria pesada (en este caso, Los Mixer) es importante, ya que proporciona información sobre el mantenimiento de la máquina y la racionalización durante su sustitución. La fiabilidad de la permanencia de estos aceites en el cárter del motor puede abordarse formalmente mediante métodos estadísticos. En esta tesis, el dato en horas se utiliza para el tiempo de consumo de aceite lubricante del motor del agitador. La vida útil del aceite se estimó utilizando las siguientes variables explicativas: viscosidad, punto de inflamación, dilución del combustible, hollín, presencia de agua y desgaste del metal para ambos grupos de mezcladores. El segundo grupo también probó el níquel y el molibdeno. Se utilizó un modelo de riesgo relativo de Cox para analizar estas variables. Se comprobó la curva de fiabilidad del aceite lubricante para mixer”.

En el año 2017, Mauricio, D., presentó su tesis titulada: “Análisis de desgastes mecánicos por tribología para reducir costos de mantenimiento del motor de tractor sobre orugas D6T-Caterpillar, a la Universidad Nacional del Centro del Perú, cuyo objetivo fue analizar desgastes mecánicos por tribología para reducir costos de mantenimiento, a través de la identificación de los pares tribológicos de fricción involucrados en los pares cinemáticos inferiores y superiores, analizados en el plano, ya que el tipo de lubricación es hidrodinámica. El método de investigación de tipo básico se utiliza porque está relacionado con el estudio de los programas de mantenimiento, que están relacionados con el coste de las reparaciones debidas al desgaste mecánico y se ven afectadas por diversos cambios como el movimiento, el tipo de trabajo y la zona de trabajo. El nivel del estudio es descriptivo porque hemos aplicado las conclusiones del estudio, el desgaste mecánico en el movimiento de par que se produce en un motor diesel de combustión interna. El presente trabajo de investigación se basa en programas técnicos y económicos. Por lo tanto, el desarrollo de la investigación facilita la extracción de conclusiones”.

A nivel local.

No se ha encontrado en las Universidades locales información al respecto.

1.2. LAS BASES TEÓRICAS.

1.2.1. Índice de viscosidad del lubricante.

“Desde el punto de vista técnico y simple, el índice de viscosidad (IV) mide la variación de la viscosidad con respecto a la variación de la temperatura. A mayor índice de viscosidad mayor es la resistencia del fluido a variar su viscosidad con la temperatura”. (SHILLING, 2015) El hecho de que el lubricante tenga un mayor índice de viscosidad, le confiere a este las siguientes características:

- “Menor viscosidad a baja temperatura. En este caso el motor arrancará mejor y consume menos combustible durante el calentamiento”.
- “Mayor viscosidad a mayor temperatura. Esto implica que va a ver un menor consumo de aceite y un menor desgaste”.

Para saber cómo cambia la viscosidad del lubricante conforme va aumentando la temperatura se desarrolló el estudio del índice de viscosidad, liderado por E. Dean y G. Davis en 1929 creando la norma ASTM D2270. “El Índice de Viscosidad (VI) es un número adimensional calculado empíricamente basado en el siguiente método, con el petróleo crudo de Pensilvania (parafina) establecido en un extremo como punto de referencia, representando productos cuya viscosidad no cambia mucho con la temperatura. En el otro extremo está el petróleo crudo (cicloparafinas) de la Costa del Golfo de Texas. Si el lubricante es similar al petróleo crudo de Pensilvania, tendrá un índice de viscosidad (VI) de 100. Si es similar al petróleo crudo del Golfo de Texas, su índice de viscosidad (VI) es 0. El del medio tiene un índice de viscosidad (VI) de 50, y así sucesivamente. Cuanto mayor sea el IV, más estable (e idealmente) será la viscosidad en un rango de temperaturas. Temperaturas para la determinación del índice de viscosidad a 40 y 100°C”. (FEIN, 2017)

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado nacional y extranjero aceites lubricantes con un índice de viscosidad de 60 a 400, mientras que la mayoría de los aceites lubricantes del mercado tienen un IV entre 90 y 160.

“Si comparamos un aceite con un índice de viscosidad de 95 con un aceite con un índice de viscosidad de 150, hay una diferencia de viscosidad de +236% a -20 °C y de -25% a 100 °C. A 40 °C, por supuesto, no hay diferencia. Desde el punto de vista mecánico, la máquina determina los requisitos de viscosidad del lubricante que se va a utilizar, en función de su diseño y de las condiciones de funcionamiento (de trabajo). Estas condiciones afectan a la temperatura, que a su vez afecta a la viscosidad y, en última instancia, a la protección que requiere la máquina”. (MORTIER, 2016)

1.2.2. Viscosidad y propiedades del lubricante.

“Desde el punto de vista fisicoquímico, la viscosidad es la propiedad más importante de los lubricantes. Es una medida de la composición molecular basada en el tamaño de las cadenas de hidrocarburos que componen el lubricante. La viscosidad es el resultado de la fricción interna de las moléculas cuando el fluido se mueve. Cuanto mayor sea la fricción intermolecular (cuanto mayor sea la molécula), mayor será la viscosidad”. (CHÁVEZ, 2015)

La viscosidad determina el espesor y la resistencia de la película lubricante dentro del motor, influye en la película límite y en la resistencia de esta a condiciones críticas de funcionamiento (a altas temperaturas y presiones), el rozamiento mecánico y el rozamiento del mismo fluido generan calor, lo que repercute en la vida útil del lubricante, la cual va acortándose significativamente; así mismo, cuando la película de lubricante es muy delgada esto va a permitir que se contamine con partículas metálicas ya que se genera el rozamiento metal-metal y a su vez exista un mayor consumo de energía.

Por otro lado, las condiciones de temperaturas extremas influyen directamente en la viscosidad del aceite ya que esté en condiciones de frío intenso se vuelve más viscoso y por tanto dificulta el arranque del motor y en condiciones de altas temperaturas, el lubricante se vuelve muy fluido (delgado) y mucho más inestable desde el punto de vista químico, viéndose predispuesto a la oxidación, por ejemplo, lo que afecta directamente su calidad. (CHÁVEZ, 2015)

Muchos motores utilizan un solo lubricante en diferentes zonas de fricción y funcionan a diferentes cargas, velocidades y temperaturas. Los equipos móviles para exteriores suelen funcionar en estas condiciones. Para este tipo de equipos no hay una forma fácil de determinar la viscosidad óptima mediante cálculos teóricos. En este caso, la viscosidad óptima se puede determinar mediante mediciones de campo por ensayo y error (pruebas sencillas con diferentes aceites de distintas viscosidades, así como mediciones de temperatura y protección contra el desgaste).

Para un motor que funciona con carga, velocidad y temperatura constantes, la viscosidad ideal suele ser la temperatura más baja a la que se estabiliza el aceite. Los aceites de viscosidad inferior o superior (a la viscosidad óptima) aumentarán la temperatura a la que se estabiliza el aceite, ya sea por las excesivas pérdidas por estallido (viscosidad demasiado alta) o por la fricción mecánica (viscosidad demasiado baja).

“Sin embargo, si las condiciones no son constantes (cambio de carga, velocidad, temperatura, etc.), no sólo se necesita una viscosidad óptima, sino también un alto índice de viscosidad para estabilizar la viscosidad deseada del aceite. Cuanto mayor sea la variación de las condiciones de funcionamiento, mayor será la necesidad de lubricantes con índices de viscosidad más elevados”. (FULLER, 2017)

1.2.3. Tribología.

“Es una ciencia relacionada con la mecánica que estudia la fricción o rozamiento y su efecto en los materiales que se denomina desgaste, así como los métodos y procedimiento para prevenirlos mediante una buena lubricación. El término tribología viene del término griego tribos, que significa frotamiento o rozamiento y logia que viene a ser ciencia, por tanto, la traducción literal será: la ciencia del rozamiento”. (CHÁVEZ, 2015)

“La tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno, y la lubricación como un medio para evitar el desgaste”.

“En física, la fricción se define como la resistencia mecánica al movimiento relativo de dos superficies. La fricción provoca una pérdida de energía (aumento de temperatura y ruido) y, a menudo, una pérdida de material (desgaste)”. (CHÁVEZ, 2015)

Rozamiento o fricción.

La fricción o rozamiento surge por la presencia de una fuerza tangencial entre dos superficies sólidas en contacto, cuando se mantienen unidas por la presencia de una fuerza normal sobre ellas, más simplemente, comienza, desarrolla y termina la pérdida de energía durante el proceso movimiento relativo entre dos materiales en contacto.

La fricción o rozamiento se puede clasificar de la siguiente manera:

“**Fricción externa:** Se presenta entre cuerpos diferentes”.

“**Fricción interna:** Se presenta entre partículas de un mismo cuerpo”.

Cuando nos referimos al concepto de fricción implica mencionar la fuerza de fricción y el coeficiente de fricción, ya que ambos conceptos que están muy ligados.

Fuerza de fricción: “Siempre que un cuerpo se deslice o ruede sobre la superficie de otro, existe una fuerza que se opone al movimiento, llamada fuerza de fricción o rozamiento. La fuerza de fricción es paralela y opuesta al sentido del movimiento”. La fuerza de fricción se define como:

$$F = f \times N$$

Donde

“**F** es la fuerza necesaria para iniciar y mantener el movimiento, sus unidades son Kgf ó (Lbf)”,

“**N** es la fuerza normal que mantiene las dos superficies juntas, Kgf ó (Lbf)”;

“**f** se refiere al coeficiente de fricción, este se presenta entre metal-metal, metal-sólido o metal-fluido”. (CHÁVEZ, 2015)

Coeficiente de fricción: “Este parámetro no corresponde ser una propiedad del material ni una combinación de varias propiedades, sino que depende de otros elementos tales como la humedad, la temperatura, la velocidad de movimiento, la presión de contacto, el tipo de lubricante, el tratamiento de la superficie y la forma de la zona de contacto. La relación que existe entre la fuerza necesaria para empezar el movimiento y el peso del elemento que se mueve se denomina coeficiente de rozamiento estático y fuerza de rozamiento N. La dirección del movimiento y la relación entre la fuerza necesaria para mantener el movimiento y su peso se denominan coeficiente de energía cinética de rozamiento, rozamiento por deslizamiento o rodadura. Ambos coeficientes pueden referirse a la fuerza de fricción de un sólido o a la fuerza de fricción de un fluido” (CHÁVEZ, 2015)

Métodos para reducir la fricción: “En la técnica se emplean muchos métodos”, en donde los principales corresponde a:

- “Pulimentación de las superficies”.
- “Reemplazando el deslizamiento por rodamiento”.
- “Empleando un lubricante entre las superficies en contacto”.

“Existen tres tipos de rozamiento que son: rozamiento por deslizamiento, rozamiento por rodadura y rozamiento combinado (que implica rozamiento por deslizamiento y por rodadura simultáneos)”.

“En el motor durante la fase de arranque el rozamiento estático está seguido por el rozamiento límite (alta fricción y desgaste en este período). Con la velocidad creciente las superficies deslizantes se separan parcialmente debido a la película lubricante (período de rozamiento mixto, donde existe un desgaste medio)”. (FEIN, 2017)

Desgaste:

“El desgaste es la pérdida de material de la superficie de un objeto debido al movimiento relativo de otro objeto. Es el proceso por el cual una capa superficial sólida se rompe o se separa de la superficie. Al igual que la fricción, el desgaste no es sólo una propiedad del material, sino una parte integral de la respuesta del sistema” (CHÁVEZ, 2015)

El análisis del sistema muestra que el 75% de los fallos mecánicos se deben al desgaste de las superficies de deslizamiento. Es fácil llegar a

la conclusión de que para prolongar la vida útil de los equipos hay que minimizar el desgaste. Los principales tipos de desgaste son los siguientes:

“Desgaste por fatiga. Surge por concentración de tensiones mayores a las que puede soportar el material, incluye las dislocaciones, formación de cavidades y grietas”.

