

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**Comprobación del cumplimiento de los requisitos técnicos
requeridos por los fabricantes de los Motores de Encendido
Provocado y de la normativa ecuatoriana NTE INEN 2027:2011 de
las seis principales marcas de aceites lubricantes
comercializados en el Ecuador**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MÁSTER EN
SISTEMAS AUTOMOTRICES**

**TANIA VANESA PARRA ESCORZA
(tania.parra@epn.edu.ec)**

**CHRISTIAN JAVIER LARA SANCHEZ
(crisja26_05@hotmail.com)**

**DIRECTOR: ING. ÁNGEL PORTILLA AGUILAR MSc.
(angel.portilla@epn.edu.ec)**

**CODIRECTORA: ING. LILIANA GUZMÁN MSc.
(liliana.guzmán@epn.edu.ec)**

Quito, enero 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los Ingenieros **Tania Vanesa Parra Escorza** y **Christian Javier Lara Sanchez**, bajo mi supervisión.



Firmado electrónicamente por:
**ANGEL ADALBERTO
PORTILLA AGUILAR**

Ing. Ángel Portilla Aguilar M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO



Firmado electrónicamente por:
**LILIANA
GUZMAN**

Ing. Liliana Guzmán Msc.
CO DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Tania Vanesa Parra Escorza** y **Christian Javier Lara Sanchez**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Firmado electrónicamente por:
**TANIA VANESA
PARRA ESCORZA**

Ing.Tania Vanesa Parra Escorza



Firmado electrónicamente por:
**CHRISTIAN
JAVIER LARA
SANCHEZ**

Ing. Christian Javier Lara Sanchez

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mi hijo Samuel, para que nunca olvide que aunque las circunstancias se tornen muy difíciles, el poder de Dios, la comprensión y amor del esposo, el cuidado de los padres, al cariño de una hermana, la unión y oraciones de la familia, la sabiduría de los médicos y el apoyo de los amigos son los componentes fundamentales para alcanzar nuestros sueños.

Tania Parra.

El siguiente proyecto dedico a Dios como mi pilar fundamental, a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, y que han sido fundamental para poder culminar esta etapa de preparación.

Christian Lara.

AGRADECIMIENTOS

Luego de todas las circunstancias atravesadas para lograr este objetivo, solo me queda agradecer infinitamente a Dios, a mi esposo David, a mis padres Rosy y José, a mi hermana María José y a toda mi familia que me apoyó y cuidó.

La vida se encuentra llena de colores que gracias a Dios los podré ver, oler y degustar.

Al Ing. Ángel Portilla, por permitirnos alcanzar nuestra meta mediante su dirección.

A la Ing. Liliana Guzmán, por permitirnos desarrollar la investigación en el LACBAL.

A cada una de las personas que me apoyó, ayudó y permitieron que este logro sea alcanzado.

Tania Parra.

A Dios.

A mis Padres por todo el apoyo brindado.

A mi director de tesis Ingeniero Ángel Portilla, por guiarnos durante el desarrollo de este proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional, porque en sus aulas obtuve todo el conocimiento que me permitieron alcanzar el cuarto nivel de preparación en mi vida profesional.

Christian Lara.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	XII
INTRODUCCIÓN	XIV
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	16
1.1. ACEITES LUBRICANTES (AL)	16
1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS AL	16
1.2.2.1. Aditivos Antidesgaste	19
1.2.2.2. Inhibidores de Oxidación	22
1.2.2.3. Aditivos de extrema presión	24
1.2.2.4. Aditivos depresores del punto de fluidez	26
1.2.2.5. Mejoradores del índice de viscosidad	27
1.2.2.6. Antiespumantes	29
1.2.2.7. Detergentes	30
1.3. CLASIFICACION	31
1.3.1.1. Aceites lubricantes minerales	31
1.3.1.2. Aceites lubricantes sintéticos.	33
1.4. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS AL	37
1.4.5.1. Alto nivel de azufre en el aceite base:	41
1.4.5.2. Aplicación de Dialquil Ditiolfosfato de zinc (ZDDP):	42
1.4.9.1. Metales nativos presentes en las materias primas de petróleo crudo	43
1.4.9.2. Metales introducidos inadvertidamente como residuos de catalizador durante el refinado	43
1.4.9.3. Metales contenidos en varios aditivos lubricantes	44
1.4.11.1. Grados de limpieza recomendados	49
1.4.11.2. Manipulación y almacenamiento de los AL	51
1.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE AL	52
1.6. EFECTOS DEL INCUMPLIMIENTO DE ESTÁNDARES DE CALIDAD EN LOS AL	53
1.6.1.1. Contaminación en los AL	56

1.6.1.2.	Sistema de lubricación en un motor a gasolina	57
2.	PARTE EXPERIMENTAL	60
2.1.	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS ACEITES LUBRICANTES	60
2.1.3.1.	Determinación de las propiedades fisicoquímicas normalizadas	61
2.1.3.2.	Determinación de las propiedades fisicoquímicas no normalizadas	61
2.2.	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS AL	62
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
3.1.	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS ACEITES LUBRICANTES	63
3.2.	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS AL	66
3.2.1.1.	Viscosidad	67
3.2.1.2.	Índice de viscosidad	69
3.2.1.3.	Punto de escurrimiento	70
3.2.1.4.	Punto de inflamación	71
3.2.1.5.	Número Básico	72
3.2.1.6.	Contenido de metales	73
3.2.1.7.	Contenido de partículas	77
3.2.1.8.	Contenido de azufre	81
3.2.2.1.	Comparación con los especificaciones técnicas del fabricante del aceite	82
3.2.2.2.	Comparación con los requisitos del fabricante del MEP	84
4.	CONCLUSIONES	86
5.	RECOMENDACIONES	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88

INDICE DE TABLAS

		PAGINA
Tabla 1.1	Clasificación de aceites base según la API	18
Tabla 1.3	Características generales de los aceites de base mineral.	31
Tabla 1.4	Tipos de aceites lubricantes y sus propiedades físicas más relevantes	32
Tabla 1.5	Tipos de aceites lubricantes sintéticos y sus propiedades más relevantes.	33
Tabla 1.6	Grados de viscosidad SAE para aceites lubricantes	34
Tabla 1.7	Estándares API para aceites de motores a gasolina y a Diesel	36
Tabla 1.8	Clasificación de aceites lubricantes ACEA	37
Tabla 1.9	Fuentes de los principales metales en los AL	44
Tabla 1.10	Grados de limpieza ISO 4406	48
Tabla 1.11	Estado del AL en función del código ISO	49
Tabla 1.12	Limpieza de los fluidos necesarios para componentes lubricados típicos	49
Tabla 1.13	Limpieza de los fluidos necesarios para componentes lubricados típicos según la presión de operación	50
Tabla 1.14	Métodos de laboratorio para probar lubricantes	53
Tabla 1.15	Requisitos de propiedades fisicoquímicas para AL en motores de ciclo Otto requeridos por la norma NTE INEN 2027:2011	59
Tabla 2.1	Análisis de laboratorio complementarios para muestras de aceites lubricantes	62
Tabla 3.1	Vehículos más vendidos en Ecuador en el año 2019 y su recomendación sobre AL	64
Tabla 3.2	Comparación de las propiedades fisicoquímicas con respecto a la norma NTE INEN 2027:2011	67
Tabla 3.3	Comparación de la Viscosidad cinemática 100°C (cSt) obtenida por las 6 muestras de lubricantes	68
Tabla 3.4	Comparación del índice de Viscosidad con los límites permisibles según norma técnica Ecuatoriana.	69

Tabla 3.5	Comparación del punto de escurrimiento con los límites permisibles según norma NTE INEN 2027:2011	70
Tabla 3.6	Comparación del punto de inflamación copa abierta con los límites permisibles según NTE INEN 2027:2011	71
Tabla 3.7	Comparación del Número básico (BN) con los límites permisibles según norma NTE INEN 2027:2011.	72
Tabla 3.8	Contenido de Aluminio, Boro, Silicio y Titanio en los 6 AL	76
Tabla 3.9	Código ISO y cantidad de partículas según su tamaño	78
Tabla 3.10	Empresas que comercializan AL en Ecuador con certificación API	80
Tabla 3.11	Tipo de partículas de desgaste de cada AL	81
Tabla 3.12	Diferentes cantidades de azufre en las muestras de AL [mg/kg]	82
Tabla 3.13	Comparación de resultados de las propiedades de los AL con las fichas técnicas	83
Tabla 3.14.	Comparación de los AL recomendados por el fabricante de los MEP	85

INDICE DE FIGURAS

		PAGINA
Figura 1.1	Estructura molecular del ZDDP	20
Figura 1.2	Tipos de compuestos antioxidantes para aditivos de AL	23
Figura 1.3	Mecanismo del VII	28
Figura 1.4	Curva de viscosidad para aceites multigrado SAE	35
Figura 1.5	Ejemplo de la codificación ISO	47
Figura 1.6	Ejemplo de tamaños de partículas	48
Figura 1.7	Factor de vida útil para AL	51
Figura 1.8	Equipo de envasado de AL	52
Figura 1.9	Motor con depósitos por falta de cambio de AL	56
Figura 1.10	Diagrama de funcionamiento de lubricación de un motor a gasolina	57
Figura 3.1	Número de vehículos en Ecuador	63
Figura 3.2	Porcentaje de unidades vendidas en el año 2019	63
Figura 3.3	Distribución de porcentaje de importaciones del año 2019 para AL de MEP	65
Figura 3.4	Porcentaje de AL comercializado en Ecuador en el 2019	66
Figura 3.5	Envases de AL seleccionados para el estudio	66
Figura 3.6	Comparación de la viscosidad a 100°C de las muestras obtenidas con el NTE INEN	68
Figura 3.7	Comparación del índice de viscosidad de las muestras obtenidas con el NTE INEN 2027:2011	69
Figura 3.8	Comparación del punto de escurrimiento de las muestras obtenidas con NTE INEN 2027:2011	70
Figura 3.9	Comparación del punto de inflamación de las muestras obtenidas con NTE INEN 2027:2011	71
Figura 3.10	Comparación del BN de las muestras obtenidas con el NTE INEN	73
Figura 3.11	Número de metales detectados en cada AL	73
Figura 3.12	Contenido de Calcio y Magnesio en los AL	74

Figura 3.13	Contenido de Zinc y Fósforo en las muestras de AL	75
Figura 3.14	Metales presentes en cada AL	76
Figura 3.15	Contenido de Titanio, Silicio, Boro y Aluminio en los AL	77
Figura 3.16	Diagrama de Ishikawa para determinar causa raíz de contaminación en muestras de AL	78
Figura 3.17	a) Trasvase del AL dentro de una Sorbona b) Muestra de AL durante el análisis	79
Figura 3.18	Lista de empresas Ecuatorianas con certificación API	80
Figura 3.19	Contenido de Azufre con respecto al Zinc y el Fósforo	81
Figura 3.20	Comparación de cantidad de azufre de las muestras de AL	82
Figura 3.21	Comparación de la Temperatura de Inflamación	83
Figura 3.22	Comparación de la Temperatura de escurrimiento	83
Figura 3.23	Comparación de la Viscosidad a 100°C	84
Figura 3.24	Índice de Viscosidad	84
Figura 3.25	Número Básico	84

RESUMEN

Esta investigación tiene como principal objetivo comprobar el cumplimiento de los requisitos técnicos requeridos por los fabricantes de los MEP y de la normativa ecuatoriana NTE INEN 2027:2011 “Productos derivados del petróleo. Aceites lubricantes para motores de combustión interna de Ciclo de Otto” de las seis principales marcas de aceites lubricantes (AL) comercializados en el Ecuador. Se realizó un análisis estadístico para determinar según la cantidad de litros importados, los 6 principales aceites.

Con el objetivo de mantener la confidencialidad en este estudio, se proporcionó códigos para la identificación y diferenciación de cada AL (A00, K00, M00, S00, T00, V00). A continuación, se realizó la caracterización física y química de los AL de acuerdo con las normas ASTM e INEN, correspondientes a la Viscosidad cinemática a 40°C y 100°C, Contenido de metales, Conteo de partículas, Contenido de azufre, Número básico (BN), Punto de escurrimiento, Punto de inflamación, Tendencia a la espuma, Cenizas sulfatadas, Índice de viscosidad y Contenido de agua por destilación lo que permitió determinar que 5 de las 6 muestras cumplen con todos los requisitos de la norma INEN. También se determinó que la muestra K00 presenta los mejores valores en casi todos los parámetros analizados, excepto en el BN.

Adicional se encontró que solo la muestra K00 cumple con el código ISO requerido por los fabricantes de los MEP. Al contrario, la muestra M00 presentó un código cuyos valores superaron a los de la muestra K00 considerablemente. Así también se encontró que todos los AL presentan al menos 4 de los 5 tipos de partículas de desgaste siendo estas partículas cortantes, desgaste por fatiga, partículas no metálicas, partículas no clasificadas y deslizamiento severo, estas últimas son las que mayor cantidad presentan los lubricantes, estos datos son contradictorios a la calidad de los aceites ya que se trabajó con AL totalmente nuevos.

A continuación, se compararon los resultados de las pruebas de laboratorio y las hojas técnicas de cada lubricante y se determinó que existen diferencias

significativas considerables en las muestras M00, T00 y V00 en más de un parámetro, la muestra que más diferencias negativas presenta con respecto a su ficha técnica es la V00 mientras que la K00 muestra menor variabilidad. Sin embargo, las diferencias para las muestras K00, M00 y S00 son mínimas.

Además, se determinó que el AL que presento un mayor número de aditivos fue la K00 y la menor fue la M00 así también se encontró que las muestras V00 y A00 se comercializaban en la presentación de $\frac{1}{4}$ como aceite sintético según su etiqueta, pero de acuerdo con los resultados del Punto de inflamación se evidenció que se trataban de aceite mineral ya que los resultados fueron similares a las de un AL mineral, 230 °C, según bibliografía.

Finalmente se compararon los requisitos de los fabricantes con respecto a las propiedades analizadas de cada AL, se encontró que de todos los AL utilizados en este estudio solo dos marcas son consideradas por el fabricante, sin embargo, su SAE no es el mismo ya que la recomendación se dirige para países Europeos o de clima muy marcado.

INTRODUCCIÓN

El término "aceite lubricante" (AL) se refiere a una amplia gama de productos que se caracterizan por cientos de productos químicos básicos y aditivos. Los lubricantes pueden ser de base mineral o sintéticos. Los aceites minerales son más utilizados que los sintéticos por lo que este estudio se centró en los AL a base de petróleo, que se componen de 80 a 90% de destilados de hidrocarburos de petróleo y de 10 a 20% de aditivos. Los aditivos son necesarios para añadir propiedades específicas al aceite para aplicaciones específicas e incluyen, entre otros, aditivos de extrema presión, aditivos antidesgaste, inhibidores de corrosión, inhibidores de oxidación, mejoradores del índice de viscosidad o desmulsificantes.

Los AL son una combinación compleja de hidrocarburos obtenidos de los procesos de extracción por solvente y desparafinado y consisten predominantemente en hidrocarburos saturados que tienen un número de carbonos en el rango de C15 a C50, y los destilados más pesados tienen porcentajes más altos de compuestos con un número de carbonos más alto. Los aceites a base de minerales se producen a partir de destilados de crudo pesado y contienen cientos a miles de compuestos de hidrocarburos, incluida una fracción sustancial de compuestos que contienen nitrógeno y azufre. Los hidrocarburos son principalmente mezclas de hidrocarburos de cadena lineal y ramificada (alcanos), cicloalcanos e hidrocarburos aromáticos.

Los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y los metales son componentes importantes de los aceites de motor y de cárter. La composición del AL cambia bajo las condiciones de uso de calor y fricción y, si corresponde, exposición a los gases de escape de los motores de combustión interna. Los AL usados generalmente tienen concentraciones más altas de HAP que los aceites nuevos y se consideran más tóxicos.

La lubricación juega un papel clave en la esperanza de vida de un motor. Sin aceite, un motor sucumbiría al sobrecalentamiento y se atascaría muy rápidamente. Los lubricantes ayudan a mitigar este problema y, si se controlan y mantienen adecuadamente, pueden prolongar la vida útil del motor.

Uno de los parámetros más importantes en la calidad del AL nuevo es el Número Básico (BN), puesto que esta propiedad ayuda a neutralizar los productos que se generan en la combustión, según bibliografía el contenido de partículas también es una propiedad de los AL muy importante debido a que la contaminación que puede presentar el lubricante se convierte en un mecanismo de falla por lo que al momento que este entra en contacto con las piezas internas del MEP, da como resultado que se produzca rozamiento y por tanto desprendimiento de las superficies, sin embargo en la legislación ecuatoriana esta propiedad no se encuentra regulada, así como el contenido de metales ni de azufre.

Por tanto, es necesario controlar la calidad de los AL que se utilizará en los MEP ya que el proceso de lubricación tiene un papel importante en el rendimiento del motor, debido a que aumenta o disminuye la vida útil y el costo de mantenimiento, mediante ensayos de laboratorio.

Este proyecto analiza la calidad de cada uno de los AL más comercializados en el Ecuador mediante ensayos de laboratorio, a continuación, se compara los resultados con los requisitos de la norma NTE INEN 2027 "Productos Derivados del Petróleo. Aceite y de los fabricantes de los MEP y finalmente se realiza un análisis costo beneficio en referencia a la calidad de AL que se coloca en el motor.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. ACEITES LUBRICANTES

Los aceites lubricantes son sustancias que hacen referencia a un rango amplio de productos utilizados para el manejo y/o funcionamiento de motores y sus partes (Sullivan, 2005). Estos productos están caracterizados en base a sus componentes químicos y aditivos (Mangas et al., 2014). De acuerdo con la procedencia de los lubricantes, estos se dividen en minerales al ser el resultado de la refinación del petróleo. Y sintéticos al provenir de un proceso de síntesis química (Medina, 2011).

La utilidad de su aplicación proviene de la película separadora que se forma y evita el contacto directo entre dos superficies en movimiento (Jarrín, 2014). Es decir, el lubricante puede interponerse entre las partes del motor disminuyendo la fricción y su desgaste (Medina, 2011). Los aceites lubricantes para motor también cumplen con ciertas funciones adicionales, como la de limpiadores de los componentes internos del motor gracias a su contenido de aditivos detergentes y dispersantes. Así también pueden inhibir la corrosión del motor y sus partes debido a que la película de aceite que se forma en las superficies disminuye la exposición al oxígeno. Los aceites lubricantes también actúan como agentes refrigerantes al conducir el calor desde las partes donde este se genera hacia zonas alejadas del motor donde el calor es dispersado al exterior (Sanz, 2014).

1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Los aceites de motor de gasolina y diésel, también denominados aceites de motor o cárter tienen la función importante de reducir la fricción y el desgaste de las piezas móviles del motor, pero también sirven para eliminar el calor, mantener las piezas limpias y prevenir la corrosión. Están formulados utilizando aceites base de petróleo (minerales) y, más recientemente, aceites base sintéticos (olefinas o ésteres) y varios aditivos que pueden comprender hasta el 20% (volumen) del aceite de motor terminado (Puhan, 2021). La teoría clásica de la lubricación asume que un AL es

un fluido newtoniano con una viscosidad fija y que las superficies de contacto son rígidas. George Osborne Reynolds abordó la lubricación hidrodinámica de película fluida utilizando un enfoque matemático y físico (1886) para predecir la fricción, el espesor de la película y la capacidad de carga. En el mundo real, los aceites sufren un adelgazamiento por cizallamiento y se comportan como un fluido no newtoniano debido al calor y la presión que se desarrollan en el contacto. Además, las superficies reales son rugosas y pueden sufrir deformaciones elásticas y plásticas locales bajo la presión de un fluido (Puhan, 2021).

El comportamiento no newtoniano de películas delgadas a alta presión y velocidades de laminación más bajas ha guiado a los formuladores de lubricantes a considerar el comportamiento de esfuerzo cortante/deformación cortante, la dependencia de la presión y la viscosidad del lubricante, ya que están estrechamente relacionados con las propiedades moleculares del aceite (Puhan, 2021). Los AL de motor están compuestos entre un 80 a 90% por destilados de hidrocarburos de petróleo y el resto por aditivos (Mangas et al., 2014) que le otorgan al aceite ciertas propiedades requeridas para su uso (Hurtado & Medina, 2014). Los aditivos contienen compuestos como diarilo de zinc, disulfuro de molibdeno, ditiofosfato de zinc, jabones metálicos y otros compuestos organometálicos (Lu & Kaplan, 2008). Es importante mencionar que la composición de los aceites lubricantes cambia bajo las condiciones de calor y fricción en su uso (Mangas et al., 2014)

1.2.1. ACEITE BASE

Para satisfacer las demandas de rendimiento del lubricante en condiciones de funcionamiento severas, se necesitan aceites base de alta calidad sin embargo solo el 10% de los crudos a nivel mundial se convierten en aceite base para la producción de AL (Mang & Lingg, 2017). Los fabricantes de lubricantes compran estas materias primas y otros compuestos químicos y formulan su lubricante, cumpliendo con los estándares establecidos por los fabricantes de equipos originales (OEM), organismos profesionales e instituciones internacionales como el

Instituto Americano del Petróleo (API), el Comité Internacional de Aprobación y Estandarización de Lubricantes (ILSAC), la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), por nombrar algunos (Puhan, 2021)

Los aceites de base de petróleo están compuestos por sí mismos de fracciones de petróleo crudo con diferentes puntos de ebullición, estos se han refinado para eliminar o minimizar los asfaltenos, los hidrocarburos aromáticos (particularmente los aromáticos policíclicos) y las ceras. Las refinerías mezclan varios aceites de base para lograr las especificaciones de rendimiento requeridas para los aceites de motor, como la viscosidad en función de la temperatura (Mang & Lingg, 2017).

Tabla 1.1 Clasificación de aceites base según la API

Nombre grupo	Tipo	Saturados (%)	Azufre (%)	Índice de Viscosidad
Grupo I	Solvente refinado	<90	>0.03	80 a <120
Grupo II	Hidrorefinado	≥90	≤0.03	80 a <120
Grupo III	Hidrocraqueado	≥90	≤0.03	≥120
Grupo IV	Poliafaolefina	-	-	-
Grupo V	Sintéticos, nafténicos y otros aceites no incluidos en los Grupos I, II, III o IV	-	-	-

(Puhan, 2021)

Durante la producción de la base lubricante, la mayoría de los enlaces insaturados, la cera de parafina y el contenido de azufre se eliminan; sin embargo, dependiendo de la severidad del hidroprocesamiento, pueden quedar algo de cera, insaturados y azufre. Las bases lubricantes han sido clasificadas en 5 categorías por la API de acuerdo con la presencia de saturados, contenido de azufre y viscosidad como se muestra en Tabla 1.1 (Puhan, 2021).

Los grupos I, II y III se derivan del crudo de petróleo, mientras que el grupo IV está reservado para las polialfaolefinas (PAO) que se sintetizan a partir de hidrocarburos gaseosos. El Grupo V es para todas las demás materias primas que no están incluidas en los otros cuatro grupos, como nafténicos de base mineral, ésteres sintéticos, poliglicoles, siliconas, polibutenos, ésteres de fosfato, etc. Estos aceites están diseñados para requisitos de rendimiento severos (Puhan, 2021).

1.2.2. ADITIVOS

Los aditivos son compuestos que se emplean en la formulación del aceite y que tienen la función de mejorar las propiedades fisicoquímicas de los aceites. Dependiendo de la aplicación, se utilizan varias combinaciones de aditivos para alcanzar el nivel de rendimiento requerido; los más importantes son los detergentes, dispersantes, antidesgaste, antioxidantes, modificadores de la viscosidad, inhibidores de espuma y depresores del punto de fluidez. (Farnng & Rudnick, 2003).

Elementos aditivos como el zinc y el calcio contribuyen a las características de lubricación, mientras que elementos como el fósforo y el azufre son importantes para los AL de presión extrema. Para reducir los costos de inspección de los componentes se aplica un programa de mantenimiento, que mide de forma rutinaria los metales y aditivos en los AL y ayuda a identificar los componentes desgastados antes de la falla.

1.2.2.1. Aditivos Antidesgaste

Los aditivos antidesgaste se han investigado exhaustivamente y se han utilizado desde la década de 1940, ahora se reconoce que forman películas de reacción bastante gruesas en las superficies de fricción, que consisten principalmente en fosfato de zinc amorfo. La capa de fosfato está graduada y contiene predominantemente orto y pirofosfato cerca del sustrato, pero con una gran proporción de polifosfato cerca de la parte superior de la película. Las películas de Ditosfafatos de zinc (ZDDP) son rugosas, compuestas de almohadillas circulares o alargadas de escala micrométrica que pueden alcanzar un espesor de hasta 200 nm, separadas por valles profundos (Spikes, 2004)

Los aditivos antidesgaste son elementos que evitan el desgaste de dos cuerpos, es decir de las superficies metálicas en el régimen de lubricación límite donde el espesor de la película es pequeño y existen asperezas. Estos aditivos son de naturaleza polar, lo que les permite adherirse a las superficies metálicas seguido

de reacciones triboquímicas o mecanoquímicas para formar una película antidesgaste. Esta película recién formada sufre desgaste y formación en las capas superiores protegiendo así la superficie metálica subyacente. A medida que estos aditivos forman películas por reacciones químicas, se agotan y la cantidad de aditivos antidesgaste presentes en el lubricante se reduce con el tiempo (Puhan, 2021).

- **ZDDP (Ditiosfafatos de zinc)**

Los ditiofosfatos de zinc (ZDDP) son posiblemente los elementos de los aditivos antidesgaste más exitosos jamás inventados, se introdujeron hace más de 60 años y aún se usan desde entonces y actualmente se emplean en prácticamente todos los aceites lubricantes (AL) de motor actuales. Los ZDDP muestran buenas propiedades antidesgaste, especialmente en el área del tren de válvulas debido a la formación de películas de sulfuro y fosfato a través de reacciones corrosivas en superficies metálicas. Estas películas también pueden brindar protección contra el ataque corrosivo de los ácidos orgánicos formados durante el proceso de oxidación (Farnig & Rudnick, 2003).

El ZDDP es un compuesto organometálico que tiene cuatro átomos de azufre unidos con el átomo de zinc, que se encuentra en un estado tetraédrico de hibridación sp^3 . Un espectro Raman del ZDDP muestra un enlace fuerte simétrico entre el Fósforo y el Azufre ($P - S$) cerca de los 540 cm^{-1} , además el espectro muestra la ausencia de una banda Raman cerca de los 660 cm^{-1} , lo que indica una disposición de coordinación simétrica entre el Azufre y el Zinc ($S - Zn$) como se muestra en la siguiente figura (Farnig & Rudnick, 2003):

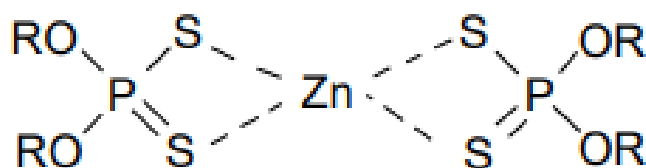


Figura 1.1 Estructura molecular del ZDDP
(Farnig & Rudnick, 2003)

El ZDDP básico tiene una estructura tetraédrica con cuatro átomos de zinc que rodean un átomo de oxígeno adicional. Los átomos de zinc están unidos de forma simétrica entre ellos con seis grupos de dialquifosforoditionato, que ocupan las posiciones de las aristas del tetraedro. De este modo se forman seis anillos de seis miembros cada uno en los que el oxígeno extra es común para todos ellos (Pawlak Z., 2003)

Se cree que las películas de ZDDP controlan el desgaste limitando el contacto directo de los dos sustratos de fricción, evitando así la adhesión de los últimos y reduciendo las tensiones de contacto transitorias que experimentan durante el deslizamiento. También se ha sugerido que el ZDDP puede reaccionar con partículas de desgaste de óxido de hierro abrasivas y duras para formar sulfuros de hierro más suaves y, por lo tanto, más benignos (Spikes, 2004).

A temperaturas muy altas, típicamente por encima de 150 °C, los ZDDP reaccionan lentamente para formar películas sobre superficies sólidas incluso en ausencia de frotamiento y estas películas se denominan “películas térmicas” (Fujita & Spikes, 2004). Sin embargo, cuando las superficies se frotan juntas en un lubricante que contiene ZDDP, las películas de ZDDP se generan rápidamente y a temperaturas mucho más bajas, al menos tan bajas como 25 °C. Estos se denominan “tribpelículas” (Zhang & Spikes, 2016). Debido a la multifuncionalidad de ZDDP, encontrar su reemplazo ha sido un desafío porque las moléculas de aditivo a base de molibdeno como el MoDTC (ditiocarbamato de molibdeno) o MoDDP (ditioposfato de molibdeno) no pueden funcionar como antioxidantes.

