

Diagnóstico y propuesta de un protocolo de lubricación para motores de ciclo otto en la empresa
Coexito SAS en la ciudad de Cúcuta

Juan Danilo Márquez Flórez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Ingeniería Automotriz

Jair Elías Araujo Vargas

Magister en Controles Industriales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Ingeniería Automotriz

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado a mi familia, por su apoyo constante, comprensión y aliento durante el desarrollo de esta especialización. Agradezco especialmente a quienes confiaron en mí y me motivaron a continuar creciendo a nivel personal y profesional.

Agradecimientos

A la universidad y a los docentes de la especialización, por los conocimientos impartidos y la orientación académica brindada durante este proceso de formación.

De manera especial, agradezco a mi director por su acompañamiento, disposición y valiosos aportes que permitieron el adecuado desarrollo y culminación de este trabajo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Planteamiento Del Problema Y Justificación	13
2. Objetivos	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. Análisis De La Literatura Recopilada.....	16
3.1. Marco Teórico.....	16
3.2. Marco Conceptual.....	17
3.2.1. Tribología.....	17
3.2.2. Tribología y Lubricación ¿En qué Consiste?	18
3.2.3. Lubricación	19
3.2.3.1. Breve Recordatorio Histórico	19
3.2.3.2. Objetivos y Campos de Aplicación.....	20
3.2.3.3. Tipos de Lubricación	21
3.2.3.4. Estabilidad de la Lubricación.....	24
3.2.3.5. Materia Prima para Lubricantes.....	25
3.2.3.5.1. Tipo de Bases.....	25
3.2.3.5.2. Aditivos.....	28
3.2.3.6. Propiedades Generales de los Lubricantes.....	31
3.2.3.6.1. Propiedades Físicas.....	31
3.2.3.6.2. Propiedades Superficiales	35

3.2.3.6.3.	Características de un Lubricante.....	39
3.2.3.7.	Sistema ISO	44
3.2.3.7.1.	Características del Sistema ISO	44
3.2.3.8.	Tipos de Lubricantes.....	45
3.2.3.8.1.	Aceites Lubricantes.....	45
3.2.3.9.	El Impacto del Desgaste en los Mecanismos Lubricados.....	47
3.2.3.9.1.	Tipos de Desgaste	48
3.2.3.9.2.	Consecuencias del Desgaste	49
3.3.	Marco Legal	49
4.	Segundo Capitulo.....	51
4.1.	Objetivo 1.....	51
4.1.1.	Lubricante	51
4.1.2.	Características de los Lubricantes.....	52
4.1.3.	Función del Lubricante	54
4.1.4.	Clasificación de Lubricantes.....	55
4.1.4.1.	Tipos de Lubricantes.....	57
4.1.4.1.1.	Clasificación por su Tipo de Origen.....	58
4.1.5.	Comportamiento de los Lubricantes a Bajas Temperaturas	60
4.1.6.	Prácticas actuales de lubricación en el servicio a clientes de Coexito S.A.S	64
5.	Tercer Capitulo	66
5.1.	Objetivo 2.....	66
5.2.	Principios Técnicos del Intervalo de Cambio de Aceite.....	67
5.2.1.	Función del Aceite en motores Otto	67

5.2.2.	Factores que Determinan la Vida Útil del Aceite	68
5.3.	Recomendaciones de los Fabricantes OEM.....	68
5.3.1.	Intervalos típicos según especificación OEM.....	68
5.4.	Comparación Técnica: OEM vs Prácticas Reales.....	72
5.4.1.	Intervalos Extendidos más Allá del OEM	72
5.4.2.	Intervalos más Cortos que los OEM	73
5.4.3.	Influencia del Tipo de Aceite.....	74
5.4.4.	Síntesis comparativa aplicada al contexto de Cúcuta y Coexito S.A.S.	75
6.	Cuarto Capitulo.....	78
6.1.	Objetivo 3.....	78
6.2.	Justificación de la Propuesta.....	78
6.3.	Protocolo Técnico Propuesto	79
	Plan de implementación y socialización	80
	Conclusiones.....	82
	Referencias Bibliográficas	84

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Comparación de las Propiedades de las Bases.....	27
Tabla 2. Ejemplos de Aditivos Usados en el Petróleo	29
Tabla 3. Aditivos Usados en la Grasas Lubricantes	29
Tabla 4. Aditivos Usados en Aceites Lubricantes	30
Tabla 5. Estándares internacionales para la selección de aceite de motor.....	40
Tabla 6. Clasificación de los Diferentes Tipos de Aceites Básicos Según API	46
Tabla 7. Comparación de viscosidades SAE y criterios de aplicación (motores Otto)	62
Tabla 8. Comparación Viscosidades.....	63
Tabla 9. Matriz Decisión Intervalo Cambio de Aceite	75

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Película de Lubricante entre dos Cuerpos en Contacto</i>	20
Figura 2. <i>Curva de Stribeck</i>	23
Figura 3. <i>Efecto de la Viscosidad en la Lubricación</i>	25
Figura 4. <i>Sociedad de Ingenieros Automotrices</i>	41
Figura 5. <i>Instituto Americano de Petróleo</i>	42
Figura 6. <i>Línea del Tiempo API</i>	43
Figura 7. <i>Composición del Lubricante Automotriz</i>	53
Figura 8. <i>Formación y Aplicación Controlada del Aceite</i>	55
Figura 9. <i>Relación entre Intervalo de Cambio de Aceite y Desgaste del Motor</i>	71
Figura 10. <i>Riesgo Técnico Asociado a la Desviación del Intervalo OEM</i>	73
Figura 11. <i>Tipo de Aceite Vs Intervalo de Cambio Recomendado</i>	74

Glosario

ACEA: asociación de Constructores Europeos de Automóviles. Publica secuencias de desempeño para aceites de motor.

API: american Petroleum Institute. Define categorías de servicio (p. ej., SN, SP) y el sistema de licenciamiento EOLCS.

HTHS: viscosidad a alta temperatura y alto corte; relacionada con el espesor de película en zonas críticas del motor.

ILSAC: international Lubricant Specification Advisory Committee; define especificaciones GF para aceites de motor (p. ej., GF-6A/GF-6B).

Índice de viscosidad: indicador de la variación de la viscosidad con la temperatura; a mayor valor, menor cambio relativo.

LSPI: pre-ignición a baja velocidad; fenómeno relevante en motores gasolina de inyección directa y turbo, mitigado por aceites modernos. Resumen

NOACK: ensayo de volatilidad del aceite; estima la tendencia a evaporación a alta temperatura.

OEM: original equipment manufacturer; fabricante del vehículo/motor que establece requisitos y aprobaciones para el lubricante.

SAE J300: norma de SAE International que clasifica la viscosidad del aceite de motor (grados 0W–25W y 20–60).

TAN: número ácido total; estima la acidez del aceite; tiende a aumentar con la degradación.

TBN: número básico total; mide la reserva alcalina para neutralizar ácidos formados por oxidación y combustión.

Resumen

Título: Diagnóstico y propuesta de un protocolo de lubricación para motores de ciclo Otto en la empresa Coéxito S.A.S. en la ciudad de Cúcuta.

Autor: Juan Danilo Márquez Flórez

Palabras Clave: tribología; lubricación; aceite de motor; motores de ciclo Otto; SAE J300; API SP; intervalo de cambio de aceite.

Descripción: El proyecto desarrolla el diagnóstico y la propuesta de un protocolo técnico de lubricación orientado a motores de ciclo Otto en la ciudad de Cúcuta, considerando su clima cálido y patrones de uso urbano. Se integran criterios tribológicos, normativos (SAE/API/ACEA) y de fabricante (OEM) para seleccionar el aceite y definir intervalos de cambio acordes con condiciones normales y severas, buscando reducir decisiones empíricas y mejorar la confiabilidad del motor.

El estudio se apoya en el análisis de los principios de la tribología, la lubricación y las propiedades físico-químicas de los lubricantes, así como en la revisión de normas y clasificaciones internacionales como SAE, API e ISO. Se realiza una caracterización de las prácticas actuales de lubricación y se evalúa el impacto técnico-operativo de la selección del lubricante y de los intervalos de cambio utilizados, contrastándolos con las especificaciones recomendadas para motores de ciclo Otto que operan bajo condiciones severas. Como resultado, se formula un protocolo de lubricación técnicamente fundamentado y adaptado al contexto operativo de Cúcuta, orientado a optimizar el desempeño del motor, reducir el desgaste de componentes, mejorar la confiabilidad mecánica y disminuir los costos de mantenimiento. Adicionalmente, se propone una estrategia de implementación basada en la socialización del protocolo y la capacitación técnica, fortaleciendo la calidad del servicio y el posicionamiento competitivo de Coéxito S.A.S.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería Mecánica. Director Jair Elías Araujo Vargas.

Abstract

Title: Diagnosis and proposal of a lubrication protocol for Otto-cycle engines at Coéxito S.A.S. in the city of Cúcuta.

Author(s): Juan Danilo Márquez Flórez

Key Words: tribology; lubrication; engine oil; Otto-cycle engines; SAE J300; API SP; oil change interval.

Description: This work presents the diagnosis and proposal of a technical lubrication protocol for Otto cycle engines applied to the customer fleet of Coéxito S.A.S.. in the city of Cúcuta, a region characterized by high temperature and humidity conditions that directly affect lubricant behavior and degradation. The research arises from the identification of a significant gap between the technical recommendations issued by original equipment manufacturers (OEMs) and the actual lubrication practices applied by users and maintenance personnel, which are largely based on non-standardized empirical criteria.

The study is supported by the analysis of tribology principles, lubrication processes, and the physical and chemical properties of lubricants, as well as a review of international standards and classifications such as SAE, API, and ISO. Current lubrication practices are characterized, and the technical-operational impact of lubricant selection and oil change intervals is evaluated by comparing them with recommended specifications for Otto cycle engines operating under severe conditions.

As a result, a technically grounded lubrication protocol adapted to the operational context of Cúcuta is formulated, aimed at optimizing engine performance, reducing component wear, improving mechanical reliability, and lowering maintenance costs. Additionally, an implementation strategy based on protocol dissemination and technical training is proposed, strengthening service quality and the competitive positioning of Coéxito S.A.S..

*Bachelor Thesis

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Jair Elías Araujo Vargas.

Introducción

Este proyecto nace de la necesidad de abordar un problema técnico-operativo de relevancia en el contexto regional: la ausencia de prácticas de lubricación adecuadas y estandarizadas para motores de ciclo Otto bajo las condiciones climáticas específicas de Cúcuta, caracterizadas por altas temperaturas y humedad.

La lubricación es un factor crítico para el rendimiento, la confiabilidad y la vida útil de los motores de combustión interna. Sin embargo, en la región de estudio, se evidencia una brecha significativa entre las recomendaciones técnicas de fabricantes y las prácticas reales aplicadas por usuarios y personal de mantenimiento. Esta discrepancia, deriva del desconocimiento y de procedimientos empíricos no validados, conduce a la selección incorrecta de lubricante, intervalos de cambio inadecuados y, en última instancia, a un aumento en el desgaste de componentes, costos de operación y emisiones contaminantes.

1. Planteamiento Del Problema Y Justificación

La ciudad de Cúcuta presenta un clima cálido durante todo el año. De acuerdo con promedios climatológicos, la temperatura media mensual en la estación Camilo Daza se ubica aproximadamente entre 25,9 °C y 28,8 °C, con máximas promedio alrededor de 31–33 °C; adicionalmente, la humedad relativa media suele estar en el rango aproximado de 54–65 %. Estas condiciones, combinadas con patrones de conducción urbana (congestión, arranques frecuentes y ralenti), incrementan la severidad del servicio del aceite en motores de encendido por chispa, acelerando procesos de oxidación, volatilidad y consumo de aditivos, y elevando el riesgo de depósitos y desgaste. (Japan Meteorological Agency, s. f.; Weather Atlas, s. f.)

La literatura técnica señala que los intervalos “normales” asumidos en muchas recomendaciones se cumplen solo bajo condiciones ideales; en la práctica, gran parte de los vehículos opera en condiciones que los fabricantes clasifican como “servicio severo” (tráfico stop-and-go, trayectos cortos, ralenti prolongado, ambientes polvorientos, etc.). El boletín técnico TSB 94-1 de la Auto Care Association indica que alrededor del 80 % de los vehículos se conduce bajo condiciones severas, por lo que el intervalo de cambio y la especificación del aceite deben ajustarse y verificarse de manera sistemática a partir del manual OEM. (Auto Care Association, 2013)

Esta situación plantea un problema. Los protocolos recomendados por fabricantes y proveedores no se están aplicando adecuadamente debido al bajo nivel de formación técnica del personal y usuarios. En consecuencia, los motores operan con lubricación inadecuada, lo que

incrementa la probabilidad de fallas mecánicas, reduce la vida útil de los componentes, eleva los costos de mantenimiento y contribuye a un mayor consumo de combustible y emisiones.

¿Cómo desarrollar un protocolo de mantenimiento de lubricación que esté técnicamente fundamentado y adaptado a estas condiciones operativas, y que además reduzca los errores derivados del desconocimiento de usuarios y de las prácticas empíricas de los mecánicos, garantizando así un funcionamiento adecuado y una mayor vida útil del motor?

Este proyecto de investigación representa un significativo aporte al conocimiento especializado en el campo de la tribología aplicada al contexto tropical. La formulación de un protocolo técnico de lubricación para motores de ciclo Otto constituye una contribución original a la ingeniería de mantenimiento automotriz, específicamente adaptada a las condiciones climáticas del nororiente colombiano.

La investigación se delimita espacialmente al área metropolitana de Cúcuta; temáticamente, al análisis de motores de ciclo Otto y su comportamiento tribológico; y poblacionalmente, a los clientes de Coéxito S.A.S. En el sistema de variables, se establece como independiente el protocolo técnico de lubricación, y como dependientes el nivel de conocimiento técnico, la efectividad en la aplicación del lubricante y el posicionamiento competitivo de la empresa.

En el ámbito empresarial, el desarrollo de un protocolo técnicamente validado fortalece la capacidad de Coéxito S.A.S. para ofrecer un servicio especializado basado en parámetros de desempeño real y no en prácticas generalizadas. Esto se traduce en una ventaja competitiva sostenible dentro del mercado regional, al proporcionar criterios técnicos concretos que mejoran la calidad de los mantenimientos y la percepción de confiabilidad por parte de los usuarios.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diagnosticar las prácticas actuales de lubricación y formular un protocolo técnico específico para motores de ciclo Otto, que optimice su desempeño y confiabilidad en la flota de clientes de Coéxito S.A.S. en la ciudad de Cúcuta.