“Desgaste abrasivo. Es el daño por la acción de partículas sólidas presentes en la zona del rozamiento”.

“Desgaste por erosión. Es producido por una corriente de partículas abrasivas, muy común en turbinas de gas, tubos de escape y de motores”.

“Desgaste por corrosión. Originado por la influencia del medio ambiente, principalmente la humedad, seguido de la eliminación por abrasión, fatiga o erosión, de la capa del compuesto formado. A este grupo pertenece el Desgaste por oxidación, ocasionado principalmente por la acción del oxígeno atmosférico o disuelto en el lubricante, sobre las superficies en movimiento”. (CHÁVEZ, 2015)

Desgaste en el motor de combustión interna.

El rozamiento o fricción que se produce en el motor de combustión interna, es intenso sobre todo en las partes de este que están sometidos a movimiento y en condiciones muy críticas, por lo que a continuación se van a explicar en forma somera los metales que más se desgastan y las piezas del motor que están hechas con dichos metales:

Hierro: “Generalmente el hierro proviene del rozamiento entre las paredes de los cilindros (sean camisas o el bloque mismo) y los anillos. Pero también puede ser del árbol de levas, el cigüeñal, las válvulas, los cojinetes, la bomba de aceite, los engranajes de la cadencia, el turbo, las guías de válvulas, o las bielas”. (ORTIZ, 2010)

“En ese sentido, el hierro puede provenir del desgaste o la oxidación. Los motores con aceite contaminado con suciedad, viscosidad insuficiente o alto contenido de hollín (entre otros) experimentan desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica. Todas las piezas de hierro se oxidarán (herrumbrarán) si hay agua en el aceite. Si la herrumbre

se presente de forma severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite lo controle”. (Tormos, 2016).

Desgaste de anillos y cilindros:

Durante todo el tiempo que el motor está funcionando, el pistón se mueve hacia arriba y hacia abajo, raspando los anillos del pistón contra las paredes del cilindro. Si el aceite pierde su viscosidad, el desgaste puede ser severo. Si el aceite está contaminado con partículas sólidas (metálicas), pueden rayar las paredes del cilindro. La lubricación aquí es hidrodinámica y depende de la viscosidad para evitar el desgaste. Cuando falla la lubricación hidrodinámica los anillos dependen de los aditivos anti-desgaste que proveen lubricación límite. El trabajo del anillo superior es “barrer” el aceite lubricante que ha ingresado al cilindro para lubricar el movimiento de los anillos del pistón, al bajar en el cilindro, dejan las paredes secas para que al ingresar el combustible a la cámara de combustión no se contamine con el lubricante. Este anillo barredor o rascador depende 100% de la lubricación límite.

Desgaste de la bomba de aceite:

“La bomba de aceite solamente puede gastarse si existe contaminación del aceite, nivel bajo de aceite (falta de lubricación), o nivel demasiado alto de aceite (causa espuma que se rompe en la bomba provocando cavitación y falta de lubricación)”. (JARAMILLO, 2011)

Otras piezas:

“El desgaste del cigüeñal, árbol de levas, válvulas y otras piezas similares no depende tanto de la carga o las presiones, sino la lubricación hidrodinámica y la contaminación. Alto contenido de hollín o tierra causa desgaste severo de estas piezas”. (JARAMILLO, 2011)

Cobre:

“El cobre normalmente viene de cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas”. (JARAMILLO, 2011)

“Los cojinetes y bujes normalmente son aleaciones y capas de diferentes metales blandos diseñados para absorber impacto y desgaste

en lugar del cigüeñal y las bielas. El residuo de estos elementos viene de desgaste o corrosión”. (JARAMILLO, 2011)

Desgaste de cojinetes y bujes:

“Cuando falta lubricación hidrodinámica por falta de viscosidad o velocidad el motor depende de los aditivos anti-desgaste en el aceite para proveer lubricación límite (también llamado marginal o estática). Si el aceite no puede cumplir con este requerimiento por falta de aditivos, al existir degradación o sobrecarga, el cojinete roza contra su contraparte (el cigüeñal, biela, etc.) y desgasta”. (JARAMILLO, 2011)

Desgaste de arandelas de empuje (cojinetes axiales):

“Las arandelas de empuje siempre están en contacto con el bloque cuando exigimos la máxima fuerza del motor o lo sobrecargamos tratando de acelerar rápidamente o subir las montañas. Este desgaste normalmente aparece como cobre”. (JARAMILLO, 2011)

Desgaste de guías de válvulas:

“Las guías de válvulas deberían durar muchos años. Sin embargo, cuando el aceite es de baja calidad y empieza a carbonizarse en los vástagos, este carbón desgasta las guías, causando cobre en los análisis y alto consumo de aceite”. (JARAMILLO, 2011)

Aluminio:

“Las partículas de desgaste de aluminio (después de eliminar lo que ingresa como tierra) viene de los cojinetes, bujes (varios), pistones o sus faldas, arandelas de empuje y el turbo”.

“Los cojinetes y casquillos suelen tener una lubricación hidrodinámica del 100%. El desgaste por contacto y adherencia entre las piezas sólo se produce si falla esta lubricación o se contamina el aceite. Cuando falla la lubricación hidrodinámica o se produce una gran separación entre la pared del cilindro y el pistón, se produce un desgaste del aluminio del pistón, lo que hace que éste se desplace lateralmente”.

Cromo:

“El cromo viene de la camisa, las válvulas de escape, los anillos, y algunos cojinetes. El desgaste de cromo normalmente se origina con la contaminación del aceite”.

Estaño:

“El estaño viene de las aleaciones de metales en los cojinetes y bujes (varios) y volandas de empuje. Estos dependen 100% de la lubricación hidrodinámica”.

Plata:

“La mayoría de los motores no tienen piezas de plata, pero en los que tienen (EMD) el uso de lubricantes con Zinc causará corrosión de plata”.

Molibdeno:

“El molibdeno puede ser un aditivo anti-desgaste y anti-oxidante, pero puede ser desgaste de anillos en ciertos motores”. (CHÁVEZ, 2015)

Lubricación.

“El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante (gaseoso, líquido o sólido) de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste”. (FEIN, 2017)

“El lubricante en la mayoría de los casos es aceite mineral. En algunos casos se utiliza agua, aire o lubricantes sintéticos cuando hay condiciones especiales de temperatura, velocidad, etc.”.

Históricamente, es interesante ver que los valores de uso que tenemos ahora sólo se consiguieron mejorando el proceso de fabricación de los elementos metálicos (después de la Revolución Industrial) y aumentando la velocidad de rotación de los ejes y elementos rodantes.

OBJETIVOS Y CAMPOS DE APLICACIÓN

Objetivo.

El objetivo de la lubricación es reducir el rozamiento, el desgaste y el calentamiento de las superficies en contacto de piezas con movimiento relativo. La aplicación típica en ingeniería mecánica es el cojinete, constituido por muñón o eje, manguito o cojinete.

Campos de aplicación:

“La lubricación tiene un amplio campo de aplicación, sobre todo en motores de combustión interna y en máquinas hidráulicas. En lo que a este trabajo le corresponde es su aplicación a la lubricación e los motores de combustión interna”. (FULLER, 2017)

Tipos de lubricación.

- “Lubricación hidrodinámica”
- “Lubricación límite o de contorno”
- “Lubricación hidrostática”
- “Lubricación elastohidrodinámica”
- “Lubricación Marginal”
- “Lubricación Mixta”

Lubricación hidrodinámica:

“Las superficies están separadas por una película lubricante para garantizar la estabilidad. No se basa en un suministro de lubricante a presión (que es posible), sino que se requiere un flujo de aceite y la presión se debe al movimiento relativo. También se conoce como lubricación de película gruesa, líquida, sólida o completa”. (FULLER, 2017)

Lubricación de capa límite:

“La película lubricante es tan fina que hay un contacto parcial entre metales. El efecto resultante no puede ser explicado por la hidrodinámica. La transición de la lubricación hidrodinámica a la lubricación límite puede producirse debido a la reducción de la velocidad, el aumento de la carga o la reducción del flujo de aceite. En este tipo de lubricación (de película fina, incompleta o parcial) la composición química es más importante que la viscosidad del lubricante. Cuando se diseña un rodamiento

hidrodinámico, hay que tener en cuenta que puede funcionar en condiciones de lubricación extremas en el momento del arranque”. (FULLER, 2017)

Lubricación hidrostática:

“Se obtiene introduciendo a presión el lubricante en la zona de carga para crear una película de lubricante. – no es necesario el movimiento relativo entre las superficies. – se emplea en cojinetes lentos con grandes cargas. – puede emplearse aire o agua como lubricante”. (FULLER, 2017)

Lubricación Elastohidrodinámica (EHL)

“La definición de la lubricación Elastohidrodinámica se puede explicar así: Elasto: elasticidad, ó sea que la cresta de la irregularidad en el momento de la interacción con la cresta de la otra superficie se deforma elásticamente sin llegar al punto de fluencia del material; Hidrodinámica, ya que una vez que ocurre la deformación elástica la película de aceite que queda atrapada entre las rugosidades forma una película hidrodinámica de un tamaño microscópico mucho menor que el que forma una película hidrodinámica propiamente dicha”. (FULLER, 2017)

Lubricación Marginal

En la lubricación límite, los sólidos no se separan con el lubricante, el efecto de la película de líquido es despreciable y el contacto con la rugosidad es significativo. El mecanismo de lubricación por contacto depende de la relación molecular de las propiedades físicas y químicas de la fina capa superficial. Las propiedades volumétricas del lubricante son menos importantes, ya que el coeficiente de fricción es esencialmente independiente de la viscosidad del fluido. Las propiedades de los sólidos y las películas lubricantes en las interfaces de las juntas determinan las propiedades de fricción.

En el modo no lubricado, a medida que aumenta la carga relativa, la tasa de desgaste aumenta hasta que se produce una abolladura o un bloqueo y los elementos de la máquina dejan de funcionar correctamente. La mayoría de las máquinas no pueden funcionar durante largos periodos sin lubricación, lo que provoca un fallo inmediato de los componentes asociados.

La lubricación por bordes se utiliza para componentes mecánicos con altas cargas y bajas velocidades de funcionamiento, donde la lubricación por película líquida es difícil de conseguir. Un ejemplo típico es el uso de este lubricante para accionar las bisagras de las puertas.

Lubricación Mixta

Se trata de un estado intermedio entre la membrana límite y la membrana hidrodinámica, en el que la mayoría de las crestas de ambas superficies interactúan con la membrana límite presente, mientras que las otras se han separado y la membrana límite no tiene ningún efecto. En la lubricación mixta, el desgaste y el consumo de energía dependen de las propiedades de la película límite, así como de la resistencia al cizallamiento de la película líquida y de su estabilidad (IV).

