



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Caracterización de la Degradación de Aceites Lubricantes
Usados Utilizando Tarjetas de Fluidos Vitales**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Añazco Lima, Marlon Ricardo

Tutor: Gómez-Berrezueta, Manuel Fernando

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Manuel Fernando Gómez Berrezueta, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Caracterización de la degradación de aceites lubricantes usados utilizando tarjetas de fluidos vitales realizado por Marlon Ricardo Añazco Lima ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Manuel Fernando Gómez Berrezueta

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Marlon Ricardo Añezco Lima declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: Marlon Ricardo Añezco Lima

C.I.: 0706164498

Acuerdo de Confidencialidad

La Biblioteca de la Universidad Internacional del Ecuador se compromete a:

No divulgar, utilizar ni revelar a otros la información confidencial obtenida en el presente trabajo, ya sea intencionalmente o por falta de cuidado en su manejo, en forma personal o bien a través de sus empleados.

Manejar la información confidencial de la misma manera en que se maneja la información propia de carácter confidencial, la cual en ninguna circunstancia podrá estar por debajo de los estándares aceptables de debida diligencia y prudencia.

Este trabajo contiene datos de un equipo de propiedad privada y datos internos de CATERPILLAR

Daniela Alexandra Jerez Mayorga

Director de la Escuela de Ingeniería Automotriz

Fernández Gilbert María Gabriela

Directora de Biblioteca y Desarrollo Cultural

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental durante todo este proceso. A mis padres, que con su ejemplo de esfuerzo y perseverancia me enseñaron a no rendirme. A quienes confiaron en mí incluso en los momentos más difíciles, les ofrezco este logro con profunda gratitud y cariño.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) y a los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz por su guía, formación y compromiso académico. Mi gratitud especial al tutor del proyecto, Ing. Fernando Gómez Berrezueta, por su orientación constante, paciencia y aportes técnicos que enriquecieron este trabajo.

Extiendo también mi agradecimiento a mis compañeros y amistades, quienes ofrecieron apoyo, colaboración y motivación durante el desarrollo de esta investigación. Finalmente, agradezco a mi familia por su respaldo incondicional y por ser la fuerza que impulsó la culminación de este proceso..

Índice de contenido

Carátula.....	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Acuerdo de Confidencialidad.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de contenido	VII
Índice de tablas	XI
Índice de figuras	XII
Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Capítulo I.....	5
Antecedentes	5
1.1 Tema.....	5
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	6
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	8
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	8
1.3 Objetivos de la investigación.....	8
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	8
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	9
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	9
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	10
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	10
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	10

1.4.5	<i>Delimitación geográfica</i>	11
1.4.6	<i>Delimitación del contenido.....</i>	11
Capítulo II.....		12
Marco referencial		12
2.1	Marco teórico	12
2.1.1	<i>Conceptos preliminares.....</i>	12
2.1.2	<i>Aceites lubricantes y su degradación.....</i>	13
2.1.3	<i>Métodos convencionales de caracterización de aceites usados</i>	14
2.1.4	<i>Tecnología métodos rápidos de diagnóstico y tarjetas de fluidos vitales .</i>	14
2.1.5	<i>Aplicación en mantenimiento predictivo y gestión de aceites</i>	15
2.1.6	<i>Análisis de aceite: herramienta de mantenimiento predictivo asequible... </i>	15
2.2.1	<i>Aceite lubricante</i>	16
2.2.2	<i>Aceite usado.....</i>	17
2.2.3	<i>Degradación oxidativa</i>	17
2.2.4	<i>Viscosidad</i>	18
2.2.5	<i>Contaminación del aceite</i>	18
2.2.6	<i>Análisis de aceites usados.....</i>	18
2.2.7	<i>Tarjetas de fluidos vitales.....</i>	19
2.2.8	<i>Tecnología y análisis de aceite</i>	19
Capítulo III.....		21
Metodología.....		21
3.1	Enfoque metodológico	21
3.2	Tipo y diseño de investigación.....	21
3.3	Variables de estudio.....	22
3.4	Revisión técnica y científica	22
3.4.1	<i>Paso 1. Búsqueda bibliográfica</i>	22
3.4.2	<i>Paso 2. Análisis documental</i>	23
3.5	Selección de muestras de aceite lubricante	23