2.2. Objetivos Específicos

Caracterizar las prácticas actuales de lubricación y el perfil técnico de los lubricantes más utilizados en motores de ciclo Otto entre los clientes de Coéxito S.A.S. en Cúcuta.

Evaluar el impacto técnico operativo (en intervalos de cambio) de las prácticas actuales contrastándolas con las especificaciones de fabricantes.

Elaborar una propuesta de implementación que contemple la socialización del protocolo y las recomendaciones técnicas para los clientes y el personal técnico de Coéxito S.A.S..

3. Análisis De La Literatura Recopilada

3.1. Marco Teórico

Tribological analysis of advanced lubricants in automotive engines (análisis tribológico de lubricantes avanzados en motores de automoción)

Autores: Adeudaran Adeolu Adesoji ; Hermano, Pedro ; Folklore, Domingo A ; Bello, Kazeem Aderemi ; Miércoles, Domingo L ; Monye, Stella I ; Profesor, Olalekan Joseph

El objetivo de la investigación es comprender cómo estos lubricantes afectan el desgaste, la fricción y el rendimiento del motor. Se enfatiza la importancia de los lubricantes para mitigar el desgaste y la fricción, lo que resalta la necesidad de tecnologías de lubricación avanzadas. La importancia de la lubricación y los problemas relacionados con el desgaste y la fricción en los motores automotrices se abordan brevemente en el párrafo inicial del informe. El estudio ofrece un análisis exhaustivo de los conceptos básicos de la tribología, incluyendo los tipos de desgaste, los programas de lubricación y las técnicas de reducción de la fricción. Se destaca la importancia de los lubricantes para reducir el desgaste y la fricción, lo que subraya la necesidad de tecnologías de lubricación sofisticadas

History of automotive lubrication (historia de la lubricación automotriz)

La calidad actual de los lubricantes se define por clasificaciones o especificaciones que se establecen teniendo en cuenta la metalurgia, el diseño del equipo o las condiciones de operación. Para los aceites de motor, el American Petroleum Institute (API), la Society of Automotive Engineers (SAE) y la American Society for Testing and Materials (ASTM) son los organismos clave que

definen las necesidades de la industria, establecen clasificaciones y desarrollan métodos de prueba para garantizar que los lubricantes cumplan con el rendimiento requerido. Para los aceites para engranajes, el API y el Coordinating Research Council (CRC) desempeñan un papel similar. Los fabricantes de equipos originales (OEM) y el ejército de los EE. UU. tienen sus propios requisitos de rendimiento que generalmente son superiores a los de API/SAE/ASTM y API/CRC. Los requisitos de rendimiento de los fluidos de transmisión automática (ATF) los establecen los OEM, como General Motors Corporation (GM) y Ford Motor Company. Las grasas se definen mediante el sistema de clasificación del National Lubricating Grease Institute (NLGI).

3.2. Marco Conceptual

3.2.1. Tribología

La tribología es la rama de la ciencia que investiga las superficies en interacción durante el movimiento. Su denominación proviene del griego y se traduce como "ciencia del roce". Esta disciplina abarca temas como el desgaste, la fricción, la lubricación y los elementos de diseño vinculados a estos fenómenos. En consecuencia, el objetivo de la tribología es examinar las características de fricción y el comportamiento de desgaste de las superficies que están en movimiento relativo.

El ámbito de la tribología es de carácter interdisciplinario, abarcando diversas disciplinas científicas e ingenierías. Se puede clasificar la materia en tres ramas conexas: fricción, desgaste y lubricación. La fricción se define como la oposición al movimiento que ocurre entre dos

superficies en contacto, lo cual, en última instancia, puede dar lugar al desgaste de materiales, componentes y sistemas.

La tribología tiene como función prevenir el desgaste y regular la fricción a través de la lubricación. El lubricante forma una película protectora que minimiza la fricción entre las superficies en movimiento que están en contacto. (INFINITIA INDUSTRIAL CONSULTING, 2021).

3.2.2. Tribología y Lubricación ¿En qué Consiste?

La tribología emplea lubricantes con el propósito de disminuir la fricción, prevenir el desgaste, resguardar los equipos contra la corrosión, regular la temperatura y la contaminación, transmitir energía y ofrecer un sello de fluido. Además de los lubricantes convencionales, como el aceite o la grasa, se encuentran también lubricantes sólidos que pueden incorporarse directamente en la composición del material de los componentes, brindando una característica autolubrificante.

Una cantidad reducida de lubricante puede alterar significativamente la fricción entre superficies. En ciertos casos, se forma una película delgada de lubricación que se adhiere a las superficies, generando una capa de baja fricción, conocida como fricción límite. Por otro lado, cuando la película es más gruesa y separa completamente las superficies, se clasifica como fricción de película fluida, lo que resulta en una fricción extremadamente baja. La efectividad de un lubricante está vinculada a su viscosidad, la cual puede variar según las condiciones de operación y las características de los materiales sobre los que se aplique. La disciplina de la tribología considera todas estas variables para lograr un balance entre la disminución de la

fricción por deslizamiento y una viscosidad excesivamente alta. (INFINITIA INDUSTRIAL CONSULTING, 2021).

3.2.3. Lubricación

3.2.3.1.1. Breve Recordatorio Histórico. El propósito de la lubricación es mantener separados dos superficies que experimentan deslizamiento relativo, con el fin de evitar cualquier tipo de deterioro. Se persigue que el proceso de deslizamiento ocurra con el menor rozamiento posible. Con ese objetivo, se busca, cuando resulte factible, la presencia de una película lubricante de espesor adecuado entre las superficies en contacto, de modo que se prevenga el desgaste.

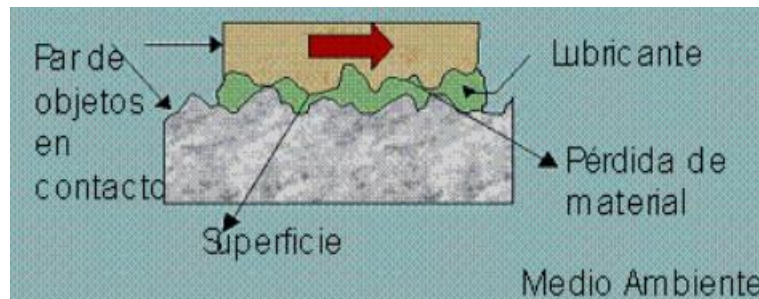
Históricamente, resulta pertinente señalar que la lubricación hidrodinámica se establece como el principal tipo de lubricación y pasa a ser objeto de estudio principalmente a partir de la optimización de los procesos de fabricación de componentes metálicos, derivada de la revolución industrial, y del aumento de las velocidades de rotación de los ejes, que superan las utilizadas en equipos como carros o molinos.

La lubricación mediante grasas (lubricante límite) ha sido objeto de un enfoque particular durante varias décadas. Un considerable conjunto de investigadores reconocidos ha realizado experimentos sobre la lubricación, entre ellos Leonardo da Vinci (1508), Amontons (1699), Euler (1748 y Coulomb (1809). Amontons y Coulomb demostraron que la fuerza de fricción F , necesaria para iniciar el movimiento de un cuerpo respecto a otro, es directamente proporcional a la carga normal P , lo que implica la existencia de una relación constante entre P y F , conocida como coeficiente de fricción. Las investigaciones iniciales sobre un eje con cojinetes en

condiciones hidrodinámicas fueron llevadas a cabo por Pauli (1849) y Hirn (1854), y estos estudios fueron posteriormente analizados por Petroff en 1883. Además, Tower, entre 1883 y 1885, demostró que en este tipo de cojinetes se generan presiones elevadas, lo cual fue explicado por Reynolds en 1886, quien evidenció que era necesaria una geometría convergente de la película lubricante para provocar el incremento de presión. (en Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.)

Figura 1.

Película de Lubricante entre dos Cuerpos en Contacto



Nota. La figura anterior ilustra la interacción dinámica en un proceso de lubricación, donde el lubricante media el contacto para minimizar la pérdida de material, todo ello condicionado por las variables del entorno operativo.

3.2.3.2. Objetivos y Campos de Aplicación. El cometido esencial de la lubricación reside en la reducción del rozamiento, el desgaste y el incremento de temperatura entre las superficies en contacto de componentes que presentan movimiento relativo. Las áreas más relevantes de su aplicación comprenden:

- Los cojinetes del cigüeñal y las bielas de los motores, que requieren un rendimiento que abarca miles de kilómetros, así como los cojinetes de turbinas en centrales eléctricas, que demandan una fiabilidad del 100%.

- Los aspectos que deben ser evaluados en el proceso de diseño abarcan tanto factores técnicos como económicos. Entre estos destacan las cargas impuestas y las condiciones operativas, las instalaciones previas y la accesibilidad para el mantenimiento, así como las tolerancias tanto de fabricación como de funcionamiento y la vida útil deseada del sistema. A su vez, el costo de la instalación y del mantenimiento se erige como una consideración clave. La investigación en el ámbito de la lubricación se fundamenta en los principios de mecánica de fluidos, termodinámica y transferencia de calor(en Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.)

3.2.3.3. Tipos de Lubricación. Pueden distinguirse tres formas distintas

• Lubricación hidrodinámica

- Las superficies se encuentran distanciadas por una capa de lubricante que otorga estabilidad.
- No se fundamenta en la introducción de lubricante a través de presión, sino que requiere un flujo de aceite; la presión se origina a partir del movimiento relativo.
- Se hace referencia a la lubricación que se caracteriza por su película gruesa, la cual puede ser fluida, completa o ideal.

• Lubricación límite

- La película lubricante es tan fina que permite un contacto parcial entre las superficies metálicas. La acción resultante no puede ser explicada únicamente mediante la hidrodinámica.

○ Es posible que se produzca un cambio de lubricación hidrodinámica a una lubricación límite como resultado de la reducción en la velocidad, el incremento de la carga o la disminución del caudal de aceite.

○ En este tipo de lubricación, se concede mayor importancia a la composición química del lubricante que a su viscosidad.

○ Al diseñar un cojinete hidrodinámico, resulta esencial considerar que, durante el inicio, puede operar bajo condiciones de lubricación limitada.

• **Lubricación hidrostática**

○ El procedimiento implica la inyección de lubricante a alta presión en la zona de carga, lo que posibilita la generación de una película lubricante que facilita el funcionamiento.

○ No se requiere el desplazamiento relativo entre las superficies.

○ Se utiliza en cojinetes de baja velocidad que soportan cargas significativas, y se pueden emplear aire o agua como agentes lubricantes. (en Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.)

Figura 2.

Curva de Stribeck



Nota. La figura presenta un gráfico o diagrama conceptual que ilustra el espectro o régimen de lubricación en función del Parámetro de Lubricación, definido como:
 $H = \mu U / P$

Donde:

- μ = viscosidad del lubricante
- U = velocidad relativa entre superficies
- P = presión de contacto

El eje horizontal representa este parámetro H , que aumenta de izquierda a derecha.

En el lado izquierdo del gráfico, donde H es bajo, se encuentra la zona de "Lubricación Hidrodinámica", caracterizada por una película delgada e inestable. Esto corresponde a situaciones con alta carga, baja velocidad o baja viscosidad, donde la película lubricante es mínima y puede ocurrir contacto intermitente entre superficies.

A medida que H aumenta (hacia la derecha), se llega a la zona de "Lubricación Elastohidrodinámica", donde la película se vuelve gruesa y estable. Esta región se da en condiciones de mayor velocidad, mayor viscosidad o menor carga, permitiendo una separación completa y estable entre las superficies en contacto.

Entre ambas zonas hay una transición que representa el cambio desde una lubricación inestable y de alto rozamiento hacia una lubricación eficiente y de baja fricción.

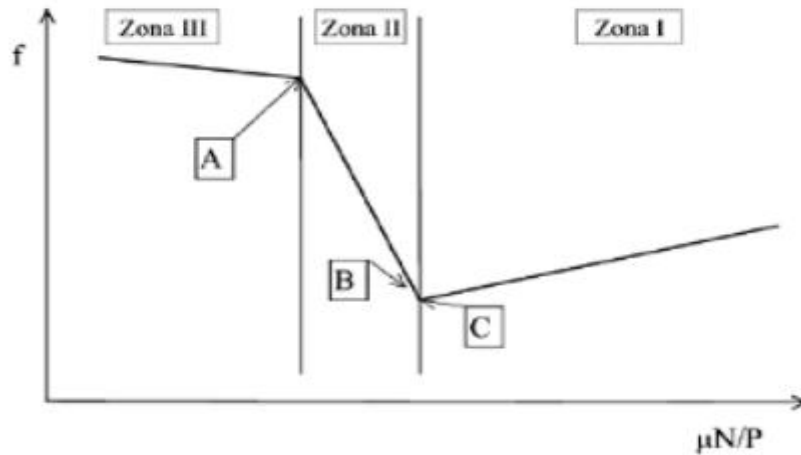
El gráfico ilustra, mediante imágenes y colores, cómo el parámetro adimensional H determina el tipo de régimen de lubricación que se establece y el grado de estabilidad de la película que separa dos superficies que se deslizan entre sí.

3.2.3.4. Estabilidad de la Lubricación. Entre 1900 y 1902, Stribeck realizó experimentos sistemáticos para cuantificar, en cojinetes, las variaciones de la velocidad de giro (N), la carga por unidad de área proyectada (P) y la viscosidad. Tales investigaciones dieron origen a la teoría de Sommerfeld y pueden entenderse en tres regiones:

- **Zona I:** La lubricación hidrodinámica y la elastohidrodinámica se caracterizan por la separación completa de las superficies del cojinete mediante una espesa película de fluido, de modo que no se produce contacto directo entre las superficies deslizantes y, en consecuencia, el desgaste es prácticamente nulo. Al disminuir la viscosidad, la película lubricante se estrecha hasta alcanzar el punto C.
- **Zona II:** Lubricación mixta o Elastohidrodinámica parcial.
- **Zona III:** Lubricación límite.

Figura 3.

Efecto de la Viscosidad en la Lubricación



Estando en la zona I, una reducción de la viscosidad provoca una disminución del espesor de la película hasta alcanzar el punto C. Una disminución adicional de la viscosidad desplaza la operación hacia el punto B, donde se produce un contacto circunstancial entre las dos superficies debido a que la película presenta un espesor extremadamente reducido: el rozamiento en B y C es prácticamente equiparable, aunque en B la viscosidad del fluido es menor; la resistencia al movimiento, en este caso, se debe al contacto entre las irregularidades. (Omar Linares.)