“Hay que tener en cuenta que la transición de la lubricación hidrodinámica a la mixta no se produce inmediatamente al aumentar la intensidad de la carga, sino que la presión en el fluido que llena el espacio entre los sólidos opuestos soporta una carga decreciente. A medida que la carga aumenta, la presión de contacto entre los sólidos soporta la mayor parte de la carga. Además, el método de lubricación de las superficies consistentes cambia directamente de la lubricación hidrodinámica a la lubricación mixta”.(RIGNEY, 2015)

Tipos de lubricantes:

Los principales tipos de lubricación (MONTIER, 2016) son:

Líquidos: Se utilizan sobre todo en el refinado de destilados de petróleo o de líquidos sintéticos. Los lubricantes líquidos de petróleo son los más utilizados por su flexibilidad general o su disponibilidad asequible en la mayoría de los equipos existentes.

Sólidos: Los lubricantes sólidos son capas finas de partículas sólidas, o una combinación de partículas sólidas, intercaladas entre dos superficies de deslizamiento para modificar la fricción y el desgaste, y pueden ser:

- “Lubricantes sólidos no ligados”
- “Lubricantes sólidos ligados”

Efecto de la temperatura en la viscosidad:

“La viscosidad disminuye con la temperatura. Se utiliza el índice de viscosidad (VI) y se compara con aceites de susceptibilidades térmicas muy pequeñas y muy grandes”.

Grados de aceite

“Existen dos tipos de aceites para motores automotrices: los monogrado y los multigrados. El aceite multigrado, como el caso de 10W-30, está diseñado para que tenga las características de fluidez, en temperaturas bajas, de un aceite 10W combinadas con la viscosidad adecuada a la temperatura operacional del motor de un aceite de grado SAE 30. El sufijo "W" en los aceites multigrados indica que el aceite es apropiado para uso invernal (a temperaturas menores de 30°F/0°C). Asegúrese de consultar el manual del propietario del vehículo para escoger la viscosidad correcta”. (FITCH, 2016)

Grados de Viscosidad

5W-30 (-13° F / -25°C)

“Proveen excelente economía de combustible y un mayor rendimiento a bajas temperatura en la mayoría de los automóviles. Se recomiendan para motores que no están equipados con sobrealimentador. Son recomendados especialmente para automóviles nuevos”.

10W-30 (0° F / -18°C)

“La viscosidad recomendada más frecuentemente para la mayoría de los motores automotrices, entre ellos, los multiválvulas de alto rendimiento y los sobrecargados”

10W-40 (0° F / -18°C)

“El primer aceite multigrado que salió al mercado. Una buena selección para controlar el desgaste del motor y prevenir la descomposición del aceite debido a la oxidación. Nota: siempre consulte el manual del propietario del vehículo o requisitos de garantía antes de usar este grado”.

20W-50 (15° F / -9°C)

“Proporciona máxima protección y alto rendimiento en motores de altas revoluciones. Una excelente elección para altas temperaturas y cargas pesadas”.

SAE 30 SAE 40 (15° F / -9°C 32° F / 0°C)

“Para automóviles y camiones ligeros según las recomendaciones de los fabricantes de motores. Su uso no es recomendado cuando se requiere arranque en frío.”

Características API

“La clasificación API (Instituto Americano del Petróleo) de dos letras identifica el tipo de motor y calidad del aceite. La primera letra indica el tipo de motor para el cual el aceite está diseñado. La segunda letra indica el nivel de calidad API”. (FEIN, 2017)

“Cuanto mayor es la letra alfabéticamente, más avanzado es el aceite y por lo tanto mayor es la protección para el motor. Por ejemplo, el aceite SH puede usarse en cualquier motor que requiera un aceite SB, SF, SG, etc”.

1.2.2. Contaminación atmosférica.

El aceite lubricante que ingresa al cilindro para lubricar el movimiento del pistón, por diversos motivos que responden a su contaminación o a su degradación o al mal funcionamiento del motor por causas mecánicas, queda retenido en parte en las paredes del cilindro y cuando sucede la combustión del combustible, junto con este se quema, y debido a su alta viscosidad y peso molecular no puede quemarse normalmente sino que se descompone térmicamente generando carbón, lo cual a simple vista se nota por el color negro de los humos que salen por el tubo de escape, pero además, los compuestos de cloro, fósforo, azufre, presentes en el aceite aditivado dan gases de combustión tóxicos que deben ser depurados por vía húmeda. Otro gran problema asociado al anterior lo crea el plomo que emitido al aire en partículas de tamaño submicrónico perjudica la salud de los seres humanos, sobre todo de los niños. El plomo es el más volátil de los componentes metálicos que forman las cenizas de los aceites usados, por lo que puede afirmarse que, prácticamente, cuando se quema aceite todo el plomo es emitido por el

tubo de escape. La cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila del 1 al 1,5 por ciento en peso y proviene de los aditivos. Estudios realizados en Países Bajos han estimado que, si llegaran a quemarse las 70.000 toneladas año de aceite automotor, se recargaría la atmósfera con 350 toneladas adicionales de plomo, lo que representaría una tercera parte más de lo que actualmente emiten los escapes de los vehículos. Si se determinaría por quemar una lata de 5 litros de aceite usado, sola o con fuel, emitiríamos una contaminación atmosférica a través de la combustión incontrolado de los mismos, debido a que los componentes de metales, cloro, que contienen producen gases tóxicos que deben ser depurados que contaminarían un volumen de aire equivalente al que respira un adulto a lo largo de 3 años de su vida. (FULLER, 2017)

1.3. MARCO CONCEPTUAL.

Aceite Multigrado.

“Aceite de motor o engranaje que reúne los requisitos de más de uno de los grados de clasificación SAE de viscosidad, y que puede ser empleado por encima de un rango de temperatura más amplio que los aceites monogrado” (FITCH, 2016)

Aceite Neutro.

“Base de los lubricantes de automóviles y Diesel comúnmente empleados, los cuales son obtenidos de la destilación a vacío”. (FITCH, 2016)

Acidez.

“Una medida de la cantidad de KOH necesaria para neutralizar todo o parte de la acidez del producto petrolífero”. (TORMOS, 2016)

Aditivo.

“Cualquier material añadido a un aceite base para cambiar sus propiedades, características o rendimiento”. (TORMOS, 2016)

Aditivo Antiestático.

“Un aditivo que incrementa la conductividad de un combustible hidrocarbúrico para acelerar la disipación de cargas electrostáticas durante la aplicación a alta velocidad, de ese modo reduce el riesgo fuego/explosión”. (SCHILLIG, 2015)

Aditivo EP

“(Agente de Extrema Presión) Aditivo del lubricante que previene el deslizamiento entre superficies metálicas bajo condiciones de extrema presión”. (FULLER, 2017)

Agente Antidesgaste.

“Aditivos o sus productos de reacción, forman una película delgada en las partes altamente cargadas para prevenir el contacto metal-metal”. (FULLER, 2017)

Agente Antiespuma.

“Un aditivo empleado para suprimir la tendencia a la formación de espuma de los productos petrolíferos en servicio. Puede un aceite de silicona dispersar una superficie de burbujas o un polímero disminuir el número de pequeñas burbujas de aire que se encuentran en el seno del fluido”. (FEIN, 2015)

Anillos.

“Elementos metálicos circulares que van montados en la corona del pistón y facilita el sellado durante la combustión. También es empleado dispersar el aceite para la lubricación”.(FEIN, 2015)

Antiherrumbre.

“Componente de revestimiento de las superficies metálicas con una película que protege contra la herrumbre. Normalmente empleada para conservar los equipos almacenados”. (FULLER, 2017)

Barniz.

“Delgada e insoluble capa en el interior de las partes del motor. Puede causar adherencia y anomalía cierre-despeje de las partes en movimiento. Llamada laca en los motores Diesel”. (FULLER, 2017)

Bases.

“Componente que reacciona con ácidos para formar sal más agua. Las bases son solubles en agua, usadas en el refinado del petróleo para eliminar las impurezas ácidas. Las bases solubles del aceite son incluidas en los aceites lubricantes como aditivos para neutralizar los ácidos formados durante la combustión de combustible o la oxidación del lubricante”. (SCHILLING, 2015)

CAPITULO II

EL PROBLEMA, LOS OBJETIVOS Y LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

Los motores de combustión interna necesitan un lubricante de cierta viscosidad para funcionar correctamente, y como se sabe que la temperatura influye mucho en la viscosidad, la elección del lubricante debe tener en cuenta la temperatura media de funcionamiento y el rango de temperatura en el que funcionará la máquina. El sistema de clasificación de la viscosidad ISO sólo da la viscosidad a una temperatura: 40°C, pero no dice cómo cambia la viscosidad del aceite con la temperatura, que es lo más importante, ya que el motor trabaja a muy altas temperaturas y se requiere un lubricante que resista estas condiciones, de lo contrario la película de aceite se rompe y se inicia el rozamiento metal-metal, que ocasiona el desgaste acelerado de las piezas del motor, lo que no solo deteriora la máquina, sino que además propicia una cadena de fallas que generan gases de combustión que contaminan el aire.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

2.2.1 Problema general

¿Cuál es el índice de viscosidad del lubricante que influye en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la temperatura de funcionamiento del motor que incide en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna?
- ¿Cuál es el grado de viscosidad que influye en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna?
- ¿Qué material de las piezas influye en el índice de viscosidad del lubricante?
- ¿Qué condiciones de funcionamiento del motor intervienen en el índice de viscosidad del lubricante?

2.3. OBJETIVOS.

2.3.1. Objetivo general.

Determinar la influencia del índice de viscosidad del lubricante en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna.

2.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar la temperatura de funcionamiento del motor que incide en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna.
- Determinar el grado de viscosidad que influye en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna.
- Determinar el material de las piezas que influye en el índice de viscosidad del lubricante.
- Determinar las condiciones del funcionamiento del motor que intervienen en el índice de viscosidad interna.

2.4. HIPÓTESIS.

2.4.1 Hipótesis general.

El índice de viscosidad del lubricante influye directa y significativamente en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- .la temperatura de funcionamiento del motor incide significativamente en el nivel de desgaste de las piezas de motor de combustión interna.
- El grado de viscosidad influye significativamente en el nivel de desgaste de las piezas de combustión interna.
- El material de las piezas influye significativamente en el índice de viscosidad del lubricante.
- Las condiciones de funcionamiento del motor intervienen significativamente en el índice de viscosidad del lubricante.

2.5. VARIABLES E INDICADORES

Variable independiente

Índice de viscosidad del lubricante.

Indicadores:

1. Temperatura de funcionamiento del motor.
2. Grado de viscosidad

Variable dependiente.

- Nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna

Indicadores:

1. Material de las piezas.
2. Condiciones de funcionamiento.

Variable Interviniente.

- Contaminación atmosférica:

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación: Aplicada

Nivel: Explicativa

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.2.1. Población.

La población de la presente investigación está constituida por los aceites lubricantes monogrados y multigrados que se expenden en la provincia de Ica.

3.2.2. Muestra

La muestra está conformada por los aceites monogrados: CASTROL HD SAE 40 y Aceite PETROLUBE superior SH y los aceites multigrado CASTROL formula RS (15W/50) y PETROLUBE Super Dorado SH (10W/40)

3.3. DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

Por su diseño la investigación es experimental puro con grupo de control sólo después o post test, con el siguiente esquema:

E A X O1

C A O2

Donde:

A Muestra

X Experimento.

O1 y O2 Observaciones post test.