Por otro lado, los aditivos antidesgaste sin cenizas, como los fenoles impedidos y las aminas, son muy caros y se requieren en grandes cantidades. Hasta la fecha, el ZDDP se considera el aditivo antioxidante y antidesgaste más rentable disponible, y las alternativas son actualmente muy caras. El uso de los ZDDP se ha reducido en vehículos de pasajeros en la última década debido al zinc, metal que causa el envenenamiento del catalizador en el convertidor catalítico de gases de escape (Puhan, 2021). Por lo tanto, los dialquilditiofosfatos de zinc (ZDDP) son elementos de los aditivos antidesgaste y antioxidantes comunes, que contienen Zn,

P y S en su estructura, las sales de calcio y bario de los ácidos alquilarilsulfónicos de cadena larga son detergentes comunes que contienen Ca y siliconas líquidas son los agentes antiespumantes más eficaces, que incluyen Si en su estructura (Farnng & Rudnick, 2003).

1.2.2.2. Inhibidores de Oxidación

Los antioxidantes o inhibidores de oxidación previenen la oxidación de los componentes del aceite base y por tanto aumentan la vida del lubricante. La oxidación de las moléculas de lubricante ocurre en todas las temperaturas, pero a temperaturas más altas, se acelera. La presencia de partículas de desgaste, agua y otros contaminantes también promueve la oxidación de las moléculas de lubricante que luego conduce a la formación de ácidos y lodos.

Los ácidos pueden causar además corrosión en las partes metálicas mientras que la formación de lodos aumenta la viscosidad del lubricante. Casi todos los aceites lubricantes contienen antioxidantes y los ejemplos incluyen Zincdialquilditiofosfatos, fenoles impedidos, fenoles sulfurados y aminas aromáticas. Estos compuestos descomponen los peróxidos y terminan las reacciones de radicales libres que ocurren en el lubricante, estos inhibidores son de naturaleza sacrificial, por lo que su cantidad se reduce con el tiempo. Mucho antes de que se investigara a fondo el mecanismo de oxidación de los hidrocarburos, los investigadores habían llegado a comprender que algunos aceites ofrecían una mayor resistencia a la oxidación que otros. La diferencia finalmente se identificó como antioxidantes naturales, que variaban según la fuente del crudo o las técnicas de refinamiento (Puhan, 2021).

Se descubrió que algunos de estos antioxidantes naturales contienen grupos funcionales que contienen azufre o nitrógeno. Por lo tanto, no es sorprendente que se haya encontrado que ciertos aditivos que se usan para impartir propiedades especiales al aceite, tales como productos químicos que contienen azufre, proporcionen una estabilidad antioxidante adicional (Stambaugh & Kinker, 2010).

El descubrimiento de aditivos sulfurados que proporcionan estabilidad a la oxidación fue seguido por la identificación de propiedades similares con los fenoles, lo que condujo al desarrollo de fenoles sulfurados. A continuación, se identificaron ciertas aminas y sales metálicas de ácidos que contienen fósforo o azufre que imparten estabilidad a la oxidación. Hoy en día, casi todos los lubricantes contienen al menos un antioxidante para la estabilización y otros propósitos para mejorar el rendimiento. Dado que la oxidación ha sido identificada como la causa principal de la degradación del aceite, es el aspecto más importante para los lubricantes que se maximice la estabilidad a la oxidación (Farng & Rudnick, 2003).

Las clases principales incluyen antioxidantes orgánicos y organometálicos solubles en aceite tal como se muestra en la siguiente figura:

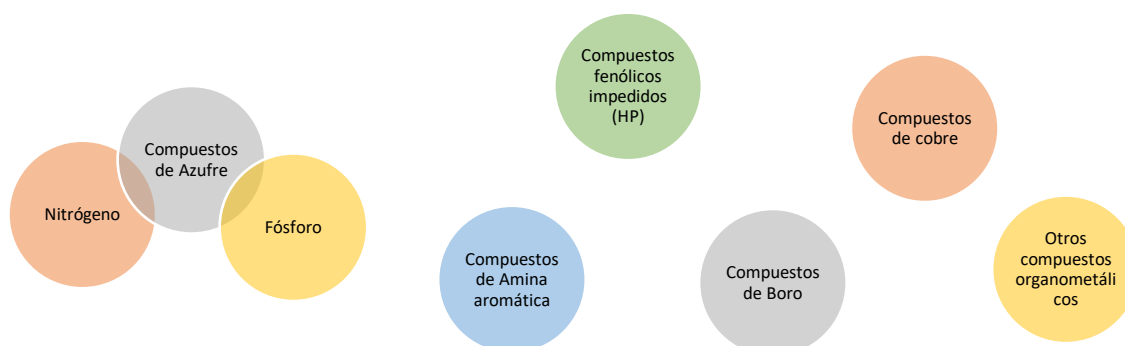


Figura 1.2 Tipos de compuestos antioxidantes para aditivos de AL
(Farng & Rudnick, 2003)

- **Proceso de oxidación del AL**

La oxidación produce especies nocivas, que eventualmente comprometen las funcionalidades designadas de un lubricante, acortan su vida útil y, en un grado más extremo, dañan la maquinaria que lubrica. La oxidación se inicia con la exposición de los hidrocarburos al oxígeno y al calor y puede acelerarse en gran medida mediante metales de transición como el cobre, el hierro, el níquel, etc. cuando están presentes (Farng & Rudnick, 2003). El motor de combustión interna es un excelente reactor químico para catalizar el proceso de oxidación con calor y las partes metálicas del motor actúan como catalizadores de oxidación eficaces.

Por lo tanto, los aceites de motor en servicio son probablemente más susceptibles a la oxidación que la mayoría de las otras aplicaciones de lubricantes. Para la prevención de la oxidación del lubricante, los antioxidantes son el aditivo clave que protege al lubricante de la degradación oxidativa, permitiendo que el fluido cumpla con los exigentes requisitos para su uso en motores y aplicaciones industriales (Farnng & Rudnick, 2003).

- **Influencia del aceite base en la oxidación del AL**

Se ha reconocido ampliamente que la composición del aceite base, por ejemplo, hidrocarburos lineales y ramificados, saturados, insaturados, monoaromáticos, poliaromáticos, junto con trazas de heterociclos que contienen nitrógeno, azufre y oxígeno, etc., juega un papel importante en la estabilidad oxidativa del aceite. Se han realizado actividades de investigación bastante extensas para intentar establecer correlaciones entre la composición del stock base y la estabilidad oxidativa.

Sin embargo, debido a las grandes variaciones en el origen de las muestras de aceite, los métodos de prueba, las condiciones de prueba y los criterios de rendimiento empleados, las conclusiones no siempre son consistentes y, en algunos casos, contradictorias entre sí (H.D. Wang & X.L. Hu, 2005).

1.2.2.3. Aditivos de extrema presión

Los aditivos de extrema presión (EP) se requieren para reducir la fricción, controlar el desgaste y evitar daños graves en la superficie en aplicaciones de trabajo pesado de engranajes y cojinetes a altas temperaturas y presiones. Los EP también se conocen como aditivos antidesgaste y reaccionan químicamente con superficies metálicas para formar una película de superficie de sacrificio que evita la soldadura y la consiguiente aspereza en el contacto entre metales (Puhan, 2021).

Los aditivos EP están diseñados para evitar la adhesión o soldadura metal-metal cuando el grado de contacto de la superficie es tal que las películas de óxido

protector natural se eliminan y otras especies tensioactivas en el aceite no son lo suficientemente reactivas para depositar una película protectora. Es más probable que esto ocurra en condiciones de funcionamiento a alta velocidad, alta carga o temperatura. Los aditivos EP funcionan reaccionando con la superficie del metal para formar un compuesto metálico como el sulfuro de hierro. Actúan de forma similar a los aditivos antidesgaste, pero su velocidad de reacción con la superficie del metal y, por tanto, la velocidad de formación de la película EP son más altas y la película en sí es más resistente (Farnng & Rudnick, 2003).

Algunos aditivos EP previenen el rayado y el agarrotamiento a alta velocidad y bajo cargas de impacto; otros previenen la formación de estrías y ondulaciones en operaciones de alta torsión y baja velocidad. En ambos casos, se consumen los aditivos EP y el metal de la superficie, y se crea una superficie más lisa con una mayor probabilidad de acción hidrodinámica, lo que resulta en menos angustia local y menor fricción. En ausencia de tales aditivos, se produciría un desgaste y un desgaste intensos mucho más allá de la escala de asperezas superficiales, acompañados de una fricción muy alta (Farnng & Rudnick, 2003).

Estos aditivos contribuyen al alisado de las superficies, ya que se forman en las asperezas de contacto y la carga se distribuye uniformemente sobre un área de contacto mayor, reduciendo así la severidad del desgaste y asegurando una lubricación eficaz. La eficacia de los aditivos EP se basa en su reactividad y su capacidad para formar fácilmente películas superficiales gruesas a altas cargas y temperaturas de contacto que se crean en la mecánica. Estos aditivos suelen contener compuestos de azufre, fósforo y cloro o boro. (Puhan, 2021)

- **Boratos**

Se han desarrollado aditivos de extrema presión basados en la dispersión estable de microesferas de borato alcalino. Los boratos hidratados más conocidos son de potasio y litio debido a que estas esferas de borato inorgánico interactúan con las superficies metálicas que soportan cargas para formar una película de extraordinaria elasticidad, esta película proporciona una excelente capacidad de

carga y protección contra el desgaste. El pequeño tamaño y la baja densidad de los boratos dispersos hacen que el lubricante sea muy estable (Farng & Rudnick, 2003).

1.2.2.4. Aditivos depresores del punto de fluidez

Los aditivos depresores del punto de fluidez (PPD), también conocidos como mejoradores de flujo a baja temperatura y modificadores de cristales de cera, son moléculas poliméricas que se agregan a los lubricantes a base de aceite mineral para mejorar sus propiedades de flujo en frío. Sin la adición de un PPD, muchos lubricantes a bajas temperaturas serían demasiado viscosos para fluir fácilmente, o incluso podrían gelificarse, y el resultado sería poco o ningún lubricante moviéndose a través del sistema o la máquina que requiera lubricación (Pirro et al., 2016). Para diversas aplicaciones de lubricantes, como fluidos de transmisión automática (ATF), aceites de motor, aceites para engranajes y fluidos hidráulicos, los aceites base parafínicos son el lubricante preferido. Estas materias primas de parafina se derivan típicamente del petróleo crudo y están compuestas de hidrocarburos saturados no aromáticos (Farng & Rudnick, 2003).

Las ceras de parafina, también llamadas aceites base, son excelentes lubricantes porque son químicamente estables, resistentes a la oxidación y tienen buenos valores de índice de viscosidad. Sin embargo, las reservas de parafina, por su propia naturaleza, contienen especies moleculares que tienen cadenas de carbono lineales de 14 carbonos o más. Estas especies, reconocidas como materiales cerosos, pueden causar fallas en la bombeabilidad del aceite a bajas temperaturas. (Farng & Rudnick, 2003).

Por lo general, a medida que disminuye la temperatura, las moléculas de parafina en el aceite comienzan a cristalizar como cera (por debajo de los 50 °C) y el aceite pierde su capacidad de fluir por gravedad o de bombearse bajo presión. Esto también afecta la viscosidad del aceite. Los aditivos como los polímeros alquilaromáticos y los polimetacrilatos evitan el crecimiento de cristales de cera modificando la interfaz entre la cera y las moléculas de aceite, reduciendo hasta

cierto punto el punto de fluidez en aproximadamente entre 11 a 17 °C. Los PPD funcionan controlando el fenómeno de cristalización de la cera de dos formas principales: retrasando la formación de la matriz cera-gel a temperaturas significativamente más bajas de las que normalmente ocurrirían o reduciendo la contribución de viscosidad de las partículas de cera cristalina (Puhan, 2021).

Los PPD actúan interrumpiendo el crecimiento tridimensional de los cristales de cera. Siempre se necesita un PPD para los aceites de motor automotriz formulados con aceites base de aceite mineral, y dada la complejidad de estos aceites, el PPD óptimo generalmente solo se puede identificar mediante la realización de un estudio de PPD sobre los aceites completamente formulados. Las pruebas que se utilizan con mayor frecuencia en la actualidad para acceder a la capacidad de bombeo de los aceites de motor son ASTM D 4684, ASTM D 5133 y ASTM D 97. (Pawlak Z., 2003)

Los PPD están presentes hasta una fracción de un por ciento en todos los lubricantes a base de parafina que lubrican elementos de la máquina como cojinetes, engranajes expuestos al arranque en frío y temperaturas de funcionamiento frías (invierno). Los aceites de motor multigrado modernos / aceites de motor compuestos de aceite parcialmente sintético y parcialmente aceite mineral junto con estos aditivos tienen puntos de fluidez tan bajos como -32 °C.(Puhan, 2021).

1.2.2.5. Mejoradores del índice de viscosidad

Los mejoradores del índice de viscosidad (VII) también conocidos como modificadores de viscosidad son aditivos que evitan que el aceite pierda su viscosidad a altas temperaturas, lo cual es una tendencia natural de cualquier líquido. Los VII, también conocidos como modificadores de viscosidad, son polímeros solubles en aceite de alto peso molecular, que idealmente proporcionan una mayor viscosidad a temperaturas más altas y una contribución de viscosidad mínima a temperaturas más bajas (Stambaugh & Kinker, 2010).

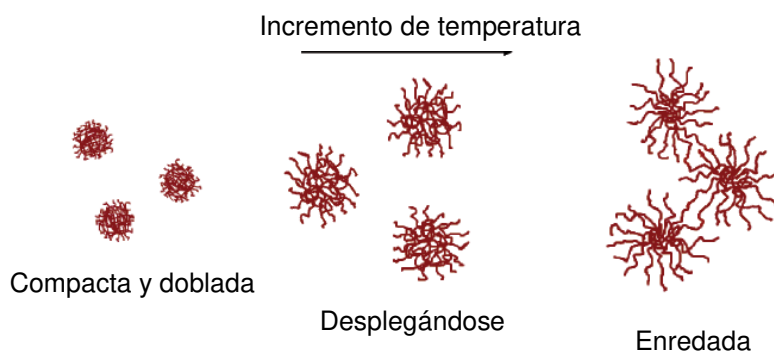


Figura 1.3 Mecanismo del VII
(Puhan, 2021)

Estos aditivos están disponibles en todas las formas, tamaños y calidades. Los polimetilmetacrilatos, copolímeros de olefina, poli (estireno-co-butadieno o isopreno) hidrogenado, poliestireno-co-anhídrido maleico esterificado son VII comúnmente usados. Las grandes moléculas de polímero flexible soluble en aceite se desenrollan y se esparcen a medida que aumenta la temperatura, aumentando así la viscosidad como se muestra en la Figura 1.3 (Lauterwasser et al., 2016).

Además, sus numerosas ramas se entrelazan con las de otras moléculas vecinas. Al hacer esto, estas estructuras macromoleculares pueden atrapar y controlar moléculas de aceite más pequeñas, aumentando así la viscosidad del lubricante. También puede producirse un adelgazamiento por cizallamiento permanente y temporal de las formulaciones espesadas con el VII, dependiendo de la calidad del VII. En aplicaciones de trabajo pesado, debido a la gran presión de compresión entre las dos superficies de contacto, las moléculas de polímero del VII tienden a alinearse entre sí y “aplastarse” o incluso cortarse en pedazos pequeños bajo condiciones de alto cizallamiento. Cuando las bobinas de polímero se alargan y se alinean en la dirección del flujo, la viscosidad cae temporalmente dando como resultado una reducción del espesor de la película de aceite (Mangas et al., 2014).

Después de que el AL deja el contacto entre las partes acopladas, las bobinas de polímero vuelven a su forma original y la viscosidad del lubricante vuelve a la normalidad. Este fenómeno se conoce como adelgazamiento por cizallamiento temporal. Sin embargo, bajo velocidades de cizallamiento aún más altas, las

cadenas de polímero largas y flexibles pueden cortarse o romperse o tirarse y romperse en cadenas más pequeñas mediante escisión molecular. Desafortunadamente, una vez que esto ocurre, las cadenas de polímero rotas no pueden volver a formarse en una sola cadena grande, esto hace que el AL pierda viscosidad permanentemente, lo que lleva a una reducción en el espesor de la película del AL, falla de la película de aceite y un aumento del desgaste. Este fenómeno es el adelgazamiento por cizallamiento permanente (Puhan, 2021).

1.2.2.6. Antiespumantes

Debido a que los AL están constantemente en un proceso de intercambio con su ambiente que contiene aire, durante la operación o el almacenamiento en barriles, estos no están completamente libres de aire. El aceite puede contener una proporción de aire disuelto incluso si este no tiene burbujas de aire. Adicional a la solubilidad del gas, esta condición depende también de la presión y la temperatura. Se conoce que algunos aceites minerales tienen un contenido de aire cercano al 9 a 11 por ciento del volumen a presión atmosférica y temperatura ambiente. Mientras el aire permanezca disuelto en el aceite, esto generalmente no es un problema (M. Abd-Elfattah et al., 2018)

Los antiespumantes o agentes antiespumantes son aditivos que evitan que el lubricante forme espuma y aceleran el colapso de la espuma si se forma. La formación de espuma se produce debido a la mezcla constante del aceite con aire u otros gases, lo que conduce al atrapamiento de aire. La espuma interrumpe el enfriamiento de las piezas ya que no es un buen conductor de calor y reduce la capacidad de carga y el flujo de lubricante, lo que provoca un desgaste excesivo del motor (Puhan, 2021).

Los agentes antiespumantes son esencialmente insolubles en el lubricante, por lo que deben dispersarse finamente en el lubricante. Estas gotas se adhieren a las burbujas de aire atrapadas y ayudan a formar burbujas más grandes (a través de la coalescencia). Las burbujas más grandes suben fácilmente a la superficie y luego

revientan para liberar el aire atrapado. El estallido ocurre por el adelgazamiento de la película de burbujas de aire a medida que el aditivo se esparce debido a su baja tensión superficial (M. Abd-Elfattah et al., 2018).

Muchos materiales tienen cierta capacidad antiespumante, el producto más eficaz encontrado hasta ahora son los polímeros de silicio (polimetilsiloxanos) y estos han encontrado un uso extensivo en los aceites de motor. El polimetacrilato en diferentes formas es el tipo de deformador más famoso. Además, algunos investigadores utilizaron poli (metacrilato de metilo) y dieron buenos resultados como deformador y otras especies de silicio probadas para el tratamiento y muestran buenos resultados (Ante Jukić et al., 2010).

1.2.2.7. Detergentes

Una de las propiedades más críticas de los lubricantes para automóviles, especialmente los aceites de motor, es su capacidad para suspender productos indeseables de la degradación térmica y oxidativa del lubricante. Dichos productos se forman cuando los subproductos de la combustión del combustible, como los hidroperóxidos y los radicales libres, pasan por los anillos del pistón hacia el lubricante y, al ser especies reactivas, inician la oxidación del lubricante (Seddon et al., 2010).

Los productos de oxidación resultantes son térmicamente lábiles y se descomponen en materiales altamente polares con tendencia a separarse del lubricante a granel y formar depósitos en la superficie y obstruir las pequeñas aberturas. El primero conducirá a un mal funcionamiento de las superficies ajustadas, como las que se encuentran entre los pistones y las paredes del cilindro, y el segundo afectará el flujo de aceite entre las piezas que necesitan lubricación (Puhan, 2021).

La tendencia a la separación de estos productos se relaciona con su alta proporción polar a no polar, lo que los hace menos solubles en aceite base en gran parte

apolar. Un lubricante con alta resistencia a la oxidación, debido a la calidad del fluido base o la presencia de un buen paquete de aditivos inhibidores de oxidación, ralentizará la formación de estos productos indeseables (Farnig & Rudnick, 2003).

1.3. CLASIFICACION

La clasificación puede ser de acuerdo con su origen y composición, de acuerdo con el grado de viscosidad del aceite; conocida como clasificación SAE y de acuerdo con las condiciones de servicio, que se basan en la calidad del aceite de acuerdo con las normas API o ACEA. Es relevante mencionar que existen clasificaciones realizadas por parte de fabricantes debido a una falta de estándares API para cierto tipo de vehículos. ILSAC (International Lubricants Standardization and Approval Committee) incluye los principales fabricantes de automóviles de estados Unidos e incluye fabricantes japoneses. Esta clasificación es una versión de ahorro de combustible de las especificaciones API (Behranoil, 2018).

1.3.1. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SU ORIGEN Y COMPOSICIÓN

1.3.1.1. Aceites lubricantes minerales

Tabla 1.2 Características generales de los aceites de base mineral.

PARAFÍNICOS	NAFTÉNICOS	AROMÁTICOS
Excelente estabilidad a la oxidación	• Comportamiento de envejecimiento moderadamente bueno	• Mala estabilidad
Punto de fluidez más alto	• Buen punto de fluidez	• Punto de fluidez variado
Índice de viscosidad más alto	• Índice de viscosidad bajo	• Índice de viscosidad más bajo
Baja volatilidad (alto punto de inflamabilidad)	• Alta volatilidad (bajo punto de inflamabilidad)	• Volatilidad variada
Gravedades específicas bajas	• Gravedades específicas más altas	• Gravedades específicas más altas
Poca solvencia	• Solubilidad excepcional	• Excelente solvencia

(Bart et al., 2013)

Los AL minerales se producen a través de la refinación del petróleo. Este tipo de lubricantes contienen altos niveles de carbono y en menor cantidad hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno. Lo cual permite obtener una gran variedad de aceites dependiendo de los procesos que se apliquen para su obtención (Castellanos &

Zurita, 2012a). Los aceites de base mineral son los más utilizados en comparación a los aceites sintéticos y consisten en compuestos parafínicos, nafténicos o aromáticos cuyas principales características se enlistan de forma resumida en la Tabla 1.2 (Mangas et al., 2014). Debido a su origen en los crudos de petróleo, los AL también son mezclas de hidrocarburos de cadena larga que contienen tres tipos de grupos químicos, es decir, parafinas, naftenos y aromáticos. Las parafinas se pueden clasificar además en cadenas lineales o ramificadas. La longitud de la cadena y la ramificación afectan el punto de fusión y la temperatura de cristalización de las parafinas (Puhan, 2021).

En la siguiente Tabla se observa la lista de los tipos de aceites lubricantes minerales con sus respectivas propiedades fisicoquímicas de acuerdo con la comisión europea. Las sustancias químicas están acompañadas de su respectivo número de registro CAS (Chemical Abstracts Service) el cual es un identificador numérico único designado específicamente para la sustancia pero que no tiene un significado químico, este puede tener hasta diez dígitos divididos por guiones en tres partes. (American Chemical Society, 2021).

Tabla 1.3 Tipos de aceites lubricantes y sus propiedades físicas más relevantes

Nombre de la sustancia, CAS	Descripción	Punto de ebullición (°C)	Densidad relativa (a 15°C)	Coefficiente de partición	Punto de inflamabilidad (°C)
Aceites lubricantes, 74869-22-0	Combinación compleja de hidrocarburos obtenida de procesos de extracción por solvente y desparafinado. Consiste predominantemente en hidrocarburos saturados que tienen un número de carbonos en el rango de C15 a C50.	150-600	0.84-0.94	3.9-6	124.307
Disolvente desparafinado destilados parafínicos ligeros, 64742-56-9	Combinación compleja de hidrocarburos obtenida mediante la eliminación de parafinas normales de una fracción de petróleo mediante cristalización con disolvente. Consiste predominantemente en hidrocarburos que tienen un número de carbonos predominantemente en el rango de C15 a C30 y produce un aceite terminado con una viscosidad de menos de 19 cSt a 40°C.	280-417	0.8453	-	-
Disolvente desparafinado destilados parafínicos pesados, 64742-65-0	Combinación compleja de hidrocarburos obtenida mediante la eliminación de parafinas normales de una fracción de petróleo mediante cristalización con disolvente. Consiste predominantemente en hidrocarburos que tienen un número de carbonos predominantemente en el rango de C20 a C50 y produce un aceite terminado con una viscosidad no menor de 19 cSt a 40°C.	337-451	0.8613	-	-
Destilados nafténicos ligeros tratados con hidrógeno, 64742-53-6	Combinación compleja de hidrocarburos obtenida mediante el tratamiento de una fracción de petróleo con hidrógeno en presencia de un catalizador. Consiste en hidrocarburos que tienen un número de carbonos predominantemente en el rango de C15 a C30 y produce un aceite terminado con una viscosidad de menos de 19 cSt a 40°C. Contiene relativamente pocas parafinas normales.	240-424	0.8973	-	124
Destilados nafténicos pesados hidrotreatados, 64742-52-5	Combinación compleja de hidrocarburos obtenida mediante el tratamiento de una fracción de petróleo con hidrógeno en presencia de un catalizador. Consiste en hidrocarburos que tienen un número de carbonos predominantemente en el rango de C20 a C50 y produce un aceite terminado de al menos 19 cSt a 40°C. Contiene relativamente pocas parafinas normales.	352-555	0.9390	-	249
Destilados nafténicos ligeros refinados con disolvente, 64741-97-5	Combinación compleja de hidrocarburos obtenida como refinado de un proceso de extracción por solvente. Consiste en hidrocarburos que tienen un número de carbonos predominantemente en el rango de C15 a C30 y produce un aceite terminado con una viscosidad de menos de 19 cSt a 40°C. Contiene relativamente pocas parafinas normales.	-	0.8956	-	-

(Taylor & Francis Group, 2017)

1.3.1.2. Aceites lubricantes sintéticos.

Los AL sintéticos se obtienen a través de avanzados procesos de refinación dentro del laboratorio, por lo que su pureza y calidad es mayor a la de los AL minerales. Durante su elaboración una gran cantidad de impurezas del petróleo crudo son eliminadas mientras que las moléculas individuales en el aceite se van ajustando a las demandas de los motores modernos (Jiménez, 2016). El índice de viscosidad de los AL sintéticos es más alto y por lo tanto más estable en un amplio rango de temperatura.

A su vez tienen mayor estabilidad térmica y de oxidación por lo que se requiere menos cambios de aceite (Jiménez, 2016). Este tipo de AL se utilizan en vehículos a gasolina y Diésel con o sin turbo compresores y que incluyan tratamientos de gases de escape (Carranza Vásquez, 2020). Dentro de los AL sintéticos se encuentran cuatro principales grupos: Oligomeros olefinicos, Esteres orgánicos, poliglicoles y Fosfato esterres (J. Gil, 2010) Una clasificación más detallada de los AL sintéticos se muestra en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Tipos de aceites lubricantes sintéticos y sus propiedades más relevantes.

Tipos	Propiedades clave		
Polialfaolefinas (PAO)	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de viscosidad alto • Buenas propiedades a altas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja volatilidad • Estabilidad hidrolítica • Baja lubricidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja biodegradabilidad • Altamente compatible con aceites minerales. • Excelente fluidez a baja temperatura
Alquil bencenos	<ul style="list-style-type: none"> • Buenas propiedades a baja temperatura • Buena solubilidad de aditivos • Índice de viscosidad bajo 	<ul style="list-style-type: none"> • La estabilidad térmica es buena, muy similar a la de las PAO. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su lubricidad es comparable a la de las bases nafténicos
Polibutenos (PIBs)	<ul style="list-style-type: none"> • Se queman sin producir residuos • Son miscibles con aceites minerales y con hidrocarburos sintéticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelentes propiedades de lubricación • No son tóxicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Buen comportamiento anticorrosivo • Se presentan en distintos grados viscosímetros
Diésteres	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de fluidez bajo • Buena estabilidad térmica y oxidativa • Excelente solvencia y limpieza • Buena biodegradabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Mala compatibilidad con algunos elastómeros, plásticos y pinturas 	<ul style="list-style-type: none"> • Buenas propiedades humectantes de metales, lo que da como resultado una buena lubricidad • Baja volatilidad
Siliconas, silicatos, siloxanos	<ul style="list-style-type: none"> • Poseen índices de viscosidad excepcionalmente altos, superior a 300 • Bajo punto de fluidez 	<ul style="list-style-type: none"> • Buena estabilidad térmica y a la oxidación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son químicamente inertes, no tóxicos, resistentes al fuego y repelentes del agua.
Poliglicoles	<ul style="list-style-type: none"> • Índices de viscosidad altos • Estabilidad hidrolítica • Excelente lubricidad • Baja volatilidad • Resistente a la formación de lodos 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con la mayoría de los sellos elastoméricos, pero puede causar una ligera contracción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta estabilidad térmica y oxidativa • Incompatible con muchas pinturas y policarbonato y poliuretano • Incompatible con aceite mineral y otros sintéticos no éster
Esteres de fosfato	<ul style="list-style-type: none"> • Excelentes propiedades de resistencia al fuego, las cuales provienen de la presencia de fosfato en una molécula orgánica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja volatilidad • Buena adhesividad 	<ul style="list-style-type: none"> • Buenas propiedades de lubricidad • Presentan moderada estabilidad térmica
Ésteres de poliol	<ul style="list-style-type: none"> • Baja volatilidad • Ligera tendencia a hidrolizarse en condiciones severas. • Buen índice de viscosidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente solvencia y limpieza • Muy buena lubricidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de fluidez bajo • Altamente biodegradable • Excelente estabilidad térmica y oxidativa.