3.2.3.5. Materia Prima para Lubricantes

3.2.3.5.1. Tipo de Bases. Base mineral

En lubricación automotriz, las bases minerales provienen de fracciones pesadas del crudo y se ajustan mediante refinación para controlar volatilidad, estabilidad a la oxidación y comportamiento a baja temperatura. En términos prácticos, las bases del Grupo I tienden a ofrecer buena solvencia, pero menor estabilidad térmica; las del Grupo II mejoran la

resistencia a la oxidación y reducen el contenido de azufre, lo cual favorece la limpieza del motor y la vida útil del lubricante en servicio.

Para motores de ciclo Otto con operación urbana (arranques frecuentes, ralentí y picos térmicos), la selección de base mineral se debe justificar por su estabilidad a alta temperatura y su compatibilidad con el paquete de aditivos, evitando pérdidas de viscosidad y formación de depósitos. (*Repositorio Universidad de Guayaquil “TESINA 152,” 2022*)

Bases hydrocracked

Las bases obtenidas por hidrotratamiento e hidrocracking presentan menor contenido de aromáticos y mayor estabilidad a la oxidación que una base mineral convencional. En motores Otto-modernos (incluyendo turbo e inyección directa), estas bases suelen aportar mejor control de volatilidad (consumo de aceite) y mayor resistencia al espesamiento por oxidación, lo que ayuda a sostener el desempeño del lubricante durante el intervalo de cambio. (*Repositorio Universidad de Guayaquil “TESINA 152,” 2022*)

Bases sintéticos

Las bases sintéticas se diseñan para lograr propiedades que son difíciles de obtener sólo con refinación de crudo: alta estabilidad térmica, buena fluidez en frío y control de evaporación. Por esta razón, se emplean con frecuencia cuando el servicio es severo (temperaturas elevadas, cargas específicas altas, turboalimentación) o cuando se requieren márgenes superiores de protección.

Pao: “PolyAlphaOlefines”, se caracterizan por una estructura más uniforme, lo que típicamente se traduce en baja volatilidad y buen desempeño a baja temperatura. En aplicaciones Otto, su aporte se observa en la estabilidad frente a oxidación y en la

conservación de la viscosidad, especialmente bajo ciclos térmicos repetidos. (Repositorio Universidad de Guayaquil “TESINA 152,” 2022).

Esteres

Los ésteres se utilizan como co-bases para mejorar propiedades específicas, como lubricidad, solvencia y compatibilidad con aditivos. En formulaciones para motores Otto, su rol es complementar la base principal para favorecer la limpieza interna y la formación de película lubricante en regímenes de lubricación límite, siempre cuidando la compatibilidad con sellos y elastómeros. (Repositorio Universidad de Guayaquil “TESINA 152,” 2022)

Tabla 1.

Comparación de las Propiedades de las Bases

Base	Mineral	Hidrocrack	P.A.O	Ester
Propiedades				
Viscosidad	Monogrado	Multigrado	Multigrado	Multigrado
Índice de viscosidad	Bajo 100	Bueno 120-150	Bueno 120-150	Muy bueno 130-160
Punto de congelación	Débil -10/-15	Débil -15/-25	Excelente -40/ -60	Excelente -40/ -60
Resistencia a la oxidación	Buena	Buena	Muy buena	Excelente
Volatilidad	Media	Media	Excelente	Excelente
Untuosidad	No	No	No	Si
Biodegradabilidad	No	No	No	Si

Nota: La tabla previa está pensada para escoger lubricantes en motores, transmisiones o sistemas hidráulicos, donde las condiciones de operación (temperatura, carga y entorno) exigen distintas calidades de aceite.

3.2.3.5.2. Aditivos. Los aditivos son componentes funcionales incorporados en proporciones controladas para que el lubricante responda a las condiciones reales de operación del motor (temperatura, contaminación, combustibles, humedad y cizalla). En motores de ciclo Otto, su efectividad se evalúa por su impacto en limpieza, control de desgaste, estabilidad del aceite y protección anticorrosiva.

Aditivos para estabilidad química y protección

- **Aditivos inhibidores de corrosión:** limitan la degradación por oxidación y protegen superficies metálicas, reduciendo espesamiento del aceite, formación de lodos y corrosión interna.
- **Neutralizantes reservas alcalinas (cuando aplica):** ayudan a gestionar subproductos ácidos de la combustión y la oxidación, contribuyendo a la estabilidad del lubricante durante el servicio.

Aditivos para limpieza y control de contaminantes

- **Detergentes y dispersantes:** mantienen en suspensión partículas y subproductos (hollín, barnices, lodos) para evitar depósitos; su selección debe armonizarse con las especificaciones API/ILSAC y los requerimientos del fabricante del motor.

Aditivos para protección tribológica

- **Antidesgaste y modificadores de fricción:** fortalecen la película en regímenes de lubricación mixta o límite (arranques, cambios de carga, alta presión de contacto), reduciendo desgaste en tren de válvulas y componentes críticos.

- **Extrema presión (según aplicación):** se reservan para condiciones de contacto severo; en motores, se emplean conforme a la formulación aprobada para evitar incompatibilidades.

Aditivos para control físico del lubricante

- **Mejoradores del índice de viscosidad:** estabilizan la viscosidad con la temperatura para cumplir con aceites multigrado; su resistencia a la cizalla es clave en operación prolongada.
- **Depresores de punto de fluidez:** mejoran bombeabilidad en frío y reducen riesgos en el arranque.
- **Antiespumantes y demulsificantes:** reducen aireación y favorecen separación de agua, evitando cavitación, pérdida de presión y fallas por lubricación insuficiente.

Tabla 2.

Ejemplos de Aditivos Usados en el Petróleo

Ejemplos de aditivos usados en el petróleo combustible residual

Tipo Aditivo	Composición Química	Motivos para su uso
Inhibidor de corrosión	Naftenatos metálicos	Reduce corrosión y formación de depósitos
Dispersante	Naftenatos de alquil	Para dispersar
Agente superficial activo	Jabones de amoniaco	Suspenden el agua en el aceite
Agente anti-escorificador	Óxidos metálicos	Limpia paredes y turbinas
Mejorador de combustión	Acetilos metálicos	Cataliza la combustión

Nota: Los aditivos (antioxidantes, detergentes, dispersantes, modificadores de fricción, antidesgaste, etc.) determinan el desempeño real del aceite en motores Otto, especialmente bajo alta temperatura y operación urbana, donde aumentan la oxidación y la formación de lodos.

Tabla 3.

Aditivos Usados en la Grasas Lubricantes

Ejemplos de aditivos usados en las grasas lubricantes

Tipo Aditivo	Composición química	Objeto
--------------	---------------------	--------

Agente espesador	Jabones metálicos	Retiene fluidos por absorción
Materiales de relleno	Óxidos metálicos	Aumenta volumen de la grasa
Inhibidor de oxidación	Fenibela-naltilamino	Impide la oxidación
Desactivador metálico	Mercaptobenzotiazolo	Impide efectos catalíticos de metales
Inhibidor de corrosión	Sulfonato de amoniaco	Suspende la corrosión
Agente antidesgaste	Bisulfuro de dibensilo	Reduce desgaste
Agente contra presiones extremas	Naftenado de plomo	Reduce fricción
Mejorador de punto de goteo	Jabones grasos	Aumenta el punto de goteo
Estabilizador	Esteres de ácidos grasos	Aumenta temperatura para el uso
Agente espesador	Polbutilenos	Suministra adherencia en superficies metálicas

Nota: Aunque la tabla se refiere a grasas, los principios de aditivación (extrema presión, antidesgaste, inhibidores) son análogos; en el vehículo, la selección correcta de grasa y aceite reduce fallas por fricción y contaminación.

Tabla 4.

Aditivos Usados en Aceites Lubricantes

Ejemplos de aditivos usados en aceites lubricantes		
Tipo Aditivo	Composición química	Objeto
Mejor índice de viscosidad	Polímeros de metacrilatos	Reduce actividad en el cambio de viscosidad con la temperatura
Deprimiento punto de fluides	Naftalena alquilatada	Reduce punto fluidez del aceite
Detergente dispersante	Productos de alquil P ₂ S ₅ sulfonatos de metal, alquilpoliámido, fenolatos de alquil metálicos	Conserva los insolubles en suspensión, mantiene limpieza.
Inhibidor de oxidación	Diaquilditiofosfato de zinc	Demorar la oxidación en aceites
Inhibidor de herrumbre	Alquilaminos	Impide herrumbre en metales ferrosos adhesión
Inhibidor de corrosión	Sulfonatos básicos de metales	Impide ataque de materiales ácidos a metal
Agente contra presiones extremas	Olefinos sulfurados. Parafinas clorinadas	Impide se adhieran las superficies metálicas
Inhibidor de espuma	Polimero de silixón	Reduce tendencia a formar espuma
Agente anti rayado y antidesgaste	Sales metálicas de fosfato de alquil ácido	Suministra pulido químico y reduce desgaste

Nota: Para motores Otto-modernos (incluyendo turbo e inyección directa), es crítico que el aceite cumpla la categoría API/ILSAC indicada, ya que incorpora ensayos para control de depósitos, desgaste de cadena y mitigación de LSPI.

3.2.3.6. Propiedades Generales de los Lubricantes. Los fabricantes principales de maquinaria exigen que los lubricantes usados en sus sistemas cumplan con especificaciones y requisitos acordes a las condiciones de diseño y operación de esas máquinas. Para unificar criterios, varias compañías y organismos han creado procedimientos de ensayo normalizados. Estos tests evalúan la calidad, la identificación, la detección de adulteraciones y contaminantes, y permiten observar el desempeño del lubricante durante su uso. (*Repositorio Universidad de Guayaquil “TESINA 152,” 2022*).

3.2.3.6.1. Propiedades Físicas. Color y fluorescencia: Estas características no deben considerarse criterios de evaluación válidos para aceites culminados, dado que pueden ser modificadas o encubiertas por los aditivos. No obstante, en años recientes los usuarios han atribuido una importancia considerable al color de los aceites como indicio de mayor o menor grado de refinamiento; asimismo, se ha considerado que la fluorescencia observada podría revelar el origen del crudo. De este modo, la fluorescencia de tonalidad azulada se asociaba con aceites artificiales, mientras que la fluorescencia de color verde se vinculaba a los parafínicos.

- **Densidad:** La densidad de los aceites lubricantes depende de la mezcla de crudo y del punto de destilación de la fracción. Para fracciones iguales, los aceites parafínicos tienen densidades más bajas, y los aromáticos tienen densidades más altas. En este contexto, los aceites nafténicos tienen densidades intermedias.

- **Viscosidad:** La característica más importante de un lubricante líquido es su viscosidad. En palabras simples, la viscosidad es la resistencia al flujo y una medida del roce entre las moléculas. Como la resistencia al flujo depende de las fuerzas entre las moléculas, estas interacciones al final determinan la resistencia mecánica al deslizamiento de una capa de líquido sobre otra capa similar.

Por ello, queda claro que la viscosidad de un fluido tan complejo como un aceite mineral puede cambiar mucho por cambios en su composición y estructura (debidos al origen del petróleo crudo y a su refinación) y por factores externos, como la temperatura y la presión, que afectan las interacciones entre las moléculas. (*Repositorio Universidad de Guayaquil "TESINA 152," 2022*)

- **Índice de Viscosidad:** Es la medida que muestra cuánto cambia la viscosidad de un aceite con la temperatura. Para obtener el índice de viscosidad, se compara cuánto varía la viscosidad entre dos temperaturas fijas y distintas, normalmente 100°F (38°C) y 210°F (99°C). Hay una escala de 0 a 100: los aceites con valores cerca de 0 tienen más fluctuación y menor estabilidad de viscosidad, mientras que los que están cercanos a 100 son más estables. Con los aditivos, se han logrado índices de viscosidad por encima de 100, y estos aceites se consideran casi inmunes a los efectos de la temperatura.
- **Untuosidad:** Describe la tendencia del lubricante a adherirse a las superficies y sostener una película límite cuando el régimen hidrodinámico no es dominante. En motores Otto, resulta relevante en arranques en frío y en condiciones de carga variable, donde una película estable contribuye a reducir desgaste inicial y ruido de fricción.

- **Viscosidad Absoluta o Viscosidad Dinámica:** Al evaluar la viscosidad, existen varios tipos de viscosímetros, cada uno diferenciándose según el método empleado para su determinación. En el núcleo de estos instrumentos late tres enfoques fundamentales:

En primer lugar, el camino de la fluidez: medir la velocidad de flujo del aceite a través de un capilar (viscosímetro cinemático) o a través de un conducto corto u orificio (viscosímetro Saybolt).

En segundo lugar, la evaluación se centra en el tiempo necesario para que un cuerpo sólido se desplace por el aceite (viscosímetro de caída de bolas).

En tercer lugar, se estudia el efecto de cizalla generado entre dos superficies en movimiento relativo, para caracterizar la viscosidad mediante viscosímetros rotativos.

- **Rigidez dieléctrica:** En la historia de la prueba, se persigue una propiedad que surge a partir del esfuerzo necesario para instaurar un arco eléctrico estable entre dos electrodos sumergidos en aceite, todo ello bajo las condiciones estandarizadas del ensayo y con la asistencia de un instrumento denominado puntero metro. El resultado se expresa en kilovoltios por centímetro (kV/cm).

La relevancia de la rigidez dieléctrica no se limita únicamente a los aceites dieléctricos; posee también una importancia considerable en los aceites de compresores frigoríficos, ya que esta propiedad se ve notablemente afectada por la presencia de trazas de humedad. (*Repositorio Universidad de Guayaquil "TESINA 152,"* 2022).