E Grupo experimental

C Grupo control.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS.
Analíticas Técnicas analíticas establecidas por las Normas A.S.T.M. para Lubricantes automotores y para gases de combustión.	Ensayos químicos. Procedimientos experimentales establecidos por las normas, nacionales e internacionales para establecer el índice de viscosidad y el grado de contaminación

	ambiental en zona de influencia automotriz
--	--

3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Técnicas	Objetivos
Selección de datos	Clasificar los datos de acuerdo a cada parámetro investigado.
Tabulación de datos	Crear las tablas respectivas para ordenar los datos obtenido en los ensayos
Interpretación de resultados	Interpretar los datos obtenidos de acuerdo a sus magnitudes
Discusión de resultados	Comparar los datos obtenidos con los resultados de otros autores.

CAPITULO IV

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. MATERIALES, INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS

4.1.1. Materiales.

- Cartucho toma muestra con carbón activo.
- Aceites lubricantes mono y multigrado.
- Solvente bencina.
- Gasolina etilada.

4.1.2. Instrumentos.

- Viscosímetros capilares Fenske-Cannon
- Vasos de precipitados de 100 mL
- Vaguetas de 20 cm.
- Probeta graduada de 250 mL
- Pipetas volumétricas de 5 mL
- Bureta de 25 mL
- Soporte universal.

4.1.3. Equipos.

- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Campana extractora,
- Estufa de secado.
- Baño para viscosímetros.

4.2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.

METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMATICA DE LOS LUBRICANTE

1. GENERALIDADES:

El presente método está normado para determinar la viscosidad cinemática de los productos derivados del petróleo en un rango que va desde 0.6 hasta 30,000 centistokes (cst). El método establece dos categorías de mediciones: exactas y técnicas.

- Las mediciones exactas se realizan durante los análisis arbitrarios y en los casos en los cuales la viscosidad del producto es muy cercano a los datos especificados en los estándares o condiciones técnicas de este.

- Las mediciones técnicas se realizan durante las operaciones de entrega y recibo de los productos que van a ser almacenadas o puestos en servicio.

2. INSTRUMENTOS DE LABORATORIO REACTIVOS Y MATERIALES

Para determinar la viscosidad cinemática de lubricantes y de otros productos del petróleo, se emplean los siguientes instrumentos, reactivos y materiales:

- Viscosímetros capilares de vidrio tipo Fenske-Cannon, el cual se emplea para determinar la viscosidad de los productos del petróleo transparentes, este como se puede ver en la figura 1, consiste en un tubo de forma de V hecho de vidrio y que en uno de los brazos posee el capilar, el mismo que se comunica con dos bulbos situados en la parte superior. En la parte inferior del otro brazo posee un bulbo grande que sirve como depósito para la muestra. Durante la determinación de la viscosidad el líquido desde el depósito, sube por el capilar hacia los bulbos situados en la parte superior, diseñados para contener la muestra durante la medición.
- Baño químico que permita mantener durante cierto tiempo una temperatura dada, con un error que no supere las siguientes cantidades:
 - a. Para mediciones exactas:
 - $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ para temperaturas que oscilan entre $+ 15$ y $+ 15^{\circ}\text{C}$.
 - $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ para temperaturas que oscilan entre -60 y $+ 15^{\circ}\text{C}$.
 - b. Para mediciones técnicas:
 - $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ para temperaturas que oscilan entre $- 30$ y $+ 150^{\circ}\text{C}$.
 - $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ para temperaturas que oscilan entre -60 y -30°C
- El baño químico se llena con agua destilada o glicerina para temperaturas que van desde 0 hasta 100°C ; o con una mezcla de glicerina y agua destilada en una porción de 1:1, cuando la temperatura de calentamiento es superior a 100°C .
- Termómetro de mercurio con diferencia de líneas de 0.05°C , cronómetro, horno de secado, embudo y papel filtro, sulfato de sodio anhidro, cloruro de sodio anhidro, gasolina sin tetraetilo de

plomo, acetona, benzol, alcohol etílico puro, mezcla crómico, agua destilada.

3. ESQUEMA DEL EQUIPO:

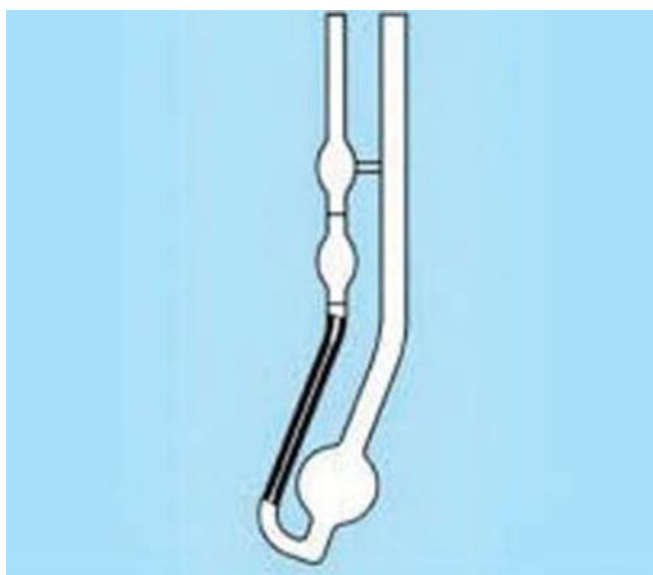


Fig. 1. Determinación de la viscosidad de un lubricante:
Arriba el baño térmico, abajo el viscosímetro Fenske- Cannon

4. OBJETIVO DEL ANÁLISIS:

El presente ANÁLISIS tiene como objetivo determinar el "grado" o "cuerpo" de los aceites lubricantes empleados en los motores de combustión interna.

5. SINTESIS TEORICA.

La viscosidad es uno de los más importantes indicadores fisicoquímicos de los aceites lubricantes y también una de las propiedades de explotación de vital importancia. La viscosidad determina la factibilidad del régimen de lubricación en las condiciones del razonamiento hidrodinámico, influye significativamente en la capacidad refrigerante del aceite y en su deslizamiento a través de las piezas comprimidas, así como en sus propiedades de arranque. (ERIJ, 2015)

La viscosidad del aceite esta internamente ligado a la temperatura. A bajas temperaturas la viscosidad no debe impedir la lubricación ni dificultar el encendido del motor y en las condiciones de trabajo a altas temperaturas debe de lubricar eficientemente incluso las partes más calientes del motor.

La viscosidad es la propiedad que tienen los fluidos (líquidos y gases) de producir resistencia al desplazamiento de una de sus capas con relación a otra. Para el petróleo y sus derivados tanto líquido como gaseosas la viscosidad puede ser: dinámica, convencional y cinemática.

La viscosidad dinámica " η " se considera como la fuerza tangencial necesaria para producir la diferencia de velocidad de 1 cm/s entre dos planos paralelos sumergidos en el fluido y distantes entre si en 1cm. En el sistema CGS, la viscosidad dinámica se mide en poises (P) que equivales a una Dina x s/cm², en el sistema internacional se mide en pascuales por segundos (Pa.s); 1P = 0.1Pa.seg.

En el trabajo práctico fundamentalmente para el control de calidad de los aceites lubricantes y otros derivados del petróleo, se emplea la viscosidad convencional, esta es la relación entre el tiempo que demoraran en pasar por el viscosímetro 200mL de aceite lubricantes a una temperatura de prueba; y el tiempo que demora en pasar por el mismo aparato igual volumen de agua destilada a 20°C. El tiempo que demoran en pasar los 200 mL de agua destilada es "el índice de agua" del viscosímetro.

La viscosidad convencional es una magnitud relativa (de investigación, sin medida) y se representa con las letras VCt (donde t - es la temperatura de análisis) y se mide en grados convencionales (°VC). La determinación de la viscosidad en grados convencionales, es insuficiente.

En los cálculos tecnológicos para determinar la calidad de los lubricantes y de otros productos derivados del petróleo, se emplea el valor de la viscosidad cinemática "u" la cual es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad relativa del líquido "ρ" a la misma temperatura.

La viscosidad cinemática queda expresada en la fórmula:

$$u = \eta/\rho$$

En el sistema CGS la unidad de medida de la viscosidad cinemática es el stock (st). En la práctica mucho se emplea los centistokes (cst). En el sistema internacional por unidad de viscosidad cinemática se considera el metro cuadrado o el milímetro cuadrado por segundo (m²/s);

$$1\text{cst} = 1\text{mm}^2/\text{s}.$$

Tanto la viscosidad dinámica, como la viscosidad convencional y cinemática se determinan en viscosímetros de vidrio y metal especialmente provistos de capilares de regulación.

La viscosidad del lubricante depende principalmente de la composición y estructura de los hidrocarburos que lo conforman. La viscosidad se eleva con el aumento de la masa molecular de los hidrocarburos con la variación cíclica y el grado de derivación, además con el aumento de la cantidad de sustancias resino-asfálticas.

Cuando la temperatura aumenta la viscosidad disminuye y viceversa, el carácter de variación de la viscosidad en dependencia con la temperatura, es uno de los principales parámetros de calidad de los aceites lubricantes. Cuando un lubricante ofrece una mayor resistencia a variar su viscosidad por efecto de la temperatura, se dice que este posee un mayor índice de viscosidad y por lo tanto su calidad es superior.

6. PARTE EXPERIMENTAL.

a. Preparativos para el análisis:

- Para determinar la viscosidad cinemática del producto a analizarse se elige el viscosímetro que permita un tiempo de paso por el capilar no menor de 200 segundos.
- Antes de determinar la viscosidad, el viscosímetro debe ser cuidadosamente lavado con solvente y luego secado. Después de esto se recomienda lavar el viscosímetro con agua caliente y mantenerlo durante 5 ó 6 horas en una solución de mezcla crómica. Después de lo cual el viscosímetro se lava con agua destilada y se coloca en el horno de secado.
- Antes del análisis el producto debe ser filtrado a través del papel filtro. Si este es muy viscoso se debe calentar hasta los 50 ó 100°C. Si el producto tuviera agua esta, se elimina con sulfato de sodio deshidratado y luego se filtra.
- En el termostato (baño), se alcanza la temperatura necesaria para la determinación de la viscosidad del producto, la variación de la temperatura no debe superar los límites anteriormente citados. Durante la determinación de la temperatura en el baño, con el termómetro de mercurio se realiza la corrección de temperatura que éste marca, empleando otro termómetro el cual se coloca en la parte media de la columna de mercurio. La corrección de la columna de mercurio (t) en °C se calcula con la fórmula:

$$t = Kh(t_1 - t_2)$$

donde:

K = es un coeficiente, el cual para los termómetros de mercurio es igual a 0.00016.

h = es la altura de la columna de mercurio expresado en grados de la escala termométrica.

t₁ = es la temperatura en el baño químico, en °C.

t₂ = es la temperatura del medio más próximo al termómetro cuyo reservorio de mercurio se encuentra al centro de la columna de mercurio del termómetro principal.

Las correcciones positivas se restan de la temperatura de determinación de la viscosidad y las correcciones negativas se suman a esta.

b. Procedimiento para el análisis:

- El viscosímetro se llena de la siguiente manera. Por el tubo que posee el depósito (que no tiene capilar) se vierte el lubricante que constituye la muestra hasta que este llene la mitad del depósito.
- El viscosímetro se coloca en el baño de tal manera que los bulbos que están sobre el capilar queden dentro del líquido del baño.
- Mantener el viscosímetro durante unos 15 minutos en el baño a la temperatura indicada (temperatura de análisis) y luego con ayuda de la bombilla, impulsar el lubricante hasta la mitad del bulbo superior que se encuentra, en el brazo que posee el capilar.
- Retirar la bombilla y determinar con ayuda del cronómetro el tiempo que demora el producto en pasar de la marca M1 a la marca M2.
- La menor cantidad de mediciones en dependencia con el tiempo calculado en el análisis debe ser:
 De 200 hasta 300 seg: 5 mediciones
 De 300 hasta 600 seg: 4 mediciones
- En las mediciones exactas de viscosidad los resultados de las mediciones del tiempo de paso del producto para la cantidad de mediciones fijadas en el punto anterior, no deben diferenciarse uno del otro en magnitudes superiores a las fijadas en la tabla 1.