(I. Gil, 2018)

1.3.2. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON EL SAE

La Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices (SAE) ha definido grados para los AL de motor basados en su viscosidad y su variación a diferentes temperaturas (Basile & Durán, 2011) . Sin embargo, esta clasificación no está relacionada con la calidad del aceite o el contenido de aditivos (Lubritechdr, 2014). En la Tabla 1.5 se encuentra la clasificación de los AL de acuerdo con SAE.

Se puede observar que dentro de esta clasificación existen dos categorías. Una representada por la letra W refiriéndose a las propiedades del aceite a bajas temperaturas y la otra sin la letra W refiriéndose a las propiedades a temperaturas altas.

Tabla 1.5 Grados de viscosidad SAE para aceites lubricantes

Grado de viscosidad SAE	Simulador de arranque en frío [mPa.s] Máx	Temperatura límite de bombeo [°C] par 60000 [mPa.s]	Viscosidad cinemática a 100°C [cSt]		Viscosidad a alta temperatura (150°C) y alta tasa de corte cP
			Mín.	Máx.	
0W	6200 a -35	-40	3.8	-	-
5W	6600 a -30	-35	3.8	-	-
10W	7000 a -25	-30	4.1	-	-
15W	7000 a -20	-25	5.6	-	-
20W	9500 a -15	-20	5.6	-	-
25W	13000 a -10	-15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	3.5
40	-	-	12.5	<16.3	3.7
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

(Basile & Durán, 2011) Lubricantes automotrices: definición, funciones, clasificación y tendencias. Buenos Aires. Argentina. Fundación YP)

Los aceites designados con un grado numérico acompañado o no de la letra W son clasificados como aceites “Monógrados”. También existen aceites “Multigrados” a los que se designan dos tipos de grado ya que cumplen simultáneamente las dos clasificaciones SAE, es decir los aceites multigrados cumplen con propiedades viscosométricas tanto a alta como a baja temperatura al mismo tiempo (Basile & Durán, 2011). En la Figura 1.1 se puede observar que se especifican grados SAE de acuerdo con la temperatura ambiente a la que arranca el motor. Como se mencionó, los aceites multigrados (SAE 15W-40, SAE 10W-40, SAE 10W-30, SAE

5W-30, SAE 5W-20, SAE 0W-20) tienen amplios rangos de temperatura para su servicio.

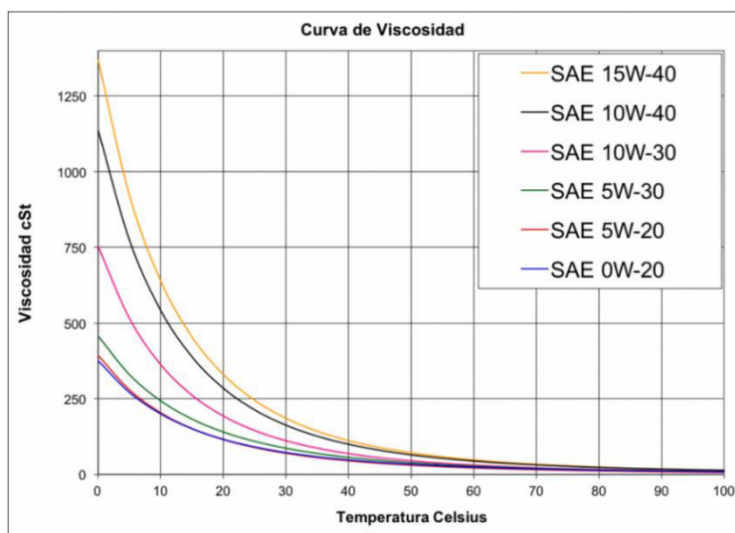


Figura 1.4 Curva de viscosidad para aceites multigrado SAE (Malpa, 2019)

1.3.3. CLASIFICACIÓN API

El Instituto Americano de Petróleo (API) es una organización que representa a los fabricantes de productos de petróleo en Estados Unidos. Se centra tanto en los aspectos técnicos como comerciales por lo que su clasificación está basada en el estudio y comparación del funcionamiento y el tipo de servicio del motor (MARTIN, 2016).

De acuerdo con API los lubricantes se dividen en dos series. La serie S (spark combustión), para motores de Ciclo Otto y la serie C (combustión by compression), para motores de Ciclo Diesel (Marino, 2016) . Es importante mencionar que varios aceites lubricantes cumplen con las especificaciones de ambas series. En la siguiente Tabla se enlistan las categorías de AL correspondiente a la serie S y C según API. La tabla contiene el estado actual de los diferentes aceites, es decir si estos son vigentes u obsoletos. De igual forma se detalla el servicio que presta cada aceite de acuerdo con sus especificaciones.

Tabla 1.6 Estándares API para aceites de motores a gasolina y a Diesel

	Categoría	Estado	Servicio
SERIE S	SP	Vigente	Diseñado para proporcionar protección contra preencendido de baja velocidad (LSPI), protección contra desgaste de la cadena de tiempo, protección mejorada del depósito de alta temperatura para pistones y turbocompresores, y control más estricto del lodo de aceite y del barniz. API SP con conservación de recursos coincide con el GF-6A del ILSAC al combinar el desempeño del SP del API con la economía de combustible mejorada, la protección del sistema de control de emisiones y la protección de motores que operan con combustibles que contienen etanol hasta E85
	SN	Vigente	Para motores de automóviles modelo 2020 y anteriores
	SM	Vigente	
	SL	Vigente	
	SJ	Vigente	
	SH	Obsoleto	
	SG	Obsoleto	No es adecuado usarlo en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con gasolina fabricados después de 1996. Es posible que no brinde la protección adecuada contra acumulación de lodo de aceite, oxidación o desgaste.
	SF	Obsoleto	No es adecuado usarlo en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con gasolina fabricados después de 1988. Es posible que no brinde la protección adecuada contra acumulación de lodo de aceite.
	SE	Obsoleto	No es adecuado usarlo en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con gasolina fabricados después de 1979.
	SD	Obsoleto	No es adecuado usarlo en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con gasolina fabricados después de 1971. El uso en motores más modernos puede causar un desempeño insatisfactorio o daños en el equipo.
	SC	Obsoleto	No es adecuado usarlo en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con gasolina fabricados después de 1967. El uso en motores más modernos puede causar un desempeño insatisfactorio o daños en el equipo.
	SB	Obsoleto	No es adecuado usarlo en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con gasolina fabricados después de 1951. El uso en motores más modernos puede causar un desempeño insatisfactorio o daños en el equipo.
	SA	Obsoleto	No contiene aditivos. No es adecuado usarlo en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con gasolina fabricados después de 1930. El uso en motores modernos puede causar un desempeño insatisfactorio o daños en el equipo.
SERIE C	CK-4	Vigente	Fueron diseñados para proporcionar una protección mejorada contra la oxidación del aceite, la pérdida de viscosidad debido al cizallamiento y a la aireación del aceite, así como también proporciona protección contra envenenamiento del catalizador, bloqueo del filtro de partículas, desgaste del motor, depósitos en el pistón, degradación de propiedades a baja y alta temperatura, y aumento de la viscosidad relacionada con el hollín. Los aceites CK-4 del API superan los criterios de desempeño de las normas de los CJ-4, CI-4 con CI-4 PLUS y CH-4 del API, y pueden lubricar motores de manera efectiva respetando esas categorías de servicio del API.
	CJ-4	Vigente	Estos aceites se formulan para usarlos en todas las aplicaciones con combustibles diésel, con un contenido de azufre de hasta 500 ppm (0,05 % por peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles de azufre con más de 15 ppm (0,0015 % por peso) puede impactar en la durabilidad del sistema de tratamiento posterior de los gases de escape o en el intervalo entre cambios de aceite. Los aceites CJ-4 superan los criterios de desempeño de los CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4 y pueden lubricar motores de manera efectiva respetando esas categorías de servicio del API.
	CI-4	Vigente	Los aceites CI-4 se formularon para mantener la durabilidad del motor en el que se utiliza la recirculación de gas de escape (EGR) y que se destinan a ser utilizados con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 0,5 % por peso. Puede usarse en lugar de los aceites CD, CE, CF-4, CG-4 y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificar para la designación CI-4 PLUS.
	CH-4	Vigente	Para motores de cuatro tiempos y de alta velocidad diseñados para cumplir los estándares de emisión de escape de 1998. Los aceites CH-4 se componen, específicamente, para su uso con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 0,5 % por peso. Puede usarse en lugar de los aceites CD, CE, CF-4, CG-4
	CG-4	Obsoleto	No es adecuado para utilizar en la mayoría de los motores de automóviles impulsados con diésel fabricados después de 2009.
	CF-4	Obsoleto	

(API, 2020)

1.3.4. CLASIFICACIÓN ACEA

La Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA) creó su clasificación de los AL en el año 1996 basada en los requerimientos para la operación de los motores que pueden ser a gasolina o a diésel. Esta clasificación también está basada en los servicios que cada motor realiza dependiendo si es un

vehículo de carga pesada o de carga liviana. Por lo tanto, ACEA divide a los aceites lubricantes en series específicas por el tipo de motor.

En la Tabla 1.7 se observan las series para cada aceite. Donde se designa la letra A para motores a gasolina, B para motores a diésel de carga liviana, y E para motores a diésel de carga pesada. Las letras están seguidas por un número que puede ser entre 1 y 5 los cuales indican en orden ascendente el nivel de calidad del aceite.

Tabla 1.7 Clasificación de aceites lubricantes ACEA

	ACEA	Descripción
AUTOMÓVILES A NAFTA	A1 - 96/98	Baja viscosidad para economía de combustible.
	A2 - 96/98	Viscosidad normal
	A3 - 96/98	Mayor estabilidad térmica y al corte mecánico.
	A4 - 98	Reservado para uso futuro en motores a nafta de inyección directa.
	A5 - 02	Baja viscosidad para economía de combustible
AUTOMÓVILES A DIESEL	B1 - 96/98	Baja viscosidad para economía de combustible
	B 2 - 96/98	Viscosidad normal.
	B 3 - 96/98	Mayor estabilidad térmica y al corte mecánico.
	B 4 - 98	Inyección directa.
	B 5 - 02	Visco simétricamente estable para el uso en motores diésel ligeros donde se requiere un uso extendido de lubricantes. Motores diésel diseñados para utilizar aceites de baja fricción y viscosidad con alta temperatura y alto esfuerzo de corte. Estos aceites pueden no ser aptos para ser usados en algunos motores. Consultar el manual del usuario.
VEHÍCULOS PESADOS	E 1 - 96	Aceites para motores HEAVY DUTY.
	E 2 - 96	Aceites para motores HEAVY DUTY, control mejorado del desgaste, pulido de camisas, depósitos y barnices Versus E1 - 96. Menor consumo de aceite. Mayor kilometraje.
	E 3 - 96	Aceites para motores HEAVY DUTY. Control mejorado del desgaste, pulido de camisas, depósitos y barnices Versus E2 - 96. Menor consumo de aceite y mejor manejo del hollín. Mayor kilometraje.
	E 4 - 98	Aceites para los motores más desarrollados de Europa, con sistemas de mantenimiento flexible y control de emisiones. Potencial para economía de combustible y aun mayor duración.
	E 5 - 99	Incorpora mayor cantidad de ensayos de motores americanos. Cumple con los requerimientos de E 4 y todos los de API CH 4

(Castellanos & Zurita, 2012b)

1.4. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LOS AL

Ya que el aceite mantiene contacto directo con partes calientes del motor, este debe soportar temperaturas altas y no causar daño al refrigerante o equipo. Así también, la viscosidad es una de las propiedades más importantes ya que esta

debe mantenerse en los valores óptimos para permitir la lubricación adecuada. Es importante también que el aceite permanezca fluido en todas las partes cuando se enfría a la más baja temperatura del sistema. Estos son algunos de los requerimientos por los que las propiedades físico-químicas de los aceites lubricantes deben cumplir con ciertos estándares y especificaciones que determina si este es apto para su servicio (Ballesteros, 2011).

Las propiedades más importantes son la viscosidad, densidad, punto de inflamación, punto de escurrimiento, contenido de azufre, cenizas sulfatadas, color. Así también análisis como Índice de alquitrán, basicidad / TBN, acidez/ TAN, untuosidad entre otros se realizan para evaluar la calidad de los aceites (Dresel, 2014). A continuación, se describen las propiedades mencionadas.

1.4.1. VISCOSIDAD

La viscosidad de los lubricantes es muy importante para la generación de la película de aceite entre las dos superficies e indica que tanto puede fluir el aceite a determinada temperatura. La viscosidad se puede definir como la resistencia de un aceite al flujo y al cizallamiento. La variación de viscosidad es un indicador de calidad. Si este cambia no permitirá proteger las superficies del motor y posiblemente se haya degradado químicamente o se haya contaminado con combustible, agua o glicol (Neste Worldwide, 2020)

La unidad de medida de la viscosidad más utilizada es el centistoke (cSt). La viscosidad también se ve afectada por la temperatura. La viscosidad del AL variará inversamente de acuerdo con el incremento de la temperatura (ENI, 2012). El cambio en la viscosidad de un aceite debido a un cambio de temperatura se denomina índice de viscosidad (VII). Comprender el VII es importante para discernir si el lubricante cumple con los requisitos en función del rango de temperatura de funcionamiento. Para determinar el VII de un aceite, la viscosidad se mide a dos temperaturas: 40 °C y 100 °C. Esto luego se compara con una escala basada en dos aceites de referencia. Si bien el VII no tiene unidades de medida, se conoce

que el índice de viscosidad de un aceite mineral convencional está entre 95 y 100. Los aceites minerales altamente refinados tienen un VII de aproximadamente 120 y los sintéticos pueden tener un VII de casi 250. Un mayor número significa que el AL cambia de viscosidad a una tasa más baja en función de la temperatura. Un VII más alto es más deseable porque permite que el lubricante proporcione una película lubricante más estable en un rango de temperatura más amplio.

Algunos aceites pueden tener la viscosidad adecuada a ciertas temperaturas, pero no satisfacen las necesidades de ambos extremos del rango de temperatura. Se debe tener en cuenta que una ligera diferencia de temperatura puede equivaler a un gran cambio de viscosidad que podría ser perjudicial para el activo. Se pueden utilizar aditivos para mejorar el índice de viscosidad. Esto permite formular un lubricante para cumplir con las especificaciones del fabricante del equipo original.

1.4.2. DENSIDAD

Este factor está relacionado con la naturaleza del lubricante. Es decir, la densidad depende del origen del crudo y del punto de destilación. Generalmente la densidad de los AL se encuentra entre 700 kg/m^3 y 950 kg/m^3 siendo menor que la densidad del agua. El valor de la densidad es utilizado para calcular la viscosidad la cual es la propiedad más importante de los aceites lubricantes (Hernandes, 2018).

1.4.3. PUNTO DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN

Se describe al punto de inflamación como la temperatura a la cual una llama o una chispa da paso a la inflamación instantánea de los vapores del aceite para después apagarse espontáneamente. El punto de combustión es la temperatura que requiere el lubricante para que este se queme en presencia de una llama o una chispa. Estos conceptos están relacionados y el punto de combustión es generalmente 30 a 60°C mayor al punto de inflamación. En aceites usados, el valor alto de inflamabilidad quiere decir que el aceite se ha oxidado y por lo tanto la viscosidad aumenta alterando las características del lubricante y haciéndolo menos

adecuado para su uso. Por el contrario, la disminución del valor del punto de inflamación es indicador de una alteración en el aceite muy probablemente por contaminación de combustible, se conoce que el punto de inflamación típico es de 225 °C para los aceites minerales (Leal de Rivas, 2014).

Originalmente, el punto de inflamación se desarrolló con el propósito de determinar el riesgo de incendio de los combustibles y aceites que se almacenan o transportan. Sin embargo, combinado con otras pruebas como la viscosidad, el índice de viscosidad y la gravedad específica, el punto de inflamación puede ayudar a revelar tanto la calidad del petróleo crudo del que se deriva el lubricante como la calidad del proceso de refinación (Machinery Lubrication, 2015).

El punto de inflamación también puede identificar si el aceite base era un corte único ancho o estrecho o si representa una mezcla de dos fracciones (dos aceites base de diferentes viscosidades mezclados entre sí). Y el punto de inflamación puede dar alguna indicación sobre la volatilidad y el contenido de los componentes más volátiles del aceite de prueba. Sin embargo, el punto de inflamación no dice nada sobre la volatilidad del petróleo en su conjunto (Machinery Lubrication, 2015).

A diferencia de los aceites minerales que comienzan a evaporarse mucho antes de que se alcancen sus puntos de inflamación, algunos sintéticos no se evaporan hasta que comienzan a descomponerse (destilación destructiva). Por lo tanto, los puntos de inflamación de estos sintéticos pueden variar mucho más altos que los de los aceites minerales de viscosidades similares refinadas convencionalmente (Machinery Lubrication, 2015).

1.4.4. PUNTO DE ESCURRIMIENTO

El aceite tiende a espesarse conforme la temperatura baja, por lo que a determinada temperatura el aceite deja de fluir debido a su propio peso. Esta temperatura es el punto de escurrimiento el cual depende de la viscosidad y la estructura química del aceite. En los AL parafínicos la rigidez es causada por la cera que contiene y que se distingue como cristales. Cuanto más se enfría el aceite

los cristales son más grandes y eventualmente forman una red que impide el flujo del aceite. Los AL nafténicos contienen menos o ninguna cera permitiéndoles fluir incluso a temperaturas bajas. El AL sintético no contiene cera por lo que sus propiedades en frío son excelentes (Neste Worldwide, 2020).

1.4.5. CONTENIDO DE AZUFRE

La cantidad de azufre en un AL se presenta en forma de porcentaje, este elemento aporta a las emisiones de formación de cenizas metálicas y se lo puede atribuir a:

1.4.5.1. Alto nivel de azufre en el aceite base:

El contenido de azufre en los aceites minerales se debe a que este elemento se encuentra en los derivados de hidrocarburos (Doyle, 2019a). Este parámetro varía de acuerdo con el grado de refinación de la base del lubricante, cuanto más refinado está menor es el contenido de azufre (Fennell, 1993). Los compuestos de azufre de origen natural son antioxidantes conocidos para la inhibición de la etapa temprana de la oxidación del aceite. Los experimentos de laboratorio han demostrado que los aceites minerales que contienen tan solo un 0,03% de azufre tienen una buena resistencia a la oxidación a 165 °C sobre los aceites blancos sin azufre y los PAO (Soleimani et al., 2018).

En los aceites hidrocraqueados que son esencialmente bajos en aromáticos, se encontró una mejor estabilidad oxidativa con una concentración elevada de azufre (> 80 ppm) en comparación con un nivel de 20 ppm o menos (Cerny et al., 2001). Se ha propuesto que los compuestos de azufre actúan como antioxidantes generando ácidos fuertes que catalizan la descomposición de peróxidos a través de una ruta no radical o promoviendo la transposición catalizada por ácido de hidroperóxidos de arilalquilo para formar fenoles que son antioxidantes (Aguilar et al., 2010; Soleimani et al., 2018).

1.4.5.2. Aplicación de Dialquil Ditioposfato de zinc (ZDDP):

El ZDDP contiene azufre y normalmente se emplea en formulaciones de aceite de cárter, este azufre está vinculado con el contenido de fósforo, el cual se utiliza para aumentar la eficiencia de los sitios de catalizadores activos que se utilizan en los dispositivos de postratamiento de gases de escape (Rahimi et al., 2012).

1.4.6. COLOR

El color de un AL puede variar desde transparente a opaco y va a depender del petróleo de cual se extrajo, de su viscosidad, del proceso de refinación y de los aditivos que se incorporan (Noria Latín América, 2016). Generalmente el aceite nuevo o que no ha sido utilizado anteriormente ni expuesto a contaminantes por un mal almacenamiento es de color ámbar sin embargo al pasar el tiempo por su uso el color cambia a tonos más oscuros y turbios los cuales indican la contaminación o degradación a la que el lubricante ha sido expuesto durante su funcionamiento en el motor (Cortés Mesa & Nielsen Avelta, 2019). Las principales causas del color oscuro del aceite son los ciclos de temperatura, el hollín y la contaminación de partículas que recolecta el motor (BARDAHL, 2019).

1.4.7. BASICIDAD / TBN (NÚMERO BÁSICO)

El TBN mide la concentración alcalina de un AL ya que los aceites están formulados con aditivos alcalinos para neutralizar la acumulación de ácidos en el lubricante al descomponerse. Los aceites de motor a gasolina están formulados normalmente con TBN de partida de alrededor de 5 a 10mg KOH/g lo cual va disminuyendo a medida que el aceite está en servicio. Cuando los aditivos alcalinos se agotan el lubricante pierde su funcionalidad y el motor corre riesgo de corrosión, lodo y barniz (Spectro Scientific, 2017). Debido a esto la basicidad permite monitorear el estado del paquete de aditivos que tiene el aceite (Castellanos & Zurita, 2012b).

1.4.8. ACIDEZ/ TAN (NÚMERO ACIDO TOTAL)

TAN es un índice que mide la concentración de ácido presente en un AL, la cual depende de la presencia de ciertos aditivos, de contaminación ácida y subproductos de oxidación. Debido a esto el TAN en un lubricante nuevo representa cierto nivel de composición aditiva y por esto el índice de acidez puede disminuir al poco tiempo de uso del AL. Sin embargo, después de un tiempo este empezará a incrementar debido a los ácidos generados por la oxidación (Doyle, 2019b). Por lo tanto, mediante la determinación del TAN se puede monitorear la vida útil del lubricante (Spectro Scientific, 2017)

1.4.9. METALES

A pesar de estar compuestos mayoritariamente de hidrocarburos, los AL contienen metales, los cuales provienen del proceso de producción del aceite base. Debido al carácter orgánico del aceite base, se prevé que sus elementos metálicos sean menores que los no metálicos. Los lubricantes de mejor calidad dependen de mezclas especialmente formuladas de aditivos organometálicos para proteger los equipos de precisión que operan bajo cargas pesadas o temperaturas extremas. La mayoría de los AL nuevos contienen varios metales, estos se derivan potencialmente de:

1.4.9.1. Metales nativos presentes en las materias primas de petróleo crudo

Los metales nativos en los petróleos crudos derivan casi exclusivamente de las metaloporfirinas de níquel y vanadio, que debido a su gran tamaño (> 2000 daltons) y susceptibilidad a la hidrodismetización, no se encuentran típicamente en las bases de aceite de motor (Speight, 1999)

1.4.9.2. Metales introducidos inadvertidamente como residuos de catalizador durante el refinado

Los residuos de catalizadores que contienen metales se pueden introducir durante varios hidropocesos catalíticos de aceites de base, durante los cuales los

aromáticos se convierten en naftenos, las ceras de cadena lineal se convierten en isómeros ramificados o las ceras de cadena larga se craquean en alcanos de cadena más corta en presencia de varios catalizadores que contienen metales y exceso de hidrógeno (Rizvi, 2009).

1.4.9.3. Metales contenidos en varios aditivos lubricantes

Los aditivos lubricantes que pueden constituir hasta el 20% en peso de algunos aceites de motor (Vazquez-Duhalt, 1989), incluyen un amplio espectro de aditivos destinados a:

- controlar los depósitos: antioxidantes, detergentes y dispersantes
- formar películas: modificadores de la fricción, agentes antidesgaste
- modificar las propiedades físicas y químicas: depresores del punto de fluidez, emulsionantes, desemulsionantes, inhibidores de espuma)
- inhibir la corrosión (Rizvi, 2009)

Algunos de los aditivos que contienen metales más comúnmente usados incluyen detergentes de sales de calcio o magnesio y ZDDP, agente antidesgaste, antioxidante, el último de los cuales es el aditivo de aceite de motor más comúnmente usado (Stout et al., 2018). En la siguiente Tabla se presentan las fuentes de los metales más comunes presentes en los AL.

Tabla 1.8 Fuentes de los principales metales en los AL

Metal	Fuente	Metal	Fuente
Aluminio	Catalizadores que contienen alúmina	Molibdeno	Antioxidantes y catalizadores que contienen molibdeno
Bario	Detergentes de sales de Bario (histórico)	Níquel	Catalizadores que contienen Ni; Petróleo crudo
Calcio	Detergentes de sales de Calcio (moderno)	Silicio	Catalizadores que contienen sílice y aditivos antiespumantes
Cromo	Catalizadores que contienen Cromo	Sodio	Detergentes con sal de sodio
Cobalto	Catalizadores que contienen Cobalto	Estaño	Petróleo crudo
Cobre	Antioxidantes y catalizadores que contienen Cobre	Titanio	Antioxidantes que contienen Titanio
Hierro	Catalizadores que contienen Hierro	Vanadio	Petróleo crudo
Plomo	Antidesgaste de sales de Plomo (histórico)	Zinc	Aditivos Antidesgaste y antioxidantes; Catalizadores que contienen Zn;
Magnesio	Detergentes de sales de Magnesio (moderno)		

(Stout et al., 2018)

- **Titanio como aditivo antidesgaste y antioxidante**

Los aditivos de lubricantes convencionales son generalmente aquellos compuestos que contienen azufre, fósforo o cloro, entre otros (Ponomarenko et al., 2015) que juegan un papel importante en la lubricación de engranajes y lubricación de corte. Sin embargo, las aplicaciones comerciales de este tipo de aditivos no son satisfactorias debido al olor a acre, la corrosión extrema y la escasa estabilidad térmica. Por lo tanto, se han desarrollado nuevos tipos de aditivos que puedan utilizarse como sustitutos de los aditivos lubricantes tradicionales.

Ha habido un interés considerable durante el desarrollo de los AL, en nuevas composiciones de aditivos de lubricante. Muchas de estas nuevas composiciones de aditivos se basan en compuestos de titanio. En el campo de la lubricación, el dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP) se ha utilizado ampliamente como un aditivo lubricante multifuncional que presenta buenas propiedades antidesgaste y antioxidantes en los aceites de motor. Sin embargo, la existencia de fósforo en ZDDP provocaría el envenenamiento del catalizador, acortando así la vida útil del convertidor catalítico. Además, la existencia del elemento zinc contribuye a la emisión de partículas en el escape.

La demanda de reducción del contenido de fósforo en los aceites de motor ha obligado a los proveedores de aceite a mejorar la formulación de los aditivos lubricantes. Además, el Comité Internacional de Aprobación y Estandarización de Lubricantes (ILSAC) proporcionó los estándares de desempeño GF-5 que establecen límites de 0.08% como máximo, sobre el fósforo en los aceites de motor acabados, a fin de mejorar el ahorro de combustible, la protección del medio ambiente y la compatibilidad del sistema de emisiones. Por lo tanto, es deseable reemplazar parcial o totalmente el ZDDP con otros aditivos lubricantes sin reducir el rendimiento de los aceites de motor formulados (Ilie et al., 2014).

Los compuestos orgánicos de titanio (PFTC) como aditivos lubricantes son capaces de mejorar el rendimiento antidesgaste, la antioxidación y la reducción de la ficción en el régimen de lubricación límite y mejorar el ahorro de combustible en los aceites

de motor. La función requerida de los lubricantes se logra mediante el equilibrio apropiado de diferentes aditivos lubricantes. Las investigaciones de los efectos sinérgicos que pueden optimizar la composición y ampliar las áreas de aplicación de los paquetes de aditivos son de considerable interés científico y práctico. En el presente estudio, se investigaron las propiedades sinérgicas antidesgaste y de carga del éster de borato que contiene nitrógeno (BNO) con dialquilditiocarbamato de titanio (TiDDC) o titanato sulfurado (TiS), respectivamente, y la posterior explotación de los resultados para el desarrollo de un Se ofreció una composición sinérgica de aditivos antidesgaste. (Xu et al., 2018)

1.4.10. CONTENIDO DE PARTÍCULAS

Tener un filtro, incluso el mejor filtro, no asegura un fluido limpio. Si el filtro pasa por alto o está en la ubicación incorrecta, no protegerá los componentes. La contaminación son los desechos que resultan del desgaste, el ensamblaje, el polvo en el aire y/o cualquier otra cosa que pueda desprenderse y quedar atrapada en la corriente del AL (Hy-Pro, 2012).