- **Puntos de fluidez y congelación:** Es la constante que indica la temperatura mínima desde la cual el aceite empieza a fluir en los circuitos de lubricación. A temperaturas más bajas, el aceite se vuelve más viscoso y deja de fluir. Debe considerarse sobre todo para aceites que lubrican partes que trabajan a bajas temperaturas, como en equipos frigoríficos. Si la temperatura sigue bajando, el aceite se solidifica casi de inmediato, un proceso llamado congelación.
- **Punto de inflamación y combustión:** El punto de inflamación de un aceite se define como la temperatura mínima a la que los vapores liberados por dicho aceite pueden inflamarse en presencia de una llama o chispa que se propaga casi de forma continua. Este parámetro posee gran relevancia en procesos donde el aceite opera a altas temperaturas, como ocurre en motores de combustión interna que exigen valores superiores a 215 °C. En contraste, en contextos donde resulta pertinente una temperatura ambiental o moderadamente superior, dicha característica tiene menor importancia, puesto que la mayor parte de los aceites excede con creces ese umbral. Al continuar el calentamiento y alcanzar una temperatura aproximadamente 20 °C o 30 °C por encima del punto de inflamación, los vapores dejan de arder de manera momentánea y lo hacen de forma sostenida; este fenómeno se conoce como punto de combustión.
- **Acidez:** Se define como la proporción de ácidos libres intrínsecos de un aceite. La existencia de dichos ácidos puede causar deterioro tanto del lubricante como de los metales con los que este lubricante establece contacto. No es aceptable que un aceite presente un índice de acidez superior al 0,25%.

- **Índice de Acidez:** La cantidad de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar la acidez libre presente en un gramo de grasa o aceite.
- **Porcentaje en Cenizas:** Las impurezas constituyen un defecto indeseable en los aceites. Su origen habitualmente se encuentra en los álcalis empleados en la refinación que no han sido completamente eliminados, o en la liberación de impurezas y de incrustaciones procedentes de los conductos por los que circula el aceite durante su ciclo. En presencia de cenizas superiores al 0,02%, un aceite ya no resulta apto para aplicaciones que exigen un ajuste fino y un funcionamiento de alta precisión.
- **Residuos Carbonos:** La propensión a la formación de carbonos en aceites destinados a funcionar en entornos de alta temperatura les confiere un riesgo de combustión. Los contenidos de carbón admisibles en los aceites lubricantes oscilan entre 0,1 y 0,9.

3.2.3.6.2. Propiedades Superficiales. Tensión Interfacial: Cuando dos líquidos inmiscibles entran en contacto, se forma una interfaz, que representa la frontera entre ellos. La resistencia a la separación de estas fases se denomina tensión interfacial. Diversos factores condicionan esta tensión: la química de los líquidos implicados, la temperatura (un aumento de la temperatura que favorece la miscibilidad conlleva una disminución de la tensión interfacial), la presencia de cuerpos polares (que la reducen), y, además, existe la propia tensión interfacial. Esta magnitud puede servir como indicadora de trazas de compuestos polares, tales como ciertos contaminantes, aditivos o productos de degradación del aceite. En consecuencia, dicho valor resulta

relevante en aceites de turbina y aislantes dieléctricos para monitorear su evolución durante el uso. Curiosamente, su comportamiento es inverso al del índice de acidez del aceite: cuando uno aumenta, el otro tiende a disminuir.

- **Formación de Espuma:** La formación de espuma ocurre cuando un conjunto de burbujas de aire u otros gases queda delimitado por una película líquida delgada en la interfase superficial. Su origen típicamente deriva de una agitación intensa del líquido.

Con el objetivo de evaluar la tendencia a generar espuma y su persistencia, se inyecta aire seco en un aceite. El volumen de espuma producido durante la prueba se utiliza como indicador de la propensión del aceite a espumar. Tras un periodo de reposo, se procede a medir nuevamente dicho volumen para estimar la estabilidad de la espuma. La presencia de espuma conlleva diversas problemáticas en sistemas hidráulicos y de lubricación, entre ellas destacan:

- Actuadores hidromecánicos se comportan de forma irregular.
- Las bombas presentan cavitación.
- Se producen derrames en los depósitos.
- El aceite se oxida prematuramente
- Hay corrosión interna en partes del sistema
- Los cojinetes fallan por lubricación insuficiente.
- La capacidad de refrigeración del aceite disminuye.
- Reduce su capacidad de disolución.
- Pequeñas partículas de lodo flotan en el aceite.

Tiende a volverse más estable con aumentos en la viscosidad y hay componentes polares. Por otro lado, subir la temperatura del aceite y usar antiespumantes disminuye la formación de espuma.

- **Punto de Fluidéz:** Es la temperatura más baja para la cual un aceite lubricante puede fluir de forma continua bajo las condiciones de ensayo especificadas. Los aceites contienen ceras disueltas; al reducirse la temperatura, dichas ceras tienden a separarse y cristalizarse, formando agregados entrelazados que establecen una red rígida capaz de atrapar el aceite en su interior. Una vez que la estructura cerúrea ha madurado lo suficiente, el flujo deja de ser posible bajo las condiciones de ensayo indicadas. Sin embargo, la agitación mecánica puede modificar esta red de ceras, permitiendo que el aceite retome el flujo a temperaturas inferiores a su punto de fluidez. En ciertos aceites sin ceras, este punto se relaciona de manera más directa con la viscosidad.

Durante el descenso de la temperatura, la viscosidad del aceite aumenta progresivamente hasta alcanzar un valor en el que no se observa flujo. Desde la perspectiva del usuario, la relevancia del punto de fluidez de un aceite depende principalmente de la aplicación prevista.

- **Cenizas sulfatadas:** Constituyen el residuo expresado en porcentaje que persiste tras la combustión de una muestra de aceite. El residuo inicial se trata con ácido sulfúrico y, posteriormente, se incinera el residuo tratado. Este procedimiento cuantifica la fracción de componentes no combustibles presentes en el aceite.

Los aceites minerales puros carecen de sustancias que formen cenizas. Muchos aditivos empleados en lubricantes contienen componentes metalo-orgánicos, los

cuales generan residuo durante la prueba de cenizas sulfatadas; de este modo, la concentración de dichos componentes se determina de forma indirecta mediante dicha prueba. En consecuencia, durante el proceso de fabricación, esta prueba opera como un método de aseguramiento de la incorporación de aditivos.

En aceites usados, más cenizas sulfatadas suele indicar contaminantes como hollín, suciedad, desgaste de piezas y posibles otros contaminantes.

- **Punto de inflamación y fuego:** Al referirse al punto de inflamación, se alude a la temperatura a la cual el aceite libera vapores en cantidad suficiente para encenderse ante la presencia de una fuente de ignición. Si la concentración de vapores en la superficie es lo suficientemente alta al exponerse a una llama, se iniciará un incendio en cuanto los vapores se enciendan. En ensayos realizados bajo condiciones específicas, la temperatura a la que ocurre este fenómeno se denomina punto de inflamación. A esa temperatura, la generación de vapores no es suficiente para mantener una combustión sostenida y, por ello, la llama se apaga. Sin embargo, si continúa el calentamiento, se alcanzará una temperatura en la que los vapores se liberan con la suficiente rapidez para sostener la combustión.
- **Punto de fuego o combustión:** El punto de inflamación de aceites recientes varía con la viscosidad, siendo mayores los puntos de inflamación en aceites de mayor viscosidad. Estos valores también se ven afectados por la clase de crudo correspondiente. En particular, los aceites nafténicos presentan puntos de inflamación más bajos en comparación con los aceites parafínicos de viscosidad equivalente.

- **Índice de neutralización y saponificación:** El índice de neutralización de un lubricante es la cantidad, en miligramos de hidróxido de potasio, necesaria para neutralizar el ácido libre por cada gramo de aceite a temperatura ambiente. El índice de saponificación (Is) es la cantidad, en miligramos de hidróxido de potasio, que se necesita para neutralizar los ácidos libres y para saponificar los ésteres presentes en un gramo de aceite. Es decir, para neutralizar los ácidos y saponificar los ésteres.
- **Índice de alquitrán y de alquitrانización:** Se utiliza en procesos de envejecimiento artificial para cuantificar la propensión del aceite a formar sustancias alquitrانosas a temperaturas elevadas y en presencia de aire. En aceites usados, dicho índice ofrece una medida del grado de desgaste o envejecimiento del lubricante.
- **Emulsionabilidad:** Una particularidad de los lubricantes utilizados en cilindros y turbinas de vapor es su tendencia a formar emulsiones o mezclas intensas y duraderas con el agua. (*Repositorio Universidad de Guayaquil “TESINA 152,”* 2022).

3.2.3.6.3. *Características de un Lubricante. El Grado*

- Se de acuerdo con la clasificación SAE (Sociedad de Ingenieros de Automóviles).
- Se caracteriza por la viscosidad del lubricante en frío y en caliente; dos dígitos separados por la letra “W” (Winter) permiten asignar el grado.

- El primer dígito, seguido de la “W”, indica la viscosidad en frío: por ejemplo, 5W o 0W. Cuanto menor sea dicho número, mayor fluidez presenta el aceite a baja temperatura, facilitando el arranque.
- El segundo dígito corresponde a la viscosidad en caliente: 20, 30, 40. Cuanto mayor sea este índice, mayor es la viscosidad del aceite a altas temperaturas

- **Viscosidad SAE**

- La viscosidad cuantifica la resistencia de un líquido al flujo. En consecuencia, el lubricante exhibe mayor fluidez a temperaturas elevadas y mayor viscosidad a temperaturas bajas.
- La utilización de lubricantes en frío facilita la reducción del desgaste durante el arranque, al asegurar una lubricación rápida de todas las piezas del motor.

Las especificaciones derivan de normas internacionales y de las aprobaciones de los fabricantes. Las especificaciones internacionales mencionadas aseguran un nivel mínimo de desempeño para un lubricante.

Tabla 5.

Estándares internacionales para la selección de aceite de motor

Aspecto	SAE J300	API	ILSAC	ACEA	OEM
	(viscosidad)	(desempeño)	(GF-6)	(secuencias)	(aprobación)
¿Qué define?	clasifica viscosidad en frío (0W–	categorías de servicio para motores	especificaciones para GF; énfasis en economía de	secuencias europeas A/B y C;	requisitos del fabricante (p. ej., dexos,

25W) y en gasolina (p. combustible y desempeño y VW, MB);
caliente (20– ej., API SP) y protección en compatibilidad deben
60); no licenciamiento motores con pos- cumplirse
evalúa EOLCS. modernos. tratamiento. cuando el
desempeño. OEM lo
exige.

Nota: La selección correcta de aceite para motores Otto requiere combinar viscosidad (SAE) con desempeño (API/ACEA/ILSAC) y, cuando aplique, la aprobación OEM. La viscosidad por sí sola no garantiza protección ni compatibilidad.

Figura 4.

Sociedad de Ingenieros Automotrices



- **API (American Petroleum Institute)** Con el objetivo de facilitar la selección adecuada del lubricante que satisfaga las exigencias específicas de los diferentes tipos de motores y servicios, la API ha definido una clasificación de los aceites en dos categorías: aceites para motores de gasolina y aceites para motores diésel.

- La S vincula los aceites destinados a motores nafteros, mientras que la letra C corresponde a los destinados a motores diesel.
- Las segundas letras detallan las demandas de servicio o el grado de rendimiento, comenzando con la A para el menor nivel de exigencia y avanzando alfabéticamente conforme aumentan las exigencias.

Se trata de una clasificación dinámica y abierta, en la que se introducen nuevos niveles de desempeño conforme surgen diseños de motores más modernos. (*Repositorio Universidad de Guayaquil “TESINA 152,” 2022*).

Figura 5.

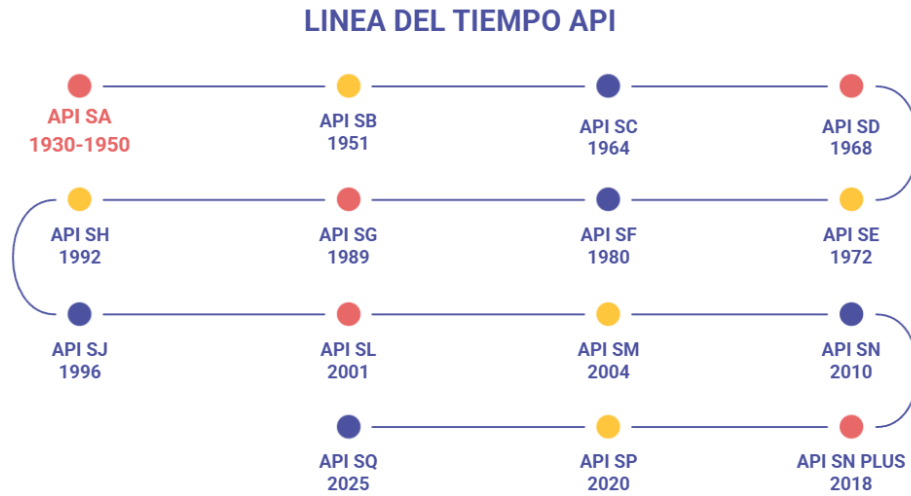
Instituto Americano de Petróleo



La API establece categorías de servicio (por ejemplo, API SP) que certifican el desempeño del aceite en motores a gasolina y diésel. Para motores Otto, esta categoría es un criterio clave para control de depósitos, desgaste y compatibilidad con tecnologías modernas.

Figura 6.

Línea del Tiempo API



Nota: La evolución histórica de las categorías API refleja el aumento de exigencias por cambios en combustibles, diseño del motor y control de emisiones. Por ello, el protocolo exige verificar la categoría vigente solicitada por el fabricante (OEM) antes de definir intervalo y viscosidad.

3.2.3.7. Sistema ISO. La Organización Internacional de Normalización (ISO) implementó, a partir de 1975, un marco destinado a definir en los aceites industriales la viscosidad; sin embargo, su adopción general por parte de los fabricantes de lubricantes no se consolidó hasta 1979. Este sistema para los aceites industriales posee una clasificación en centistokes (cSt) a 40 °C por medio de un sufijo numérico estandarizado al final del nombre del aceite. Su implementación reduce la probabilidad de errores por parte de los usuarios en la selección del lubricante adecuado o en la realización de mezclas con viscosidades distintas, y permite la localización inmediata del semejante de viscosidad entre aceites, dado que el grado ISO oportuno debe figurar al final del nombre del producto. (Pedro Albarracin Aguillon).

3.2.3.7.1. Características del Sistema ISO. Algunos aspectos relevantes que deben considerarse en relación con la clasificación ISO son:

- Se encarga exclusivamente de clasificar la viscosidad de los aceites industriales.
- Estandariza la viscosidad del aceite en centistokes (cSt) a una temperatura de 40 grados Celsius.
- La afirmación se limita a señalar que la viscosidad del aceite industrial es un aspecto que no guarda relación con su calidad.
- El nivel ISO se encuentra al final de la denominación del lubricante industrial, sin importar la marca en cuestión. (Pedro Albarracin Aguillon, n.d.)