TABLA 1

DIFERENCIA ENTRE MEDICIONES EXACTAS DE VISCOSIDAD

Viscosidad, cSt.	Temperatura de Análisis, °C	Diferencias admisibles entre mediciones, %
Desde 0.6 hasta 1000	Desde -60 hasta -30	1.0
	Desde -30 hasta +15	0.8
	Desde +15 hasta +150	0.3
Desde 1000 hasta 30,000	Desde -60 hasta -30	1.5
	Desde -30 hasta +15	1.0
	Desde +15 hasta +150	0.6

Fuente: Estándares Rusos (GOST) 2000.

- En las mediciones técnicas de viscosidad, los resultados de las mediciones del tiempo de paso del producto, para la cantidad de

mediciones fijadas arriba, no debe diferenciarse uno del otro en magnitudes superiores a las fijadas en la tabla 2.

TABLA 2
DIFERENCIA ENTRE MEDICIONES TECNICAS DE VISCOSIDAD

Viscosidad, cSt.	Temperatura de Análisis, °C	Diferencias admisibles entre mediciones, %
Desde 0.6 hasta 1000	Desde -60 hasta -30	1.5
	Desde -30 hasta +15	1.0
	Desde +15 hasta +150	0.5
Desde 1000 hasta 30,000	Desde -60 hasta -30	2.0
	Desde -30 hasta +15	1.5
	Desde +15 hasta +150	0.8

Fuente: Estándares Rusos (GOST, 2000)

- Cuando los resultados se diferencian mucho de los valores dados con las tablas 1 y 2, los análisis se repiten. Una gran diferencia entre resultados puede deberse a cuatro causas:

- (1) Viscosímetro sucio
- (2) Oscilación en la temperatura del baño químico
- (3) La condensación del vapor de agua.
- (4) Variación en las propiedades del producto de una medición a otra.

Si después de eliminar las 3 primeras causas no se consigue eliminar diferencias mayores, esto quiere decir viscosidad del producto no se puede determinar a esa temperatura.

c. Cálculo de los resultados:

- Se calcula la media aritmética del tiempo de paso del producto por el capilar del viscosímetro, la media aritmética se calcula con una exactitud de hasta 0,1 s.
- La viscosidad cinemática del producto analizado con cSt, se calcula por la fórmula:

$$\nu = c \cdot T \quad (g/980,7) \text{ k}$$

Donde:

c = es la constante del viscosímetro, en cSt/s En el catálogo de cada viscosímetro se da el valor de esta constante.

T = es la media aritmética del tiempo de paso del producto por el capilar del viscosímetro.

g = es la aceleración de la fuerza de gravedad en el lugar donde se realiza el análisis, cm/s^2 .

k = es el coeficiente que considera la variación como resultado de la dilatación de este durante el calentamiento. Para viscosímetro empleado en el análisis k es igual a

$$K = 1 + 0,000040 \cdot \Delta t,$$

donde Δt es la diferencia entre la temperatura del producto cuando se determina la viscosidad (si Δt no es mayor de 10°C del coeficiente k se puede considerar igual a 1)

980.7 Es la viscosidad normal de la fuerza de gravedad en cm/s^2

- La viscosidad cinemática del producto se calcula con una exactitud de hasta cuatro cifras. Ejemplo: 1,255; 16,47; 191,1; 1735.
- Las diferencias admisibles entre determinaciones paralelas de viscosidad cinemática, en mediciones exactas no debe superar las magnitudes expresados en la tabla 3.

TABLA 3

DIFERENCIAS ADMISIBLES EN LOS RESULTADOS DE VISCOSIDAD CINEMATICA (MEDICIONES EXACTAS)

Temperatura de Medición, $^\circ\text{C}$	Diferencias admisibles en % para viscosímetro Fenske Cannon
Desde 60 hasta + 15	± 1.0
Desde + 15 hasta + 150	± 0.7

Fuente: Estándares rusos (GOST, 2000)

- Las diferencias admisibles entre determinaciones paralelas de viscosidad cinemática en mediciones técnicas no deben superar las magnitudes expresadas en la tabla 4.

TABLA 4
DIFERENCIA ADMISIBLES EN LOS RESULTADOS DE VISCOSIDAD
CINEMATICA (MEDICIONES TECNICAS).

Temperatura de Medición, °C	Diferencias admisibles en % para viscosímetro Fenske Cannon
Desde - 60 hasta - 30	± 2.5
Desde - 30 hasta + 15	± 1.5
Desde + 15 hasta + 15	± 1.2

Fuente: Estándares rusos (GOST, 2000)

METODO PARA DETERMINAR METALES EN LOS LUBRICANTES

“Las muestras de aceite se toman a intervalos regulares. El metal de desgaste depende del tipo de aleación con el que se fabrican las diferentes piezas de la máquina. Un aumento de la concentración de metales de aleación indica el desgaste de una pieza concreta de la máquina”.

“En la espectroscopia de absorción atómica, el experimento consiste en una serie de curvas de calibración y curvas de calibración cuantificadas para eliminar la materia orgánica mientras los metales permanecen en solución. Para obtener resultados fiables, los resultados esperados de las muestras de aceite lubricante utilizadas deben estar dentro del rango determinado por la curva de calibración”. (TORMOS, 2016)

MUESTREO DEL ACEITE LUBRICANTE

Procedimiento de muestreo

“Tan pronto como el mecanismo se detenga, debe tomarse una muestra del aceite usado con todas las impurezas suspendidas en el cuerpo del aceite y los resultados deben ser lo más representativos posible”. El muestreo se puede realizar por medio de los siguientes métodos:

- “Tapa de llenado (Man Hole). Método del tapón de drenaje”.
- “Depósitos periféricos: debe removerse cualquier suciedad en el tapón de drenaje. Método de sifón: la muestra es tomada del punto medio del cárter”.

- “Método de válvula de presión: la muestra puede ser tomada con el equipo en operación”.

Tamaño de la muestra y tipo de envase

“Las cantidades mínimas de muestra que deben ser enviadas al laboratorio para hacer un análisis completo del aceite se muestran en la siguiente tabla”

TABLA 5
TIPO Y CANTIDAD MUESTRAS

TIPO DE ACEITE	CANTIDAD
Aceite de turbinas, sistemas hidráulicos y	1 Litro
Aceites para motores Diesel y a gasolina	1 Litro
Aceites para engranes y transmisiones	½ Litro
Depósitos sólidos	100 gramos
Aceites para cortes (solubles y no solubles)	1 Litro

Los recipientes empleados para alojar las muestras pueden ser botellas de vidrio o metálicas bien limpias.

TOMA DE MUESTRA

Es importante tomar muestras del aceite usado para su análisis, ya que estas muestras deben representar completamente la cantidad total de aceite en la máquina, especialmente durante su funcionamiento. Se toman en cuenta los siguientes puntos para el muestreo:

- “El aceite se muestrea a intervalos regulares de tiempo”.
- “Las muestras se toman a las condiciones de operación, esto es, cuando el motor se encuentra caliente, a la temperatura normal de trabajo”.
- “Las muestras del aceite usado se toman todas del mismo lugar (generalmente, del depósito de aceite de corte: se conoce como aceite de corte)”.
- “Las muestras se toman en recipientes de plástico”.

El objetivo de la toma de muestra es:

- “Llevar un seguimiento continuo del estado del equipo a través de un mantenimiento preventivo”.
- “Prevenir las fallas del motor y evitar costosas reparaciones”.

Las averías inesperadas del motor pueden tener un gran impacto en todo el proceso y suponer costes elevados, ya que el diagnóstico continuo puede predecir la necesidad de futuras reparaciones. Sin duda, el mantenimiento preventivo es la mejor solución para evitar los tiempos de inactividad y los costes de reparación excesivos. En muchos casos, incluso con un mantenimiento regular, a veces se producen graves problemas de desgaste que no son visibles a simple vista debido a condiciones de funcionamiento anormales o a factores externos que escapan al control del operador.

TÉNICAS DE MUESTREO

La muestra de aceite utilizada debe ser una muestra válida, es decir, una muestra que represente la circulación del aceite en el sistema a la temperatura de funcionamiento o cerca de ella. A continuación se describen tres métodos de muestreo diferentes.

Para el presente estudio se utiliza la técnica de la toma de muestra por bomba de succión.

“Muestra tomada del tapón de drene. El tapón de drene está ubicado en la parte inferior del colector de aceite, la forma más común de obtener una muestra usando este método es tomándola mientras se drena el aceite del motor”.

“Toma de muestra por bomba de succión (Vampiro). Hay varios tipos de bombas de succión, básicamente todas constan de tres partes: una pistola o bomba de succión, un recipiente para la muestra, y un tubo de plástico por el cual se succiona la muestra”.

La bomba crea un vacío en el frasco, y la muestra fluye hacia el frasco a través de un tubo o tubería de plástico. Para este tipo de muestreo hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. “Para cada muestra tomada se debe de utilizar una manguera nueva”.
2. “La máquina debe tener su temperatura de operación promedio”.

3. “Cuando se tome la muestra a través del conducto de la bayoneta hacia el cárter, la longitud que será introducida de la manguera será igual a la longitud de la bayoneta, ya que de lo contrario podría provocar el deterioro del cárter, así como succionar material que se deposita en dicha sección del sistema”.
4. “La bomba de succión debe permanecer limpia, en caso contrario no puede ser utilizada”.
5. “Las bombas que se utilizan con mejores resultados son los Vampiros que surte el fabricante Caterpillar”.
6. “Tener el material de muestreo en un lugar libre de cualquier contaminación con polvo, se debe verificar antes de cada muestreo que el material se encuentre limpio y seco”

Toma de muestra por el “Método del grifo”. “Probablemente la manera más precisa de obtener una muestra de lubricantes mediante grifos instalados especialmente en el sistema (venas de lubricación). Una buena ubicación para el grifo es la galería del aceite principal donde se instala una T fuera del bloque para insertar la válvula del grifo, esta puede instalarse donde se ubique la unidad de transmisión de presión del aceite, otra buena posición es cerca del filtro del tipo de derivación, una T puede ser instalada en la entrada del filtro de derivación, la instalación de esta “T y grifos no es muy costosa”.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

“Para el desarrollo experimental fue necesario llevar a cabo el análisis de aceites usados por espectroscopía de Absorción Atómica, que proporciona información sobre el grado de desgaste del motor a Diesel o a gasolina, el nivel de deterioro del aceite usado, el nivel de desgaste mecánico de las superficies metálicas que se lubrican y las materias orgánicas, algunas otras pruebas nos indican el nivel de contaminación con partículas sólidas, relación de viscosidad con la temperatura, el contenido de aditivo”.

“El diagnóstico técnico de motores de combustión interna (motores de Diesel y motores de gasolina) ha evolucionado enormemente en los

últimos años, las principales ventajas que ofrece el diagnóstico de motores de combustión interna son:

- “Constituye una herramienta del mantenimiento predictivo.”
- “Evita que el motor se pare de manera inesperada”.
- “Ayuda a prevenir fallas”.
- “Incrementa la vida útil del motor.