González & Berrezueta, (2019), describieron como la causa número uno de fallo de cualquier elemento mecánico lubricado a la contaminación del AL con partículas, por lo que un control efectivo del desgaste se consigue controlando los contaminantes presentes en el lubricante y uno de los análisis que lo permite es el conteo de partículas, el cual consiste en la medición de la contaminación sólida en el lubricante, mediante la cuantificación del número de partículas y clasificación del grado de AL en función del tamaño o concentración de partículas. Para interpretar de forma estandarizada se ha desarrollado una escala de referencia de la contaminación presente en el sistema. Las escalas ISO 4406 y NAS 1638 son las más utilizadas, aunque existen otros métodos como el MIL-STD 1246C, NAVAIR 01-1 o CHA(RN) entre otros. En la versión ISO 4406 el resultado se expresa mediante un código compuesto por tres dígitos (Bilbao & Málaga, 2012).

1.4.11. CÓDIGO ISO 4406

Los tamaños de las partículas van desde pequeños a grandes trozos y las formas son irregulares. Se descubrió que, al observar partículas en tres grupos de tamaños diferentes y luego ver cuántas de esas partículas estaban en un volumen específico del AL, se puede hacer una evaluación de la condición general del fluido. Los tamaños elegidos son 4, 6 y 14 micrómetros. Los micrómetros también se denominan micrones y utilizan el símbolo μm . El volumen de líquido a muestrear es de 100 mL. Es importante tener en cuenta que se trata de partículas muy pequeñas, todas las cuales son más pequeñas de lo que puede ver el ojo humano sin ayuda (Hy-Pro, 2012).

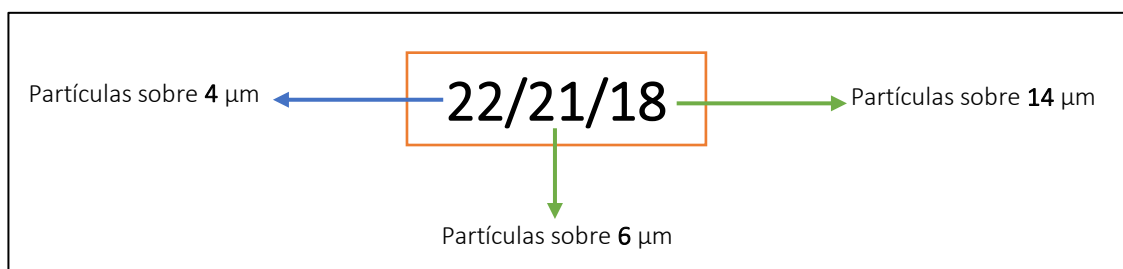


Figura 1.5 Ejemplo de la codificación ISO
(Donaldson Company, 2019)

Según bibliografía los códigos ISO están compuestos en su mayoría por 3 conjuntos de números separados que representan rangos que indican la cantidad de partículas de un "tamaño mayor a" 4 micrones, 6 micrones y 14 micrones por 1 mL de fluido, respectivamente. Dado que las partículas de 6 micrones y 14 micrones son más grandes que las de 4 micrones, ellas también están presentes en el primer número. El segundo número solo indica partículas de un tamaño superior a 6 micrones, mientras que el último número solo indica partículas de un tamaño superior a 14 micrones (Donaldson Company, 2019).

El primer número nunca será menor que el segundo y este nunca será menor que el tercer número porque cada número incluye las partículas del o los grupos anteriores (Hy-Pro, 2012). Los depósitos de partículas se pueden determinar mediante el hallazgo de partículas de tamaño >4 y >6 micras, mientras que el indicativo para de que el sistema contenga partículas grandes y en consecuencia

se presente un posible fallo catastrófico de un componente se encuentra en el hallazgo de partículas >14 micras (Bilbao & Málaga, 2012).

Tabla 1.9 Grados de limpieza ISO 4406

Código de Rango	Partículas (partes/mL)		Código de Rango	Partículas (partes/mL)	
	Desde	Hasta		Desde	Hasta
24	80.000	160.000	14	80	160
23	40.000	80.000	13	40	80
22	20.000	40.000	12	20	40
21	10.000	20.000	11	10	20
20	5.000	10.000	10	5	10
19	2.500	5.000	9	2,50	5
18	1.300	2.500	8	1,30	2,50
17	640	1.300	7	0,64	1,30
16	320	640	6	0,32	0,64
15	160	320			

(Bilbao & Málaga, 2012)

Los números que se presentan en la tabla del Código ISO 4406 representan el número de veces que el 2 se multiplicaría por sí mismo para igualar el recuento de partículas. Sin embargo, el número asignado representa un rango y no un valor en específico. En este código se publica el nivel máximo de contaminación que se espera encontrar en solo 1mL (1/100) de la muestra.

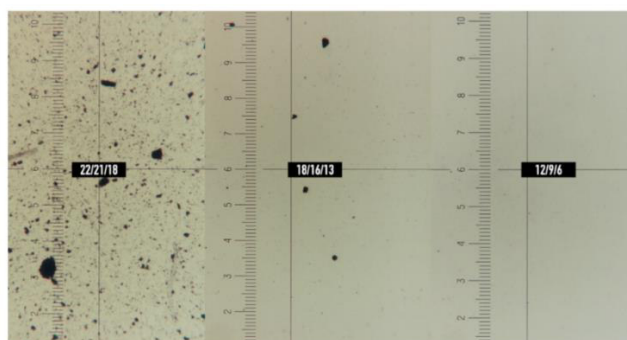


Figura 1.6 Ejemplo de tamaños de partículas
(FMS International Inc., 2010)

El código ISO proporciona dos categorías para describir la limpieza del AL (Hy-Pro, 2012). La Tabla 1.9 indica la cantidad de partículas en 100 mL de fluido que se especifica para cada número del rango. En la Figura 1.6 se observa la diferencia que existe entre códigos ISO.

1.4.11.1. Grados de limpieza recomendados

Los componentes de un MEP tienen una tolerancia diferente a la contaminación, muchos fabricantes de equipos hidráulicos y de cojinetes especifican el grado óptimo de nivel de limpieza requerido para sus componentes, ya que estos trabajan con un fluido con alto grado de suciedad acortan su vida útil. En la Tabla 1.10 se indica de forma orientativa los grados de limpieza recomendados para diferentes componentes para seleccionar el grado de limpieza requerido de un AL (Hy-Pro, 2012).

Tabla 1.10 Estado del AL en función del código ISO

Código ISO	----	12/9	----	14/11	----	16/13	----	18/15	----	20/17	----	22/19	----	24/21	----	26/23
Fluidos Hidráulicos	Muy limpio			Limpio						Sucio						
Cajas de cambios				Muy limpio				Limpio								Sucio
Motores			Muy limpio					Limpio				Sucio				
Turbinas		Muy limpio				Limpio		Sucio								

(Bilbao & Málaga, 2012)

Un sistema con bomba de engranajes, válvulas y los cilindros no requerirán la misma limpieza que un sistema que utilice bombas de pistón, servo-válvulas y motores de pistón, para determinar lo antes descrito se realizaron estudios para determinar el nivel de limpieza requerido para varios componentes, lo que dio como resultado la siguiente tabla (Hy-Pro, 2012):

Tabla 1.11 Limpieza de los fluidos necesarios para componentes lubricados típicos

Componente	Código ISO	Componente	Código ISO	
Válvulas de Servo-control	16/14/11	Máquina de papel	19/16/13	
Rodamiento	16/14/12	Motores/ Bombas de engranajes	19/17/14	
Válvulas Proporcionales	17/15/12	Válvulas de control de flujo, cilindros	20/18/15	
Cojinetes	17/15/12	Fluidos nuevos sin usar	20/18/15	
Reductor Industrial	17/15/12	Rodamientos	Sistemas de rodamientos de bolas	15/13/11
Reductor Móvil	17/16/13		Sistemas de rodamientos de rodillos	16/14/12
Motor diésel	17/16/13		Cojinetes de diario (alta velocidad)	17/15/13
Turbina vapor	18/15/12		Cojinetes de diario (baja velocidad)	18/16/14
Bombas/ Motores de pistón y paletas	18/16/13		Cajas de cambios industriales generales	17/15/13
Válvulas de control de presión y direccional	18/16/13			

(FMS International Inc., 2010)

En la siguiente tabla se muestran otros componentes y sus límites de contaminación de acuerdo con la presión de operación.

Tabla 1.12 Limpieza de los fluidos necesarios para componentes lubricados típicos según la presión de operación

Componente	Clasificación	PRESIÓN		
		<2000 psi	<3000 psi	>2000 psi
BOMBAS	Piñón fijo	20/18/15	19/17/15	18/16/13
	Álabe fijo	20/18/15	19/17/14	18/16/13
	Piston fijo	19/17/15	18/16/14	17/15/13
	Álave variable	19/17/15	18/16/14	17/15/13
	Pistón variable	18/16/14	17/15/13	16/14/12
VÁLVULAS	Selenoide	----	20/18/15	19/17/14
	Moduladora de presión	----	19/17/14	19/17/14
	Control de flujo	----	19/17/14	19/17/14
	Check	----	20/18/15	20/18/15
	Catridge	----	20/18/15	19/17/14
	En tornillo	----	18/16/13	17/15/12
	De prellenado	----	20/18/15	19/17/15
	Detección de carga direccional	----	18/16/14	17/15/13
	Mandos a distancia hidráulicos	----	18/16/13	17/15/12
	Proporcional direccional	----	18/16/13	17/15/12
	Controles de presión proporcionales	----	18/16/13	17/15/12
	Válvulas de cartucho proporcionales	----	18/16/13	17/15/12
	Tornillo proporcional en válvulas	----	18/16/13	17/15/12
	válvulas servo	----	16/14/11	15/13/10
ACTUADORES	Cilíndricos	20/18/15	20/18/15	20/18/15
	De álabe	20/18/15	19/17/14	18/16/13
	De motores de pistones axiales	19/17/14	18/16/13	17/15/12
	De engranaje	21/19/17	20/18/15	19/17/14
	De motores de pistones radiales	20/18/14	19/17/15	18/16/13
	De motores de diseño de plato cíclico	18/16/14	17/15/13	16/14/12
TRANSMISIÓN HIDROSTÁTICA	Transmisión Hidrostática (en fluido de bucle)	17/15/13	16/14/12	16/14/11

(FMS International Inc., 2010)

Los especialistas en contaminación recomiendan utilizar el Factor de extensión de vida útil, este método permitirá como su nombre lo indica extender la vida útil de los equipos y el aceite debido a que si se trabaja con 3 códigos ISO menos que el recomendado significa una extensión del doble en la vida y cada 5 códigos ISO se puede esperar una extensión de vida útil de 4 veces. Al mismo tiempo, 3 códigos ISO por encima de la tolerancia del equipo, va a significar el doble de desgaste prematuro y 5 códigos ISO, el desgaste será 4 veces mayor (FMS International Inc., 2010). En la siguiente figura se muestran los códigos ISO para Limpieza requerida para nuevos sistemas de máquinas y la aplicación del método del Factor de

extensión de vida útil. Se observa que mientras menor sea el código con respecto al recomendado, la vida útil incrementa considerablemente.

ISO Cleanliness Required New Machine Systems:		Diesel Engines: 17/15/12			Hydraulic Systems: 15/13/10	
Current Machine Cleanliness ISO	Target	Target	Target	Target	Target	Target
23/21/18	20/18/15	19/17/14	18/16/13	17/15/12	16/14/11	15/13/10
22/20/17	19/17/14	18/16/13	17/15/12	16/14/11	15/13/10	14/12/9
21/19/16	18/16/13	17/15/12	16/14/11	15/13/10	14/12/9	13/11/8
20/18/15	17/15/12	16/14/11	15/13/10	14/12/9	13/11/8	-
19/17/14	16/14/11	15/13/10	14/12/9	13/11/8	-	-
18/16/13	15/13/10	14/12/9	13/11/8	-	-	-
17/15/12	14/12/9	13/11/8	-	-	-	-
16/14/11	13/11/8	-	-	-	-	-
15/13/10	13/11/8	-	-	-	-	-
Life Extension Factor	2X	3X	4X	5X	6X	7X

Figura 1.7 Factor de vida útil para AL
(FMS International Inc., 2010)

1.4.11.2. Manipulación y almacenamiento de los AL

Los lubricantes normalmente se llenan en líneas de envasado automatizadas. Aquí, el mejor método de cierre es una prensa de tapa neumática porque aplica una fuerza uniforme en el centro de la tapa, encajándola en su lugar. Los transportadores de rodillos, que aplican fuerza de un borde a otro, son más convenientes para la producción en masa con transporte continuo. Sin embargo, los transportadores de rodillos pueden ejercer una presión indebida sobre el contenedor y no son adecuados para cerrar contenedores certificados por la ONU (Bishop, 2017) .

Se requiere embalaje certificado por la ONU para materiales que no puedan tener fugas. Debe cumplir con requisitos de sellado y diseño de tapa más estrictos. Las tapas de las Naciones Unidas son más difíciles de cerrar, pero permanecen cerradas en condiciones más adversas, como una caída (Bishop, 2017). El uso de mazos de goma es un medio aceptable para cerrar recipientes de plástico. Pero los martillos y los golpes manuales no lo son. Al apilar y almacenar contenedores de plástico, es importante evitar cargas puntuales; es decir, presión en un solo punto

del fondo del recipiente. Las cargas puntuales pueden hacer que las paredes laterales se derrumben, abollen, abulten o doblen (Bishop, 2017). Los factores ambientales importantes durante el envasado del AL son la temperatura de llenado y el tiempo de almacenamiento. Los recipientes llenos de líquidos calientes (por encima de los 65 ° C) se deforman más fácilmente bajo altas fuerzas de taponado, y el sello de vacío que resulta del llenado en caliente puede causar el pandeo de las paredes laterales. La rigidez del Polietileno de Alta Densidad (HDPE) a 60 ° C es la mitad que a 25 ° C. La temperatura de llenado máxima recomendada para los cubos de HDPE es 65 ° C. Esta es una razón por la que el polipropileno es un material preferido para los requisitos de llenado en caliente (Bishop, 2017).



Figura 1.8 Equipo de envasado de AL
(Serac Group, 2019)

La vida útil depende del material que se almacena. Los lubricantes generalmente tienen una vida útil de 5 años; por lo tanto, un paquete de HDPE es más que adecuado para la aplicación. En la siguiente figura se presenta un ejemplo del equipo que se utiliza para envasar AL (Serac Group, 2019).

1.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE AL

Los resultados de las pruebas obtenidos con estos métodos permiten caracterizar los atributos físicos, químicos y tribológicos de los lubricantes y permiten evaluar su idoneidad para aplicaciones específicas. Los AL deben controlarse

cuidadosamente y, a menudo, mantenerse mediante tratamiento con sustancias químicas adecuadas. La Tabla 1.13 contiene una descripción general de los análisis de laboratorio más importantes de acuerdo con las normas internacionales correspondientes como AFNOR, ASTM, DIN, IP e ISO (Müller, 2017).

Tabla 1.13 Métodos de laboratorio para probar lubricantes

Parámetro / unidad	Método	Equipo	Descripción
Densidad [kg/m ³]	DIN51757 ASTM D 1298	Hidrómetro, picnómetro, balanza hidrostática, densímetro digital	
Viscosidad [mm ² /s]	DIN51562 ASTMD445	Viscosímetros capilares: Ubbelohde para aceites transparente Viscosímetros Fenske (DIN51366) para Aceites opacos u oscuros	El fluido pasa a través de un orificio de diámetro fijo bajo la influencia de la gravedad. Se determina la viscosidad cinemática a 40° o 100°C
Índice de viscosidad	ASTMD2270	NA	Se obtiene mediante cálculos y fórmulas establecidas en la norma
Punto de inflamabilidad [°C]	DINISO2592A STMD92 DIN51758 ASTMD93 DIN51755	-Medidor de Cleveland: PI de 79 ° C y superior. -Medidor Pensky – Martens: se utiliza cuando se esperan PI en el rango de 40 a 360 ° C. -Medidor Abel-Pensky - para determinar el PI por debajo de 40 ° C	Una cantidad de muestra definida se calienta a una velocidad de calentamiento definida. El PI se informa como la temperatura más baja a la que la aplicación de llamas de prueba definida hace que se enciendan los vapores sobre la superficie.
Características de la formación de espuma	ASTMD892	Equipo de prueba de espuma	Se determinan aireando durante 5 min seguidos 190 mL de AL. El volumen de espuma generado se mide inmediatamente y después de sedimentar durante 10 min. La temperatura de prueba en la Sección I es 24 °C. La sección II requiere una segunda muestra que se trata de manera similar a 93,5 °C. Finalmente, la Sección III se procesa con la misma muestra después de asentar la espuma y enfriar a 24 °C.
Contenido de agua	ASTMD95 DIN51777/Part 1/ ASTMD174	Equipo de destilación para volúmenes de 0,05% y superiores Valoración Karl Fisher - para contenidos de agua más bajos entre 50 y 1000 ppm,	
Acidez alcalinidad [mg KOH/g]	ASTMD974 ASTM D2896	-Potenciómetro -Equipo de titulación	Determina constituyentes ácidos o básicos en productos petrolíferos mediante titulación frente al indicador de color. Cuando el AL contiene aditivos como dispersantes o detergentes, se utiliza titulación potenciométrica. El índice de acidez total (TAN según ASTM D664) es una medida de los constituyentes ácidos y básicos en los productos del petróleo. El número base total (TBN) caracteriza la reserva alcalina en los productos del petróleo.
Contenido de cenizas	DINEN7/ASTMD482	-Crisol de porcelana -Refractario -Mechero de gas tipo Meker	La muestra colocada en un crisol de porcelana se calienta hasta que los gases que desprenden reinflam, dejándolos quemar hasta que queda un residuo carbonoso. El residuo carbonoso se calienta a 775 °C en un horno mufla hasta reducción total a cenizas
Contenido de azufre [mg/kg]	ASTMD429416 e1	Espectrómetro	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de dispersión de energía
Cenizas sulfatadas	ASTMD874	Horno mufla	Las cenizas se tratan con ácido sulfúrico para luego calentar a 775 °C. Los sólidos totales son resultado de sumar los sólidos metálicos presentes en el lubricante.

(Müller, 2017).

1.6. EFECTOS DEL INCUMPLIMIENTO DE ESTÁNDARES DE CALIDAD EN LOS AL

Un lubricante posee una serie de características importantes que se combinan para

conseguir la calidad requerida para su correcto funcionamiento como son: viscosidad, densidad, acidez, punto de inflamación y congelación, volatilidad, detergencia, dispersión y formación de espuma (Antamba Guasgua, 2018). Cuando estos no cumplen con las recomendaciones del fabricante o ya se encuentra con cierto grado de degradación va a generar.

- Deterioro prematuro de partes internas del motor.
- Mayor emisión de contaminantes, lo que afecta al convertidor catalítico.
- Carbonización en la cámara de combustión, lo que provoca la pre-ignición.
- Evaporación del propio producto (CESVI, 2014).

1.6.1. EFECTOS EN EL MOTOR

El motor de combustión interna contiene elementos móviles metálicos que se encuentran en movimiento, este produce fricción y pueden llegar a generar altas temperaturas, por lo que es mantener estas piezas bien lubricadas para evitar desgaste excesivo, las altas temperaturas pueden fusionar las piezas de tal forma que se puede bloquear el motor, esto se puede deber a una serie de averías en el motor y sus elementos, que presentarán síntomas como:

- Reducción de un 30% en la efectividad y vida útil del filtro de partículas (FAP)
- Mayor consumo de combustible
- Pérdida notable de potencia
- Consumo excesivo de aceite
- Desgaste excesivo de piezas
- Formación de depósitos
- Corrosión

Los factores clave que afectan el rendimiento del lubricante son la viscosidad, el índice de viscosidad. El AL también proporciona una película lubricante en el pistón, anillos y camisa del cilindro para reducir el desgaste de estos elementos. El SAE, como se menciona anteriormente, es el sistema de clasificación que determina la

calidad del lubricante basado en su viscosidad. Utilizar la viscosidad adecuada maximiza la vida útil y eficiencia del motor.

Por lo que una viscosidad demasiado baja creara desgaste y un aumento del consumo del lubricante. Por otro lado, una viscosidad demasiado alta causara que exista una falta de circulación y lubricación, generando sonidos durante el funcionamiento del motor, desgaste, mayor consumo de combustible y sobrecalentamiento (perdida de rendimiento). (*Anexo V: Lubricantes: Especificaciones y Normativa*, n.d.)

La viscosidad del aceite, cuando está en servicio, lentamente aumenta con el tiempo si hay una fuga de aceite de cilindro de desecho a través de la caja de empaquetadura del vástago del pistón y en el cárter. Esto hace que tanto la viscosidad como el BN aumenten en el aceite del sistema. Esta contaminación con el TBN de aceites lubricantes para cilindros más alto puede dañar las características de separación de agua del aceite y puede conducir a lacado y otros problemas (CIMAC (International Council on Combustion Engines), 2017).

Al considerar el contenido de partículas en los AL se considera que cualquier partícula que el lubricante contenga, generalmente se bombeará a través del filtro de aceite antes de ingresar a los cojinetes. Sin embargo, partículas pequeñas de 10 μm o menos pueden atravesar el filtro y circular por las partes del motor. Las partículas muy pequeñas son abrasivas y provocan obstrucciones, desgastes y roturas de los componentes pasando entre el pistón, el anillo y el cilindro y eventualmente quedarán suspendidas en el aceite (Paneque et al., 2015).

Las partículas en el AL cambian la carga de las superficies de los componentes del motor de una distribución uniforme a una carga puntual con gran presión concentrada en la partícula. De esta forma es que ocurre un desgaste acelerado de las partes del motor en los pistones, rines, válvulas, cojinetes y empaques. Hasta un punto que se hace necesario la sustitución del componente. En condiciones normales con mantenimiento preventivo periódico básico y cuidando los elementos principales del motor, un MEP puede circular sin inconvenientes entre 250 000

kilómetros. En casos donde el MEP haya tenido mayor cuidado con revisiones y recambios pertinentes, la vida útil del motor podría aumentar hasta los 500 000 kilómetros (Paneque et al., 2015)



Figura 1.9 Motor con depósitos por falta de cambio de AL

1.6.1.1. Contaminación en los AL

Una de las causas por las que el lubricante se contamina es la presencia de partículas como los metales, la sílice (arena), fibras, etc. Este tipo de contaminación por partículas pueden afectar la operación del sistema y su confiabilidad, entre otras propiedades del AL afectadas se encuentra la viscosidad, la cantidad de aditivos, niveles de ácido, la contaminación por agua, el calor, la humedad y las partículas de desgaste de metal catalítico presentes en el lubricante, todo esto evidencian una degradación líquida. Sin embargo si se aplica un control de contaminación acompañado de un programa de monitoreo de fluidos, en los que se incluya el análisis de las propiedades del AL, se puede minimizar el impacto de la contaminación.

Existen cuatro fuentes principales de la contaminación por partículas en el AL. Los contaminantes incorporados vienen de componentes, líquidos, mangueras, depósitos, etc. Estos pueden ser generados a través del ensamble de sistemas, interrupción y la operación de un sistema, y falla de los fluidos. Los contaminantes externos entran a un sistema por ventilas de depósitos, por los sellos de la barra

del cilindro, por la válvula y sellos de los cojinetes. Los contaminantes relacionados con el mantenimiento son introducidos cuando el equipo es desmontado o montado y se agrega AL en esta tarea (Reliabilityweb, 2001).

La exclusión efectiva, filtración a bordo y prácticas concienzudas de mantenimiento aflojarán el ingreso de contaminantes incorporados, generados, y relacionados a las fuentes del mantenimiento. Ventilaciones efectivas en los depósitos y sellos externos de componente son prioritarios para controlar el ingreso externo. Existen varias normativas ISO que son las encargadas de controlar y regular el contenido de partículas externas dentro de un lubricante. Así, se ha estandarizado los métodos de medición de estos. Específicamente con los métodos determinados para conteo son el método del microscopio, ISO 4407 y contadores ópticos de partícula automáticos ISO 4406 (ISO 4406., 1999; ISO - ISO 4407: 1991).

1.6.1.2. Sistema de lubricación en un motor a gasolina

El sistema de lubricación es uno de los mecanismos más importantes en los motores de combustión interna de gasolina (ICE), que proporciona lubricación hidrodinámica para los pares de fricción (Zhang & Spikes, 2016). El rendimiento del sistema de lubricación afecta directamente al rendimiento del motor. El objetivo de este es distribuir aceite a las partes móviles para disminuir la fricción entre las superficies que se rozan entre sí (Hall, 2015).

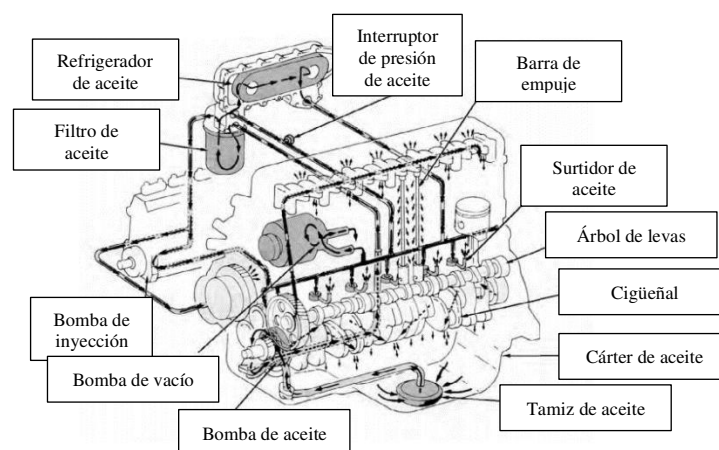


Figura 1.10 Diagrama de funcionamiento de lubricación de un motor a gasolina (CESVI, 2014)

Además de la potencia accionada de la bomba de aceite mediante la optimización del diseño. El funcionamiento procede de la siguiente manera: una vez que se adiciona aceite al motor, este empieza a bajar por orificios que atraviesan el cabezote y bloque de motor hasta llegar al cárter, este va a acumular el aceite para estar listo para las necesidades del motor. Todo el aceite estará ahí a la hora del primer arranque. En el cárter, en lo más profundo, encontramos un colador el cual estará conectado a la bomba de aceite, al encender el motor la bomba de aceite empezara a succionar el aceite a través de este dirigiéndolo a diferentes partes del motor por medio de circuitos que se encuentran en el bloque de motor y cabezote.

Entre los componentes más representativos del sistema de lubricación se encuentran:

- **Bomba de aceite:** Es el componente principal y se encarga de hacer llegar el aceite a todas las partes donde se requiera.
- **Cárter de aceite:** En él descansa el aceite cuando el motor está apagado y desde él, la bomba toma el aceite mediante un colector para luego distribuirlo.
- **Válvula de descarga:** Se encarga de liberar la presión sobrante en el sistema de lubricación.
- **Filtro de aceite:** Recoge todas las impurezas y residuos que se encuentran en el sistema de lubricación, limpia el aceite y protege al motor.
- **Sistema de refrigeración del aceite:** Es el encargado de disipar el calor del aceite y por consecuencia, del sistema y del mismo motor.
- **Sistema de medición del nivel de aceite:** Mediante ellos podemos verificar si el aceite se encuentra en el nivel apropiado

1.6.2. REQUISITOS TÉCNICOS PARA AL DE MEP

La normativa ecuatoriana a NTE INEN 2027 “Productos derivados del petróleo, aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo de Otto es la encargada de regular la calidad de los aceites lubricantes en el país. Los requisitos

definidos de las propiedades fisicoquímicas de los AL se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 1.14 Requisitos de propiedades fisicoquímicas para AL en motores de ciclo Otto requeridos por la norma NTE INEN 2027:2011

Parámetro		Valor	Método de ensayo
Viscosidad a 100 °C	20W50	$16,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a $21,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	ASTM D445
Índice de viscosidad	Multigrado	> 120	ASTM D2270
Punto de escurrimiento	Multigrado	< -15 °C	ASTM D97
Contenido de humedad (agua)		< 0 %	ASTM D95
Punto de inflamación		> 190 °C	ASTM D92
Tendencia a la espuma	Secuencia I	< 20 cm ³	ASTM D892
	Secuencia II	< 50 cm ³	
	Secuencia III	< 20 cm ³	
Estabilidad a la espuma luego de 10 min		> 0 cm ³	ASTM D892
Número Básico		>5,5 mg KOH/g	ASTM D2896
Cenizas		> 0,5 %	ASTM D874

(INEN, 2018)

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS ACEITES LUBRICANTES

2.1.1. DETERMINACIÓN DE LAS MARCAS DE AUTOMÓVILES CON MEP MÁS COMERCIALES EN ECUADOR

Se inició con el análisis del parque automotor del Ecuador para determinar el tipo de segmento que se utilizaría para determinar el tipo de AL para este estudio, a continuación, se determinó las marcas de automóviles con MEP más comerciales en Ecuador mediante el análisis de los datos proporcionados por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), de esta manera se determinó la marca, modelo y el tipo de AL que los fabricantes de estos MEP recomiendan. Es importante mencionar que debido a la pandemia de COVID 19 se decidió no tomar en cuenta los datos referentes a los años 2020 ni 2021 debido a que estos no reflejaban la normal realidad del mercado automotriz ecuatoriano.