3.2.3.8. Tipos de Lubricantes

3.2.3.8.1. Aceites Lubricantes. Es uno de los lubricantes más utilizados en la industria. Existen diversos tipos de aceites base, a partir de los cuales se derivan numerosas aplicaciones posibles. Conforme a la clasificación del API (American Petroleum Institute), se distinguen cinco categorías de aceites lubricantes, las cuales son:

- **Grupo I:** Es el segmento más básico de los aceites derivados del petróleo y se distingue por su calidad inferior. Su empleo ha disminuido debido a sus deficientes propiedades lubricantes. Estos aceites contienen disolventes, impurezas y un elevado contenido de azufre ($>0,03\%$), los cuales resultan indeseables para aplicaciones lubricantes. Asimismo, presentan un porcentaje de moléculas saturadas inferior al 90%.
- **Grupo II:** Es superior al grupo I. Consiste en un aceite hidro procesado en el que se eliminan ciertas impurezas. Presenta un contenido de azufre inferior ($<0,03\%$) y contiene más del 90% de moléculas saturadas.
- **Grupo III:** Se observa una mayor capacidad lubricante en comparación con los grupos I y II. Este tipo de aceites se somete a presiones y temperaturas elevadas para optimizar sus propiedades, lo que facilita que presenten índices de viscosidad superiores a los de los grupos anteriores y, por ende, les permite soportar de manera más eficiente la oxidación y las temperaturas extremas.
- **Grupo IV:** Se los identifica comúnmente como PAOs (polialfaolefinas). La materia prima consiste en etileno, obtenido a partir de la fracción de gases ligeros que asciende a través de las bandejas durante el proceso de extracción de petróleo.

A partir de este gas, se introduce en una planta química en la que se elaboran lubricantes con propiedades lubricantes excepcionalmente elevadas, atribuidas a la intervención humana.

- **Grupo V:** Todos los aceites sintéticos que no proceden de la explotación petrolera tienen como fuente principal sustancias de origen animal, vegetal o alcohólico, y se someten a procesos de estructuración sinterizada. Existen distintas categorías, y la indicación de uso varía según la aplicación específica: diesteres, poliolesteres, poliglicoles, ésteres fosfatados, siliconas y ésteres perfluorados.

Tabla 6.

Clasificación de los Diferentes Tipos de Aceites Básicos Según API

CATEGORIA		INDICE DE VISCOSIDAD	DERIVADOS	SATURADOS	AZUFRE
GRUPO I	Refinación por solvente	80-120	Petróleo	<90%	>0.03%
GRUPO II	Hidro-procesado	80-120	Petróleo	>90%	<0.03%
GRUPO III	Hidrocarburos sintetizados	>120	Petróleo	>90%	<0.03%
GRUPO IV	Reacción química sintetizadas	>140	Sintéticos PAO GTL	Sintéticos	
GRUPO V	Sintéticos diferentes del PAO	>140	Sintéticos Otros	Sintéticos	

Nota: La clasificación de bases (Grupos I–V) ayuda a entender diferencias en estabilidad térmica, volatilidad y respuesta a aditivos. En climas cálidos y servicio severo, bases de mayor calidad (II/III/IV) suelen ofrecer mejor resistencia a oxidación y consumo.

Al formular una recomendación adecuada para la selección de un lubricante, es imprescindible considerar las siguientes áreas:

- Motores de combustión interna
- Fluidos para transmisiones automáticas
- Turbinas
- Sistemas hidráulicos, a prueba de fuego o resistentes al desgaste.
- Reductores
- Engranajes abiertos
- Fluidos de corte
- Compresores
- Formulación de grasas. (INTERLUB, 2020)

3.2.3.9. Impacto del Desgaste en los Mecanismos Lubricados. El desgaste, sin importar su origen, es la degradación que surge cuando la rugosidad de las superficies roza entre sí. Esto lleva al contacto metal con metal en partes que se mueven. Este desgaste puede ser grave y hacer que las piezas pierdan tolerancias, funcionen de forma irregular o se dañen de forma catastrófica. Esto provoca daños grandes y afecta mucho al sistema de producción de la empresa.

Para cualquier caso, el desgaste mecánico es indeseado; pero incluso si se controlan sus causas, la fatiga del material es inevitable. Por eso es una propiedad del material que obliga a reemplazar el mecanismo. Si se quiere lograr la mayor productividad operativa, hay que asegurarse de que los componentes se sustituyan por fatiga, y no por alguno de los otros tipos de desgaste que pueden ocurrir durante el uso. (Pedro Albarracín Aguillon.).

3.2.3.9.1. Tipos de Desgaste. Las superficies de los mecanismos lubricados en una maquinaria pueden deteriorarse por varias razones:

- El tipo de lubricante utilizado y su intervalo de servicio.
- Contaminantes en el aceite, que vienen tanto de dentro como de fuera
- Fallas imprevistas del sistema de lubricación.
- Sobrecargas por problemas mecánicos u operativos.
- Elegir mal el equipo rotativo para la tarea, mal diseño o usar materiales no adecuados para las condiciones de la máquina.

En cualquier caso, el desgaste mecánico resulta indeseable; no obstante, incluso al controlarse las causas subyacentes, la fatiga del material es inevitable y, por tanto, debe considerarse una propiedad inherente del material que obligaría al reemplazo del mecanismo. Si el objetivo es que las máquinas alcancen su máximo rendimiento, es crucial reemplazar las componentes afectadas por fatiga, antes que por los otros tipos de desgaste que pueden presentarse durante la operación.

Los tipos de desgaste más comunes en orden de importancia son:

- Adhesivo
- Erosivo
- Abrasivo
- Corrosivo
- Fatiga superficial
- Cavitación
- Corrientes eléctricas

3.2.3.9.2. *Consecuencias del Desgaste*

Los aspectos claves para considerar son:

- Movilidad irregular de las piezas lubricados.
- Elevados niveles de vibración y aumento de los índices de ruido.
- Elevadas temperaturas de operación.
- Mayor consumo de repuestos debido al incremento del mantenimiento correctivo.
- Caídas significativas en la producción debido a paros en la maquinaria.
- Mayor gasto energético para realizar la misma cantidad de trabajo útil.

3.3. Marco Legal

NTC 1840: Petróleo y sus derivados. Bases Lubricantes

Se definen las especificaciones que deben ser alcanzadas y las pruebas a las que deben ser sometidas tanto las bases lubricantes vírgenes obtenidas del petróleo como las bases lubricantes sintéticas utilizadas en la formulación de aceites y grasas lubricantes, ya sea para aplicaciones automotrices o en entornos industriales.

NTC 1295: Petróleo y sus derivados.

Los aceites lubricantes destinados al cárter de motores de combustión interna que utilizan gasolina, así como aquellos diseñados para funcionar de manera dual con gasolina y gas natural en vehículos de ciclo de cuatro tiempos, y en motores diésel de ciclo tanto de cuatro como de dos tiempos, desempeñan un papel fundamental en el rendimiento y la eficiencia de dichos motores.

Define los criterios que deben ser satisfechos y las pruebas a las que deben ser sometidos los lubricantes para cárter en motores de combustión interna, abarcando tanto aquellos con

encendido por chispa como los de encendido por compresión, que funcionan bajo las circunstancias establecidas por las categorías API.

4. Segundo Capitulo

4.1. Objetivo 1

4.1.1. *Lubricante*

Su objetivo es eliminar la fricción y mantener baja la temperatura entre los componentes en contacto. Al renovar constantemente el lubricante, se facilita la refrigeración del sistema. Este lubricante puede adoptar naturaleza sólida, líquida o gaseosa, según las condiciones operativas requeridas. Se distingue por ofrecer un coeficiente de fricción prácticamente nulo y por generar la menor cantidad de calor posible.

Los objetivos generales de los lubricantes son los siguientes:

- Eliminar la fricción directa entre superficies en movimiento para alargar la vida útil de esos componentes y evitar su desgaste prematuro.
- Reducción de la temperatura operativa de los elementos móviles mediante su función como disipador de calor: previene el sobrecalentamiento al evitar contacto directo entre piezas y, al absorber el calor, lo libera posteriormente mediante intercambiadores o hacia la atmósfera.
- Desempeñar una función protectora frente a los agentes químicos generados durante la combustión.
- Participar en la limpieza de los residuos producidos durante la combustión y el rozamiento, desplazándolos hacia zonas alejadas de la zona de trabajo.

- Actuar como amortiguador en los cojinetes, aprovechando la lubricación hidrodinámica, que permitirá distribuir la carga y reducir la fricción en el cojinete.
- Sellar uniones mecánicas, como el conjunto cilindro-pistón-segmentos, evitando fugas de presión de los gases de la cámara de combustión.
- Utilizarse en aplicaciones de transmisión de fuerzas (sistemas hidráulicos).

4.1.2. Características de los Lubricantes

Para la correcta elección de los lubricantes es necesario conocer sus características. Un lubricante adecuado suele presentar estas cualidades:

- Un punto de ebullición alto y un punto de congelación bajo.
- Un índice de viscosidad elevado
- Estabilidad térmica
- Estabilidad hidráulica
- Demulsibilidad
- Propensión a prevenir la corrosión
- Poca oxidación

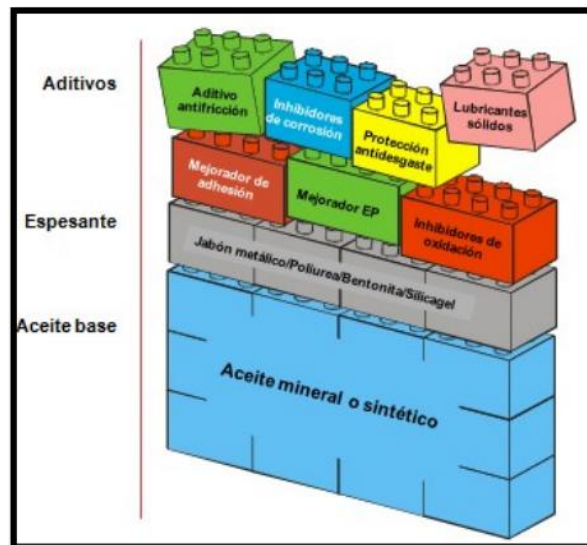
Por lo general, los lubricantes están hechos con alrededor del 90% de aceite base (principalmente petróleo, conocidos como aceites minerales) y menos del 10% de aditivos. A veces se usan aceites vegetales o líquidos sintéticos, como poliolefinas hidrogenadas, ésteres, siliconas, fluoruros y otros, como base de aceite. Los aditivos ayudan a reducir la fricción y el

desgaste, aumentan la viscosidad, mejoran el índice de viscosidad y fortalecen la resistencia a la corrosión, la oxidación, el envejecimiento y la contaminación, entre otros efectos.

Los lubricantes que no son líquidos también incluyen polvos como PTFE, grafito seco, disulfuro de tungsteno y disulfuro de molibdeno, entre otros. De igual forma, la cinta de PTFE usada en fontanería y en sistemas como colchones de aire entra en esta categoría. Los lubricantes secos, como el disulfuro de molibdeno, grafito y el disulfuro de tungsteno, ofrecen lubricación a temperaturas más altas que las que cubren los lubricantes líquidos y los lubricantes a base de aceite, que pueden no funcionar bien en esas condiciones.

Figura 7.

Composición del Lubricante Automotriz



Nota: La mezcla de base más paquete de aditivos define propiedades críticas como detergencia, dispersancia, antidesgaste y estabilidad frente a oxidación. En motores Otto sometidos a temperatura elevada, esta composición influye directamente en la formación de depósitos y en la vida útil del aceite.

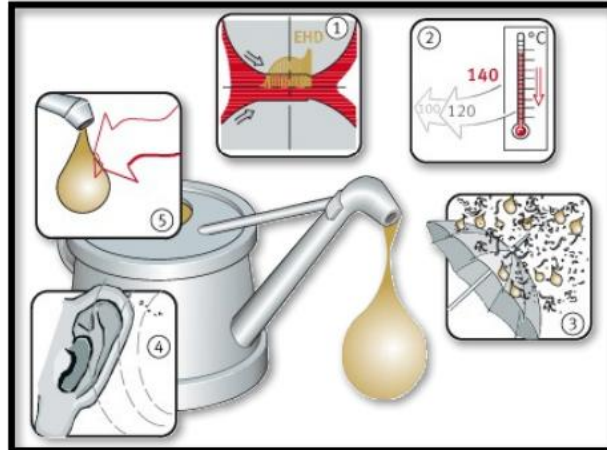
4.1.3. *Función del Lubricante*

Las funciones fundamentales consisten en disminuir la fricción, disipar el calor y dispersar los agentes contaminantes. Diseñar un lubricante que cumpla estas funciones requiere un equilibrio fino entre las propiedades del aceite base y las de los aditivos que contiene.

- Reducción la fricción se logra al mantener una capa de lubricante entre las superficies deslizantes, impidiendo el contacto y, por consiguiente, evitando daños superficiales.
- La disipación de calor ocurre cuando se elimina la energía térmica que se genera por la fricción u otros procesos, como el contacto con sustancias muy calientes o el proceso de combustión. Para este propósito, el lubricante debe conservar, en gran medida, su integridad; las variaciones en la estabilidad térmica y en la oxidación pueden disminuir la eficiencia del lubricante.
- La capacidad de un lubricante para mantener su efectividad frente a la presencia de contaminantes es crucial. Los aditivos suelen constituir la principal respuesta para mitigar los efectos adversos de dichos contaminantes.

Figura 8.

Formación y Aplicación Controlada del Aceite



Nota: El esquema ilustra la creación de película lubricante y su aplicación controlada en componentes del motor. Una viscosidad fuera de especificación puede impedir la correcta formación de película o aumentar fricción y consumo.

4.1.4. Clasificación de Lubricantes

La clasificación de aceites de motor ha evolucionado mediante la adopción de criterios diversos a lo largo de la historia. Inicialmente, la Society of Automotive Engineers (SAE), a comienzos del siglo XX, propuso una categorización basada en la viscosidad, sin considerar aspectos relativos a la calidad, al índice de aditivos o al servicio al que se destina. Esta estructuración ha perdurado como un modelo referencial y ha llegado a ser adoptada como norma ISO.