3.5.1	<i>Paso 3. Definición de la población y muestra</i>	23
3.6	Recolección de muestras de aceite	23
3.6.1	<i>Paso 4. Preparación para el muestreo</i>	23
3.6.2	<i>Paso 5. Toma de muestras</i>	23
3.6.3	<i>Paso 6. Almacenamiento</i>	24
3.7	Aplicación del método Vital Cards	24
3.7.1	<i>Paso 7. Preparación de las tarjetas</i>	24
3.7.2	<i>Paso 8. Aplicación de la muestra</i>	25
3.7.3	<i>Paso 9. Tiempo de difusión</i>	27
3.8	Análisis visual e interpretación cromatográfica	27
3.8.1	<i>Paso 10. Observación de patrones</i>	27
3.8.2	<i>Paso 11. Registro de resultados</i>	28
3.9	Análisis de laboratorio de referencia	28
3.9.1	<i>Paso 12. Ensayos básicos de laboratorio</i>	28
3.10	Comparación y análisis de resultados	28
3.10.1	<i>Paso 13. Comparación cualitativa y descriptiva</i>	28
3.10.2	<i>Paso 14. Análisis comparativo entre muestras</i>	29
3.11	Validación del método rápido	29
3.11.1	<i>Paso 15. Evaluación de utilidad</i>	29
3.12	Presentación de resultados	29
3.12.1	<i>Paso 16. Sistematización</i>	29
Capítulo IV		30
Resultados y discusión		30
4.1	Análisis cromatográfico de las muestras de aceite	30
4.1.1	<i>Muestra A</i>	30
4.1.2	<i>Muestra B</i>	31
4.1.3	<i>Muestra C</i>	31
4.2	Repetibilidad del método	31

4.3	Comparación con parámetros básicos de laboratorio	32
4.4	Discusión.....	32
	Conclusiones	34
	Recomendaciones	35
	Referencias.....	36

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de estudio	22
---	----

Índice de figuras

Figura 1 Fricción en los motores de combustión	6
Figura 2 Pérdidas de energía estimadas dentro del motor de combustión interna	7
Figura 3 Degradación y contaminación del aceite	13
Figura 4 Comprobación del aceite de un motor	15
Figura 5 Aceites lubricantes	17
Figura 6 Recolección de muestras	24
Figura 7 Muestras	24
Figura 8 Tarjetas Vital Fluids	25
Figura 9 Aplicación de la muestra	25
Figura 10 Ubicación de la muestra de aceite para análisis	26
Figura 11 Colocación de la muestra	26
Figura 12 Procedimiento de la prueba	27
Figura 13 Evaluación visual	28
Figura 14 Resultados de la prueba	32

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad caracterizar la degradación de aceites lubricantes usados mediante el uso de tarjetas de análisis cromatográfico Vital Fluids, aplicando un método rápido, visual y estandarizado. Para ello, se realizó inicialmente una revisión técnica y científica sobre el funcionamiento, fundamentos y ventajas del análisis cromatográfico en tarjetas, con el fin de comprender su aplicabilidad en el diagnóstico del estado de aceites lubricantes. Posteriormente, se emplearon tarjetas Vital Fluids en muestras de aceite usado provenientes de maquinaria pesada, permitiendo identificar niveles de contaminación, oxidación y presencia de impurezas asociadas al desgaste mecánico y a las condiciones reales de operación. Finalmente, los resultados obtenidos mediante las tarjetas fueron comparados con parámetros de referencia de laboratorio, como viscosidad, presencia de sedimentos y colorimetría, con el objetivo de evaluar la correlación entre ambas técnicas. Este estudio aporta una alternativa práctica para el monitoreo del estado del aceite, facilitando decisiones de mantenimiento predictivo y contribuyendo a la optimización del ciclo de reemplazo del lubricante.

Palabras clave: Aceites, tarjetas cromatográficas, maquinaria pesada.

Abstract

The purpose of this project is to characterize the degradation of used lubricating oils using Vital Fluids chromatographic analysis cards, applying a rapid, visual, and standardized method. To this end, a technical and scientific review of the operation, principles, and advantages of chromatographic card analysis was initially conducted to understand its applicability in diagnosing the condition of lubricating oils. Subsequently, Vital Fluids cards were used on used oil samples from heavy machinery, allowing for the identification of contamination levels, oxidation, and the presence of impurities associated with mechanical wear and actual operating conditions. Finally, the results obtained using the cards were compared with laboratory reference parameters, such as viscosity, sediment presence, and colorimetry, to evaluate the correlation between the two techniques. This study provides a practical alternative for monitoring oil condition, facilitating predictive maintenance decisions and contributing to the optimization of the lubricant replacement cycle.

Keywords: Oils, chromatographic cards, heavy machinery.