“Mejora la disponibilidad de los motores y contribuye con el control de emisión de los gases de escape evacuados hacia el medio ambiente, disminuyendo la contaminación del aire”.

SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO PARA EL ANÁLISIS DE METALES

“Para el análisis de muestras se seleccionan las condiciones de operación, y se procede a optimizar el equipo y obtener las curvas de calibración, las condiciones para Fe, Cu y Cr se muestran en las tablas 6, 7, 8”.

TABLA 6
CONDICIONES DE OPERACIÓN (Fe)

Longitud de onda	248.3
Slit	0.2
Flama	Aire/Acetileno
Flujo de Oxidante	2.5
Flujo de Combustible	1.5
Energía	50
Tiempo de integración	5 s
Repeticiones de lectura de Absorbancia	3

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7
CONDICIONES DE OPERACIÓN (Cu)

Longitud de onda	324.8 nm
Slit	0.7
Flama	Aire/acetileno
Flujo de Oxidante	4.0
Flujo de Combustible	2.0
Energía	
Tiempo de integración	5 s
Repeticiones de lectura de Absorbancia	3

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 8
CONDICIONES DE OPERACIÓN (Cr)

Longitud de onda	357.9
Slit	0.7
Flama	Aire/Acetileno
Flujo de Oxidante	2
Flujo de Combustible	2.5
Energía	

Fuente: Elaboración propia.

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO PERKIN ELMER MODELO 3100

La calibración del equipo se hace en tres partes:

- “Alineación de la lámpara”.
- “Calibración del quemador”.
- “Calibración de la flama”.

Alineación de la lámpara

Antes de alinear la lámpara correspondiente al elemento a analizar se deben seguir los siguientes pasos:

- “Seleccionar la longitud de onda del elemento a analizar, localizando el botón para seleccionarla en la parte superior izquierda del equipo”.

- “Seleccionar el ancho y la altura del slit, datos que se obtienen del cook book”
- “Para análisis con flama la altura del slit se coloca siempre en High Instalar la lámpara de cátodo hueco”.
- “Encender el equipo”
- “Presionar la tecla **(Energy)**, la cual nos indica la cantidad de energía que emite la lámpara”.
- “Posteriormente ajuste los tornillos para alinear la lámpara, empezando con el de ajuste grueso, si la barra que indica la cantidad de energía se sale de la escala, o no pasa de la mitad se presiona la tecla **(GAIN; ganancia)**, para que la barra entre en escala nuevamente y se obtenga la máxima energía”
- “Continuar con el tornillo de ajuste fino, repetir los mismos pasos que para el tornillo de ajuste grueso”.

Calibración del quemador

- “Colocar un papel blanco en los extremos y en el centro del quemador, verificando la alineación del mismo”.
- “Presionar la tecla **(CONT=continuo)**”
- “Alinear el quemador con ayuda de las perillas para ajustar el ángulo y la profundidad, hasta que el haz proveniente de la fuente quede centrado a todo lo largo del quemador”.
- “Presionar la tecla **(A/Z)** para obtener una lectura de “0” de absorbancia”
- “Mover el quemador hacia arriba, con ayuda de la perilla de ajuste vertical, en sentido contrario a las manecillas del reloj, hasta obtener una lectura positiva de absorbancia”.
- “Bajar el quemador lentamente, con ayuda de la perilla, en el sentido de las manecillas del reloj, hasta obtener un valor de 0 de Absorbancia”
- “Mover la perilla $\frac{1}{4}$ de vuelta más en el sentido de las manecillas del reloj”.

Calibración de la flama

- “Abrir la válvula del aire y regular la presión de salida entre 50- 65 psi Abrir el tanque de acetileno y regular la presión de salida de 12- 14 psi Girar la perilla del oxidante a la posición de **(AIR)**”
- “Ajustar el flujo del oxidante a 4 unidades en el rotámetro, utilizando la perilla correspondiente”
- “Ajustar el flujo del acetileno entre 2-2.5 unidades en el rotámetro, utilizando la perilla correspondiente”
- “Una vez ajustados los flujos regresar la perilla a la posición **OFF**”
- “Para encender la flama, girar la perilla a la posición **(AIR)** y oprimir el botón **(IGNITE)**, sosteniéndolo hasta que encienda la flama”
- “Aspirar el blanco y dejar que la flama se estabilice durante 30-60 seg”
- “Presionar la tecla **(A/Z)** para obtener una lectura de 0 Absorbancia
- “Aspirar el estándar de concentración característica y ajustar el quemador moviendo las perillas que modifican la profundidad y el ángulo del quemador, hasta obtener el máximo valor de absorbancia”.
- “La lectura de Absorbancia debe ser de $0.2 \pm 20\%$ ”
- “La concentración característica de un elemento, es la concentración que da una lectura de absorbancia de aproximadamente 0.2. Los valores de las concentraciones características se encuentran en el “Cook book” de AA”

Determinación de contaminantes atmosféricos.

Método gravimétrico EPA 17 (1995) Modificado.

A partir de este método gravimétrico se ha determinado coque, hidrocarburos no quemados, material particulado respirable y sílice, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

- “Un embudo de Gooch, de forma alta se adapta a un kitazato y este se conecta con una bomba de vacío. Seguidamente con una manguera del diámetro correspondiente se une el embudo Gooch a la salida del tubo de escape del vehículo y se arranca este para

que funcione por tres horas. Durante este tiempo la bomba de vacío debe estar funcionando”.

- “Al término de las tres horas, se desmonta el equipo y se procede a pesar el embudo de Gooch, luego se lava con hexano caliente y se lleva a la estufa para secarlos a 100°C por dos horas. Se vuelve a pesar para por diferencia de pesos calcular el contenido de hidrocarburos no quemados y el peso del material particulado”.
- “El embudo Gooch con el residuo sólido se lleva a calcinación por dos horas, después de ello se saca de la mufla y se enfría en el desecador para luego pesarlo. La diferencia de pesos de antes y después de la calcinación, me da el resultado del coque presente en los gases de la combustión”.

**CAPITULO V:
RESULTADOS, ANÁLISIS, DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y
CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS**

5.1. RESULTADOS

5.1.1. Análisis de los lubricantes tomados como muestras.

TABLA 1
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL LUBRICANTE
CASTROL HD SAE 40

Parámetro	Resultado	Especificaciones
Gravedad específica, a 15,6°C	0,895	0,894
Viscosidad cinemática, cSt a 40°C	150,62	151,95
Viscosidad cinemática, cSt a 100°C	14,36	14,50
Índice de viscosidad	95	96
Punto de inflamación, °C	248	250
Punto de congelación, °C	-16	-18
T.B.N. en mg de KOH/g	10	10

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 1 muestra los resultados del análisis del lubricante monogrado CASTROL HD SAE 40, para establecer si los resultados están dentro de los valores especificados por el fabricante, como se observa, las desviaciones son mínimas para los distintos parámetros, lo cual es aceptable. Un parámetro importante para nuestro estudio es el índice de viscosidad que para este aceite lubricante es igual a 95.

TABLA 2
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL LUBRICANTE
PETROPERÚ SUPERIOR SH SAE 40

Parámetro	Resultado	Especificaciones
Gravedad específica, a 15,6°C	0,892	0,895
Viscosidad cinemática, cSt a 40°C	156,2	157,5
Viscosidad cinemática, cSt a 100°C	15,1	15,5
Índice de viscosidad	98	100

Punto de inflamación, °C	248	250
Punto de congelación, °C	-15	- 15
T.B.N. en mg de KOH/g	8,0	8,0

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 2 muestra los resultados del análisis del lubricante monogrado PETROPERÚ SUPERIOR SH SAE 40, para establecer si los resultados están dentro de los valores especificados por el fabricante, como se observa, en este caso también las desviaciones son mínimas para los distintos parámetros, lo cual es aceptable. Un parámetro importante para nuestro estudio es el índice de viscosidad que para este aceite lubricante es igual a 98.

TABLA 3
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL LUBRICANTE
CASTROL RX SUPER (15W/40)

Parámetro	Resultado	Especificaciones
Gravedad específica, a 15,6°C	0,886	0,885
Viscosidad cinemática, cSt a 40°C	106,3	107,0
Viscosidad cinemática, cSt a 100°C	14,3	14,6
Índice de viscosidad	140	141
Punto de inflamación, °C	221	222
Punto de congelación, °C	-22	- 24
T.B.N. en mg de KOH/g	13,0	13,6

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3 muestra los resultados del análisis del lubricante multigrado CASTROL RX SUPER 15W/40, para establecer si los resultados están dentro de los valores especificados por el fabricante, como se observa, las desviaciones son mínimas para los distintos parámetros, lo cual es aceptable. Un parámetro importante para nuestro estudio es el índice de viscosidad que para este aceite lubricante es igual a 140.

TABLA 4
 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL LUBRICANTE
 PETROPERÚ SUPER DORADO SH (10W/40)

Parámetro	Resultado	Especificaciones
Gravedad específica, a 15,6°C	0,885	0,883
Viscosidad cinemática, cSt a 40°C	89,0	89,5
Viscosidad cinemática, cSt a 100°C	14,2	14,9
Índice de viscosidad	174	175
Punto de inflamación, °C	222	223
Punto de congelación, °C	- 31	- 33
T.B.N. en mg de KOH/g	6,7	7,0

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 4 muestra los resultados del análisis del lubricante multigrado PETROPERÚ SUPER DORADO SH 10W/40, para establecer si los resultados están dentro de los valores especificados por el fabricante, como se observa, las desviaciones son mínimas para los distintos parámetros, lo cual es aceptable. Un parámetro importante para nuestro estudio es el índice de viscosidad que para este aceite lubricante es igual a 174.

5.1.2. Resultados del análisis metalográfico.

TABLA 5
 CONTENIDO DE METALES EN EL ACEITE EN USO
 LUBRICANTES DE LA MARCA CASTROL

METAL	MUESTRA		LMP, ppm
	Aceite monogrado CASTROL HD SAE 40	Aceite multigrado CASTROL RX SUPER 15 W/40	
Fe	35	23	50
Pb	7	5	20
Cu	19	11	20
Cr	3	1	5
Al	5	2	10
Ni	4	2	5
Sn	6	4	10
Si	12	12	10

Fuente: Reporte de laboratorio.

La tabla 5 muestra los resultados de los análisis hechos a los lubricantes de la marca CASTROL, monogrado y multigrado para establecer el nivel de desgaste del motor, mediante la determinación de metales en el aceite. Los resultados del reporte indican que si bien es cierto los valores obtenidos no superan los límites máximos permitidos, hay una considerable concentración de ellos en el aceite, sobre todo en el monogrado, donde la cantidad de hierro alcanza los 35 ppm y el cobre que llega a 19 ppm, indicando un excesivo desgaste de los cilindros y casquillos de biela respectivamente. Para el caso de la sílice, este supera el LMP en ambos casos, dando 12 como resultado.

TABLA 6
CONTENIDO DE METALES EN EL ACEITE EN USO
LUBRICANTES DE LA MARCA PETROPERÚ

METAL	MUESTRA		LMP, Ppm
	Aceite monogrado SUPERIOR SH SAE 40	Aceite multigrado SUPER DORADO SH 10W/40	
Fe	29	16	50
Pb	8	4	20
Cu	13	7	20
Cr	2	1	5
Al	6	4	10
Ni	3	2	5
Sn	6	2	10
Si	13	11	10

Fuente: Reporte de laboratorio.