Respecto al criterio de servicio, los aceites pueden clasificarse conforme a las distintas calidades que presentan, para lo cual se someten a ensayos específicos. Las pruebas permiten evaluar múltiples propiedades de los lubricantes, entre las que se incluyen:

- Capacidad de oxidación a altas temperaturas
- Control de la formación de depósitos
- Viscosidad a altas temperaturas
- Fluidez a bajas temperaturas
- Control de emisiones contaminantes

Actualmente existen diversos organismos responsables de calificar y clasificar los aceites lubricantes. A diferencia de las normativas SAE, que se fundamentan en la propiedad de la viscosidad, estas normas se basan en la calidad del aceite. Dichas normativas son:

La clasificación ACEA (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles) se estableció en 1996 para sustituir al ya desaparecido CCMC (The Committee of Common Market Constructors). Esta clasificación se divide en cuatro grupos:

- Clase A, dirigida a motores de ciclo Otto (gasolina);
- Clase B, relativa a motores diésel ligeros;
- Clase C, enfocada específicamente en la protección de los sistemas de tratamiento de gases de escape;
- Clase D, destinada a motores diésel pesados.

4.1.4.1. Tipos de Lubricantes

Los lubricantes pueden clasificarse mediante diversos criterios; en este caso, se distinguirán por el origen y la composición de la base oleosa, así como por su viscosidad.

- En función del origen y de la composición:
 - Minerales. Los aceites minerales se obtienen a través de un proceso de refinación del petróleo, basado en la destilación fraccionada.
 - Sintéticos. A diferencia de los aceites minerales, estos lubricantes no derivan del petróleo. La Society of Automotive Engineers (SAE) los define como compuestos químicos generados por síntesis a partir de sustancias orgánicas puras.
 - Semisintéticos. Los lubricantes semisintéticos consisten en una mezcla con proporciones variables de aceites minerales y sintéticos, a las que se añaden aditivos para alcanzar las propiedades deseadas; dicha combinación reduce el costo asociado a un lubricante sintético puro.

- Según su viscosidad:

Los lubricantes monogrados se caracterizan por mantener un grado de viscosidad relativamente estable, aunque ello no implica una invariabilidad total frente a la temperatura, como se indicó en la sección anterior. En el sector de los motores, los aceites monogrados han perdido cuota de mercado debido a su limitada capacidad de adaptación ante variaciones térmicas significativas.

Por otro lado, los lubricantes multigrados se distinguen por conservar un grado de viscosidad que varía dentro de un intervalo que abarca las diferencias térmicas extremas. Su notable capacidad de adaptación a las diversas condiciones de operación los ha convertido en los más utilizados en el sector.

4.1.4.1.1. Clasificación por su Tipo de Origen. Aceites minerales

Los aceites minerales se obtienen a partir de fracciones del petróleo sometidas a procesos de refinación. En el ámbito automotriz se utilizan como base de formulaciones por su disponibilidad y costo, y su desempeño final depende de la calidad del refinado (por ejemplo, control de azufre y aromáticos) y del paquete de aditivos incorporado. Para motores de ciclo Otto, el criterio no es únicamente el “origen” del aceite, sino que la formulación cumpla el grado de viscosidad (SAE) y la especificación de servicio (API/ILSAC u OEM) adecuados, asegurando estabilidad a la oxidación, control de volatilidad y protección frente a depósitos y desgaste:

- Parafinas (alcanos lineales y ramificados)
- Naftenos (cicloalifanos con sustituyentes alquílicos)
- Aromáticos (incluidos hidrocarburos policíclicos aromáticos con sustituciones alquílicas, que suelen contener pequeñas cantidades de HAPs)

Además, pueden hallarse en cantidades reducidas compuestos que contienen nitrógeno y azufre.

Ventajas

El principal atributo de las bases minerales es la relación costo-beneficio y su amplia disponibilidad. En formulaciones bien aditivadas, pueden ofrecer desempeño adecuado en

servicio moderado, manteniendo compatibilidad con la mayoría de los sistemas de lubricación convencionales.

Desventajas

En comparación con bases de mayor severidad (por ejemplo, Grupo III/IV), las bases minerales pueden presentar menor margen de estabilidad térmica y a la oxidación, lo que incrementa la sensibilidad a intervalos de cambio largos, altas temperaturas y operación severa. Por ello, su aplicación debe alinearse con el perfil de servicio y con la especificación del fabricante.

Aceites sintéticos

Se denomina aceites sintéticos a aquellos que provienen exclusivamente de síntesis en laboratorio, en oposición a los productos derivados del petróleo u otras sustancias naturales. Son aceites de alto costo, generalmente destinados a la lubricación de motores y maquinaria de alto rendimiento, o bien a motores menos modernos a los que se busca conferir una mayor durabilidad.

La obtención típica del aceite lubricante no sintético se realiza mediante diversos procesos del petróleo (p. ej., hidrocracking, PAO), lo que, conforme a la base de referencia, determina la calidad y las características básicas del lubricante. En contraste con este modo de producción, la síntesis de ésteres en laboratorio permite anticipar y seleccionar las propiedades deseadas del lubricante.

Ventajas

La adopción de lubricantes sintéticos puede disminuir los costos de mantenimiento al posibilitar la ampliación de los intervalos de sustitución del aceite, siempre conforme a las recomendaciones del fabricante del motor, dadas sus características de descomposición oxidativa

extraordinariamente lenta. En este marco, es pertinente evaluar el uso de filtros de aceite de “vida extendida” o específicos para “aceite sintético” con el fin de optimizar el rendimiento y dilatar la duración de los intervalos de sustitución del lubricante.

Para lubricantes de baja viscosidad, se reducen los costos operativos asociados a la reposición del aceite debido a su menor volatilidad en comparación con los lubricantes minerales.

Además, estos lubricantes protegen el motor de forma mucho más contundente que los aceites minerales, reduciendo el desgaste y demostrando una eficacia superior para limpiar depósitos y la suciedad acumulada durante la combustión.

El lubricante sintético eleva el rendimiento y protege el motor de forma superior incluso en condiciones extremas: cuando hay altos regímenes de giro en motores de alto rendimiento, en motores de vehículos de lujo, ante arranques en frío severos y durante operaciones de remolque y transporte de cargas pesadas.

Desventajas

Alto costo puntual

Compatibilidad con el sistema de lubricación.

4.1.5. Comportamiento de los Lubricantes a Bajas Temperaturas

Las propiedades de las bases lubricantes se proyectan como determinantes en las distintas aplicaciones, y la metodología para evaluar dichas propiedades adquiere una relevancia considerable en la fabricación de aceites terminados. Las normas que suelen emplearse

proviene de organismos de normalización estadounidenses (ASTM) y gozan de aceptación a nivel internacional. A continuación, destacan las características más relevantes:

Viscosidad cinemática: un factor clave para la selección adecuada de lubricantes. La viscosidad representa, en principio, la característica fundamental para la escogencia de un lubricante, al reflejar la “densidad” de la base lubricante. Se mide en centistokes (cSt) a temperaturas determinadas, habitualmente 100 y 40 °C. En términos generales, las bases más livianas muestran una viscosidad a 100°C cercana a 2 cSt, mientras que las bases más pesadas alcanzan aproximadamente 45 cSt a esa misma temperatura. Con frecuencia, las bases se clasifican por su viscosidad; por ejemplo, una viscosidad ISO 32 equivale a 32 cSt a 40 °C, mientras que una ISO 15 implica 15 cSt a esa temperatura.

La referencia más utilizada en el mundo comercial es, sin dudas, la viscosidad Saybolt. En este esquema, una base SN 150 posee una viscosidad de 150 SSU (Saybolt Universal Seconds) a 40 °C, lo que equivale a una ISO 32.

Índice de Viscosidad: Revela la disposición del lubricante para mantener estable su viscosidad a lo largo de un extenso rango de temperaturas. Se extrae a partir de las viscosidades medidas a 40 y 100 °C y sirve como una referencia clara de cuánto cambia la viscosidad con la temperatura. Un IV alto implica menor variación de la viscosidad ante cambios térmicos, en tanto que un IV bajo indica que la viscosidad del aceite se altera significativamente con la temperatura. En general, se busca un IV lo más alto posible, ya que corresponde a una lubricación más consistente y confiable en distintas condiciones de calor.

Punto de inflamación: Este parámetro indica la temperatura mínima a la cual una sustancia puede arder si permanece expuesta a una llama durante un mínimo de cinco segundos, estableciendo así el límite de temperatura máxima a la que el lubricante puede estar expuesto. En

aceites de mayor peso específico, el punto de inflamación es más alto, mientras que en aceites más ligeros se ubica aproximadamente en torno a 105 °C.

Punto de congelación: La temperatura en la cual el producto transiciona ha estado sólido y la temperatura mínima para su empleo deben ser determinadas. Las bases convencionales exhiben un punto de congelación cercano a los -9 °C, mientras que las bases sintéticas presentan valores considerablemente inferiores, dentro del rango de -20 a -60 °C.

Volatilidad: Hace referencia al porcentaje de producto que, bajo condiciones de temperatura específicas, se volatiliza. Este ensayo resulta especialmente relevante para bases formuladas para operar a temperaturas elevadas, como los lubricantes para motor. Una volatilidad excesiva implica una mayor evaporación, lo que provoca modificaciones en las propiedades físicas a lo largo de la vida útil del aceite, constituyendo un resultado no deseado.

Tabla 7.

Comparación de viscosidades SAE y criterios de aplicación (motores Otto)

Grado SAE (ejemplo)	Aplicación típica (si OEM lo permite)	Ventajas / consideraciones en clima cálido	Riesgos si se selecciona incorrectamente
0W-20	motores recientes de baja fricción	favorece economía de combustible; en Cúcuta el “0W” no es crítico por ausencia de frío extremo; clave: cumplir API/ILSAC/OEM.	si el motor requiere mayor HTHS o una aprobación específica, puede aumentar consumo, ruido o desgaste.
5W-30	uso general en gran parte de vehículos Otto modernos	buen equilibrio entre protección y eficiencia; ampliamente disponible; adecuada cuando el OEM la especifica.	usar 5W-30 cuando el OEM exige 0W-20/0W-16 o un aceite “low-SAPS” puede afectar compatibilidad y garantía.
10W-30	vehículos Otto de generaciones anteriores	mayor viscosidad en frío (aún apta en Cúcuta); puede ayudar en motores con mayor holgura.	si el OEM especifica 5W-30/0W-20, puede reducir economía y afectar control de válvulas/hidráulicos.
10W-40 / 5W-40	motores con mayor	puede ofrecer mayor	no sustituye la

	carga térmica o desgaste moderado (según OEM)	o	espesor de película a alta temperatura; útil en algunos motores bajo carga sostenida.	corrección del intervalo; un aceite más viscoso no compensa una especificación API/OEM incorrecta.
20W-50	motores antiguos o aplicaciones específicas autorizadas	o	alta viscosidad a temperatura de operación; puede reducir consumo por desgaste en motores antiguos.	en motores modernos puede aumentar pérdidas por fricción, temperatura y depósitos; riesgo de incompatibilidad con tolerancias y sistemas de control.

Nota: En Cúcuta, la selección de viscosidad debe basarse principalmente en la especificación OEM y en el tipo de motor (generación, inyección, turbo, tolerancias). Las condiciones severas suelen requerir intervalos más cortos o aceites de mayor desempeño, no necesariamente mayor viscosidad.

Tabla 8.

Comparación Viscosidades

PRUEBAS	VALOR TÍPICO					
	0W20	5W20	5W30	10W40	20W50	25W50
GRADO SAE						
CLASIFICACION API	SP	SP	SP	SN	SP	SL
DENSIDAD 20°C	0.84	0.84	0.85	0.84	0.88	0.88
TEMPERATURA DE IMFLAMACIÓN		225	225	236	238	235
VISCOSIDAD CINEMATICA 100°C cSt		8	10	13.9	19	18
VISCOSIDAD CINEMATICA 40°C cSt	46.87	43	59	94	176	142
INDICE DE VISCOSIDAD	170	164	162	152	123	130
SIMULACIÓN DE ARRANQUE EN FRIO	5969	5300	5500	6200	8600	9500
TEMPERATURA MINIMA DE FLUIDEZ °C		-42	-39	-30	-24	-12
TBN	7.12	7	7	10.2	7	7

Nota: La empresa Coexito ofrece una cartera diversificada de aceites lubricantes diseñada para adaptarse a distintos tipos de motores, condiciones climáticas y exigencias mecánicas. Se observa una tendencia hacia aceites con una viscosidad baja (por ejemplo, 5W30 y 0W20), los

cuales favorecen la eficiencia de combustible y el arranque en frío, aunque persisten aceites de mayor viscosidad (20W50, 25W50) para equipos más antiguos o sometidos a cargas elevadas. La presencia de clasificaciones API modernas (SP) sugiere que una parte de la flota es relativamente nueva, mientras que el empleo de especificaciones anteriores (SL, SN) indica la coexistencia de tecnologías más antiguas.

El perfil de viscosidades y categorías observadas se explica por la coexistencia de motores Otto de distintas generaciones. Sin embargo, la decisión técnica debe priorizar el cumplimiento de la especificación OEM y la categoría de desempeño (API/ACEA/ILSAC), y luego ajustar el intervalo según el tipo de servicio. En el siguiente capítulo se analiza el impacto de los intervalos de cambio (OEM vs prácticas reales) sobre desempeño, costos y riesgo.

4.1.6. Prácticas actuales de lubricación en el servicio a clientes de Coexito S.A.S

La caracterización de las prácticas actuales se desarrolla de forma descriptiva a partir de los elementos identificados en el planteamiento del problema (brecha entre recomendaciones OEM y práctica real), junto con el portafolio de viscosidades y categorías de aceite atendidas por la empresa (tabla de comparación de viscosidades). Para estructurar la caracterización se consideran tres momentos: (i) selección del aceite (viscosidad SAE y desempeño API/ILSAC/ACEA/OEM), (ii) definición del intervalo de cambio (analizado en el Capítulo 5) y (iii) ejecución del servicio (filtro, control de calidad y registro).

Bajo este enfoque, se identifican los siguientes patrones recurrentes en el servicio de cambio de aceite para motores de ciclo Otto en el contexto local:

- La selección del lubricante suele priorizar la viscosidad SAE (por ejemplo, 5W-30/0W-20 en vehículos recientes y 10W-40/20W-50/25W-50 en motores de mayor kilometraje), mientras que la verificación de categorías de desempeño (API/ILSAC/ACEA) y aprobaciones OEM no siempre se realiza de manera sistemática.
- Se observa convivencia de categorías API modernas y anteriores (por ejemplo, SP, SN y SL), consistente con una flota heterogénea. Técnicamente, el aceite instalado debe cumplir como mínimo la categoría solicitada por el fabricante del motor.
- En climas cálidos como Cúcuta, tiende a sobrevalorarse el segundo número SAE (viscosidad en caliente) como criterio único de protección. Sin embargo, la viscosidad por sí sola no garantiza control de depósitos, compatibilidad con tecnologías modernas (GDI/turbo) ni mitigación de fenómenos como LSPI.
- La ausencia de trazabilidad homogénea (especificación instalada, filtro, condición de servicio normal/severo, observaciones del aceite usado) dificulta comparar la práctica con el manual OEM. Para cerrar esta brecha, el formato mínimo de registro propuesto en el Apéndice B se incorpora como herramienta operativa del protocolo.