Introducción

La evaluación del estado de los aceites lubricantes es un eje fundamental dentro del mantenimiento predictivo, ya que la degradación del lubricante afecta directamente el desgaste de los componentes, la eficiencia energética y la vida útil de la maquinaria. De forma tradicional, este análisis se realiza en laboratorios especializados mediante ensayos como espectrometría, viscosimetría o determinación de sedimentos; sin embargo, dichos métodos requieren equipos costosos, tiempos prolongados y personal especializado. En entornos operativos como la maquinaria pesada, donde las condiciones de trabajo son severas y la disponibilidad del equipo es crítica, surge la necesidad de contar con alternativas rápidas, prácticas y confiables para la toma de decisiones.

Es en este contexto donde las tarjetas cromatográficas se presentan como una herramienta prometedora, permitiendo obtener información inmediata sobre la contaminación del aceite, partículas metálicas, oxidación y presencia de residuos. Las tarjetas Vital Fluids se fundamentan en principios de cromatografía en papel, en los cuales la distribución de los componentes del aceite sobre la superficie porosa genera patrones visibles que pueden interpretarse cualitativa y semicuantitativamente.

El proyecto tuvo como propósito analizar la degradación de aceites lubricantes usados mediante el uso de tarjetas cromatográficas Vital Fluids, método que permite obtener información rápida sobre el estado del lubricante sin necesidad de equipos de laboratorio complejos. La investigación respondió al problema planteado al ofrecer una herramienta práctica y de bajo costo que facilita la evaluación del aceite en maquinaria pesada, contribuyendo a decisiones oportunas de mantenimiento y a la reducción de fallas por lubricación inadecuada.

El alcance de los objetivos se cumplió completamente. En primer lugar, se revisó documentación técnica y científica relacionada con métodos cromatográficos aplicados a aceite lubricante, lo que permitió establecer fundamentos teóricos sólidos. Luego, se aplicó el método Vital Fluids en muestras reales recolectadas en maquinaria pesada, obteniendo patrones visuales sobre contaminación, oxidación y presencia de sedimentos. Finalmente, se

compararon estos resultados con parámetros básicos usados en laboratorio, logrando validar la utilidad del método como complemento para el diagnóstico.

Durante el desarrollo del trabajo existieron varias facilidades, como el acceso a maquinaria operativa y muestras reales, además de la disponibilidad de las tarjetas cromatográficas. No obstante, se presentaron limitantes, entre ellas la variabilidad en la calidad de las muestras, el acceso limitado a equipos de laboratorio para comparaciones más profundas y la sensibilidad del método ante condiciones ambientales como humedad y temperatura.

La metodología empleada consta de tres fases: (1) revisión bibliográfica especializada; (2) toma y preparación de muestras de aceite usado; y (3) aplicación del análisis cromatográfico en tarjetas Vital Fluids seguido de la comparación con parámetros de laboratorio. Esta metodología permite obtener resultados reproducibles y representativos del estado del lubricante.

El documento se estructura en capítulos que abordan: los fundamentos teóricos del aceite lubricante y su degradación; el funcionamiento de las tarjetas cromatográficas; la metodología aplicada al estudio; el análisis de resultados obtenidos en las muestras; y finalmente, conclusiones y recomendaciones.

La investigación aporta valor tanto para la institución como para empresas y usuarios, pues demuestra la viabilidad de implementar un método rápido para evaluar el estado del lubricante, optimizando intervalos de mantenimiento y reduciendo costos asociados a fallas mecánicas. A nivel social, promueve prácticas de mantenimiento más eficientes, reduce el impacto ambiental derivado del uso excesivo de aceites y contribuye a la gestión responsable de residuos lubricantes.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Caracterización de la degradación de aceites lubricantes usados utilizando tarjetas de fluidos vitales.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

El aceite lubricante constituye un elemento esencial para el funcionamiento adecuado de los motores de combustión interna, ya que reduce la fricción, disipa calor y protege los componentes contra el desgaste. Sin embargo, durante su uso sufre procesos de degradación química y contaminación por partículas metálicas, combustible, hollín y agua, lo que altera sus propiedades fisicoquímicas y, en consecuencia, disminuye la vida útil del motor.

En la actualidad, la caracterización del aceite usado se realiza principalmente mediante análisis de laboratorio especializados, tales como espectrometría de absorción atómica, cromatografía o pruebas de viscosidad. Si bien estas técnicas son confiables, requieren equipos costosos, personal especializado y tiempos prolongados de respuesta, lo cual dificulta la toma de decisiones inmediatas en talleres, flotas de transporte y usuarios particulares.