La tabla 6 muestra los resultados de los análisis hechos a los lubricantes de la marca PETROPERÚ, monogrado y multigrado para establecer el nivel de desgaste del motor, mediante la determinación de metales en el aceite. Los resultados del reporte indican que si bien es cierto los valores obtenidos no superan los límites máximos permitidos, hay una considerable concentración de ellos en el aceite, sobre todo en el monogrado, donde la cantidad de hierro alcanza los 29 ppm y el cobre que llega a 13 ppm, indicando un excesivo desgaste de los cilindros y

casquillos de biela respectivamente. En cuanto a la sílice los resultados indican que ambos aceite contienen cantidades superiores a las permitidas.

TABLA 7
EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS
POR QUEMA DE LUBRICANTE EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

CONTAMINANTE	MUESTRA		LMP
	Aceite monogrado SUPERIOR SH SAE 40	Aceite multigrado SUPER DORADO SH 10W/40	
Coque	3%	0,5%	2%
MP10	2256 ppm	1430 ppm	2000 ppm
HC	703 ppm	362 ppm	600 ppm
Si	3 ppm	3 ppm	20 ppm

Fuente: Reporte de laboratorio.

La tabla 7 muestra los resultados del análisis de los gases de la combustión para determinar la cantidad de contaminantes que se producen por las deficiencias del uso de aceites monogrado, los cuales tienen un bajo índice de viscosidad. Como se observa en el reporte de laboratorio, mayor cantidad de contaminantes atmosféricos se descargan de motores que usan aceites monogrado que de aquellos que usan aceites multigrado. Para el caso de la sílice los motores que se emplearon para los ensayos trabajaron bajo las mismas condiciones atmosféricas por lo que estaban expuestos al polvo de la misma manera.

5.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La parte experimental de la tesis se ha realizado en el laboratorio de la empresa CORPORACION ACEROS AREQUIPA S.A., empleando cuatro muestras de aceite dos monogrado y dos multigrado; de la marca comercial CASTROL se tomaron uno monogrado y otro multigrado y lo mismo se hizo con los lubricantes de la marca PETROPERÚ. Los aceites monogrado de ambas marcas poseen un índice de viscosidad bajo que no supera los 100, mientras que los multigrado tienen índices de viscosidad elevado el de la marca CASTROL 141 y el PETROPERU 175. El alto índice de viscosidad le permite al lubricante crear una fina capa

límite de lubricación, resistente al rozamiento metal-metal, que evita el deterioro de las superficies en contacto; debido a esto en el análisis metalográfico existe menos concentración de metales, ya que ofrecen mayor protección a diferentes temperaturas. El desgaste de las piezas es menor cuando se realiza el arranque en frío, los anillos rascadores no sufren desgaste al igual que las paredes de los cilindros (por eso hay menos Fe, Ni, Cr y Al en el reporte de análisis), los anillos logran jalar todo el lubricante hacia abajo dejando el cilindro y la cámara de combustión libre de lubricante y cuando se produce la combustión, solo el combustible arde y en su totalidad. En cambio, cuando queda lubricante en la cámara de combustión este se quema generando humo negro debido a una combustión incompleta. Esto sucede a menudo con los aceites monogrado que ofrecen la resistencia adecuada a las presiones a alta temperatura, rompiéndose la capa límite y permitiendo el rozamiento metal-metal, con el consiguiente desgaste por abrasión.

A las condiciones críticas que trabaja el motor de combustión interna, el índice de viscosidad es uno de los parámetros fundamentales ya que este es el responsable de la eficiencia del aceite y la eficacia de la lubricación. Este índice de viscosidad es la resistencia de la viscosidad a variar su valor frente a los cambios excesivos de temperatura, manteniendo en todo momento una lubricación elastohidrodinámica adecuada, que garantiza el normal funcionamiento del motor.

En la determinación de metales en el aceite usado, el primer elemento que destaca es el hierro por la concentración a la que se encuentra (35 ppm). Generalmente el Fe proviene de la fricción entre las paredes de los cilindros (que puede ser encamisados o hechos en el monobloc mismo) y los anillos. Pero también puede ser del árbol de levas, el cigüeñal, las válvulas, los cojinetes, la bomba de aceite, los engranajes de la cadencia, el turbo, las guías de válvulas, o las bielas.

El hierro determinado en el lubricante puede llegar a este como resultado del desgaste o herrumbre de las piezas móviles del motor. Un motor que tiene aceite contaminado con sílice, que tiene un deficiente índice de viscosidad, o un alto contenido de hollín (coque) tendrá desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica. Si el aceite está con

agua, todas las piezas de hierro son sujetas a herrumbrarse. Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logra a pararla.

El hierro que paulatinamente se acumula en el aceite lubricante proviene de las siguientes fuentes: Desgaste de anillos y cilindros: Cada hora que el motor está funcionando, los pistones suben y bajan, raspando los anillos contra las paredes de los cilindros. SE calcula que en un viaje de 10 minutos en un auto normal, cada anillo de cada pistón viajó 6 kilómetros raspando las paredes. Si el aceite pierde su viscosidad, el desgaste es intenso. Si el aceite está contaminado con partícula metálicas estas raspan las paredes. Cuando falla la lubricación hidrodinámica los anillos dependen de los aditivos anti-desgaste que proveen lubricación límite. El trabajo del anillo superior es raspar el aceite al bajar en el cilindro, dejando las paredes secas para la combustión. Este anillo depende 100% de la lubricación límite y los aditivos que lo provee.

El aluminio es también un metal de desgaste y se mide en partes por millón (ppm). Las partículas de desgaste de aluminio (después de eliminar lo que ingresa como tierra) viene de los cojinetes, bujes (varios), pistones, arandelas de empuje. Presiones excesivas en la bomba inyectora. Inyectores sucios o mal colocados en la cámara de combustión. Válvulas mal reguladas.

Desgaste de anillos, camisas o bloque. Mala sincronización de la chispa o inyección de combustible. Limpieza de lodos dejados por el aceite anterior. Contaminación por otros aceites inferiores, en el relleno.

El zinc y el fósforo trabajan en conjunto para proveer lubricación límite cuando la lubricación hidrodinámica no alcanza las necesidades de presiones y fricción. Esta protección se llama antidesgaste. ZDDP (Dialquil ditiofosfato de zinc) es una sal órgano metálica, compuesta de zinc, azufre y fósforo. Forma una capa de sulfato de hierro en la superficie de las piezas, donde el azufre puede actuar para atraer el zinc, dejando tres capas suaves para evitar contacto acero-acero.

CONCLUSIONES

1. Mediante pruebas experimentales se ha podido demostrar la influencia del índice de viscosidad en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna. Los aceites que ofrecen la resistencia adecuada a presiones a altas temperatura rompen la capa límite creada por el alto índice de viscosidad permitiendo el rozamiento metal-metal, originando el desgaste por abrasión.
2. Cuando la temperatura del motor en funcionamiento esta de los 200° a 250° C se utiliza el índice de viscosidad y se compara con aceites de susceptibilidades térmicas muy pequeñas y muy grandes, ya que la viscosidad disminuye con la temperatura. Existen dos tipos de aceites para motores automotrices: Los monogrados y los multigrados. Los aceites multigrados son los mas recomendados puesto que están diseñados para que tengan características de fluidez en temperaturas bajas y mantiene estables su viscosidad ante cambios bruscos de temperatura, también llegan más rápido a las piezas del motor para lubricarlas aun estando en frio y prevenir o evitar el subsiguiente desgaste.
3. El aceite 10w-40 (0°F / -18°F) cuyo grado de viscosidad a temperaturas frías es SAE 10 y a temperatura de trabajo es SAE 40 viene a ser una buena selección para controlar el desgaste del motor y sus piezas y prevenir la descomposición del aceite debido a la oxidación. Dicho aceite es multigrado y según estudios de laboratorio realizados dan como resultado que el índice de viscosidad para este aceite lubricante es de 174.
4. Las piezas del motor hechas por metales como (Fe, Cu, Al, Cr, Sn, Ag, Mo) sufren un desgaste intensivo cuando el lubricante usado es de u índice de viscosidad bajo, esto debido a la fricción o rozamiento, ya que en términos mas sencillos es la perdida de energía durante el inicio, desarrollo y final del movimiento relativo entre dos materiales en contacto,

puesto que para reducir la fricción de los materiales se tendrá que emplear un lubricante con mayor índice de viscosidad. A mayor índice de viscosidad mayor es la resistencia del fluido a variar su viscosidad con la temperatura; esto empleará que haya un menor consumo de aceite y un menor desgaste. El metal que mas presencia tiene en aceites usados es el Fe, seguido del Cu.

5. Muchos motores utilizan un solo tipo de lubricante en diferentes zonas de fricción y operan en diferentes cargas, velocidades y temperaturas. Para motores que trabajan con carga, velocidad y temperatura constante, la viscosidad ideal a menudo resulta en la menor temperatura del aceite una vez estabilizada, si por el contrario las condiciones de funcionamiento no son constantes (carga, velocidad, temperaturas, variables, etc.) existe la necesidad de que no solo se requiera una óptima viscosidad, sino también de un alto índice de viscosidad para estabilizar la viscosidad requerida del lubricante.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer ensayos con otros lubricantes, de diferentes marcas comerciales, tanto envasados como a granel, para determinar su índice de viscosidad y evaluar su comportamiento en el motor, a fin de corroborar los resultados obtenidos en la presente tesis.
2. Se recomienda solicitar a la Dirección de la Facultad, la puesta en servicio del Espectrofotómetro de Absorción Atómica a fin de que los tesisistas y el alumnado en general se capacite en el uso de este equipo, tan indispensable en las diferentes investigaciones que se llevan a cabo.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Chávez, F. (2015). La tribología: Ciencia y Técnica para el Mantenimiento. México: Ed. Noriega Limusa 2da reimpresión.
- Fitch, E.C. (2015). "Mantenimiento y lubricación de motores de combustión", Madrid. Editorial Alhambra S.A.
- Fitch, J.C., Scott, R., & Leugner, L. (2016). "Manual práctico de lubricación de motores de combustión interna". México D.F. Editorial Interamericana.
- Fein, R.S. (2015). "Lubrication Engineering." Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers.
- Fein, R.S. (2017). "Desgaste y lubricación de máquinas." Manual de tribología. Madrid. Editorial Umbro.
- Fuller, D. (2017) "Teoría y Práctica de la Lubricación". México. Editorial Interciencia.
- Mortier, R.M., Fox, M.F., & Orszulik, S.T. (2016). "Chemistry and Technology of Lubricants – 3rd Edition."
- Rabinowicz, E. (2014). "Friction." Access Science.
- Rigney, D.A. (2015). "Fundamentals of Friction and Wear of Materials." ASM
- Schilling, A. (2015) "Los aceites para motores y la lubricación de los motores". México. Editorial Interciencia.
- Tormos, B. (2016) "Diagnóstico de Motores Diesel mediante al análisis del aceite". Madrid. Editorial Reverte S.A.

ANEXO

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LUBRICANTES CON DENSÍMETRO

1. OBJETIVO.

Determinar la densidad de combustibles y lubricantes derivados del petróleo y del gas natural, empleando el densímetro o aerómetro, de acuerdo con el GOST 3900-47 (Estándar Estatal Ruso).