2.1.2. SELECCIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Con las marcas de los MEP seleccionadas, se establecieron las 6 marcas de los AL más comercializadas para esos vehículos mediante un estudio estadístico de los datos proporcionados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARC). Aunque se realizó el análisis con datos de importación de AL, también se determinó la necesidad de definir las marcas que exportan la mayor cantidad de litros de AL, para tomar al menos una para el estudio. Una vez determinadas las marcas de AL, se determinó el grado SAE y se adquirieron 6 diferentes tipos de lubricantes 20W50 en la presentación de 1 Litro. Con el objetivo de mantener la confidencialidad en este estudio, se proporcionó códigos para la identificación y diferenciación de cada AL (A00, K00, M00, S00, T00, V00). Esta codificación corresponde a: 0 por tratarse de aceite nuevo y el segundo 0 por la cantidad de kilómetros que el lubricante ha permanecido en el automóvil.

2.1.3. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Los 6 AL fueron trasladados al Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes (LACBAL) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), un ente público sin conflicto de interés, de esta manera se aseguró la imparcialidad de los resultados obtenidos. Todos los análisis realizados (Índice de Viscosidad, Punto de Ecurrimiento, Humedad, Punto de Inflamación, Tendencia a la espuma, Estabilidad a la espuma, Número Básico, Cenizas sulfatadas) siguieron la metodología descrita por cada una de las Normas ASTM para los parámetros analizados según la Norma NTE INEN 027:2011 “Productos derivados del petróleo. Aceites lubricantes para motores de combustión interna de Ciclo de Otto”, de esta manera se aseguró que los resultados sean reproducibles y repetibles.

2.1.3.1. Determinación de las propiedades fisicoquímicas normalizadas

Se determinaron los parámetros normalizados según la norma NTE INEN 2027:2011 “Productos derivados del Petróleo. Aceites Lubricantes para Motores de Combustión Interna de Ciclo de Otto. Requisitos”, de acuerdo con los métodos de ensayo descritos en la norma según se muestra en la Tabla 1.14

2.1.3.2. Determinación de las propiedades fisicoquímicas no normalizadas

Los parámetros como el contenido de azufre, contenido de metales y contenido de partículas no se encuentran incluidos en la normativa NTE INEN 2027:2011 sin embargo la importancia de su análisis radica en los posibles efectos negativos que se producen tanto para el motor como para el ambiente, debido a los elevados valores de estos parámetros, es por este motivo se incluyó en este estudio. La normativa NTE INEN 2027:2011 toma como referencia para su desarrollo a las normas técnicas NTC ICONTEC 1295 y NV COVENIN 1757, vigentes en Colombia y Venezuela, respectivamente (COVENIN, 1981; ICONTEC, 2003). Sobre los métodos de ensayo para los análisis complementarios se describen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Análisis de laboratorio complementarios para muestras de aceites lubricantes

Parámetro	Método de ensayo
Contenido de metales (%)	ASTM D6595
Conteo y clasificación de partículas	ASTM D7596
Contenido de azufre (%)	ASTM D4294
Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445

(COVENIN, 1981; ICONTEC, 2003)

2.2. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS AL

2.2.1. COMPARACIÓN CON RESPECTO A LA NORMA NTE INEN 2027:2011

El análisis de las propiedades fisicoquímicas normalizadas se realizó mediante la recopilación de los resultados de los análisis de laboratorio realizados por el LACBAL, estos se tabularon y compararon con los límites permisibles de la normativa ecuatoriana. En esta comparación se utilizó el criterio de “Fuera de especificaciones” para los parámetros que no cumplieron con los límites permisibles descritos por la normativa INEN, también se utilizó “Dentro de especificaciones” para los que sí cumplieron. Además, se incluyó un análisis de las propiedades no normalizadas para tener una vista general del estado de los AL que se comercializan en Ecuador, aunque en la normativa no se encuentren regularizadas su importancia es fundamental en el rendimiento y estado del MEP.

2.2.2. COMPARACIÓN CON RESPECTO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS FABRICANTES DE LOS MEP

De igual forma que las propiedades fisicoquímicas normalizadas, estas propiedades fueron comparadas con respecto a las especificaciones técnicas de los fabricantes de los MEP mediante la comparación con las especificaciones descritas en las fichas técnicas de los fabricantes de motores según las pruebas de aprobación de estos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS ACEITES LUBRICANTES

3.1.1. DETERMINACIÓN DE LAS MARCAS DE AUTOMÓVILES CON MEP MÁS COMERCIALES EN ECUADOR

De acuerdo con la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) dentro de los estudios realizados descritos en el anuario 2019 se estableció que la mayor cantidad de vehículos presentes en el Ecuador son livianos con el 87% del total del parque automotriz, tal como se muestra en la siguiente figura:

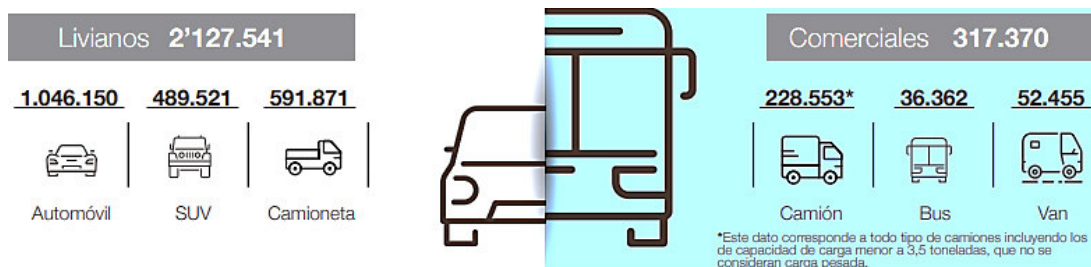


Figura 3.1 Número de vehículos en Ecuador
(AEADE, 2019)

Por lo que se decidió tomar la sección de vehículos livianos para este estudio.

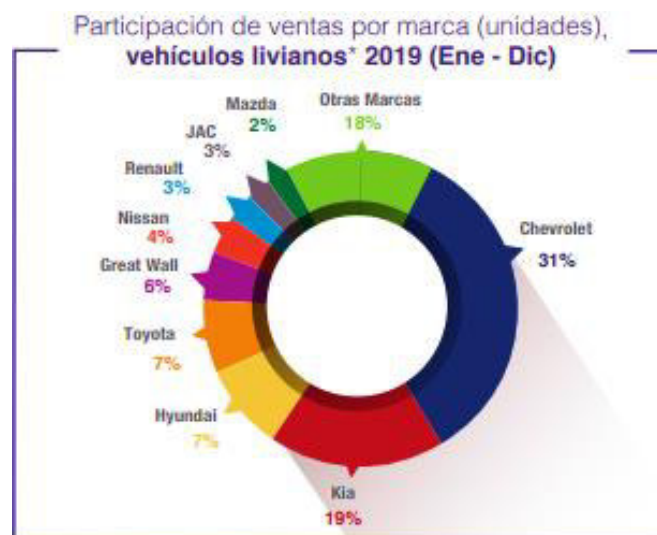


Figura 3.2 Porcentaje de unidades vendidas en el año 2019
(AEADE, 2019)

A continuación, también se establecieron las tres marcas de vehículos más vendidas en Ecuador, que en dicho año fueron: CHEVROLET, KIA y HYUNDAI, tal como se presentan en la Figura 3.2. A su vez los 3 principales modelos más vendidos para cada marca se encuentran detallados en la Tabla 3.1, donde también se describen las recomendaciones de AL por parte del fabricante y los que usualmente se utilizan.

Tabla 3.1 Vehículos más vendidos en Ecuador en el año 2019 y su recomendación sobre AL

Marca	Modelo	Unidades vendidas	Aceite Lubricante	
			Utilizado	*Recomendado
Chevrolet	SPARK GT AC 1.2 4P 4X2 TM	4125	<ul style="list-style-type: none"> • Helix Ultra ECT C3 5W30 • Helix Ultra Professional AG 5W30 • Mobil 1 5W30 • Amalie 5W30 full sintético • GT-1® Max SAE 0W20 	HELIX ULTRA 10W30 API SM
	SAIL LS AC 1.5 4P 4X2 TM	3565	<ul style="list-style-type: none"> • Amalie 10w30 	AMALIE/HELIX 10w30 API SM
	AVEO FAMILY 1.5L STD	3350	<ul style="list-style-type: none"> • Helix HX5 15W40 • Mobil 1 0W 20 • Amalie 10w30 	AMALIE /HELIX 10w30 API SM
Kia	RIO 4P SEDAN	4530	<ul style="list-style-type: none"> • Valvoline Hybrid C5 0W-20 • Mobil Super Anti friction 5W 20 • Amalie 5w30 • GT-1® Max SAE 5W-20 	SHELL HELIX SAE 5W-20 (API SM o superior). Para países de Europa.
	SPORTAGE R 2.0L GSL MT AC	4265	<ul style="list-style-type: none"> • SynPower FE 5W-30 • Mobil Multi Vehicle ATF • Amalie 5w30 • GT-1® Max SAE 5W-30 	TOTAL QUARTZ SAE 5W-20*2 (API SM / ILSAC GF-4).
	PICANTO 1.2 GT LINE	1394	<ul style="list-style-type: none"> • Helix Ultra Professional AF 5W20 • Valvoline Hybrid C5 0W-20 • Amalie 5w30 	TOTAL QUARTZ 5W20 API SM
Hyundai	CRETA 1.6 5P TM 4X2 STD	1262	<ul style="list-style-type: none"> • Helix Ultra Professional AF 5W20 • Mobil Multi Vehicle ATF 	SHELL HELIX 5W20 ACA A5
	TUCSON 2.0 5P 4X2 TM STD	1193	<ul style="list-style-type: none"> • Helix HX7 10W-40 • Valvoline Hybrid C3 5W-30 • Mobil Super Anti friction 5W 20 • Amalie 5w30 • GT-1® Max SAE 5W-20 	SHELL HELIX ACEA A5/B5: Helix Ultra AH 5W30, Helix Ultra A5/B5 0W30.PARA EUROPA
	GRANDi10 1.2 5P TM HB AC	1027	<ul style="list-style-type: none"> • Helix Ultra Professional AF 5W-30 	SHELL HELIX SAE 5W20 ILSAC GF-4

(AEADE, 2019; Chevrolet, 2010; Shell LubeMatch, 2019; Valvoline lubricant advisor, 2019; Exxon Mobil Corporation. 2019; AmalieEC, 2019; Kendall Lubricant advisor, 2019)

3.1.2. SELECCIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Este estudio incluye únicamente el análisis de marcas de aceites minerales multigrado clasificado por la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices como SAE 20W50. Para la selección de los lubricantes se tomó como referencia estudios

anteriores de Benítez (2018) y Zapata & Velásquez (2010). Los cuales proporcionaron información primaria de las marcas de AL que se comercializan en Ecuador y cuáles de estas cubren el mayor porcentaje de la demanda para MEP. Finalmente, para determinar las marcas más comercializadas de AL de MEP a nivel nacional, se consultó una base de datos proporcionada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARC), en donde se realizó el análisis de datos para obtener las marcas que importan más litros de AL.

Como resultado del análisis de datos de la información proporcionada por la ARC para el año 2019, se determinó que 5 de 27 marcas de AL que se importa cubren el 86% de la demanda nacional, tal como se muestra en la Figura 3.3. Debido a que se cumple la ley de Pareto en este análisis, pues el 19% del total de las marcas importadas de AL para MEP cubren el 86% de la demanda nacional se seleccionó a 5 de estas como las marcas de estudio.

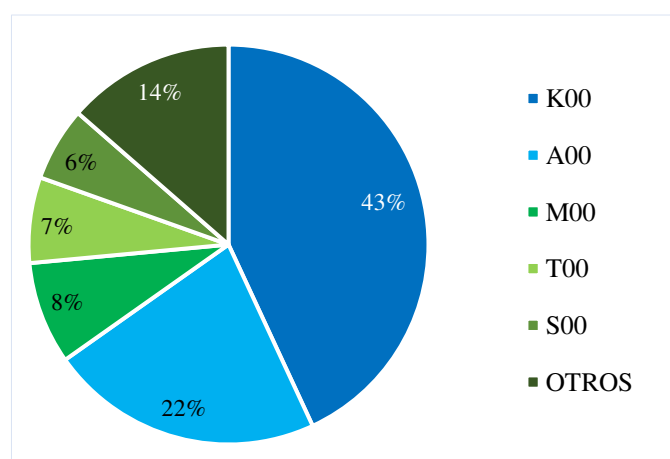


Figura 3.3 Distribución de porcentaje de importaciones del año 2019 para AL de MEP

Además, se encontró que del total de AL que se comercializa en Ecuador apenas el 11% se exporta es decir 1.888.430 L, como se observa en la Figura 3.4. Por lo tanto, se determinó que la marca V00 también se consideraría para análisis del presente estudio debido a que si bien no alcanza valores altos de venta nacional si presenta los valores más altos de exportación, 1.371.400 L.

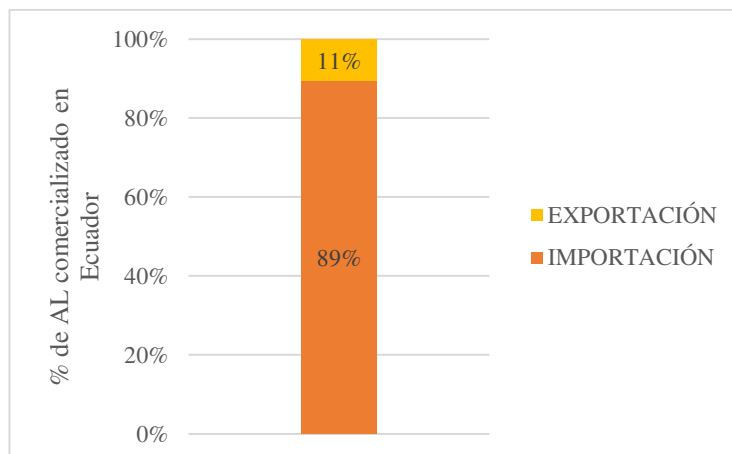


Figura 3.4 Porcentaje de AL comercializado en Ecuador en el 2019

En la siguiente figura se muestran los envases de los AL seleccionados para esta investigación, todos son aceites minerales 20W-50 para motores a gasolina.



Figura 3.5 Envases de AL seleccionados para el estudio

3.2. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS AL

3.2.1. COMPARACIÓN CON RESPECTO A LA NORMA NTE INEN 2027:2011

Se analizaron nueve propiedades en las seis muestras obtenidas de AL, de las cuales cinco se encuentran normalizadas según la norma NTE INEN 2027:2011. Con el objetivo de determinar si cada AL cumplía con la norma vigente de calidad ecuatoriana para su correcto funcionamiento en los MEP se compararon los

resultados obtenidos con respecto a los límites permisibles que se encuentran en la normativa. Los resultados de la comparación se describen en la siguiente Tabla:

Tabla 3.2 Comparación de las propiedades fisicoquímicas con respecto a la norma NTE INEN 2027:2011

Parámetro	Valor	Método de ensayo	A00	K00	M00	S00	V00
Viscosidad a 100°C para AL 20W50	10,3 x 10 ⁻⁶ (m ² /s) a 21,9 x 10 ⁻⁶ (m ² /s)	ASTM D445	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Índice de viscosidad	> 120	ASTM D2270	Fuera de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Punto de escurrimiento	< -15 °C	ASTM D97	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Contenido de humedad (agua)	< 0%	ASTM D95	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Punto de inflamación	> 190 °C	ASTM D92	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Tendencia a la espuma	< 20 cm ³	ASTM D892	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Estabilidad a la espuma luego de 10 min	< 0 cm ³	ASTM D892	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones
Número Básico	>5,5 mg KOH/g	ASTM D2896	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones	Dentro de especificaciones

Se debe notar que para los parámetros de Tendencia a la espuma y Contenido de agua por destilación se obtuvieron valores de 0 para las 6 muestras de AL, por lo que todos se encuentran “Dentro de especificaciones” y no han sido considerados relevantes para la discusión de cada uno de los resultados presentados a continuación.

3.2.1.1. Viscosidad

La viscosidad del AL es una propiedad cuya variación es uno de los cambios más notorios que se producen a medida que el aceite se calienta, debido a que esta disminuye y el aceite fluye con mayor facilidad, es por esto por lo que en el siguiente análisis se consideró a la viscosidad cinemática a 40°C, que, si bien en la norma no se encuentran límites, su importancia al momento de seleccionar un AL de buena calidad es alta. Como se observa en la Tabla 3.3 todos los AL se encuentran dentro de parámetro según la norma, sin embargo, la muestra que presenta el mayor valor de viscosidad tanto para 100°C y 40°C es la K00 con 20,1 y 172,2 cSt. Al considerar que, para todos los sistemas, la capacidad del aceite para fluir y soportar cargas es lo que protege al componente de la degradación de la superficie

y, en última instancia, de la pérdida de utilidad y falla del motor se determina que este AL protegerá mejor al MEP en relación con los otros 5 tipos de lubricante.

Tabla 3.3 Comparación de la Viscosidad cinemática 100°C (cSt) obtenida por las 6 muestras de lubricantes

Muestras	Viscosidad cinemática (cSt)		Límite permisible a 100°C (cSt)	
	100°C	40°C	Mín.	Máx.
A00	17,5	166,2	16,3	21,9
K00	20,1	172,2		
M00	19,2	152,0		
S00	17,8	151,0		
T00	18,5	150,0		
V00	17,1	135,0		

Fitch (2012) definió a la viscosidad como el espesor del aceite por lo que un MEP que utilice la marca K00 contará con una película del lubricante más gruesa para prevenir la fricción entre las partes móviles brindando una mayor protección. Sin embargo, también se debe considerar que si el AL tiene una viscosidad alta podría resultar en un flujo de aceite bajo, provocando falta de aceite y arranques secos ya que se expone a que el motor no requiera que el aceite sea demasiado espeso para las condiciones de funcionamiento en las que se encuentre, y podría hacer que la máquina trabaje más, generando así calor y consumiendo más energía, con el tiempo, esto crearía un desgaste innecesario de la máquina.

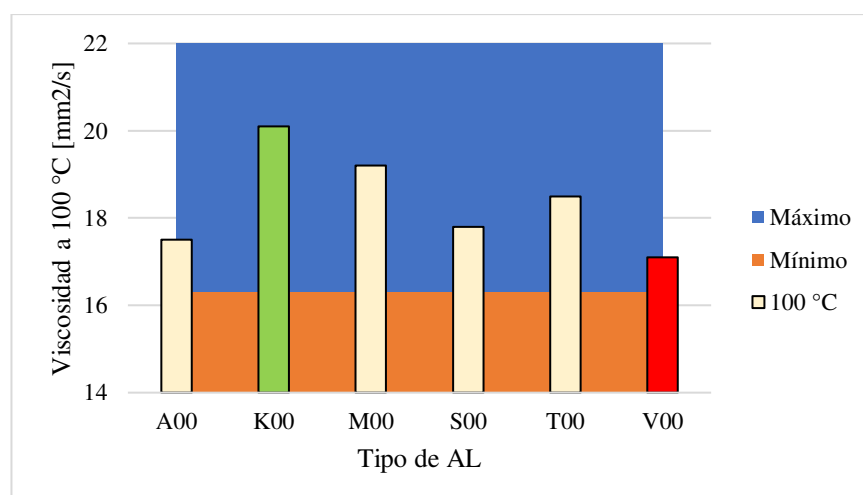


Figura 3.6 Comparación de la viscosidad a 100°C de las muestras obtenidas con el NTE INEN

Por el contrario, si un AL tiene una película demasiado delgada, es posible que la película no sea lo suficientemente gruesa para evitar la fricción mecánica, esto también crearía un desgaste innecesario de la máquina. Por lo antes expuesto es necesario contrarrestar estos resultados con los requerimientos de los fabricantes de los motores para determinar si son adecuados o no para el uso en los MEP.

3.2.1.2. Índice de viscosidad

Los resultados de los análisis de índice de viscosidad de las muestras de AL comerciales demostraron que 5 de las 6 marcas tomadas en cuenta en este estudio se encuentran dentro del parámetro determinado por la norma. Sin embargo, la muestra asignada con nomenclatura A00 se encuentra por debajo del límite mínimo que se debe cumplir como se observa en la Figura 3.7.

Tabla 3.4 Comparación del índice de Viscosidad con los límites permisibles según norma técnica Ecuatoriana.

Muestras	Índice de Viscosidad	Norma Método	Limite Permissible Según NTE INEN	
			Min	Max
S00	130	ASTM D2270	120	-
T00	139			
V00	138			
M00	144			
K00	136			
A00	115			

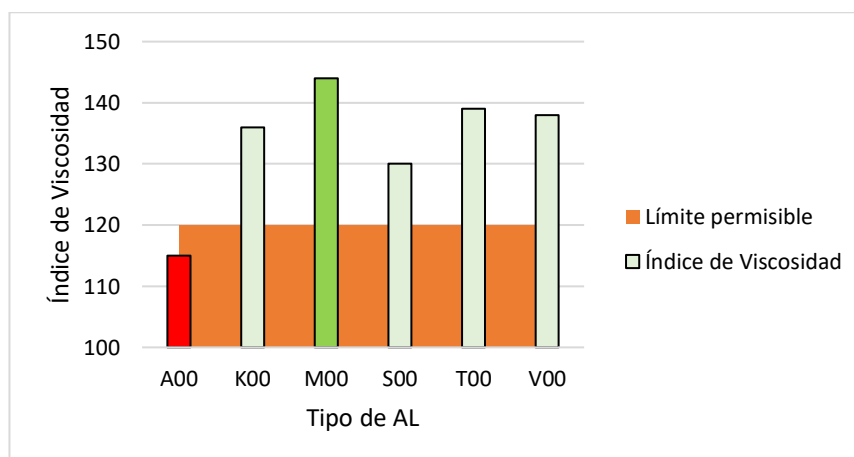


Figura 3.7 Comparación del índice de viscosidad de las muestras obtenidas con el NTE INEN 2027:2011

Si se considera que un VI más alto es más deseable porque permite que el lubricante proporcione una película lubricante más estable en un rango de temperatura más amplio, se determina que el mejor valor de VI lo presenta la muestra M00 al contrario que la muestra A00 que presenta el menor valor.

3.2.1.3. Punto de escurrimiento

En la Figura 3.8 se observa que todas las muestras presentan valores del punto de escurrimiento dentro del límite permisible, lo que resulta en que todas cumplen con los requerimientos de la Normativa nacional. Además, se observa que la muestra T00 presenta la mayor Temperatura de escurrimiento, -45°C .

Tabla 3.5 Comparación del punto de escurrimiento con los límites permisibles según norma NTE INEN 2027:2011

Muestras	Punto de escurrimiento	Norma Método	Limite Permisible Según NTE INEN	
			Min	Max
S00	-36	ASTM-D97		< -15
T00	-45			
V00	-33			
M00	-33			
K00	-33			
A00	-36			

Aunque en las condiciones ambientales ecuatorianas este parámetro no incide en el desempeño del MEP, se realizó su análisis de cumplimiento ya que este ensayo se encuentra en la normativa.

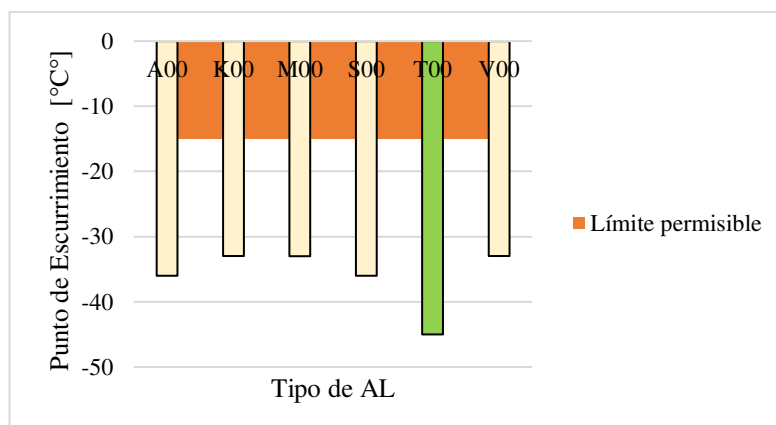


Figura 3.8. Comparación del punto de escurrimiento de las muestras obtenidas con NTE INEN 2027:2011

3.2.1.4. Punto de inflamación

En la Figura 3.9 se observa que todas las muestras se encuentran por encima del valor mínimo determinado por la Norma Técnica Ecuatoriana, por lo que todas se encuentran Dentro de parámetro, sin embargo, se debe notar que los valores de las muestras **S00** y **M00** se encuentran muy por encima del valor típico de los aceites minerales, 230 °C según bibliografía.

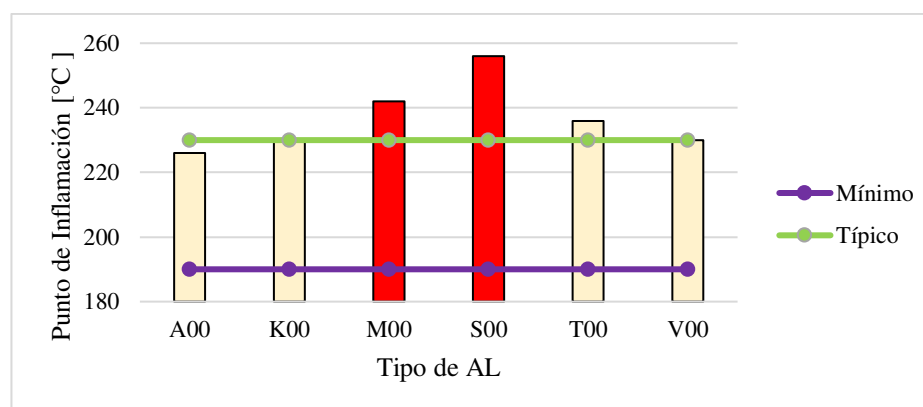


Figura 3.9 Comparación del punto de inflamación de las muestras obtenidas con NTE INEN 2027:2011

Tal como se describe en la sección 1.4.3, el punto de inflamación puede dar alguna indicación sobre la volatilidad y el contenido de los componentes más volátiles del aceite y permite identificar a breves rasgos entre un aceite mineral y un sintético debido a que el primero comienza a evaporarse mucho antes de que se alcancen sus puntos de inflamación mientras que algunos sintéticos no se evaporan hasta que comienzan a descomponerse (destilación destructiva). Por lo tanto, los puntos de inflamación de estos aceites sintéticos pueden ser mucho más altos que los de los aceites minerales de viscosidades similares.

Tabla 3.6 Comparación del punto de inflamación copa abierta con los límites permisibles según NTE INEN 2027:2011

Muestras	Punto de inflamación copa abierta	Norma Método	Limite Permissible Según NTE INEN	
			Min	Max
S00	256	ASTM-D92	>190	
T00	236			
V00	230			
M00	242			
K00	230			
A00	226			

Además, un aspecto importante de este estudio es que cuando se adquirieron los AL, en la presentación de 1L de las muestras de **V00** y **A00**, estos se comercializaban como aceite sintético, según su etiqueta, pero de acuerdo con los resultados de esta propiedad se evidencia que se trata de aceite mineral ya que presentan valores similares a las de un AL mineral.

3.2.1.5. Número Básico

Los valores obtenidos por las muestras de lubricantes con respecto al número básico demuestran que todos se encuentran dentro de los valores permitidos por la NTE INEN 2027:2011, sin embargo, como se observa en la Figura 3.10 el mayor valor de BN presenta la marca V00 con 13,3 [mg KOH/g] a diferencia de las marcas M00 y S00 que presentan un valor alrededor de 6,20 [mg KOH/g] los más bajos de las 6 marcas.

Tabla 3.7 Comparación del Número básico (BN) con los límites permisibles según norma NTE INEN 2027:2011.