Ante esta realidad, surge la necesidad de desarrollar métodos rápidos, prácticos y de bajo costo que permitan diagnosticar en sitio el estado del lubricante, de manera similar a las pruebas de fluidos vitales utilizadas en diagnóstico automotriz.

La implementación de este tipo de herramientas puede facilitar la detección temprana de aceites degradados o contaminados, reducir riesgos de fallas mecánicas graves y optimizar los programas de mantenimiento predictivo.

El problema radica, entonces, en la ausencia de un método ágil y confiable para la caracterización de aceites lubricantes usados fuera del laboratorio, lo que limita la capacidad de respuesta y eleva los costos de mantenimiento en el sector automotriz e industrial.

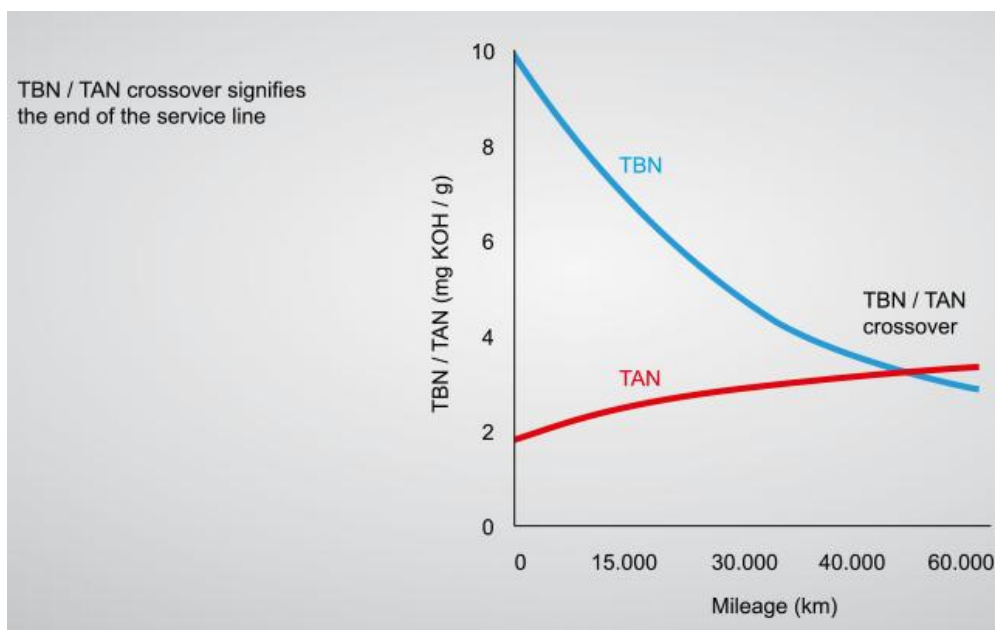
1.2.1 Planteamiento del problema

El aceite lubricante usado en motores de combustión interna desempeña funciones críticas: reduce la fricción, disipa calor, transporta partículas metálicas generadas por desgaste y contribuye a la durabilidad del sistema mecánico. Sin embargo, durante su uso, los aceites sufren degradación química (oxidación, nitración, sulfación), contaminación con agua, combustible, partículas de desgaste, y pérdida de aditivos, lo que afecta sus propiedades fisicoquímicas como viscosidad, número de base/alcalinidad (TBN), acidez, contenido de partículas metálicas, y capacidad de lubricidad.

El número de base total, o TBN, que se refiere a la reserva de alcalinidad en el aceite y la cantidad de ácidos en el aceite se describe mediante otro número, conocido como número de ácido total, TAN, medido de acuerdo con ASTM D 664. A medida que el petróleo envejece, el TBN disminuye gradualmente a medida que aumenta el TAN (Figura 1).

Figura 1

Reserva de alcalinidad en el aceite



Fuente: (bizol.com, 2025).

Estas alteraciones no sólo incrementan el desgaste del motor, sino que pueden provocar fallas prematuras y costos elevados de mantenimiento (Sejkorová, 2021).

Los métodos convencionales para caracterizar este estado del aceite (espectroscopía infrarroja – FTIR, viscosimetría, análisis de metales, espectrometría, pruebas de acidez / alcalinidad) requieren laboratorio especializado, equipamiento costoso, personal calificado, y tiempos de respuesta elevados. Por ejemplo, Wolak, Krasodonski & Zajac (2020) muestran que el análisis FTIR combinado con pruebas de viscosidad proporciona diagnósticos fiables, pero demanda recursos y tiempo.