2. MARCO TEÓRICO.

Una de las principales características de las sustancias es la densidad, generalmente representada con la letra griega " ρ ". Cualquier impureza que ingresa a ellas obligatoriamente cambia la densidad de esta, lo que quiere decir que por el valor numérico de la densidad se puede juzgar la pureza y calidad de cualquier sustancia.

La densidad es la relación que existe entre la masa de la sustancia y su volumen, la cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = M/V$$

Donde:

M = es la masa de la sustancia, en g ó Kg

V = es el volumen, en m³, cm³ o mL

ρ = es la densidad relativa, g/mL.

La densidad de los lubricantes, así como la densidad de otros productos del petróleo puede ser: absoluta y relativa. En la práctica para caracterizar las sustancias se recurre frecuentemente a la determinación de la densidad relativa. Esta, expresa la relación existente entre la densidad de la sustancia a la temperatura t_1 y la densidad del agua a la temperatura t_2 . El presente método reglamenta determinar la densidad de los productos del petróleo a 20°C y la del agua a 4°C (debido a que la densidad del agua a 4°C es igual a 1, entonces el valor numérico de la densidad relativa y absoluta coinciden).

La densidad del agua a 4°C y a 760 mm Hg es igual a 1g/mL. Partiendo de que la densidad del agua a 20°C es igual a 0,9982 g/mL, el valor de la densidad relativa de una sustancia ($\rho_{4^{\circ}C}^{20^{\circ}C}$) se determina mediante la fórmula:

$$\rho_{4^{\circ}C}^{20^{\circ}C} = \frac{M}{W} \times 0.9982$$

donde:

M = es la masa de la sustancia contenida en el picnómetro a 20°C.

W = es la masa de igual volumen de agua y a la misma temperatura.

La densidad de los combustibles y de los lubricantes dependen de la cantidad y composición química de los componentes livianos que hierven a bajas temperaturas (las cuales poseen una densidad menor) y de los componente pesados que hierven a temperaturas más altas con el aumento de la temperatura, disminuye la densidad de los productos derivados del petróleo y viceversa. La dependencia de la densidad con la temperatura se expresa mediante la formula de D.I. Mendeleief-Clayperon.

$$\rho_{4^{\circ}C}^{20^{\circ}C} = \rho_{4^{\circ}C}^{t^{\circ}C} + \gamma (t-20)$$

donde:

$\rho_{4^{\circ}C}^{t^{\circ}C}$ = es la densidad relativa del lubricante a la temperatura t.

$\rho_{4^{\circ}C}^{20^{\circ}C}$ = es la densidad relativa del lubricante a 20°C de temperatura.

γ = es la rectificación métrica de temperatura de densidad en cada grado centígrado. Los valores de rectificación se dan en la tabla 1.

La densidad de los aceites lubricantes y de otros productos del petróleo se determina con ayuda del densímetro (aerómetro) de las balanzas hidrostáticas o del picnómetro. El densímetro es un tubo cerrado que contiene en la parte inferior, más ancha, un sobrepeso de plomo y en la parte superior, más angosta, una escala para medir la densidad. La lectura del valor de la densidad se realiza por la línea de la escala que se encuentra en el mismo nivel de la superficie del líquido.



Fig.2. Densímetro o aerómetro

Los principios de construcción del densímetro, sus especificaciones, así como los métodos de análisis, calibración y utilización vienen en las normas AFNOR e ISO. Todo aerómetro controlado por una entidad oficial, cumple con reglas de construcción precisas.

El densímetro se diseña para flotar sumergido a una cierta profundidad en un líquido, a una temperatura estandarizada que puede ser 20°C, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas. El densímetro es pues un flotador que posee una coraza de vidrio delgado, que en la parte inferior tienen

un mayor diámetro y en la que se deposita bolitas de plomo sujetas a su extremo con ayuda de una resina, Este plomo actúa como contrapeso y permite la inmersión parcial del aparato. En la parte superior del densímetro su diámetro se reduce a un tubo muy delgado en el que se coloca la escala para la lectura de densidad.

Al sumergirse en un líquido el aerómetro se inmoviliza, cuando la masa del líquido desplazado equilibra su masa y las fuerzas capilares que se aplican a la columna emergente (Principio de Arquímedes). Cuanto mayor es la densidad del líquido, mayor empuje recibe el densímetro y más alta es la parte que emerge de la columna.

La condición que establece el equilibrio de un densímetro es que el nivel de la superficie del líquido corte la columna de tal manera que el volumen del líquido desplazado por el instrumento tenga una masa igual que la del aerómetro (sin tomar en cuenta las fuerzas mínimas que actúan sobre la columna). La posición de equilibrio y, en consecuencia, la indicación de la escala, se determina directamente por la masa por unidad de volumen del líquido, es decir, la densidad.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

3.1. Instrumentos de laboratorio, materiales y reactivos:

Densímetros o aerómetros de 0,65 hasta 0,98 g/mL; tubo de vidrio para densímetros, termómetro de mercurio con rango de medición desde 20°C hasta + 50°C y con diferencia de líneas de 1°C, termómetro de mercurio con rango de mediciones desde 0° hasta + 30°C y diferencia de líneas de 0.1°C ; probeta graduada de 250 mL; pipeta de capilar fino, alcohol étílico rectificado, agua destilada, mezcla crónica.

3.2. Esquema del equipo:

El esquema del equipo se muestra en la figura 1.



Fig. 1. Determinación de la densidad con el densímetro

3.3. Secuencia analítica.

a. Determinación de la densidad de los combustibles y lubricantes con ayuda del aerómetro o densímetro.

RECOMENDACIONES:

- Antes de determinar la densidad del producto, a este, se le mantiene durante cierto tiempo expuesto al medio ambiente a fin de que iguale su temperatura.
 - Si la medición de la densidad se realiza para determinar la calidad del producto en todo su volumen, entonces la densidad se determina a la temperatura del mismo.
- #### **b. Determinación de la densidad de los combustibles y lubricantes poco viscosos con el densímetro.**
- El tubo para densímetro se coloca en un lugar plano y fijo, se llena con el producto a analizar, el cual debe estar a una temperatura no mayor o menor de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con relación a la temperatura ambiente (cuando sea necesario el producto se calentará hasta las 40°C).

- El densímetro limpio y seco, sujeto de la parte superior se sumerge lentamente en el producto. Una vez que se detiene y deja de oscilar, se procede a leer la densidad teniendo en cuenta el nivel superior del menisco, tanto para los productos claros como para los oscuros. Durante la lectura el ojo del operario debe encontrarse al mismo nivel del menisco.
- La temperatura del producto se determina con el termómetro del densímetro o con un termómetro adicional (durante el análisis de los productos oscuros el densímetro con termómetro se levanta sobre el nivel del producto para leer en la escala de temperatura).
- La lectura en la escala del densímetro nos da la densidad del producto a una determinada temperatura, llamada temperatura de análisis. El valor de esta densidad de análisis se emplea cuando se determina la calidad del producto en todo su volumen.
- Para transformar esta densidad de análisis $\rho_{4^{\circ}C}^{t^{\circ}C}$ a una densidad real $\rho_{4^{\circ}C}^{20^{\circ}C}$ con temperatura estándar $t = 20^{\circ}C$, se emplea la fórmula ya anteriormente citada:

$$\rho_{4^{\circ}C}^{20^{\circ}C} = \rho_{4^{\circ}C}^{t^{\circ}C} + \gamma (t - 20)$$

donde:

$\rho_{4^{\circ}C}^{t^{\circ}C}$ = es la densidad del producto a la temperatura de análisis.

γ = es la rectificación media de temperatura de densidad, la cual se toma según la tabla 1 correspondiente a la densidad hallada.

t = es la temperatura de análisis, en $^{\circ}C$

- La diferencia entre dos análisis paralelos no debe superar el 0.001 g/mL.

c. Determinación de la densidad de lubricantes muy viscosos con el densímetro.

- Los productos muy viscosos se disuelven en igual volumen de kerosene de una densidad conocida, luego se procede a determinar la viscosidad de la mezcla como en el caso anterior.
- La densidad del producto analizado ρ se calcula mediante la fórmula:

$$\rho = 2\rho_1 - \rho_2$$

donde:

ρ_1 = es la densidad de la mezcla

ρ_2 = es la densidad del kerosene

- La diferencia entre dos experiencias paralelas no debe superar las 0.004.

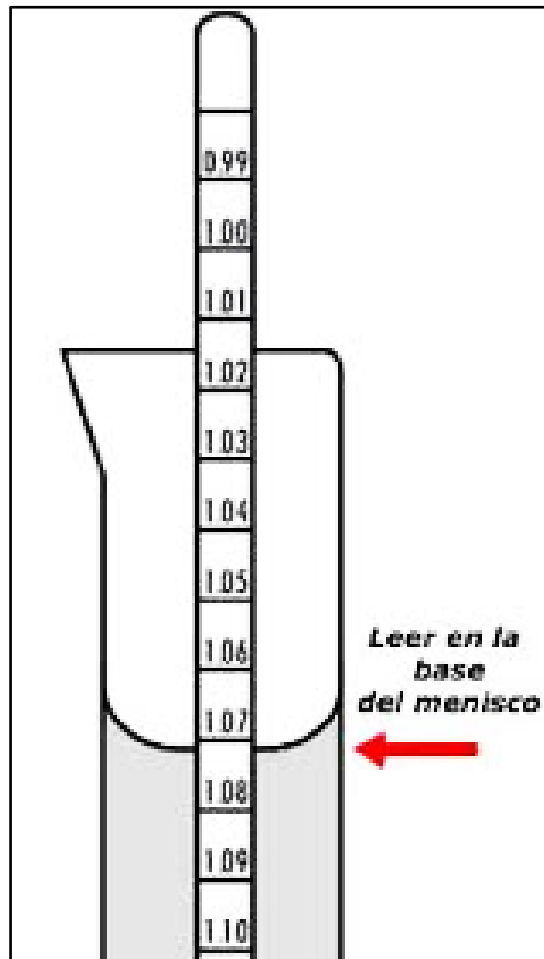


Fig. 3. Manera de leer correctamente la densidad medida con el densímetro.

TABLA 1:
RECTIFICACION MEDIA DE TEMPERATURA DE DENSIDAD

Densidad de análisis	Temperatura de rectificación en 1°C
0.6900 - 0.6999	0.000910
0.7000 - 0.7099	0.000897
0.7100 - 0.7199	0.000884
0.7200 - 0.7299	0.000870
0.7300 - 0.7399	0.000857 Gasolina
0.7400 - 0.7499	0.000844
0.7500 - 0.7599	0.000831
0.7600 - 0.7699	0.000818
0.7700 - 0.7799	0.000805
0.7800 - 0.7899	0.000792
0.7900 - 0.7999	0.000778
0.8000 - 0.8099	0.000765
0.8100 - 0.8199	0.000752
0.8200 - 0.8299	0.000738
0.8300 - 0.8399	0.000725
0.8400 - 0.8499	0.000712 Combustible Diesel
0.8500 - 0.8599	0.000699
0.8600 - 0.8699	0.000686
0.8700 - 0.8799	0.000673
0.8800 - 0.8899	0.000660
0.8900 - 0.8999	0.000647
0.9000 - 0.9099	0.000633
0.9100 - 0.9199	0.000620
0.9200 - 0.9299	0.000607
0.9300 - 0.9399	0.000594
0.9400 - 0.9499	0.000581
0.9500 - 0.9599	0.000567
0.9600 - 0.9699	0.000554
0.9700 - 0.9799	0.000541
0.9800 - 0.9899	0.000528
0.9900 - 1.0000	0.000515