En síntesis, la principal oportunidad de mejora identificada es estandarizar la verificación del manual OEM y documentar la condición de servicio (normal o severo) antes de definir especificación e intervalo. Estos aspectos se operacionalizan en el protocolo del Capítulo 6.

5. Tercer Capitulo

5.1. Objetivo 2

El mantenimiento del aceite lubricante de los motores constituye una de las prácticas más decisivas para la durabilidad, eficiencia y rendimiento óptimo de los motores de combustión interna, particularmente en vehículos equipados con motores de ciclo Otto. Tradicionalmente, el cambio de aceite se ha entendido como un procedimiento rutinario basado en un kilometraje o intervalo temporal determinados; sin embargo, con la evolución tecnológica de los motores, de los lubricantes modernos y de los sistemas de gestión electrónica, las prácticas actuales relativas a los intervalos de cambio de aceite han sufrido una transformación notable.

En épocas pasadas, los intervalos de mantenimiento fijos (por ejemplo, cada 5 000 km) constituían la norma universalmente aceptada. No obstante, los avances tanto en aceites sintéticos de alta calidad como en sensores y algoritmos de monitoreo de la vida útil del lubricante han permitido extender de forma segura dichos intervalos en numerosos casos, siempre que se cumplan las especificaciones del fabricante y las condiciones reales de operación del vehículo. Este enfoque más dinámico y basado en evidencia técnica persigue no solo preservar la protección mecánica del motor como la reducción del desgaste por fricción, la disipación de calor y la limpieza interna sino también optimizar la eficiencia de combustible, reducir el impacto ambiental de los residuos de aceite y disminuir los costos operativos.

Sin embargo, persiste una brecha entre las recomendaciones técnicas de los fabricantes y las prácticas prevalentes entre propietarios y talleres de servicio, lo que genera un abanico de

hábitos de mantenimiento que va desde cambios excesivamente frecuentes hasta extensión de intervalos más allá de lo recomendado. Esta variabilidad puede acarrear impactos directos en el rendimiento, la longevidad del motor, las garantías de fábrica y los costos de operación a largo plazo.

Por consiguiente, comprender los fundamentos técnicos que sustentan los tiempos modernos de cambio de aceite y contrastarlos con las prácticas reales en distintos contextos geográficos y de uso resulta fundamental para diseñar estrategias de mantenimiento más eficientes y basadas en la evidencia. En el presente documento se examinarán estas prácticas actuales, su alineación con las especificaciones de los fabricantes, así como los beneficios y riesgos asociados con su aplicación en motores de ciclo Otto, particularmente en el marco de las condiciones operativas prevalentes en el mercado local de la ciudad de Cúcuta.

5.2. Principios Técnicos del Intervalo de Cambio de Aceite

5.2.1. Función del Aceite en motores Otto

El aceite de motor cumple desempeña funciones fundamentales: lubricar las superficies internas para disminuir la fricción y el desgaste; transferir calor desde zonas críticas; controlar contaminantes y residuos de la combustión para mitigar la formación de depósitos y lodos; y proporcionar protección anticorrosiva a los componentes internos.

5.2.2. Factores que Determinan la Vida Útil del Aceite

La vida útil del lubricante se ve influida por: el tipo de aceite (mineral, semisintético, sintético); la carga térmica y el régimen de operación del motor (uso urbano frente a carretera); la contaminación por combustible y la presencia de partículas; y las condiciones ambientales (temperatura, polvo, humedad).

5.3. Recomendaciones de los Fabricantes OEM

Los fabricantes de vehículos establecen los intervalos de cambio de aceite a partir de:

- Ensayos en laboratorio y pruebas en condiciones de campo.
- Especificaciones de viscosidad y normas de aceptación (API, ACEA, Dexos, entre otras)
- Características de los modelos de motor y su diseño (turboalimentado versus aspirado; inyección directa)
- Sistemas electrónicos de monitoreo que estiman la degradación real del lubricante.

5.3.1. Intervalos típicos según especificación OEM

Los intervalos de cambio de aceite recomendados por los fabricantes de vehículos emergen de una síntesis de criterios de ingeniería que abarcan el diseño del motor, los materiales empleados, el sistema de lubricación, el tipo de combustible, las condiciones previstas de

operación y el nivel tecnológico del lubricante especificado. En los motores de ciclo Otto contemporáneos, estas recomendaciones han evolucionado significativamente respecto a los esquemas tradicionales de mantenimiento, pasando de intervalos fijos y conservadores a intervalos optimizados en función del desempeño real del aceite.

Cuando se trata de motores modernos equipados con sistemas de monitoreo electrónico del aceite, como sensores de calidad o algoritmos integrados en la unidad de control electrónico (ECU), los fabricantes establecen intervalos de cambio que pueden oscilar entre 10 000 y 15 000 kilómetros. Tales sistemas no se limitan a registrar el kilometraje, sino que incorporan variables como la temperatura de operación, el régimen del motor, los ciclos de arranque en frío y el tiempo de uso, lo que facilita una gestión más precisa del mantenimiento. Este enfoque persigue maximizar la vida útil del lubricante sin poner en riesgo la protección de los componentes internos del motor.

Por su parte, los motores tradicionales aspirados, sin sistemas avanzados de monitoreo, continúan operando bajo esquemas de intervalos más conservadores, generalmente entre 7 500 y 10 000 kilómetros. Estos rangos reflejan una mayor variabilidad en las condiciones de uso y una menor capacidad del sistema para detectar la degradación del aceite en tiempo real. No obstante, incluso en estos motores, los fabricantes han ido ampliando progresivamente los intervalos a medida que se adoptan aceites de mayor calidad y especificaciones más exigentes.

Un aspecto clave de las recomendaciones OEM es la diferenciación de intervalos bajo condiciones de uso severo. Vehículos sometidos a tráfico urbano intenso, recorridos cortos frecuentes, altas cargas, operación como taxi o transporte continuo, experimentan una degradación acelerada del lubricante debido a contaminantes, dilución de combustible y ciclos térmicos irregulares. En estos escenarios, los fabricantes especifican explícitamente la necesidad

de reducir los intervalos de cambio, incluso cuando se emplean aceites sintéticos, con el objeto de preservar la integridad mecánica del motor.

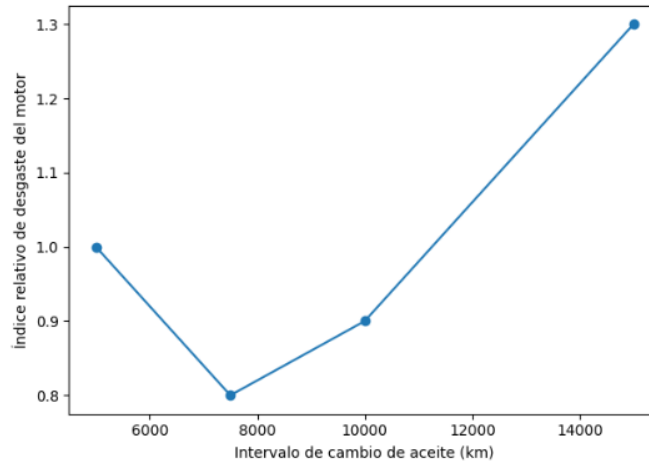
Especial atención merecen los motores turboalimentados y de inyección directa. Estos motores operan bajo mayores presiones y temperaturas, lo que exige lubricantes con viscosidades específicas y aditivos de alto rendimiento para controlar fenómenos como la oxidación acelerada, el preencendido a baja velocidad (LSPI) y la formación de depósitos. En estos casos, los intervalos de cambio se encuentran estrechamente vinculados al cumplimiento de normas técnicas precisas y, en algunos modelos, al seguimiento electrónico del estado del aceite.

En términos generales, las recomendaciones de los fabricantes dependen del uso de aceites que cumplan normas internacionales de desempeño, como API SN o SP, ACEA C3 o C5, y especificaciones propias como Dexos1 Gen2 en el caso de General Motors. El incumplimiento de estas normas, aun respetando el intervalo de kilometraje, puede comprometer la efectividad del sistema de lubricación y acelerar el desgaste del motor.

En consecuencia, los intervalos de cambio de aceite establecidos por los fabricantes no deben interpretarse como valores arbitrarios, sino como el resultado de estudios técnicos, ensayos de durabilidad y validaciones de ingeniería. La correcta aplicación de estas recomendaciones, junto con la selección adecuada del lubricante, constituye un factor determinante para garantizar la confiabilidad, eficiencia y vida útil de los motores de ciclo Otto.

Figura 9.

Relación entre Intervalo de Cambio de Aceite y Desgaste del Motor



Nota: La figura resume que, a medida que se prolonga el intervalo sin soporte técnico, aumenta el riesgo de degradación del aceite y de desgaste acumulado. El protocolo propone ajustar el intervalo según OEM y severidad para mantener un balance entre protección y costo.

La figura anterior ilustra una relación no lineal entre el intervalo de cambio de aceite y el desgaste del motor. Se observa lo siguiente:

- Intervalos extremadamente cortos (aprox. 5 000 km) no generan beneficios significativos adicionales.
- Existe un intervalo óptimo (aprox. 7 500–10 000 km) que minimiza el desgaste relativo.
- Intervalos excesivamente prolongados (> 15 000 km) aumentan el desgaste debido a la degradación del lubricante y la pérdida de aditivos.

Las distancias recomendadas por el fabricante corresponden a una zona de equilibrio entre la protección mecánica y la eficiencia operativa.

Prácticas actuales en talleres y propietarios

En las prácticas contemporáneas de mantenimiento automotriz, los intervalos de cambio de aceite aplicados a vehículos de ciclo Otto suelen diferir de las recomendaciones de los fabricantes, ya que talleres y propietarios tienden a emplear intervalos más cortos, aproximadamente 5.000 km, basados en criterios tradicionales de protección del motor. Estas decisiones no siempre incorporan los avances tecnológicos de los motores modernos ni las especificaciones de los lubricantes actuales, diseñados para soportar intervalos de servicio más prolongados; en contraste, también existen casos en los que los intervalos se extienden más allá de lo recomendado, aumentando el riesgo de degradación del aceite y desgaste prematuro. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de fortalecer la difusión y adopción de las recomendaciones técnicas de los fabricantes para garantizar un mantenimiento eficiente y una mayor vida útil del motor.

5.4. Comparación Técnica: OEM vs Prácticas Reales

5.4.1. Intervalos Extendidos más Allá del OEM

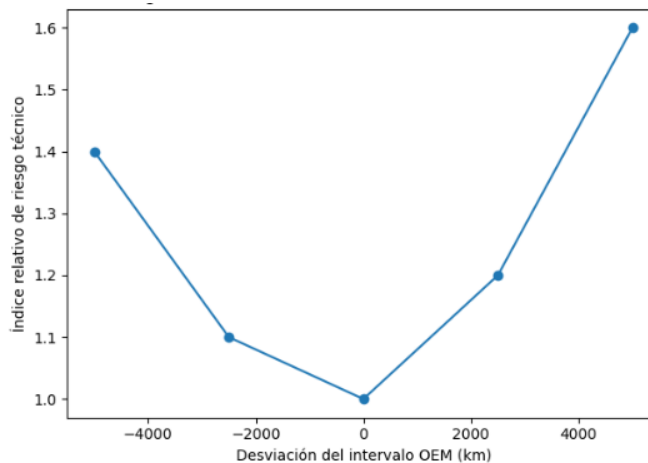
Las prácticas inadecuadas durante los intervalos de cambio de aceite provocan una degradación prematura del lubricante y un incremento del desgaste interno del motor, afectando a componentes críticos y reduciendo su vida útil. Asimismo, el incumplimiento de las recomendaciones del fabricante compromete la confiabilidad mecánica y puede originar la anulación de la garantía del vehículo.

5.4.2. Intervalos más Cortos que los OEM

Las prácticas conservadoras que implican cambios frecuentes de aceite pueden asegurar condiciones óptimas de protección del motor, pero conllevan un incremento innecesario de costos y generación de residuos, sin aportar beneficios significativos en rendimiento o durabilidad, siempre que los intervalos recomendados por el fabricante ya consideren condiciones de operación severas.

Figura 10.

Riesgo Técnico Asociado a la Desviación del Intervalo OEM



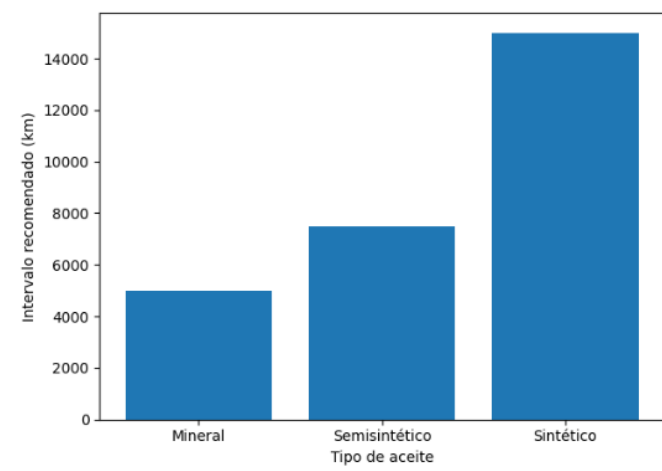
Nota: La desviación del intervalo OEM puede generar riesgos: intervalos extendidos incrementan oxidación, depósitos y desgaste; intervalos excesivamente cortos aumentan costos y residuos sin beneficio proporcional. El enfoque recomendado es seguir el manual (normal/severo) y, cuando sea viable, apoyar decisiones con análisis de aceite.

5.4.3. Influencia del Tipo de Aceite

El empleo de aceites sin certificación o que no cumplen con la especificación OEM agrava los efectos adversos, tanto en intervalos prolongados como en intervalos frecuentes y desalineados con la norma técnica.

Figura 11.