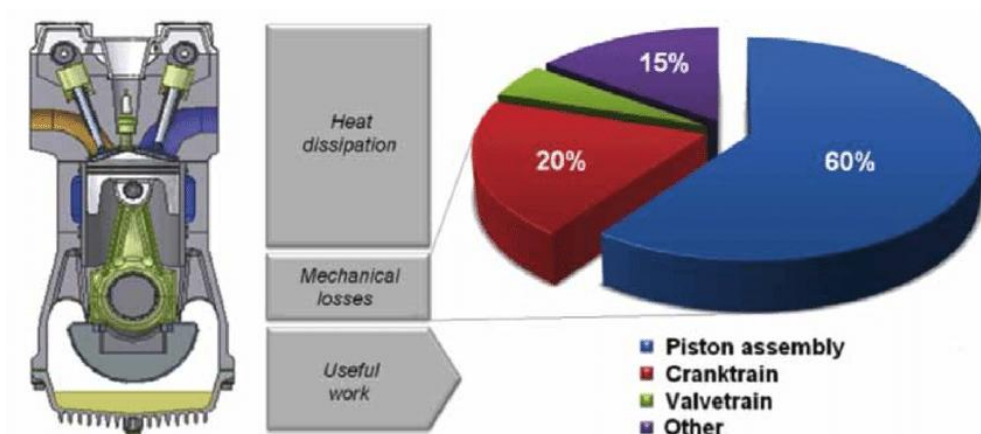
Esta situación impide que talleres automotrices, flotas de vehículos, estaciones de servicio y usuarios finales puedan tomar decisiones rápidas sobre el cambio o tratamiento del aceite lubricante, lo que limita la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo que podrían ahorrar costos y prolongar la vida útil del motor.

Además, sin diagnósticos en sitio es difícil detectar contaminaciones tempranas o degradaciones que aún no se manifiestan visiblemente (Wolak, 2025).

Las pérdidas por fricción mecánica en un motor de combustión interna se suelen agrupar con otros dos tipos de pérdidas: el trabajo de bombeo y el trabajo de los componentes auxiliares. Además de lubricar, se espera que el aceite de motor cumpla con otros requisitos de servicio: actuar como refrigerante para los pistones, los anillos y los cojinetes; mejorar el sellado de los anillos; controlar el desgaste o la corrosión del motor; y eliminar las impurezas de las zonas lubricadas (Figura 2).

Figura 2

Pérdidas de energía estimadas dentro del motor de combustión interna



Fuente: (Zhud, 2012).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo diseñar y validar un método rápido para la caracterización de aceites lubricantes usados, utilizando tarjetas de fluidos vitales, que permita obtener resultados confiables y comparables con los análisis de laboratorio tradicionales?

1.2.3 Sistematización del problema

Para dar respuesta a la pregunta central, se plantean las siguientes interrogantes específicas:

- ¿Cuáles son los principales parámetros fisicoquímicos y de degradación que deben analizarse en los aceites lubricantes usados?
- ¿Cómo adaptar las tarjetas de fluidos vitales para la detección rápida de contaminantes y variaciones críticas en el aceite?
- ¿Qué correlación existe entre los resultados obtenidos mediante las tarjetas de fluidos vitales y los análisis de laboratorio convencionales?
- ¿En qué medida la implementación de este método rápido contribuye a la optimización de los procesos de mantenimiento predictivo en el sector automotriz?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Caracterizar la degradación de aceites lubricantes usados utilizando tarjetas de análisis cromatográfico siguiendo un método rápido estandarizado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Revisar información técnica y científica sobre el uso de tarjetas cromatográficas para análisis de aceites lubricantes.
- Aplicar el método de tarjetas Vital Fluids en muestras de aceite usado recolectadas en maquinaria pesada.
- Comparar el estado del aceite lubricante en función del contenido de impurezas obtenidos con las tarjetas frente a parámetros básicos de referencia de laboratorio.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

La caracterización de aceites lubricantes usados es fundamental para garantizar la confiabilidad y durabilidad de los motores de combustión interna, ya que la degradación química y la contaminación con partículas metálicas, combustible y agua afectan sus propiedades de lubricación y aumentan el riesgo de fallas mecánicas prematuras (Wolak, Krasodonski & Zajac, 2020).

Los métodos convencionales, como espectroscopía infrarroja, viscosimetría y análisis de metales, han demostrado alta precisión, pero requieren laboratorios especializados, altos costos y tiempos prolongados de respuesta (Hassan et al., 2021). En este contexto, el diseño de métodos rápidos mediante tarjetas de fluidos vitales representa una alternativa innovadora que puede proporcionar diagnósticos inmediatos en campo, optimizando el mantenimiento predictivo y reduciendo el impacto económico y ambiental del manejo inadecuado de aceites usados (Matuszewska, 2022; Goyal et al., 2023).