Muestras	Número básico (BN)	Norma Método	Limite Permissible según NTE INEN	
			Min	Max
A00	7,71	ASTM-D2896	>5.5	
K00	8,93			
M00	6,22			
S00	6,19			
T00	10,1			
V00	13,3			

Esta propiedad del AL es muy importante debido a que es la capacidad del aceite para neutralizar los ácidos que se producen durante su uso y cuanto mayor sea el BN en el aceite del motor, más ácido podrá neutralizar, por lo tanto, un MEP que utilice la marca V00 contará con un AL que tenga la doble capacidad en comparación con las otras 5 marcas de AL, para neutralizar los ácidos que se producen al utilizar un combustible de baja calidad como en Ecuador, con alto contenido de azufre.

Es por esto por lo que se requiere que el AL tenga un BN alto ya que el azufre produce ácido sulfúrico, que ataca el AL y provoca una caída en el BN en menor tiempo, lo que da como resultado una oxidación del AL y por tanto un sobrecalentamiento del motor.

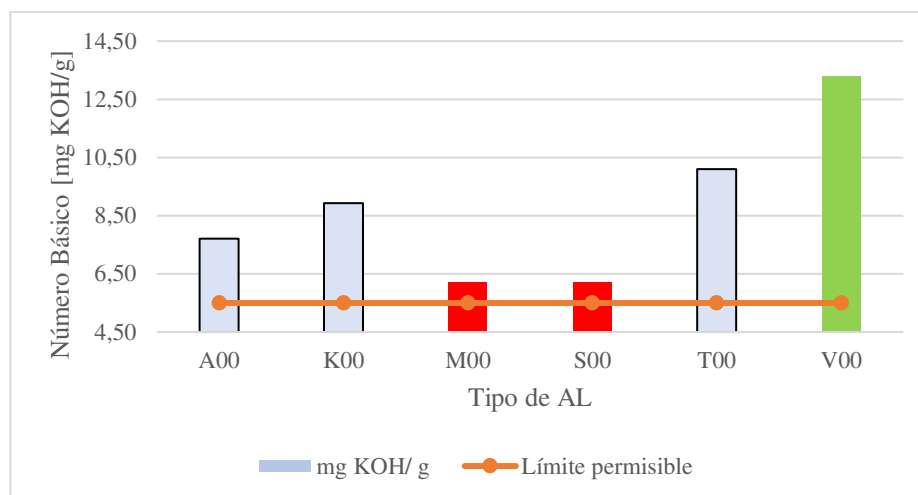


Figura 3.10 Comparación del BN de las muestras obtenidas con el NTE INEN

3.2.1.6. Contenido de metales

Los resultados obtenidos mostraron que solo un AL contiene el 80% de los metales que se pueden detectar con la ayuda del equipo Spectroil del LACBAL, los demás lubricantes se encuentran por debajo del 68% del total. En la Figura 3.11 se muestran los resultados.

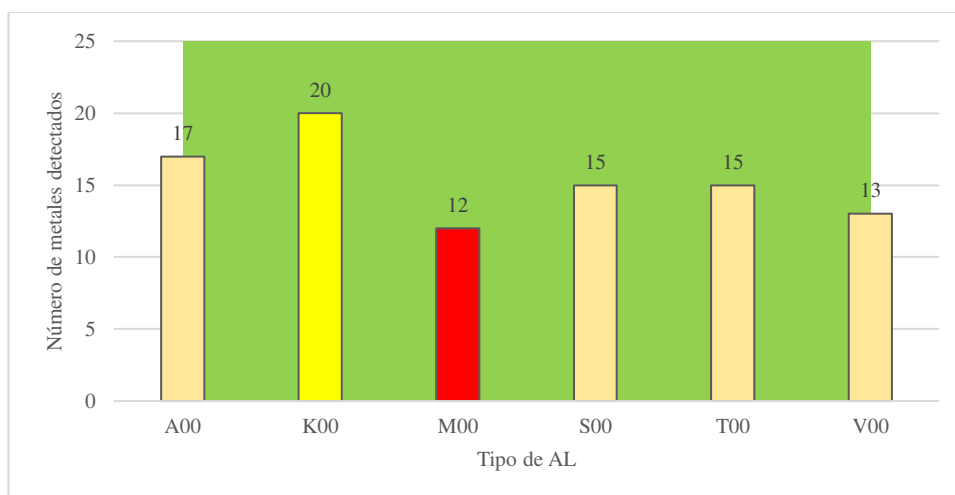


Figura 3.11 Número de metales detectados en cada AL

Debido a la importancia de cada metal, a continuación, se analizará cada uno de acuerdo con los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio.

a. Calcio y Magnesio

Al analizar los resultados que se muestran en la Figura 3.12 se observa que las muestras de AL que más cantidad de Calcio tienen son S00 y V00 sin embargo estas mismas muestras presentan un valor muy inferior de Magnesio, alrededor de los 10 ppm, es decir 40 veces menos en comparación con las muestras de A00 o K00. Por lo que al considerar un equilibrio entre los dos metales se observa que la muestra K00 es la que entregaría una cantidad considerable para que el MEP se encuentre protegido.

El calcio y el magnesio proceden de los aditivos detergentes y/o dispersantes utilizados para combatir el hollín, estos componentes del AL neutralizan los ácidos formados durante la combustión y mantienen en suspensión los contaminantes y los lodos hasta que llegan al filtro, evitando que se adhieran a las superficies metálicas. Los aditivos detergentes y/o dispersantes se consumen al realizar las funciones para las que fueron diseñados por lo que un MEP que use un AL que contenga la mayor cantidad de estos metales se encontrará mejor protegido.

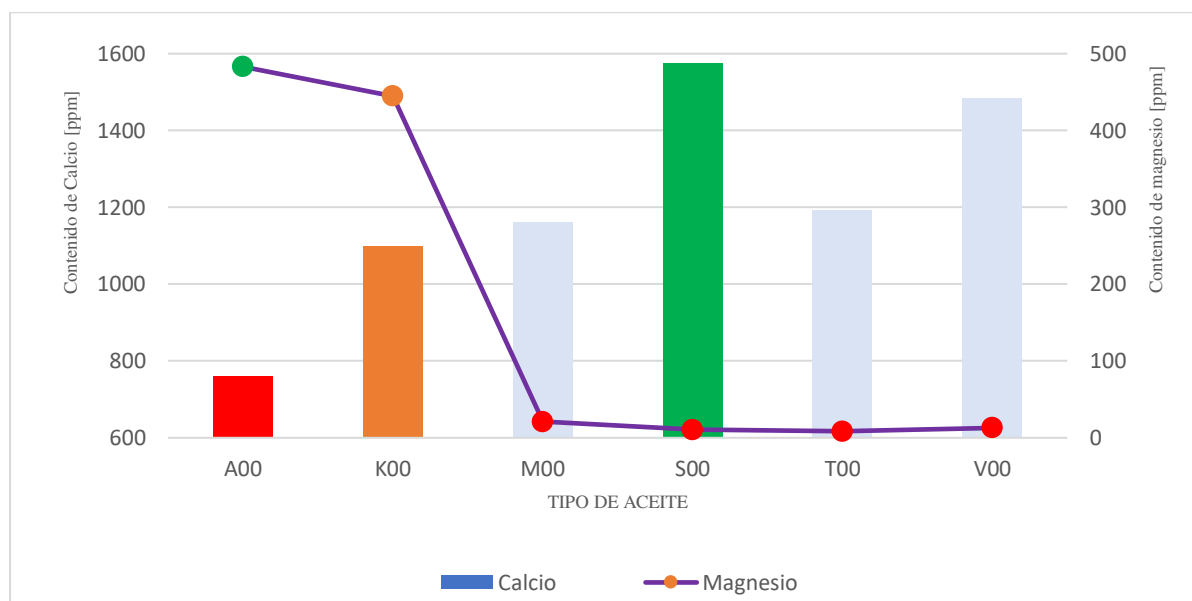


Figura 3.12 Contenido de Calcio y Magnesio en los AL

b. Zinc y Fósforo

En la Figura 3.13 se muestran los resultados del contenido de Zinc en las muestras de AL de este estudio, se evidencia que la muestra que mayor contenido tiene es la K00 con 983,66 ppm seguido de M00 y A00 con 955,17 y 924,73 ppm respectivamente. Sin embargo, las muestras S00 y T00 presentan el menor valor 721,03 y 708,23 ppm respectivamente.

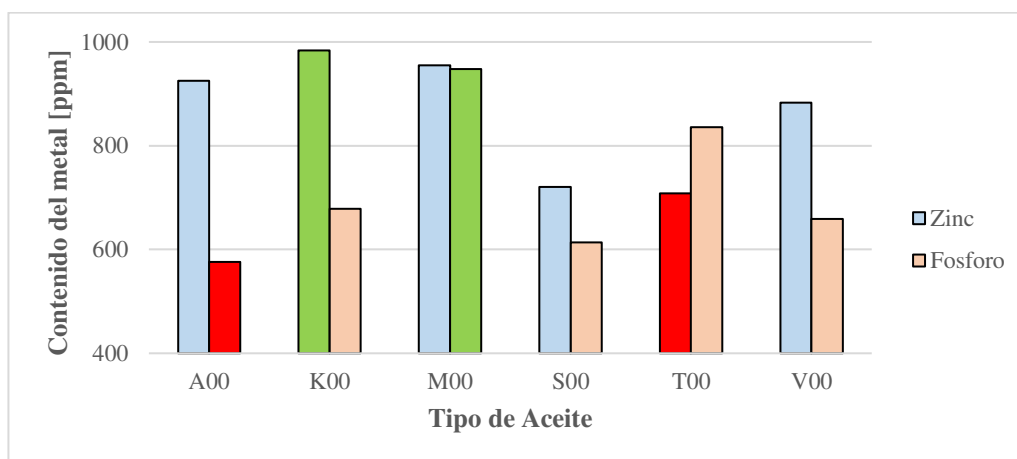


Figura 3.13 Contenido de Zinc y Fósforo en las muestras de AL

El Zinc es un metal importante en la formulación del AL debido a que se utiliza como componente del Dialquil ditioposfato de zinc o también conocido como ZDDP elemento de los aditivos de extrema presión. El Zinc se une al azufre y fósforo para formar una capa de sulfato de hierro en la superficie de las piezas, donde el azufre puede actuar para atraer al zinc y formar tres capas blandas, evitando el contacto acero-acero

Por lo tanto, un AL que tenga un valor alto de Zinc tendrá una concentración de ZDDP alta que ayudará a que controle el desgaste al limitar el contacto directo de las dos superficies de fricción, evitando así la adhesión de las últimas y reduciendo las tensiones de contacto transitorias que experimentan durante el deslizamiento.

c. Metales con baja concentración (menor a 2 mg/kg)

Los resultados de los análisis mostraron que ninguno de los 6 AL contienen Plata,

Bario o Cadmio ya que en el informe de resultados presentan un valor de 0 mg/kg, mientras que el Cromo, Cobre, Potasio, Litio, Manganeso, Níquel, Plomo, Antimonio y Vanadio tienen valores cercanos a 0 mg/kg, por lo que no se consideraron para la discusión de resultados de este estudio. Sin embargo, se presentan los valores en la siguiente figura donde se observa que las muestras de AL que presentan más número de elementos son K00, A00, S00 con 6 y 5 metales respectivamente.

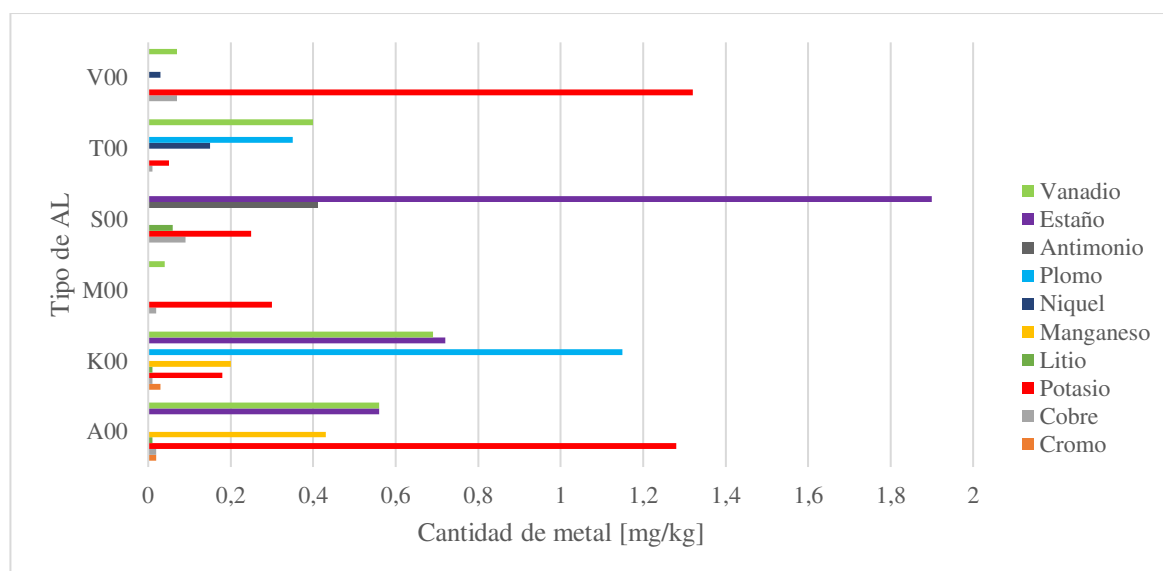


Figura 3.14 Metales presentes en cada AL

d. Metales con baja concentración (mayor a 2 mg/kg y menor a 150 mg/kg)

Los metales que presentaron una concentración menor a 150 mg/kg en al menos una de las muestras de AL son Titanio, Silicio, Boro y Aluminio, en la Tabla 3.8 se observa que de todos los AL solo la muestra K00 presenta Silicio y Titanio, metales que de acuerdo con la revisión bibliográfica se encuentran como elementos de aditivos antiespumantes y antioxidantes respectivamente.

Tabla 3.8 Contenido de Aluminio, Boro, Silicio y Titanio en los 6 AL

	A00	K00	M00	S00	T00	V00
Aluminio	0,60	0,38	0,07	0,37	2,42	47,00
Boro	3,44	148,00	0,07	72,10	97,68	53,98
Silicio	0	10,37	0	0	0	0
Titanio	0	75,20	0	0	0	0

Al analizar los resultados, se determina que el AL que protegerá mejor al MEP es el K00 debido a que contiene Titanio, un elemento del aditivo antiespumante, el cual, según bibliografía, ayuda a que las burbujas que se producen cuando el lubricante se mezcla con aire u otros gases colapsen aceleradamente, evitando de esta manera que el AL pierda la propiedad de enfriamiento de las piezas y en consecuencia un desgaste en el motor.

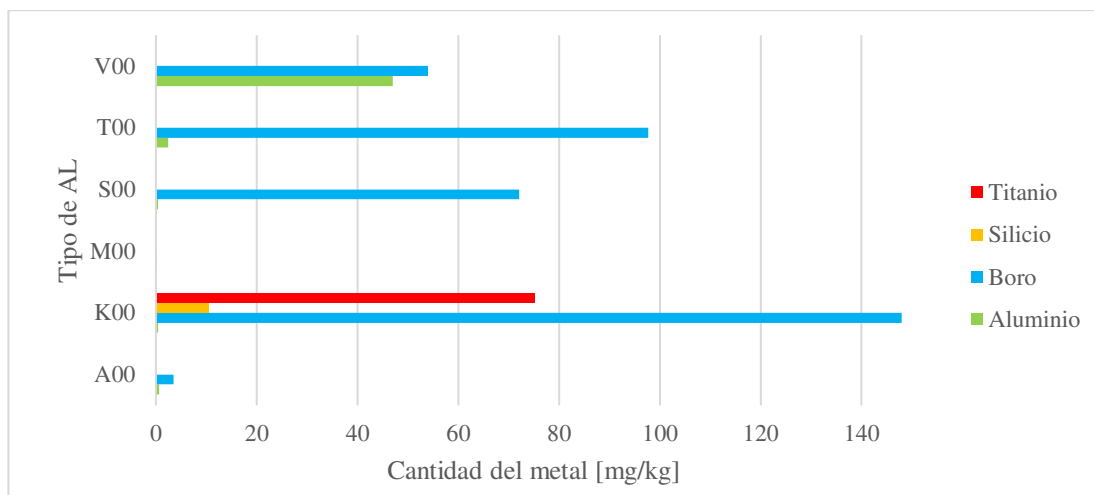


Figura 3.15 Contenido de Titanio, Silicio, Boro y Aluminio en los AL

Hay que destacar que el Titanio es uno de los aditivos verdes debido a su alta estabilidad química, bajo costo, no toxicidad y su buen efecto lubricante, todas estas propiedades hacen que el Titanio se considere más amigable con el medio ambiente en comparación con los aditivos convencionales que contienen metales pesados como Zn, Cu y Pb, etc. o que contienen demasiado azufre y fósforo, según lo describieron (Gao et al., 2000; Ye et al., 2003)

3.2.1.7. Contenido de partículas

Se conoce que las partículas con tamaño mayor a 4 y menor a 6 micras son indicativas de la tendencia a la formación de depósitos de partículas, mientras que las mayores a 14 micras indican la cantidad de partículas grandes presentes en el sistema, las cuales contribuyen en gran medida a un posible fallo catastrófico de un componente, es por este motivo que los códigos ISO que se obtuvieron en este estudio, tal como se observan en la Tabla 3.9, indican que solo un AL cumple con

la especificación para el uso en los MEP ya que de acuerdo con las Tablas Tabla 1.10, Tabla 1.11 y Tabla 1.12 ningún componente o elemento del motor acepta un código ISO mayor a 18/15 para que se pueda utilizar como fluido lubricante.

Tabla 3.9 Código ISO y cantidad de partículas según su tamaño

Muestra de AL	Contenido de partículas (partes/1 mL)			Número ISO
	>4 μm	>6 μm	>14 μm	
A00	8 139	1 816	16	20/18/11
K00	651	32	5	17/12/10
M00	448 898	58 690	48	26/23/13
S00	7 653	2 274	44	20/18/13
T00	1 939	459	9	18/16/10
V00	5 710	833	28	20/17/12

Al analizar la Tabla 3.9 se observa que la muestra de AL que menor contenido de partículas presenta es la K00 y, al contrario, se observa que la muestra M00 tiene alrededor de 700 veces el contenido de sus partículas de 4 μm , es decir 1800 veces las partículas de tamaño de 6 μm y 10 veces de las partículas de 14 μm en comparación con la K00. Debido a que el estudio utiliza muestras de aceite nuevo se realizó un análisis de causa raíz mediante un diagrama de Ishikawa para mostrar todas las posibles causas de la contaminación que presentan todos los AL ya que 5 de 6 muestras no cumplirían con los requisitos de los fabricantes de las partes de los MEP.

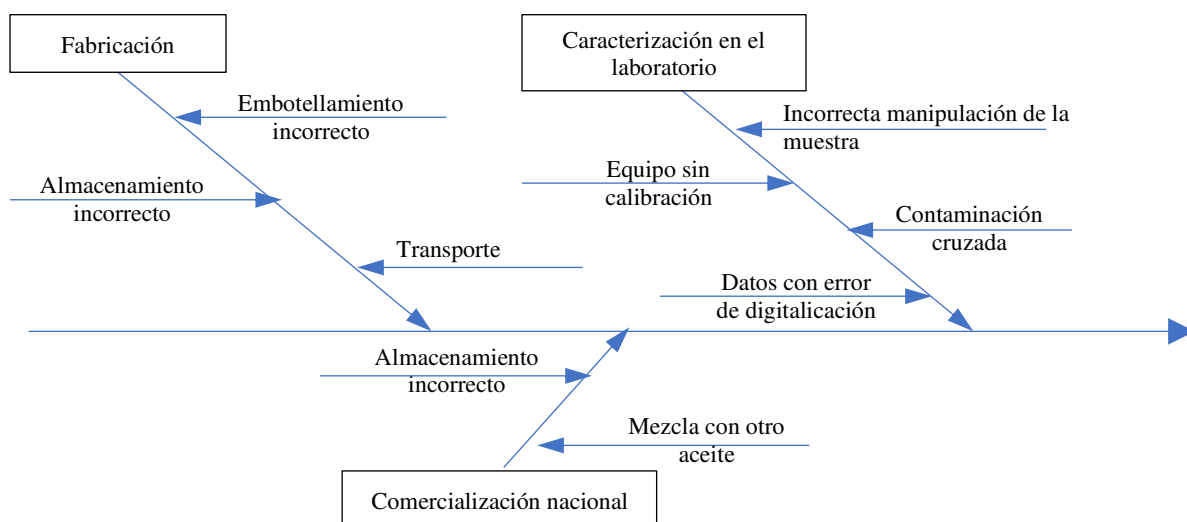


Figura 3.16 Diagrama de Ishikawa para determinar causa raíz de contaminación en muestras de AL

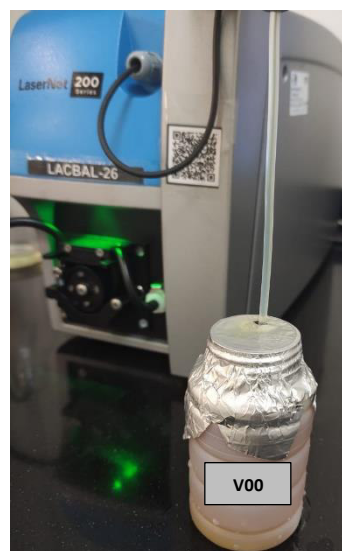
Se analizaron todas las posibles causas y se fueron descartando de la siguiente manera:

a. Caracterización en el laboratorio:

Se determinó que esta causa no es la fuente de contaminación debido a que el LACBAL cuenta con un sistema de gestión de la calidad donde se aseguran los resultados obtenidos, desde el momento de la recepción de la muestra se mantiene un estricto cuidado en el almacenamiento, manipulación, análisis y transcripción de resultados. Tal como se muestra en las siguientes figuras se observa que cada uno de los AL fue manipulado con extrema precaución



a)



b)

Figura 3. 17 a) Trasvase del AL dentro de una Sorbona b) Muestra de AL durante el análisis

b. Fabricación y comercialización nacional del AL:

Es una causa muy acertada debido a que ninguno de los AL que se estudiaron en esta investigación cuenta con la certificación API emitida por la American Petroleum Institute, solo las empresas que se observan en la Figura 3.18, tienen la certificación API y comercializan las marcas de AL que se describen en la Tabla 3.10.

American Petroleum Institute Engine Oil Licensing							Bienvenidos!
							SOBRE EOLCS CONTACTENOS AYUDA
Imprima todas las empresas con licencia Volver a la búsqueda							
Resultados de la búsqueda							
NOMBRE DE EMPRESA	LICENCIA #	VENCIMIENTO	CIUDAD	PROVINCIA DEL ESTADO	PAÍS	REGIÓN	
CONAUTO CA	3319	31 de marzo de 2022	GUAYAQUIL	GUAYAS	Ecuador	Sudamerica	
EMPRESA PUBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR EP PETROECUADOR	3119	31 de marzo de 2022	QUITO	PICHINCHA	Ecuador	Sudamerica	
PDV ECUADOR SA	2823	31 de marzo de 2022	GUAYAQUIL	GUAYAS	Ecuador	Sudamerica	
SWISSOIL DEL ECUADOR SA (SWISSOIL)	2517	31 de marzo de 2022	GUAYAQUIL	GUAYAS	Ecuador	Sudamerica	
TOYOTA DEL ECUADOR SA	3215	31 de marzo de 2022	QUITO		Ecuador	Sudamerica	
						Mostrando articulos 1-5 de 5	

Figura 3.18 Lista de empresas Ecuatorianas con certificación API
(American Petroleum Institute, 2021)

Tabla 3.10 Empresas que comercializan AL en Ecuador con certificación API

EMPRESA	NOMBRE DE LA MARCA	GRADO DE VISCOSIDAD SAE	CATEGORÍA DE SERVICIO API
CONAUTO CA	Motorex Deo	15W-40	CI-4
	Motorex Deo premium plus	15W-40	CI-4
	Mezcla sintética Motorex deo premium plus	15W-40	CI-4
	Motorex Deo super	15W-40	CH-4
	Motorex Deo super premium	15W-40	CJ-4 / SL
	Mezcla sintética Motorex deo	15W-40	CK-4 / SN
	Mezcla sintética Motorex deo	15W-40	CJ-4
	Motorex Geo premium plus	20W-50	SN
EMPRESA PUBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR EP PETROECUADOR	Mezcla sintética Motorex geo premium plus	20W-50	SN
	Super premium	10W-30	SL
	Super premium	20W-50	SN
	Super premium	20W-50	SL
	Turbo diesel	15W-40	CJ-4 / SM
PDV ECUADOR SA	Turbo diesel	15W-40	CI-4 / SL
	Maxi plus	15W-40	CH-4 / SJ
	Mezcla sintética SUPRA MX	10W-30	SP
	Mezcla sintética SUPRA MX	10W-30	SN
	Mezcla sintética SUPRA MX	15W-40	SP
	Mezcla sintética SUPRA MX	20W-50	SP
	Mezcla sintética SUPRA MX	20W-50	SN
	Supra premium	10W-30	SN
	Supra premium	10W-30	SL
	Supra premium	15W-40	SN
	Supra premium	20W-50	SN
	Supra premium	20W-50	SL
	Ultra	15W-40	CJ-4 / SN
	Ultra	15W-40	CJ-4 / SM
	Ultra	15W-40	CI-4 / SL
SWISSOIL DEL ECUADOR SA (SWISSOIL)	Mezcla sintética ULTRA	15W-40	CK-4 / SN
	Havoline prods completamente sintético	5W-20	SP
	Havoline prods completamente sintético	5W-30	SP
	Aceite de motor totalmente sintético Havoline prods	10W-30	SP
	Tecnología sintética Havoline	5W-20	SP
	Tecnología sintética Havoline	5W-30	SP
	Tecnología sintética Havoline	10W-30	SP
	Tecnología sintética Havoline	20W-50	SP
	Motoro el suizo	10W-30	SM
	Motoro el suizo	15W-40	SN
	Motoro el suizo	15W-40	CJ-4 / SL
	Motoroel suizo	15W-40	CJ-4
	Motoroel suizo	15W-40	CI-4
	Motoroel suizo	15W-40	CI-4
	Motoroel suizo	15W-40	CH-4
	Motoroel suizo	20W-50	SN
	Motoroel suizo	20W-50	SM
	Motoroel suizo	40	SL
	Suizo motoroel teilsynthetisch	15W-40	CK-4 / SN
	Suizo motoroel teilsynthetisch	15W-40	CJ-4
	Suizo motoroel teilsynthetisch	20W-50	SN
	Suizo motoroel teilsynthetish	10W-30	CI-4
	Suizo motoroel teilsynthetish	15W-40	SN
Suizo motoroel teilsynthetish	15W-40	CI-4	
Suelo suizo motoroel vollsynthetish	5W-40	SN	
Suelo suizo motoroel vollsynthetish	10W-30	CI-4	
Aceite de motor genuino de Toyoya	15W-40	SN	

(American Petroleum Institute, 2021)

En este estudio además del contenido de partículas de cada AL, se obtuvieron datos acerca del tipo y forma de la partícula, los resultados demostraron que todas las muestras de lubricante presentan al menos 4 de los 5 tipos de partículas de desgaste tal como se muestra en la Tabla 3.11, estos datos son contradictorios a la calidad del AL ya que se trabajó con aceites totalmente nuevos.

Tabla 3.11 Tipo de partículas de desgaste de cada AL

Muestra de AL	Partículas Cortantes		Deslizamiento severo		Desgaste por Fatiga		Partículas No Metálicas		Partículas no Clasificadas	
	Cantidad [part/ml]	Tamaño medio [μm]	Cantidad [part/ml]	Tamaño medio [μm]	Cantidad [part/ml]	Tamaño medio [μm]	Cantidad [part/ml]	Tamaño medio [μm]	Cantidad [part/ml]	Tamaño medio [μm]
A00	2	32.1	12	31.5	7	24.2	3	29.1	0	0
K00	3	27.3	3	29.2	1	21.2	2	25.4	2	23.1
M00	15	32.4	39	26.6	4	21.7	14	26.8	3	31.6
S00	10	67.0	6	63.2	7	25.8	16	32.2	3	25.6
T00	1	30.6	0	0	3	27.2	6	31.3	0	0
V00	12	26.6	8	27.1	10	23.7	2	30.8	1	35.4

3.2.1.8. Contenido de azufre

Al considerar que el Azufre es un elemento presente en los aditivos ZDDP tal como se muestra en la sección 0, y mantiene una relación de 1 átomo de Fósforo por cada 2 átomos de Azufre y 1 átomo de Zinc por cada 4 de Azufre, en este estudio se determinó que el contenido de este elemento se encuentra muy por encima de los otros metales en las muestras M00, A00 y T00, alrededor de 4 veces, tal como se muestra en la Figura 3.19.