Tipo de Aceite Vs Intervalo de Cambio Recomendado



Nota: La figura anterior demuestra que la categoría de lubricante constituye un factor determinante para la definición del intervalo de cambio:

- Los aceites minerales exhiben menor estabilidad térmica y oxidativa.
- Los aceites semisintéticos permiten intervalos intermedios.
- Los aceites sintéticos soportan intervalos prolongados debido a su mayor resistencia a la degradación.

El análisis previamente descrito demuestra que las prácticas actuales de cambio de aceite en vehículos con motor de ciclo Otto, cuando se desvían de las recomendaciones del fabricante, producen impactos técnicos y económicos cuantificables. Aunque la mayoría de las

intervenciones se realizan siguiendo una lógica conservadora, no siempre se reflejan en mejoras mecánicas; por otro lado, la extensión excesiva de los intervalos eleva el riesgo de desgaste prematuro. En consecuencia, la adopción de intervalos basados en las especificaciones OEM y el uso de lubricantes certificados se erigen como la estrategia óptima de mantenimiento.

5.4.4. Síntesis comparativa aplicada al contexto de Cúcuta y Coexito S.A.S.

Para dar cumplimiento a la evaluación del impacto técnico-operativo, se sintetizan los escenarios más comunes de desviación frente a la recomendación del fabricante (OEM) y su efecto esperado sobre el motor, los costos y la gestión ambiental. La matriz siguiente orienta la decisión del intervalo en el protocolo propuesto, priorizando la consulta del manual OEM y la clasificación de servicio (normal o severo).

Tabla 9.

Matriz Decisión Intervalo Cambio de Aceite

Escenario	Enfoque (referencia)	OEM	Práctica típica en el mercado local	Impacto técnico-operativo	Acción correctiva en el protocolo
Servicio normal, motor moderno con aceite certificado	Seguir intervalo por kilometraje/tiempo o indicador de vida del aceite del fabricante; usar aceite con categoría y aprobación requerida.	por	Cambios preventivos muy frecuentes (por ejemplo, 5.000 km) por criterio histórico.	Aumenta costos y residuos sin beneficio proporcional cuando el OEM ya contempla condiciones de uso; no mejora por sí solo la	Verificar OEM; si aplica intervalo normal, mantenerlo y reforzar educación al cliente.

				protección si la especificación es correcta.	
Servicio severo (tráfico stop-and-go, trayectos cortos, ralentí, alta temperatura)	Aplicar el intervalo “severo” del manual (normalmente más corto que el intervalo estándar).	Aplicar intervalo fijo sin diferenciar severidad o, en algunos casos, extender el intervalo por conveniencia.	Si se extiende: mayor oxidación, dilución de combustible, depósitos y desgaste; si se acorta sin criterio: sobrecosto y mayor generación de residuos.	Clasificar con checklist (Apéndice A) y adoptar intervalo OEM correspondiente.	
Motores turbo o de inyección directa (GDI)	Exigir categoría de desempeño y aprobación específica (API/ILSAC/OEM) y respetar el intervalo recomendado; considerar condiciones severas.	Uso de viscosidades “más gruesas” o aceites sin la aprobación requerida; intervalos ajustados al servicio.	Riesgo de depósitos, degradación acelerada y eventos como LSPI (si no se cumple la categoría requerida); potencial afectación de garantía.	No sustituir especificaciones por equivalencias; documentar aprobación y aplicar intervalo severo cuando corresponda.	
Motores antiguos o de alto kilometraje	Seguir el rango de viscosidades permitido por el OEM y ajustar el intervalo por severidad; vigilar consumo/contaminación.	Escalar a 20W-50/25W-50 como respuesta a consumo o ruido sin validar el manual.	Puede aumentar pérdidas por fricción o afectar lubricación en arranque si la viscosidad	Validar viscosidad permitida; si hay consumo anormal, diagnosticar y no	

está autorizada; compensar solo
 además, la con viscosidad.
 degradación
 puede acelerarse
 por blow-by y
 contaminación.

Nota: La matriz anterior complementa las Figuras de riesgo presentadas en este capítulo y permite convertir el contraste OEM vs práctica real en acciones de control: verificación de especificación, clasificación de severidad, definición de intervalo y registro. De esta forma, el capítulo no solo describe los riesgos, sino que establece un criterio operativo para mitigarlos.

6. Cuarto Capitulo

6.1. Objetivo 3

Este capítulo sintetiza los resultados obtenidos del análisis técnico realizado en el marco del trabajo académico y los transforma en una propuesta operativa de implementación, orientada a reducir la brecha identificada entre las recomendaciones de los fabricantes (OEM) y las prácticas reales de cambio de aceite en vehículos de ciclo Otto. La propuesta se fundamenta en criterios técnicos, económicos y operativos, y prioriza la socialización del conocimiento técnico como eje central para optimizar la toma de decisiones en el mantenimiento automotriz.

6.2. Justificación de la Propuesta

El análisis comparativo realizado demuestra que, aunque los fabricantes definen intervalos de cambio de aceite a partir de pruebas técnicas y especificaciones de lubricación, en la práctica cotidiana dichos intervalos suelen modificarse debido a factores culturales, económicos o a la existencia de desinformación técnica. Esta situación produce las siguientes consecuencias

- Cambios de aceite excesivamente frecuentes sin beneficio mecánico verificable.
- Empleo de viscosidades o normas de aceite no compatibles con el diseño del motor.

- Aumento innecesario de los costos de mantenimiento y generación de residuos contaminantes.
- Mayores riesgos técnicos en motores turboalimentados cuando no se cumplen las especificaciones OEM.

En este contexto, resulta oportuno formular un protocolo técnico estandarizado, acompañado de una estrategia de socialización, que facilite la alineación de las prácticas reales con los criterios técnicos establecidos por los fabricantes, adaptándolos al contexto colombiano.

6.3. Protocolo Técnico Propuesto

El protocolo se estructura como un flujo de decisión estandarizado para seleccionar el aceite (viscosidad más desempeño) y definir el intervalo de cambio en motores de ciclo Otto, priorizando la información del manual OEM y las condiciones reales de operación.

Paso 1: Identificación del vehículo: registrar marca, modelo, año, motorización, tipo de inyección (MPI/GDI) y presencia de turbo; validar kilometraje e historial de mantenimiento.

Paso 2: Consulta OEM: obtener del manual la viscosidad recomendada (SAE), la categoría de desempeño (API/ILSAC/ACEA) y cualquier aprobación requerida (p. ej., dexos, VW, MB). Si no hay manual, usar bases de datos del fabricante o del lubricante y documentar la fuente.

Paso 3: Clasificación de servicio (normal vs severo): aplicar una lista de verificación (tráfico stop-and-go, trayectos cortos, ralentí, carga, polvo, altas temperaturas). Si predomina servicio severo, usar el intervalo “severo” del manual.

Paso 4: Selección del aceite: escoger un producto que cumpla simultáneamente con la viscosidad SAE y la categoría/API–ILSAC–ACEA/OEM indicada. Evitar sustituciones por “equivalencias” sin respaldo técnico.

Paso 5: Definición del intervalo: adoptar el intervalo OEM correspondiente (normal o severo). Si existe incertidumbre, elegir un enfoque conservador y considerar análisis de aceite usado para optimización.

Paso 6: Ejecución y control de calidad: realizar cambio con torque adecuado, reemplazo de filtro, verificación de fugas, nivel final y registro fotográfico/firmas según formato interno.

Paso 7: Inspección del aceite usado: observar presencia de partículas, olor a combustible, emulsión (agua) y variaciones de nivel. Hallazgos anómalos deben disparar diagnóstico (consumo, fugas, PCV, refrigeración).

Paso 8: Comunicación al cliente: entregar recomendación escrita (aceite usado, próxima fecha/km, condiciones severas identificadas) y advertir que el manual OEM prevalece.

Paso 9: Seguimiento e indicadores: consolidar registros para identificar viscosidades/categorías más usadas, desviaciones OEM, reclamos por consumo y frecuencia de re-trabajos; usar esta información para ajustar capacitación.

Plan de implementación y socialización

- Estandarizar formatos: ficha única de recepción, checklist de servicio severo y registro de cambio de aceite.
- Capacitación: sesiones cortas para asesores y técnicos sobre SAE/API/ACEA/OEM, LSPI y severidad en clima cálido.
- Material al cliente: guía rápida (1 página) que explique por qué seguir OEM y cómo identificar servicio severo.

- Gestión ambiental: asegurar recolección y disposición de aceite usado y filtros con un gestor autorizado, y registrar cantidades.
- Indicadores sugeridos (mensuales): % servicios con especificación OEM verificada, % vehículos clasificados como severo, desviaciones de viscosidad/categoría, y reclamos por lubricación.

El protocolo convierte los criterios técnicos en acciones verificables y medibles. Su eficacia depende de la disciplina de registro, la consulta sistemática del manual OEM y la capacitación continua del personal y usuarios.

Conclusiones

El diagnóstico de las prácticas actuales de lubricación en motores de ciclo Otto en la ciudad de Cúcuta permitió identificar una marcada dependencia de criterios empíricos en la selección de lubricantes y en la definición de los intervalos de cambio. Se evidenció una brecha significativa frente a las recomendaciones de los fabricantes de equipos originales (OEM), situación que se intensifica debido a las condiciones climáticas locales de alta temperatura y humedad, las cuales aceleran la degradación del lubricante y comprometen la protección de los componentes internos del motor.

El análisis de los principios tribológicos, junto con la revisión de normas y clasificaciones internacionales como SAE, API e ISO, permitió establecer que una selección inadecuada de la viscosidad y de las especificaciones del lubricante afecta negativamente la estabilidad de la película lubricante, incrementando el desgaste por fricción y reduciendo la eficiencia térmica del motor. Asimismo, se concluye que intervalos de cambio no ajustados a condiciones severas de operación incrementan el riesgo de fallas mecánicas prematuras.

La formulación del protocolo técnico de lubricación, adaptado al contexto operativo de Cúcuta, demostró ser una estrategia efectiva para estandarizar los procesos de mantenimiento, mejorar el desempeño de los motores de ciclo Otto y reducir los costos asociados al mantenimiento correctivo. El protocolo propuesto integra criterios técnicos verificables que garantizan una correcta selección del lubricante y una adecuada periodicidad de cambio.

La definición de una estrategia de implementación basada en la socialización del protocolo y en la capacitación técnica del personal y los usuarios finales fortalece la calidad del servicio ofrecido por Coéxito S.A.S. Esta estrategia contribuye al posicionamiento competitivo de la empresa, promueve una cultura de mantenimiento preventivo y favorece la sostenibilidad técnica y ambiental del sistema de lubricación.

Referencias Bibliográficas

- ACEA. (2022). 2021 ACEA Oil Sequences for Light-Duty Engines (Revision 1, May 2022). European Automobile Manufacturers' Association.
- Adeolu, A. A., Onu, P., Afolalu, S. A., Bello, K. A., Lawal, S. L., Monye, S. I., & Ogunniyi, O. J. (2024). Tribological Analysis of Advanced Lubricants in Automotive Engines. IEEE Conference Proceedings, SEB4SDG, 1-11.
- Adeolu, A. A., Onu, P., Afolalu, S. A., Bello, K. A., Lawal, S. L., Monye, S. I., & Ogunniyi, O. J. (2024). Tribological analysis of advanced lubricants in automotive engines. In Proceedings of the 2024 IEEE 11th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST). IEEE.
- American Petroleum Institute (API). (2025). API 1509: Engine Oil Licensing and Certification System (EOLCS) (23rd ed., February 2025).
- American Petroleum Institute. (s. f.). Latest Oil Categories: API introduces ILSAC GF-6A, GF-6B, and API SP. API Engine Oil Licensing and Certification System (EOLCS).
- Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA). (2024). ACEA Oil Sequences: General Requirements (October 2024).
- Auto Care Association. (2013). Automotive Oil Change Intervals: Severe vs. Normal Driving (Technical Service Bulletin 94-1, Revised October 2013). Filter Manufacturers Council.
- Autor no identificado. (2022-11-08). Repositorio Universidad de Guayaquil "TESINA 152". <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4483/1/TESINA%20152.pdf> (Consultado 2025-8-31).

Autor no identificado. (s.f.). ELEMENTOS DE MAQUINAS by Sistema Biblioteca SENA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License. Creado a partir de la obra en. <http://biblioteca.sena.edu.co/>.

Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, M I. (s.f.). TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN.

ICONTEC. (2020). Petróleo y sus derivados. Aceites lubricantes para cárter en motores de combustión interna... (NTC 1295; ISBN13 NTC1295_2011).

ICONTEC. (2020). Petróleo y sus derivados. Bases lubricantes (NTC 1840; ISBN13 NTC1840_2017).

INFINITIA INDUSTRIAL CONSULTING. (2021-05-10). Tribología ¿Qué es?. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/que-es-la-tribologia/> (Consultado 2025-8-31).

INTERLUB. (2020-10). 6 tipos de lubricantes industriales básicos para una lubricación de alto desempeño. <https://blog.interlub.com/es/blog/6-tipos-lubricantes-industriales-basicos/> (Consultado 2026-1-9).

International Organization for Standardization (ISO). (1992). ISO 3448:1992 - Industrial liquid lubricants — ISO viscosity classification.

Japan Meteorological Agency, Tokyo Climate Center. (s. f.). Monthly Normals Data: Cúcuta/Camilo Daza – Colombia. https://www.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/climate/normal/parts/NrmMonth_e.php?stn=80097

Omar Linares, Ing O. (s.f.). TRIBOLOGÍA Y MANTENIMIENTO PROACTIVO Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste.

Pedro Albarracin Aguillon, Conferencista R. (s.f.). TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN Dictado a: Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. www.pedroalbarracinaguillon.com;

Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT). (2024). Balance del sector tránsito y transporte 2024 (Corte: 31 de diciembre de 2024).

Rizvi, S. Q. A. (1996). History of Automotive Lubrication. SAE Technical Paper 961949. <https://doi.org/10.4271/961949>

Rizvi, S. Q. A. (1996). History of Automotive Lubrication. SAE Technical Paper 961949. <https://doi.org/10.4271/961949>

SAE International. (2024). Engine Oil Viscosity Classification (SAE J300_202405, Revised May 2024). https://doi.org/10.4271/J300_202405

SAE International. (2024). SAE J300_202405: Engine Oil Viscosity Classification (May 8, 2024).

Weather Atlas. (s. f.). Cúcuta, Colombia – Climate data. Recuperado el 19 de enero de 2026.