De esta manera, la investigación se justifica tanto en el plano científico, al proponer un procedimiento alternativo validado frente a técnicas de referencia, como en el práctico, al ofrecer soluciones accesibles y rápidas para el sector automotriz e industrial.

1.4.1 Justificación teórica

El estudio se sustenta en la necesidad de comprender los cambios fisicoquímicos que experimentan los aceites lubricantes durante su uso en motores de combustión interna.

Desde la teoría de la tribología y la química de lubricantes, se sabe que factores como la oxidación, la contaminación con combustible, agua o partículas metálicas, así como la degradación de aditivos, afectan directamente la viscosidad, el índice de neutralización y el contenido de partículas en el aceite.

Estos parámetros constituyen indicadores críticos de la salud del motor y del propio lubricante. El diseño de métodos rápidos basados en tarjetas de fluidos vitales (kits portátiles de diagnóstico) permite contrastar la teoría de la degradación de aceites con procedimientos prácticos de evaluación, aportando al conocimiento sobre correlación entre pruebas de campo y análisis de laboratorio.

1.4.2 Justificación metodológica

Metodológicamente, el proyecto se justifica porque propone el diseño y validación de un procedimiento alternativo que combine pruebas rápidas con tarjetas de fluidos vitales y su correlación con parámetros estandarizados de laboratorio.

El enfoque comparativo permitirá determinar la precisión, sensibilidad y confiabilidad de estas tarjetas frente a técnicas convencionales como la espectrometría, la medición de viscosidad o el análisis de TBN/ TAN. Además, la metodología se adapta a un esquema experimental replicable, que posibilita su aplicación en diversos entornos (talleres, estaciones de servicio, empresas de transporte), garantizando reproducibilidad y relevancia en contextos donde los recursos técnicos y económicos son limitados.

1.4.3 Justificación práctica

En la práctica, la caracterización de aceites usados requiere generalmente laboratorios especializados, equipos de alta precisión y tiempos prolongados de análisis, lo que representa un desafío para usuarios, talleres automotrices y flotas de transporte que necesitan diagnósticos inmediatos para la toma de decisiones. La implementación de métodos rápidos con tarjetas de fluidos vitales permite:

- Reducir costos de mantenimiento al detectar oportunamente aceites contaminados o degradados.
- Prevenir fallas mecánicas graves mediante diagnósticos en sitio.
- Facilitar la gestión del mantenimiento predictivo en motores de vehículos livianos y pesados.

De esta manera, la investigación tiene una utilidad práctica directa en el sector automotriz e industrial, donde la confiabilidad de los equipos depende en gran medida del estado del lubricante.

1.4.4 Delimitación temporal

El proyecto contempla un periodo de ejecución total de seis meses, iniciando oficialmente sus actividades en septiembre de 2025 y concluyendo en febrero de 2026. Este intervalo de tiempo fue establecido considerando las fases necesarias para el desarrollo

integral del estudio, que incluyen la revisión bibliográfica especializada, la recolección de muestras de aceite usado, la aplicación del método cromatográfico con tarjetas Vital Fluids, el análisis comparativo con parámetros de laboratorio y la elaboración del informe final.

1.4.5 Delimitación geográfica

El trabajo se efectúa en la ciudad de Guayaquil.

1.4.6 Delimitación del contenido

El presente estudio se centra en el diseño y validación de métodos rápidos para la caracterización de aceites lubricantes usados, utilizando tarjetas de fluidos vitales como herramienta de diagnóstico alternativo. La investigación se limita a:

- Tipo de muestra: aceites lubricantes usados provenientes de maquinaria pesada.
- Método comparativo: contraste de los resultados obtenidos con pruebas rápidas frente a técnicas convencionales de laboratorio (espectroscopía infrarroja, viscosimetría estándar y análisis elemental).

Limitaciones: no se incluye un análisis exhaustivo de aditivos específicos ni la caracterización de aceites sintéticos de alta gama, restringiéndose a lubricantes minerales y semisintéticos de uso común en el parque automotor local.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

El análisis de aceites lubricantes usados constituye una herramienta esencial dentro del mantenimiento predictivo, ya que permite identificar el grado de degradación del lubricante y la presencia de contaminantes que afectan directamente la eficiencia y vida útil de los motores.