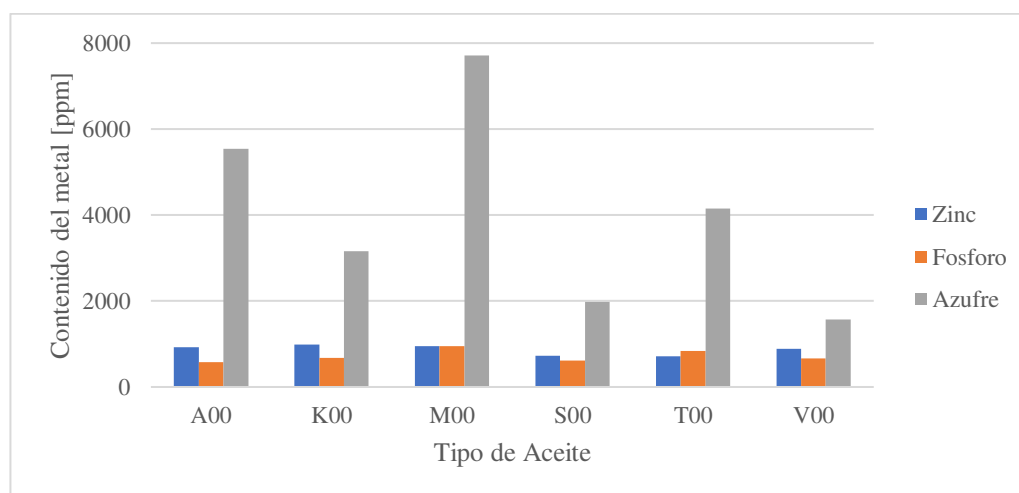


Figura 3.19. Contenido de Azufre con respecto al Zinc y el Fósforo

En la Tabla 3.12 se observa que las muestras A00 y M00 presentan una cantidad de azufre en exceso considerable con respecto a los demás AL, mientras que la muestra de V00 tiene la mitad del azufre que se necesita para que interactúe con el Zinc y formen la película protectora de ZDDP.

Tabla 3.12 Diferentes cantidades de azufre en las muestras de AL [mg/kg]

Azufre		A00	K00	M00	S00	T00	V00
Real	[ppm]	5547	3157	7718	1976	4149	1565
Teórico	[ppm]	2774	2951	2866	2163	2125	2650
Exceso	[ppm]	2773	206	4852	-187	2024	-1085
	%	100%	7%	169%	-9%	95%	-41%

Un aspecto importante del análisis de este elemento es que de acuerdo con la sección 0 la presencia del azufre solo podría provenir del ZDDP o del aceite base, por lo tanto, al tratarse de un elemento que aporta a las emisiones de formación de cenizas metálicas, el contenido en exceso provendría del aceite base.

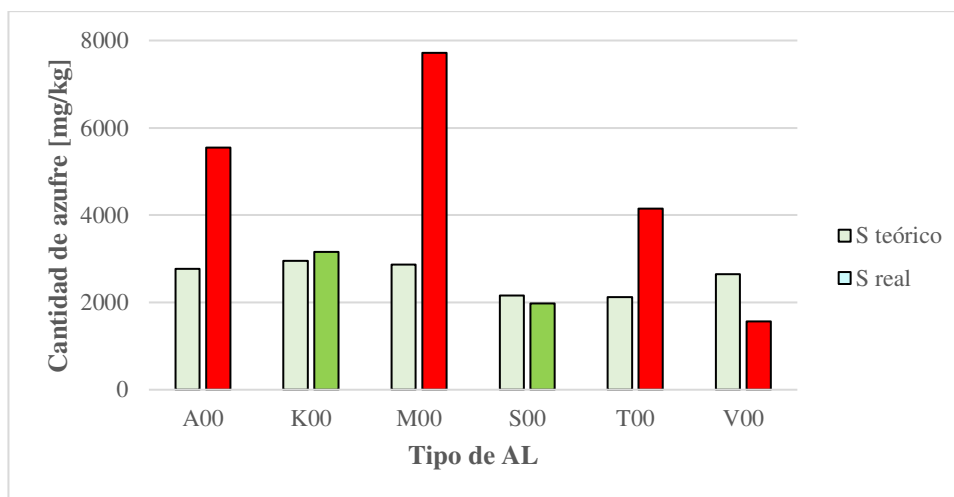


Figura 3.20 Comparación de cantidad de azufre de las muestras de AL

3.2.2. COMPARACIÓN CON RESPECTO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS FABRICANTES DE LOS MEP

3.2.2.1. Comparación con los especificaciones técnicas del fabricante del aceite

Para el presente estudio se analizó la importancia de realizar una comparación

entre las propiedades analizadas versus las especificaciones dadas por la ficha técnica de cada AL, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.13 Comparación de resultados de las propiedades de los AL con las fichas técnicas

Aceite lubricante		Propiedades				
		Punto de Ignición [°C]	Punto de escurrimiento [°C]	Viscosidad a 100°C [cSt]	Índice de Viscosidad	Número Básico
A00	Ficha técnica	220	-33	18	128	-
	Real	226	-36	17,5	115	7,71
K00	Ficha técnica	230	-30	19,4	139	8
	Real	230	-33	20,1	136	8,93
M00	Ficha técnica	230	-30	18,5	125	-
	Real	242	-33	19,2	144	6,22
S00	Ficha técnica	214	-36	17,6	120	-
	Real	256	-36	17,8	130	6,19
T00	Ficha técnica	216	-20	20,5	155	6,7
	Real	236	-45	18,5	139	10,1
V00	Ficha técnica	230	-36	19,5	154	7
	Real	230	-33	17,1	138	13,3

De los datos que se obtuvieron de cada lubricante y de los resultados conseguidos en las pruebas de laboratorio, se determina que las muestras M00, S00, T00 y V00, no cumplen con las especificaciones de las fichas técnicas en más de un parámetro. Es así como más de la mitad de los AL analizados, no cumplieron con lo descrito en sus fichas técnicas, dando un resultado importante para conocer que se debe homologar los lubricantes que se comercializan en el país, y en un futuro elegir un AL idóneo para un MEP.

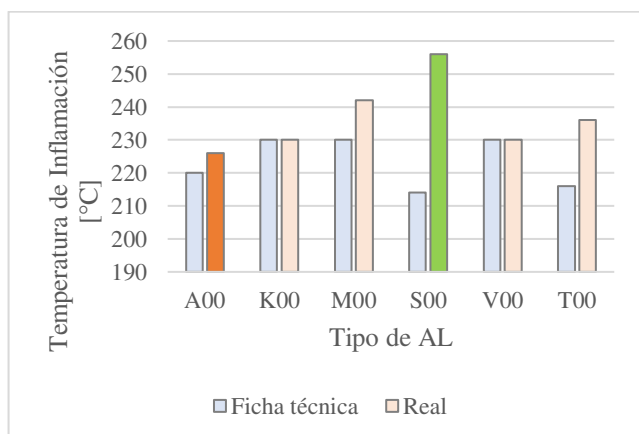


Figura 3.21 Comparación de la Temperatura de Inflamación

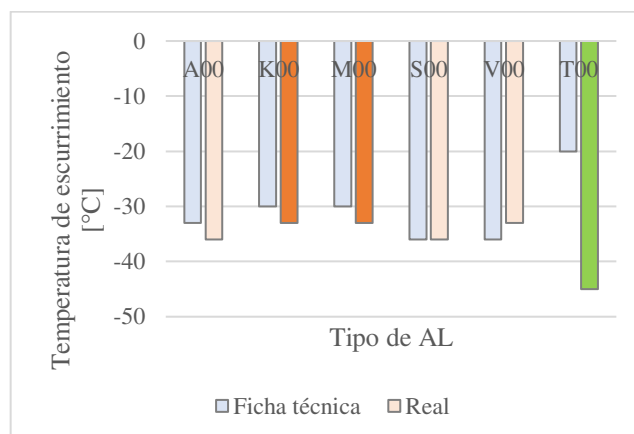


Figura 3.22 Comparación de la Temperatura de escurrimiento

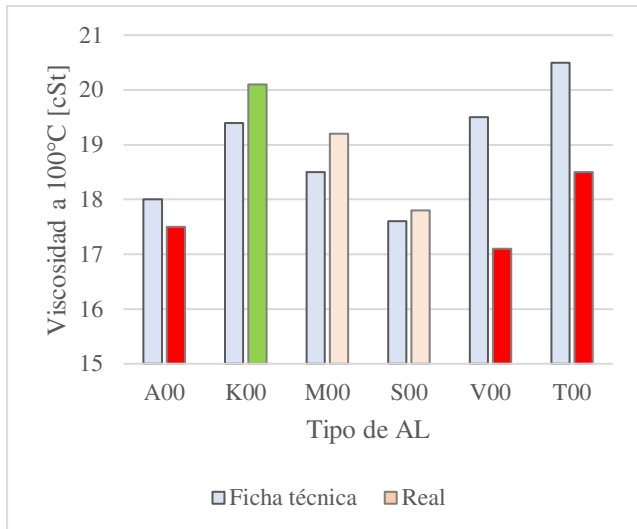


Figura 3.23 Comparación de la Viscosidad a 100°C

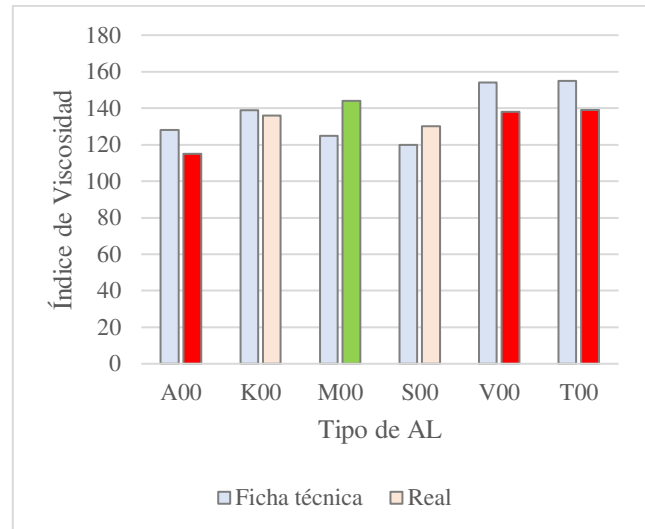


Figura 3.24 Índice de Viscosidad

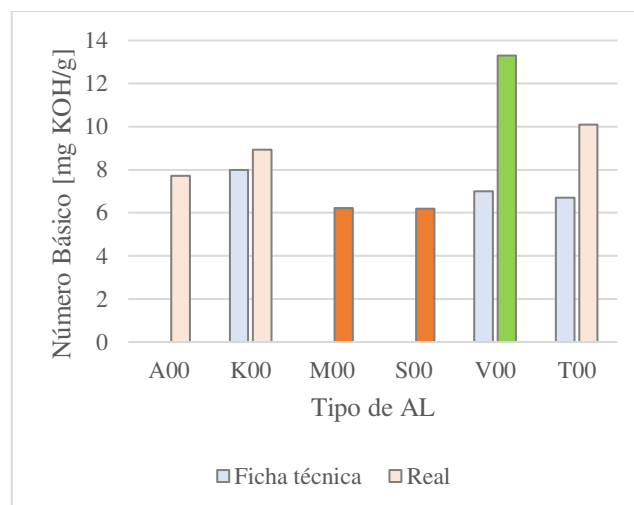


Figura 3.25 Número Básico

3.2.2.2. Comparación con los requisitos del fabricante del MEP

En la siguiente tabla se compararon los AL utilizados en este estudio con respecto al lubricante recomendado por el fabricante, se observa que el grado SAE recomendado es 10W30, esta denominación se recomienda para países Europeos o del Hemisferio norte, para el caso de Ecuador donde las condiciones ambientales son muy diferentes este grado no aplicaría muy bien, por lo que en el mercado nacional más se comercializan AL de 20W50.

También se observa que la clasificación API determinada por el Fabricante es SM en la mayoría de las marcas de los MEP, sin embargo, se observa que los aceites comercializados en Ecuador ya cuentan con la clasificación SN e incluso SP superiores a la requerida.

Tabla 3.14. Comparación de los AL recomendados por el fabricante de los MEP

Marca	Modelo	Aceite Lubricante	
		Utilizado	*Recomendado por el fabricante
Chevrolet	SPARK GT AC 1.2 4P 4X2 TM	A00 20W50 Mineral SN	S00 10W30 API SM
	SAIL LS AC 1.5 4P 4X2 TM		A00 / S00 10W30 API SM
	AVEO FAMILY 1.5L STD		A00 / S00 10W30 API SM
Kia	RIO 4P SEDAN	M00 20W50 Mineral SN	S00 SAE 5W-20 (API SM o superior). Para países de Europa.
	SPORTAGE R 2.0L GSL MT AC	S00 20W50 Mineral SN	Total Quartz SAE 5W-20*2 (API SM / ILSAC GF-4).
	PICANTO 1.2 GT LINE	V00 20W50 Mineral SN	Total quartz 5W20 API SM
Hyundai	CRETA 1.6 5P TM 4X2 STD	T00 20W50 Mineral SN	S00 5W20 ACA A5
	TUCSON 2.0 5P 4X2 TM STD		S00 ACEA A5/B5: Helix Ultra AH 5W30
	Grandi10 1.2 5P TM HB AC		S00 SAE 5W20 ILSAC GF-4

En la tabla anterior se observa que de los 3 tipos de AL recomendados por el fabricante de los MEP, 2 de estos lubricantes si se comercializan en Ecuador y sus propiedades concuerdan con lo establecido en sus fichas técnicas según se observa en la Tabla 3.13.

4. CONCLUSIONES

- Se determinó que, de las 6 marcas de Aceites Lubricantes analizadas, la muestra denominada A00 no cumple con los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN 2027:2011, debido a que el índice de viscosidad es menor al valor requerido por la norma.
- Del análisis de las etiquetas de cada Aceite Lubricante se determinó que ninguno de ellos cuenta con certificación API de acuerdo con la página oficial del www.api, y de acuerdo con la etiqueta cumple con el grado SN y SP; en cuanto a su viscosidad se estableció que corresponden a un grado SAE 20W50.
- Los fabricantes de los vehículos de las marcas más comercializadas en Ecuador que han sido base del estudio requieren un grado API SM, lo cual muestra que los 6 aceites lubricantes estudiados superan esta especificación. Con respecto al grado SAE, los fabricantes especifican utilizar SAE 10W30.
- Los datos obtenidos del análisis de las muestras de los 6 aceites lubricantes no concuerdan parcial o totalmente con las especificaciones de las fichas técnicas de los mismos, por ejemplo, el lubricante T00 tiene todos sus parámetros evaluados diferentes a los especificados.
- Considerando el índice de viscosidad como una de las propiedades más importantes que garantiza un menor desgaste en las partes lubricadas del motor durante su funcionamiento, el lubricante M00 de acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio tiene el valor más alto de esta propiedad comparado con los otros 5 aceites analizados.
- Del estudio se determinó que, de los 6 lubricantes, 5 de estos presentan un alto nivel de contaminación por partículas por lo que se encuentran fuera de lo establecido del mínimo valor requerido del código ISO.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda elaborar la normativa correspondiente que exija que los lubricantes que se comercializan en el país cumplan con la certificación API y de esta manera asegurar la calidad de los mismo.
- Se recomienda que en el Ecuador se desarrolle una normativa para llevar adelante el proceso de homologación de los aceites lubricantes que se comercializan a nivel nacional y que permitan validar las especificaciones del fabricante.
- Por el alto nivel de partículas presentes en aceites lubricantes nuevos se recomienda a los organismos pertinentes incluir este parámetro como requisito obligatorio a cumplir en las normas y o reglamentos nacionales.
- Se recomienda realizar un estudio que permita establecer si los aceites lubricantes que se comercializan en el país tienen las mismas especificaciones considerando diferentes ciudades.
- Para complementar este estudio, se recomienda realizar en las 6 marcas de lubricantes estudiadas la prueba ASTM D4172 “Método de prueba estándar para las características de prevención del desgaste del fluido lubricante (Método de cuatro bolas) que permite determinar de forma preliminar las propiedades antidesgaste de los lubricantes que se encuentran en contacto deslizante con los componentes internos de los MEP.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AEADE. (2019). AUTOMOTIVE SECTOR in figures. *Automotive Sector in Figures*. www.aeade.net
2. Aguilar, G., Mazzamaro, G., & Rasberger, M. (2010). Oxidative degradation and stabilisation of mineral oil-based lubricants. In *Chemistry and Technology of Lubricants: Third Edition* (pp. 107–152). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1023/b105569_4
3. American Petroleum Institute. (2021). *Engine Oil Licensing in Ecuador*. <https://engineoil.api.org/Directory/EolcsResults?accountId=-1&country=Ecuador>
4. *Anexo V: Lubricantes: Especificaciones y Normativa*. (n.d.).
5. Antamba Guasgua, J. F. (2018). *Diagnóstico de la condición operativa del motor por encendido provocado (MEP), según el tipo de gasolina empleado en las ciudades de Quito y Esmeraldas* [Quito, 2018.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19300>
6. Ante Jukić, Kornelije Kraguljac, Ivana Šoljić Jerbić, Elvira Vidović, & Ankica Barišić. (2010). Viscosity and rheological properties of mineral lubricating oils containing dispersive Polymethacrylate additives. *Goriva i Maziva*, 49(3), 239–249. <https://www.researchgate.net/publication/228818195>
7. API. (2020). *LA ÚLTIMA GENERACIÓN DE ACEITES PARA MOTORES A GASOLINA YA ESTÁ AQUÍ*.
8. Ballesteros, M. (2011). *Caracterización, especificación y aplicaciones de normas para lubricantes automotores, industriales y embarcaciones*. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4483/1/TESINA%20152.pdf>
9. BARDAHL. (2019). *¿Por qué el aceite lubricante cambia de color? - Bardahl Industria : Bardahl Industria*. Blog. <https://www.bardahlindustria.com/por-que-el-aceite-lubricante-cambia-de-color/>
10. Bart, J. C. J., Gucciardi, E., & Cavallaro, S. (2013). Lubricants: properties and characteristics. In *Biolubricants* (pp. 24–73). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096326.24>

11. Basile, J., & Durán, J. L. (2011). Lubricantes Automotrices: Definición, funciones, clasificación y tendencias . *Programa de Fortalecimiento de Escuelas Técnicas*, 1, 2–43.
12. Behranoil. (2018). *Lubricant Classification*. <https://pdf4pro.com/view/lubricant-classification-behran-oil-company-2f2293.html>
13. Bilbao, M., & Málaga, A. (2012). Contaje de partículas. *Wear Check Iberoamerica*.
14. Bishop, T. (2017, February 16). *Lubricant Packaging*. Lubricant Packaging – Getting the Details Right. <https://www.lubesngreases.com/magazine-emea/93/lubricant-packaging-getting-the-details-right/>
15. Carranza Vásquez, J. A. (2020). Influencia de aceite sintético en los índices de mantenimiento del motor Caterpillar 3512B del camión 785C de la empresa COSAPI MINERÍA S.A.C [Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49998>
16. Castellanos, P., & Zurita, C. (2012a). *Estudio para la construcción de un Banco de Pruebas de Lubricantes y Grasa*.
17. Castellanos, P., & Zurita, C. (2012b). *Estudio para la construcción de un Banco de Pruebas de Lubricantes y Grasa*.
18. Cerny, J., Pospisil, M., & Sebor, G. (2001). Composition and oxidative stability of hydrocracked base oils and comparison with a PAO. *Journal of Synthetic Lubrication*, 18(3), 199–213. <https://doi.org/10.1002/jsl.3000180303>
19. CESVI. (2014). *Daños al motor por mal funcionamiento en el sistema de lubricación*. Manuales. https://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=195&tipo=S
20. CIMAC (International Council on Combustion Engines). (2017). *Cold Corrosion in Marine Two Stroke Engines*. 1, 1–36.
21. Cortés Mesa, A. Y., & Nielsen Avelta, M. S. (2019). *Aprovechamiento de aceite lubricante automotriz usado, como nueva línea de negocio en la empresa EMIR S.A E.S.P.* <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2824>
22. Donaldson Company. (2019). *Conozca los códigos de limpieza ISO | Motores y Vehículos Donaldson*. <https://www.donaldson.com/es-mx/engine/filters/technical-articles/understanding-iso-cleanliness-codes/>

23. Doyle, D. (2019a, March 8). *El papel cambiante del azufre en los aceites de motor de hoy*. Oil Fuel And Coolant Analysis. <https://www.alsglobal.com/%2Fes-co%2Fnews%2Farticulos%2F2019%2F03%2Fel-papel-cambiante-del-azufre-en-los-aceites-de-motor-de-hoy>
24. Doyle, D. (2019b, August 22). *TBN and TAN—What does it Mean?* Oil Fuel And Coolant Analysis. <https://www.alsglobal.com/%2Fen-au%2Fnews%2Farticles%2F2019%2F08%2Ftbn-and-tanwhat-does-it-mean>
25. Dresel, W. (2014). Synthetic Base Oils. In *Encyclopedia of Lubricants and Lubrication*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22647-2_15
26. ENI. (2012, August 12). *Requirements and characteristics of lubricants - Eni*. Lubricant Know-How. https://www.eni.com/en_FR/products-services/automotive-lubricants/lubricant-know-how/requirements-characteristics-lubricants/requirements-characteristics-lubricants.shtml
27. Farnig, L. O., & Rudnick, L. (2003). Lubricant Additives Chemistry and Applications Second Edition. *Lubricant Additives: Chemistry and Application*, CRC Press, 223–257.
28. Fennell, G. (1993, October). *Aceites Lubricantes Minerales: su clasificación, tipos de hidrocarburos y propiedades físicas*. INFORMES TÉCNICOS. <https://www.patriotpower-mpc.com/new/pdf/informes-tecnicos/mod-oct/informe11.pdf>
29. FMS International Inc. (2010). *Comprendiendo la ISO 4406*. <https://fms-filtration.com/comprendiendo-la-iso-4406>
30. Fujita, H., & Spikes, H. A. (2004). The formation of zinc dithiophosphate antiwear films. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 218(4). <https://doi.org/10.1243/1350650041762677>
31. Gao, Y., Sun, R., Zhang, Z., & Xue, Q. (2000). Tribological properties of oleic acid - modified TiO₂ nanoparticle in water. *Materials Science and Engineering A*, 286(1), 149–151. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)00626-2](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)00626-2)
32. Gil, I. (2018, May 6). *LUBRICANTES SINTETICOS*. <https://fdocuments.ec/document/mdulo-siete-lubricantes-sinteticos-brettis-inicio-mayor-biodegradabilidad.html>

33. Gil, J. (2010). Cómo descifrar la nomenclatura de los aceites Lubricantes. *Vida Rural*, 303, 40–43.
34. González, A., & Berrezueta, T. (2019). Evaluación y validación de un sensor para contaje y clasificación de partículas contaminantes en aceites lubricantes: Caso Universidad Politécnica de Valencia. *Polo Del Conocimiento*, 4(6), 259–279. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i6.1010>
35. Hall, N. (2015). *Engine Lubrication System*. National Aeronautics and Space Administration. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/lubesys.html>
36. H.D. Wang, & X.L. Hu. (2005). The study advance on effects of molecular structure of group II, III base oils on the oxidation stability. *Lubricating Oil*, 20(2), 10–14.
37. Hernandez, P. (2018, September 4). *Análisis de la densidad del aceite: cuándo y por qué hacer*. Densidad Del Aceite. <https://www.alsglobal.com/%2Fesco%2Fnews%2Farticulos%2F2018%2F09%2Fanlisis-de-la-densidad-del-aceite-cundo-y-por-qu-hacer>
38. Hurtado, W., & Medina, J. (2014). *Análisis del envejecimiento de Aceites lubricantes de Automotores*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2295/1/T-UCE-0017-62.pdf>
39. Hy-Pro. (2012, October 8). *ISO 4406: ¿Qué significan esos números en los códigos de limpieza ISO?* <https://www.hyprofiltration.com/blog/bid/216397/iso-4406-what-do-those-numbers-mean-in-the-iso-cleanliness-codes>
40. Ilie, F., Covaliu, C., & Chisuiu, G. (2014). Tribological study of ecological lubricants containing titanium dioxide nanoparticles. *Applied Mechanics and Materials*, 658, 323–328. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.658.323>
41. *NTE INEN 2027 “Productos derivados del petróleo. Aceite*, (2011) (testimony of INEN).
42. ISO 4406. (1999). *Hydraulic fluid power-Fluids-Method for coding the level of contamination by solid particles Transmissions hydrauliques-Fluides-Méthode de codification du niveau de pollution particulaire solide COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*.
43. *ISO - ISO 4407: 1991 - Potencia del fluido hidráulico - Contaminación del fluido - Determinación de la contaminación por partículas mediante el método de*

- recuento utilizando un microscopio*, (1991) (testimony of ISO 4407:1991). <https://www.iso.org/standard/10312.html>
44. Jiménez, C. (2016). *Caracterización de aceites de motor por sus propiedades ópticas*.
 45. Lauterwasser, F., Bartels, T., Smolenski, D., & Seemann, M. (2016). Megatrend Fuel Economy: How to Optimize Viscosity with VI Improvers. *SAE Technical Papers, 2016-February*(February). <https://doi.org/10.4271/2016-28-0030>
 46. Leal de Rivas, B. (2014). *Metodología para la caracterización de aceites usados en aviación basada en técnicas espectroscópicas*.
 47. Lu, S. T., & Kaplan, I. R. (2008). Characterization of motor lubricating oils and their oil-water partition. *Environmental Forensics*, 9(4), 295–309. <https://doi.org/10.1080/15275920802119441>
 48. Lubritechdr. (2014). *Los Aceites y Su Clasificación*. El Blog de Lubritechdr.over-Blog.Es. <http://lubritechdr.over-blog.es/article-los-aceites-y-su-clasificacion-59051484.html>
 49. M. Abd-Elfattah, H. Salah, & R. Farouq. (2018). Evaluation of New Antifoaming Agents on Egyptian Lubricating Oil. *10th International Conference on Advances in Science, Engineering and Technology (ICASET-18)*. <https://doi.org/10.17758/URUAE2.AE06181022>
 50. Machinery Lubrication. (2015). *How to Test Flash Point*. Noria Corporation. <https://www.machinerylubrication.com/Read/19/flash-point-test>
 51. Malpa. (2019). *Viscosidad vs Temperatura ambiental - El mito vive* . <http://www.malpa.mx/2019/08/25/viscosidad-vs-temperatura-ambiental-mito-vive/>
 52. Mang, T., & Lingg, G. (2017). Base Oils. In W. Dresel & T. Mang (Eds.), *Lubricants and Lubrication* (pp. 51–82). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9783527645565.ch4>
 53. Mangas, I., Sogorb, M. A., & Vilanova, E. (2014). Lubricating Oils. In *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition* (pp. 670–676). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00525-X>
 54. Marino, I. (2016). *Teoría de Lubricantes (Tribología)* . Teoría de Lubricantes. <https://ingenieromarino.com/lubricantes-tribologia/>

55. MARTIN, J. (2016, December 30). *¿SAE? ¿API? ¿10W40?*. Tipos de Aceite y Características. <https://www.motorpasionmoto.com/accesorios/sae-api-10w40-no-necesitas-una-licenciatura-para-entenderlo>
56. Medina, O. (2011). Evaluación de la gestión integral del manejo de aceite usado vehicular en Bogotá. *Revista Guarracuco*, 18. http://revistas.unimeta.edu.co/index.php/rc_es_guarracuco/article/view/89/82
57. Müller, R. (2017). Laboratory Methods for Testing Lubricants. In *Lubricants and Lubrication*. <https://doi.org/10.1002/9783527645565.ch18>
58. Neste Worldwide. (2020). *Basic concepts of lubricants*. Lubricants. <https://www.neste.com/products/all-products/fossil-products/lubricants/basic-concepts-lubricants#7157852c>
59. Noria Latín América. (2016). *Analizando el color del aceite*. <https://noria.mx/lublearn/analizando-el-color-del-aceite/>
60. Paneque, P., García, A., Ruiz, M., Romantchik, E., & Gómez, M. (2015). *La contaminación del aceite de motor SAE 15W40*. 5(3), 22–28.
61. Pawlak Z. (2003). *Tribochemistry of Lubricating Oils* (ELSEVIER, Ed.; First, Vol. 45).
62. Pirro, D., Webster, M., & Daschner, E. (2016). *Lubrication Fundamentals, Third Edition, Revised and Expanded* (Third Edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19217>
63. Ponomarenko, A. G., Burlov, A. S., Boiko, M. v., Shiryayeva, T. A., Kalmykova, A. G., Zaichenko, S. B., & Milutka, M. S. (2015). Investigation of tribochemical processes in lubricating compositions that contain coordination compounds of transition metals. *Journal of Friction and Wear*, 36(1), 15–22. <https://doi.org/10.3103/S1068366615010122>
64. Puhan, D. (2021). Lubricant and Lubricant Additives. In *Tribology in Materials and Manufacturing - Wear, Friction and Lubrication*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93830>
65. Rahimi, B., Semnani, A., Nezamzadeh-Ejhieh, A., Shakoori Langeroodi, H., & Hakim Davood, M. (2012). Monitoring of the physical and chemical properties of a gasoline engine oil during its usage. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1(1). <https://doi.org/10.1155/2012/819524>

66. Reliabilityweb. (2001). *Control de Contaminación en Sistemas hidráulicos y lubricantes*. A Culture of Reliability. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/control-de-contaminacion-en-sistemas-hidraulicos-y-lubricantes>
67. Rizvi, S. Q. A. (2009). Chapter 2: Mineral Base Oils. In *A Comprehensive Review of Lubricant Chemistry, Technology, Selection, and Design*. <https://doi.org/10.1520/mnl11462m>
68. Sanz, A. (2014, March 28). *Lubricantes de Automoción*. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn68.html>
69. Seddon, E. J., Friend, C. L., & Roski, J. P. (2010). Detergents and dispersants. In *Chemistry and Technology of Lubricants: Third Edition* (pp. 213–236). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1023/b105569_7
70. Serac Group. (2019). *Llenadora-taponadora Serac FC*. <https://www.serac-group.com/machine/fc/>
71. Soleimani, M., Dehabadi, L. , Wilson, L. D., & Tabil, L. G. (2018). *Lubrication - Tribology, Lubricants and Additives* (D. W. Johnson, Ed.; Vol. 20). InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69833>
72. Spectro Scientific. (2017). *Guide to Measuring TAN and TBN in Oil* (3rd ed.). <https://info.spectrosci.com/oil-analysis-handbook-download>
73. Speight, J. G. (1999). The chemical and physical structure of petroleum: effects on recovery operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 22(1–3), 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(98\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(98)00051-5)
74. Spikes, H. (2004). *The history and mechanisms of ZDDP*. 17(3), 469–489.
75. Stambaugh, R., & Kinker, B. (2010). Chemistry and Technology of Lubricants. In *Chemistry and Technology of Lubricants* (Third). <https://doi.org/10.1023/b105569>
76. Stout, S. A., Litman, E., & Blue, D. (2018). Metal concentrations in used engine oils: Relevance to site assessments of soils. *Environmental Forensics*, 19(3). <https://doi.org/10.1080/15275922.2018.1474288>
77. Sullivan, M. J. (2005). Oil, Lubricating. In *Encyclopedia of Toxicology* (pp. 295–297). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369400-0/00708-0>
78. Taylor & Francis Group. (2017). *2 Lubricant Base Stock Production and Application*.