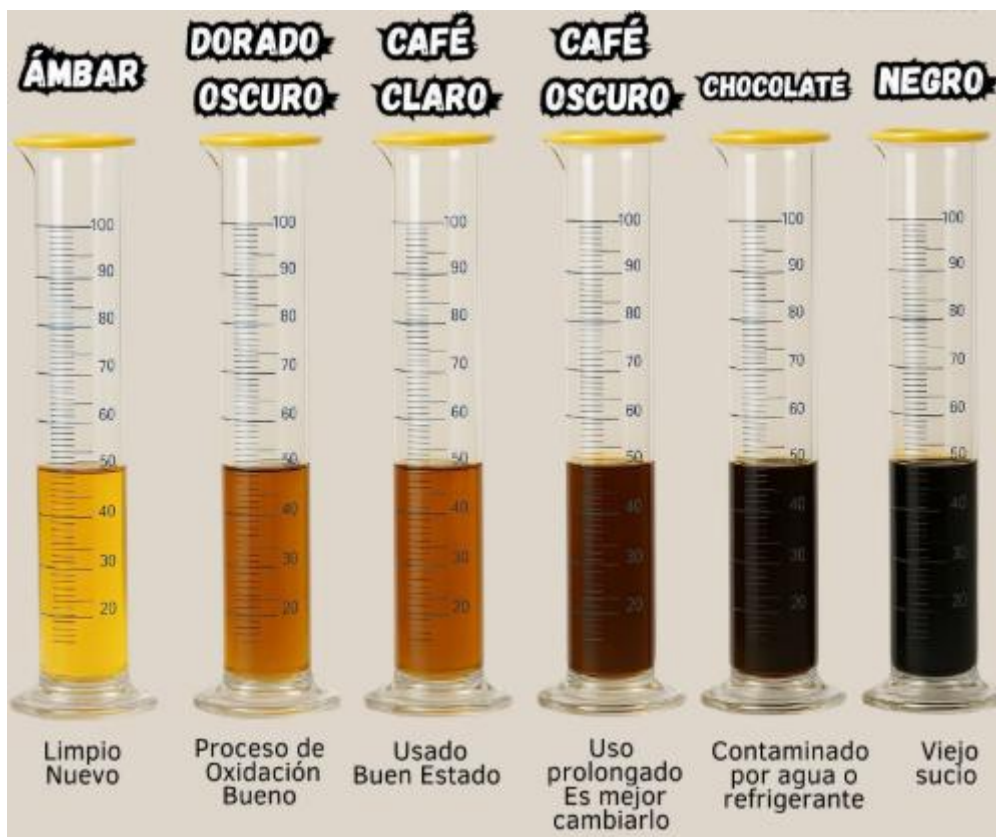
Algunos estudios han demostrado que parámetros como la viscosidad, la oxidación, el contenido de aditivos y la acumulación de partículas metálicas son indicadores clave del estado de operación del motor y de la necesidad de reemplazo del lubricante (Hassan et al., 2021; Wolak et al., 2020).

2.1.1 Conceptos preliminares

Los conceptos preliminares constituyen la base teórica necesaria para comprender el alcance de la investigación, al precisar definiciones clave relacionadas con los aceites lubricantes, su ciclo de vida, los procesos de degradación a los que están expuestos y las técnicas empleadas para su caracterización. Asimismo, se abordan los fundamentos de las tarjetas de fluidos vitales como herramienta innovadora para la detección rápida de cambios fisicoquímicos, lo que permitirá establecer un marco conceptual claro y coherente para el diseño del método propuesto.

El análisis de aceites lubricantes usados es una herramienta esencial dentro del mantenimiento predictivo, ya que permite evaluar el estado del lubricante y detectar la presencia de contaminantes que afectan la eficiencia y vida útil de los motores de combustión interna. Los aceites lubricantes sufren procesos de degradación química, contaminación por partículas metálicas, agua, combustible y hollín, así como la pérdida de aditivos esenciales (Figura 3).

Estas alteraciones provocan cambios en la viscosidad, acidez, número base y otros parámetros críticos, incrementando el riesgo de desgaste prematuro y fallas mecánicas (Hassan, Al Shorman, Irfan & Altarawneh, 2021; Wolak, Krasodonski & Zajac, 2020).

Figura 3*Degradación y contaminación del aceite**Fuente: (molercularmente.com, 2025).*

2.1.2 Aceites lubricantes y su degradación

Los aceites lubricantes son fluidos compuestos por bases minerales o sintéticas, combinadas con aditivos que mejoran sus propiedades tribológicas y químicas. Su función principal es reducir la fricción, disipar calor y proteger los componentes internos de desgaste (Matuszewska, 2022).