79. Vazquez-Duhalt, R. (1989). Environmental impact of used motor oil. *Science of The Total Environment*, 79(1), 1–23. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90049-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90049-1)
80. Xu, X., Hu, J. Q., Xie, F., Guo, L., Ma, J., & Yang, S. Z. (2018). The synergistic antiwear performances of organic titanium compounds containing sulfur with borate ester additive. *Journal of Spectroscopy*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2576896>
81. Ye, W., Cheng, T., Ye, Q., Guo, X., Zhang, Z., & Dang, H. (2003). Preparation and tribological properties of tetrafluorobenzoic acid-modified TiO₂ nanoparticles as lubricant additives. *Materials Science and Engineering A*, 359(1–2), 82–85. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(03\)00353-8](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(03)00353-8)
82. Zhang, J., & Spikes, H. (2016). On the Mechanism of ZDDP Antiwear Film Formation. *Tribology Letters*, 63(2), 1–15. <https://doi.org/10.1007/S11249-016-0706-7>

ANEXOS


ANEXO 1. IMPORTACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

Marca	Aplicación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Litros
PHILLIPS	AUTOMOTRIZ GASOLINA	53532,71	0,00	88916,04	44919,19	23787,00	30374,75	2400,00	144,00	34409,38	15036,21	55431,10	25725,72	374.676,10
ACDelco		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1362,24	0,00	681,12	0,00	681,12	2.724,48
AMALIE		449987,07	291953,69	126054,22	158118,55	313969,64	198529,72	306338,25	308946,40	253353,84	328331,50	611711,22	195281,83	3.542.575,93
Aral		0,00	1596,00	0,00	5080,00	0,00	1440,00	0,00	4800,00	9148,00	0,00	0,00	7466,00	29.530,00
CHEVRON		20393,58	1419,38	13046,90	45249,68	16691,85	21994,64	13126,38	0,00	16691,85	13557,87	5109,75	25702,04	192.983,92
ENI		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3122,63	2081,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5.204,39
FUCHS		20,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	6140,00	7455,00	0,00	1420,00	0,00	0,00	15.235,00
HYNDAI XTEE		17800,00	0,00	0,00	12000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29.800,00
KENDALL		598932,08	925808,39	848451,15	50637,44	530614,76	664341,21	393340,19	1877807,55	133749,89	226021,88	612609,39	33620,23	6.895.934,16
KIXX				78609,44	135768,32	46415,48	26109,60							286.902,84
KRONEN		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00	200,00
L.E.		5300,55	0,00	0,00	9382,74	0,00	5736,76	0,00	5923,69	0,00	1646,79	0,00	0,00	27.990,53
MAG 1		1309,75	0,00	0,00	50268,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51.578,10
MANNOL		0,00	0,00	19940,00	0,00	0,00	0,00							19.940,00
MOBIL		92195,85	83391,29	132405,09	275100,78	25793,50	165271,27	180117,55	132156,68	45261,03	39568,01	140041,22	16843,76	1.328.146,03
NAPA		0,00	0,00	0,00	0,00			7857,66						7.857,66
PENNZOIL		33233,32	4970,00	50802,20	53117,50	48670,50	85317,50	55217,50						331.328,52
RALOY		5300,55	0,00	0,00	9382,74	0,00	5736,76	0,00	5923,69	0,00	0,00	0,00	0,00	26.343,74
REPSOL		20479,79	52479,33	0,00	7679,98	0,00	16479,88	0,00	0,00	12959,96	0,00	42839,87	26399,70	179.318,51
ROSHFRANS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12195,00	0,00	0,00	5350,00	17.545,00
SHELL	55726,00	80780,00	130140,00	210300,00	126523,20	206524,00	146984,00						956.977,20	
TERPEL	0,00	107316,43	0,00	56781,18	0,00	0,00	79493,65						243.591,26	
TOP 1	46056,00	42548,00	160020,00	57564,00	83844,00	88616,00	87016,00	134012,00	56344,00	177176,00	57360,00	119120,00	1.109.676,00	
TOTAL	8320,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8.320,00	
VALVOLINE	5549,76	5566,79	3721,60	4706,65	14589,28	3873,00	27657,94	25719,08	0,00	32810,27	630,20	32270,91	157.095,48	
VISTONY	18720,00	9360,00	10800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	720,00	7200,00	5520,00	3120,00	55.440,00	
XTEER		20800,00		32000,00		20000,00		24000,00		12000,00			108.800,00	

ANEXO II. INFORME DE RESULTADOS

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Edición:	01
		Fecha	2020-02-10
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Página	1 de 1
			FRP7.801

24-I-LACBAL-2020-05						
INFORMACIÓN LACBAL:	DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.				
	TELÉFONOS	022976-300 Ext. 4329/4328/4317				
	E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec				
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	tania.parra@epn.edu.ec				
	DIRECCIÓN	Escuela Politécnica Nacional				
	NÚMERO DE MUESTRAS	6				
INFORMACIÓN GENERAL						
RESPONSABLE DEL INFORME	Quim. Alisson Hernández	TIPO CLIENTE	INTERNO			
FECHA	RECEPCIÓN DE MUESTRA EN LACBAL	2020-08-17	FECHA TRANSPORTE	NO APLICA		
	INICIO DE ENSAYO	2020-08-25	N° PROFORMA	NA		
	ENTREGA DE INFORME	2020-08-19	N° FACTURA	NA		
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:						
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
Aceite Lubricante NUEVO	A00	06-01	Aceite lubricante	Plástico	200mL	
CONDICIONES AMBIENTALES:						
TEMPERATURA [°C]	18,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72,9	
RESULTADOS OBTENIDOS:						
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO		
06-01	Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM-D445	mm ² /s	17,5		
	Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM-D445	mm ² /s	166,2		
	Contenido de metales	ASTM-D6595	Plata	mg/Kg (ppm)	0	
			Aluminio	mg/Kg (ppm)	0,6	
			Boro	mg/Kg (ppm)	3,44	
			Bario	mg/Kg (ppm)	0	
			Calcio	mg/Kg (ppm)	760,22	
			Cadmio	mg/Kg (ppm)	0	
			Cromo	mg/Kg (ppm)	0,02	
			Cobre	mg/Kg (ppm)	0,02	
			Hierro	mg/Kg (ppm)	2,1	
			Potasio	mg/Kg (ppm)	1,28	
			Litio	mg/Kg (ppm)	0,01	
			Magnesio	mg/Kg (ppm)	482,96	
			Manganeso	mg/Kg (ppm)	0,43	
			Molibdeno	mg/Kg (ppm)	1,3	
			Sodio	mg/Kg (ppm)	3,9	
			Niquel	mg/Kg (ppm)	0	
			Fosforo	mg/Kg (ppm)	576,09	
			Plomo	mg/Kg (ppm)	0	
			Antimonio	mg/Kg (ppm)	0	
	Silicio	mg/Kg (ppm)	0			
	Estaño	mg/Kg (ppm)	0,56			
	Titanio	mg/Kg (ppm)	0			
	Vanadio	mg/Kg (ppm)	0,56			
	Zinc	mg/Kg (ppm)	924,73			
	Conteo de partículas	ASTM-D6786	>4um	partes/1ml	11010,2	
			>6um	partes/1ml	3136,3	
			>14um	partes/1ml	56	
			Número ISO		21/19/13	
	Contenido de azufre	ASTM-D4294-16e1		mg/Kg	5547	
	Número básico (TBN)	ASTM-D2896		mg KOH/g	7,71	
	Punto de escurrimiento	ASTM-D97		°C	-36	
Punto de inflamación copa abierta	ASTM-D92		°C	226		
Tendencia a la espuma	ASTM-D891		0	0		
Cenizas sulfatadas	ASTM-D874		0	0		
Índice de viscosidad	ASTM D2270		---	115		
Contenido de agua por destilación	ASTM-D95		0	0		



Q.A. MELISSA ALBUJA

LACBAL
LABORATORIO DE COMBUSTIBLES
BIOCOMBUSTIBLES
Y ACEITES LUBRICANTES

RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL

NOTAS ACLARATORIAS

- Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
- Los métodos que constan de un *, son aquellos métodos acreditados.
- Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
- Cuando aplique, se realizan los ensayos sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.
- El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que el lugar para todas las actividades con realizadas en las instalaciones de LACBAL.
- En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos de la norma INEN 2336 ítem 7. TRANSPORTE.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Edición:	01
		Fecha	2020-02-10
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Página	1 de 1
			FRP7.801

24-I-LACBAL-2020-05						
INFORMACIÓN LACBAL:	DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.				
	TELÉFONOS	022976-300 Ext. 4329/4328/4317				
	E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec				
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	tania.parra@epn.edu.ec				
	DIRECCIÓN	Escuela Politécnica Nacional				
	NÚMERO DE MUESTRAS	6				
INFORMACIÓN GENERAL						
RESPONSABLE DEL INFORME		Quím. Alisson Hernández	TIPO CLIENTE		INTERNO	
FECHA	RECEPCIÓN DE MUESTRA EN LACBAL	2020-08-17	FECHA TRANSPORTE		NO APLICA	
	INICIO DE ENSAYO	2020-08-25	N° PROFORMA		NA	
	ENTREGA DE INFORME	2020-08-19	N° FACTURA		NA	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:						
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
Aceite Lubricante NUEVO	K00	06-17	Aceite lubricante	Plástico	200 mL	
CONDICIONES AMBIENTALES:						
TEMPERATURA [°C]	18,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72,9	
RESULTADOS OBTENIDOS:						
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO		UNIDAD	VALOR OBTENIDO	
06-17	Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM-D445		mm ² /s	20,1	
	Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM-D445		mm ² /s	172,2	
	Contenido de metales		ASTM-D6595	Plata	mg/Kg (ppm)	0
				Aluminio	mg/Kg (ppm)	0,38
				Boro	mg/Kg (ppm)	148
				Bario	mg/Kg (ppm)	0
				Calcio	mg/Kg (ppm)	1098
				Cadmio	mg/Kg (ppm)	0
				Cromo	mg/Kg (ppm)	0,03
				Cobre	mg/Kg (ppm)	0,01
				Hierro	mg/Kg (ppm)	0,96
				Potasio	mg/Kg (ppm)	0,18
				Litio	mg/Kg (ppm)	0,01
				Magnesio	mg/Kg (ppm)	444,71
				Manganeso	mg/Kg (ppm)	0,2
				Molibdeno	mg/Kg (ppm)	14,23
				Sodio	mg/Kg (ppm)	1,34
				Niquel	mg/Kg (ppm)	0
				Fosforo	mg/Kg (ppm)	678,84
				Plomo	mg/Kg (ppm)	1,15
	Antimonio	mg/Kg (ppm)	0			
	Silicio	mg/Kg (ppm)	10,37			
	Estaño	mg/Kg (ppm)	0,72			
	Titanio	mg/Kg (ppm)	75,2			
	Vanadio	mg/Kg (ppm)	0,69			
	Zinc	mg/Kg (ppm)	983,66			
	Conteo de partículas		ASTM-D6786	>4um	partes/1ml	11342,1
>6um				partes/1ml	1115,8	
>14um				partes/1ml	22,5	
			Número ISO		21/17/12	
Contenido de azufre		ASTM-D4294-16e1		mg/Kg	3157	
Número básico (TBN)		ASTM-D2896		mg KOH/g	8,93	
Punto de escurrimiento		ASTM-D97		°C	-33	
Punto de inflamación copa abierta		ASTM-D92		°C	230	
Tendencia a la espuma		ASTM-D891		0	0	
Cenizas sulfatadas		ASTM-D874		0	0	
Índice de viscosidad		ASTM D2270		---	136	
Contenido de agua por destilación		ASTM-D95		0	0	

 Q.A. MELISSA ALBUJA	 LACBAL <small>LABORATORIO DE COMBUSTIBLES PROCESOS DE COMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES</small>
RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL	

NOTAS ACLARATORIAS

- Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
- Los métodos que constan de un *, son aquellos métodos acreditados.
- Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
- Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.
- El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que el lugar para todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
- En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos de la norma INEN 2336 ítem 7. TRANSPORTE.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Edición:	01
		Fecha	2020-02-10
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Página	1 de 1
			FRP7.801

24-I-LACBAL-2020-05					
INFORMACIÓN LACBAL:	DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.			
	TELÉFONOS	022976-300 Ext. 4329/4328/4317			
	E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec			
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	tania.parra@epn.edu.ec			
	DIRECCIÓN	Escuela Politécnica Nacional			
	NÚMERO DE MUESTRAS	6			
INFORMACIÓN GENERAL					
RESPONSABLE DEL INFORME	Quim. Alisson Hernández		TIPO CLIENTE	INTERNO	
FECHA	RECEPCIÓN DE MUESTRA EN LACBAL	2020-08-17	FECHA TRANSPORTE	NO APLICA	
	INICIO DE ENSAYO	2020-08-25	Nº PROFORMA	NA	
	ENTREGA DE INFORME	2020-08-19	Nº FACTURA	NA	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
Aceite Lubricante NUEVO	M00	06-27	Aceite lubricante	Plástico	200 mL
CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72,9
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO		UNIDAD	VALOR OBTENIDO
06-27	Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM-D445		mm ² /s	19,2
	Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM-D445		mm ² /s	152
	Contenido de metales	ASTM-D6595	Plata	mg/Kg (ppm)	0
			Aluminio	mg/Kg (ppm)	0,07
			Boro	mg/Kg (ppm)	0,07
			Bario	mg/Kg (ppm)	0
			Calcio	mg/Kg (ppm)	1161
			Cadmio	mg/Kg (ppm)	0
			Cromo	mg/Kg (ppm)	0
			Cobre	mg/Kg (ppm)	0,02
			Hierro	mg/Kg (ppm)	58
			Potasio	mg/Kg (ppm)	0,3
			Litio	mg/Kg (ppm)	0
			Magnesio	mg/Kg (ppm)	21,08
			Manganeso	mg/Kg (ppm)	0
			Molibdeno	mg/Kg (ppm)	0
			Sodio	mg/Kg (ppm)	288,18
			Niquel	mg/Kg (ppm)	0
			Fosforo	mg/Kg (ppm)	947,81
			Plomo	mg/Kg (ppm)	0
			Antimonio	mg/Kg (ppm)	0
			Silicio	mg/Kg (ppm)	0
	Estaño	mg/Kg (ppm)	0		
	Titanio	mg/Kg (ppm)	0		
	Vanadio	mg/Kg (ppm)	0,04		
	Zinc	mg/Kg (ppm)	955,17		
	Conteo de partículas	ASTM-D6786	>4um	partes/1ml	523895
>6um			partes/1ml	51021	
>14um			partes/1ml	6	
		Número ISO		26/23/10	
Contenido de azufre	ASTM-D4294-16e1		mg/Kg	7717,5	
Número básico (TBN)	ASTM-D2896		mg KOH/g	6,22	
Punto de inflamación copa abierta	ASTM-D92		°C	242	
Punto de escurrimiento	ASTM-D97		°C	-33	
Índice de viscosidad	ASTM D2270		---	144	

 Q.A. MELISSA ALBUJA	 LABORATORIO DE COMBUSTIBLES BIOCOMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES
RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL	

NOTAS ACLARATORIAS

- Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
- Los métodos que constan de un *, son aquellos métodos acreditados.
- Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
- Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.
- El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que el lugar para todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
- En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos de la norma INEN 2336 ítem 7. TRANSPORTE.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Edición:	01
		Fecha	2020-02-10
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Página	1 de 1
			FRP7.801

24-I-LACBAL-2020-05					
INFORMACIÓN LACBAL:	DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.			
	TELÉFONOS	022976-300 Ext. 4329/4328/4317			
	E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec			
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	tania.parra@epn.edu.ec			
	DIRECCIÓN	Escuela Politécnica Nacional			
	NÚMERO DE MUESTRAS	6			
INFORMACIÓN GENERAL					
RESPONSABLE DEL INFORME		Quim. Alisson Hernández	TIPO CLIENTE		INTERNO
FECHA	RECEPCIÓN DE MUESTRA EN LACBAL	2020-08-17	FECHA TRANSPORTE		NO APLICA
	INICIO DE ENSAYO	2020-08-25	N° PROFORMA		NA
	ENTREGA DE INFORME	2020-08-19	N° FACTURA		NA
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
Aceite Lubricante NUEVO	S00	06-37	Aceite lubricante	Plástico	200 mL
CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72,9
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO		UNIDAD	VALOR OBTENIDO
06-37	Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM-D445		mm ² /s	17,8
	Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM-D445		mm ² /s	151
	Contenido de metales	ASTM-D6595	Plata	mg/Kg (ppm)	0
			Aluminio	mg/Kg (ppm)	0,37
			Boro	mg/Kg (ppm)	72,1
			Bario	mg/Kg (ppm)	0
			Calcio	mg/Kg (ppm)	1576
			Cadmio	mg/Kg (ppm)	0
			Cromo	mg/Kg (ppm)	0
			Cobre	mg/Kg (ppm)	0,09
			Hierro	mg/Kg (ppm)	0,57
			Potasio	mg/Kg (ppm)	0,25
			Litio	mg/Kg (ppm)	0,06
			Magnesio	mg/Kg (ppm)	10,67
			Manganeso	mg/Kg (ppm)	0
			Molibdeno	mg/Kg (ppm)	133,22
			Sodio	mg/Kg (ppm)	1,52
			Niquel	mg/Kg (ppm)	0
			Fosforo	mg/Kg (ppm)	613,91
			Plomo	mg/Kg (ppm)	0
			Antimonio	mg/Kg (ppm)	0,41
			Silicio	mg/Kg (ppm)	0
	Estaño	mg/Kg (ppm)	1,9		
	Titanio	mg/Kg (ppm)	0		
	Vanadio	mg/Kg (ppm)	0		
	Conteo de partículas	ASTM-D6786	>4um	partes/1ml	22632
			>6um	partes/1ml	4794
>14um			partes/1ml	144	
Número ISO				22/19/14	
Contenido de azufre	ASTM-D4294-16e1		mg/Kg	1976,2	
Número básico (TBN)	ASTM-D2896		mg KOH/g	6,19	
Punto de escurrimiento	ASTM-D97		°C	-36	
Punto de inflamación copa abierta	ASTM-D92		°C	256	
Tendencia a la espuma	ASTM-D891		0	0	
Cenizas sulfatadas	ASTM-D874		0	0	
Índice de viscosidad	ASTM D2270		---	130	
Contenido de agua por destilación	ASTM-D95		0	0	

 Q.A. MELISSA ALBUJA	 LACBAL <small>LABORATORIO DE COMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES</small>
RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL	

NOTAS ACLARATORIAS

- Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
- Los métodos que constan de un *, son aquellos métodos acreditados.
- Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
- Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.
- El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que el lugar para todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
- En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos de la norma INEN 2336 ítem 7. TRANSPORTE.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Edición:	01
		Fecha	2020-02-10
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Página	1 de 1
			FRP7.801

24-I-LACBAL-2020-05					
INFORMACIÓN LACBAL:	DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.			
	TELÉFONOS	022976-300 Ext. 4329/4328/4317			
	E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec			
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	tania.parra@epn.edu.ec			
	DIRECCIÓN	Escuela Politécnica Nacional			
	NÚMERO DE MUESTRAS	6			
INFORMACIÓN GENERAL					
RESPONSABLE DEL INFORME		Quim. Alisson Hernández	TIPO CLIENTE		INTERNO
FECHA	RECEPCIÓN DE MUESTRA EN LACBAL	2020-08-17	FECHA TRANSPORTE		NO APLICA
	INICIO DE ENSAYO	2020-08-25	N° PROFORMA		NA
	ENTREGA DE INFORME	2020-08-19	N° FACTURA		NA
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
Aceite Lubricante NUEVO	T00	06-36	Aceite lubricante	Plástico	200 mL
CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72,9
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO		UNIDAD	VALOR OBTENIDO
06-36	Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM-D445		mm ² /s	18,5
	Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM-D445		mm ² /s	150
	Contenido de metales	ASTM-D6595	Plata	mg/Kg (ppm)	0
			Aluminio	mg/Kg (ppm)	2,42
			Boro	mg/Kg (ppm)	97,68
			Bario	mg/Kg (ppm)	0
			Calcio	mg/Kg (ppm)	1193
			Cadmio	mg/Kg (ppm)	0
			Cromo	mg/Kg (ppm)	0
			Cobre	mg/Kg (ppm)	0,01
			Hierro	mg/Kg (ppm)	1,78
			Potasio	mg/Kg (ppm)	0,05
			Litio	mg/Kg (ppm)	0
			Magnesio	mg/Kg (ppm)	8,54
			Manganeso	mg/Kg (ppm)	0
			Molibdeno	mg/Kg (ppm)	4540
			Sodio	mg/Kg (ppm)	2,11
			Niquel	mg/Kg (ppm)	0,15
			Fosforo	mg/Kg (ppm)	836,22
			Plomo	mg/Kg (ppm)	0,35
	Antimonio	mg/Kg (ppm)	0		
	Silicio	mg/Kg (ppm)	0		
	Estaño	mg/Kg (ppm)	0		
	Titanio	mg/Kg (ppm)	0		
	Vanadio	mg/Kg (ppm)	0,4		
	Zinc	mg/Kg (ppm)	708,23		
	Conteo de partículas	ASTM-D6786	>4um	partes/1ml	13382
			>6um	partes/1ml	3280
>14um			partes/1ml	49	
Número ISO				21/19/13	
Contenido de azufre	ASTM-D4294-16e1		mg/Kg	4148,9	
Número básico (TBN)	ASTM-D2896		mg KOH/g	10,1	
Punto de escurrimiento	ASTM-D97		°C	-45	
Punto de inflamación copa abierta	ASTM-D92		°C	236	
Tendencia a la espuma	ASTM-D891		0	0	
Cenizas sulfatadas	ASTM-D874		0	0	
Índice de viscosidad	ASTM D2270		---	139	
Contenido de agua por destilación	ASTM-D95		0	0	

 Q.A. MELISSA ALBUJA	 LACBAL LABORATORIO DE COMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES
RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL	

NOTAS ACLARATORIAS

- Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
- Los métodos que constan de un *, son aquellos métodos acreditados.
- Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
- Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.
- El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que el lugar para todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
- En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos de la norma INEN 2336 ítem 7. TRANSPORTE.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Edición:	01
		Fecha	2020-02-10
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Página	1 de 1
			FRP7.801

24-I-LACBAL-2020-05					
INFORMACIÓN LACBAL:	DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.			
	TELÉFONOS	022976-300 Ext. 4329/4328/4317			
	E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec			
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	tania.parra@epn.edu.ec			
	DIRECCIÓN	Escuela Politécnica Nacional			
	NÚMERO DE MUESTRAS	6			
INFORMACIÓN GENERAL					
RESPONSABLE DEL INFORME		Quím. Alisson Hernández	TIPO CLIENTE		INTERNO
FECHA	RECEPCIÓN DE MUESTRA EN LACBAL	2020-08-17	FECHA TRANSPORTE		NO APLICA
	INICIO DE ENSAYO	2020-08-25	N° PROFORMA		NA
	ENTREGA DE INFORME	2020-08-19	N° FACTURA		NA
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
Aceite Lubricante NUEVO	V00	06-35	Aceite lubricante	Plástico	200 mL
CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72,9
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO		UNIDAD	VALOR OBTENIDO
06-35	Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM-D445		mm ² /s	17,1
	Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM-D445		mm ² /s	135
	Contenido de metales	ASTM-D6595	Plata	mg/Kg (ppm)	0
			Aluminio	mg/Kg (ppm)	47
			Boro	mg/Kg (ppm)	53,98
			Bario	mg/Kg (ppm)	0
			Calcio	mg/Kg (ppm)	1483
			Cadmio	mg/Kg (ppm)	0
			Cromo	mg/Kg (ppm)	0
			Cobre	mg/Kg (ppm)	0,07
			Hierro	mg/Kg (ppm)	1,14
			Potasio	mg/Kg (ppm)	1,32
			Litio	mg/Kg (ppm)	0
			Magnesio	mg/Kg (ppm)	12,86
			Manganeso	mg/Kg (ppm)	0
			Molibdeno	mg/Kg (ppm)	0
			Sodio	mg/Kg (ppm)	4,34
			Niquel	mg/Kg (ppm)	0,03
			Fosforo	mg/Kg (ppm)	658,5
			Plomo	mg/Kg (ppm)	0
	Antimonio	mg/Kg (ppm)	0		
	Silicio	mg/Kg (ppm)	0		
	Estaño	mg/Kg (ppm)	0		
	Titanio	mg/Kg (ppm)	0		
	Vanadio	mg/Kg (ppm)	0,07		
	Zinc	mg/Kg (ppm)	883,18		
	Conteo de partículas	ASTM-D6786	>4um	partes/1ml	18566
>6um			partes/1ml	2333	
>14um			partes/1ml	63	
Número ISO				21/18/13	
Contenido de azufre	ASTM-D4294-16e1		mg/Kg	1564,7	
Número básico (TBN)	ASTM-D2896		mg KOH/g	13,3	
Punto de escurrimiento	ASTM-D97		°C	-33	
Punto de inflamación copa abierta	ASTM-D92		°C	230	
Tendencia a la espuma	ASTM-D891		0	0	
Cenizas sulfatadas	ASTM-D874		0	0	
Índice de viscosidad	ASTM D2270		---	138	
Contenido de agua por destilación	ASTM-D95		0	0	

	
Q.A. MELISSA ALBUJA	LABORATORIO DE COMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES
RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL	

NOTAS ACLARATORIAS

- Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
- Los métodos que constan de un *, son aquellos métodos acreditados.
- Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
- Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.
- El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que el lugar para todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
- En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos de la norma INEN 2336 ítem 7. TRANSPORTE.