Sin embargo, durante su uso, los aceites sufren degradación oxidativa, provocada por la reacción con oxígeno a altas temperaturas, generando productos ácidos e insolubles que alteran la viscosidad y la lubricidad del aceite (Hassan et al., 2021).

Otro proceso crítico es la contaminación con partículas metálicas y combustibles, que acelera el deterioro del lubricante y puede afectar componentes como cojinetes, pistones y engranajes. La evaluación periódica de estos parámetros es esencial para prevenir fallas y optimizar la vida útil del motor (Wolak et al., 2020).

2.1.3 Métodos convencionales de caracterización de aceites usados

Los métodos tradicionales incluyen:

- Viscosimetría: mide la resistencia al flujo, indicador directo de la degradación y contaminación del aceite.
- Espectroscopía infrarroja (FTIR): permite identificar grupos funcionales asociados a oxidación, nitración y formación de ácidos (Wolak et al., 2020).
- Análisis de metales y aditivos: evalúa el desgaste del motor y la pérdida de propiedades mediante técnicas como espectroscopía de absorción atómica o ICP (Hassan et al., 2021).

Estos métodos ofrecen resultados precisos, pero su aplicación en talleres o sitios de operación remotos es limitada por el costo, tiempo y complejidad técnica.

2.1.4 Tecnología métodos rápidos de diagnóstico y tarjetas de fluidos vitales

Ante las limitaciones de los métodos convencionales, se desarrollan métodos rápidos y portátiles, que permiten evaluar el estado del aceite mediante pruebas colorimétricas y visuales, reduciendo costos y tiempos. Las tarjetas de fluidos vitales son una herramienta innovadora que permite detectar:

- Cambios en color y viscosidad.
- Presencia de contaminantes como agua o partículas metálicas.
- Grado de oxidación y acidez/alcalinidad del aceite (Goyal et al., 2023).

Estas tarjetas no reemplazan los análisis de laboratorio, pero ofrecen información suficiente para decisiones rápidas sobre mantenimiento predictivo y prevención de fallas, especialmente en talleres y flotas con recursos limitados (Matuszewska, 2022).

Para las personas, realizarse una prueba rutinaria de sangre para comprobar que todo está en orden es algo habitual. De igual forma, comprobar el aceite de un motor (Figura 4) puede ayudar bastante a determinar su nivel de rendimiento.

Con un siglo de experiencia lubricando billones de motores de combustión interna, los ingenieros del petróleo han desarrollado sofisticadas mezclas de aceite que protegen al motor.

Estas mezclas neutralizan los ácidos que se forman y limpian las superficies internas del motor. En los aceites modernos es posible ajustar el nivel de viscosidad en relación a la temperatura del motor.

Figura 4

Comprobación del aceite de un motor



Fuente: (Terotecnic.com, 2025)

2.1.5 Aplicación en mantenimiento predictivo y gestión de aceites

La implementación de métodos rápidos permite:

- Reducir riesgos de falla mecánica al identificar aceites degradados de manera temprana.
- Optimizar costos operativos y de mantenimiento.
- Contribuir a una gestión ambiental responsable mediante la correcta identificación y disposición de aceites usados (Hassan et al., 2021).

Así, la combinación de tarjetas de fluidos vitales con técnicas convencionales establece un esquema de diagnóstico integral, accesible, confiable y replicable, adecuado para la industria automotriz y flotas de transporte.

2.1.6 Análisis de aceite: herramienta de mantenimiento predictivo asequible

El análisis de aceite examina las propiedades del lubricante, su composición y los indicios de contaminación. Casi todos los equipos utilizan aceite lubricante para reducir la

fricción, evitar el sobrecalentamiento y prevenir el desgaste del motor y los componentes mecánicos.

Por lo tanto, el análisis de aceite es una de las herramientas de mantenimiento predictivo más útiles, versátiles y económicas.

El aceite de motor no se puede usar indefinidamente. Su vida útil depende de la fecha de caducidad del motor o de su uso. Esto lo especifican los fabricantes (OEM) en los manuales de servicio.

Una de las mayores ventajas del análisis de aceite es la gran cantidad de información disponible de antemano. Es decir, si un metal determinado aumenta con el tiempo, resulta relativamente sencillo comprender el origen del problema y actuar a tiempo.

Aun así, no se debe olvidar que, en el mantenimiento predictivo, el análisis de datos es tan importante como la monitorización del estado (Blog.infraspeak.com, 2025).

2.2 Marco teórico

2.2.1 *Aceite lubricante*

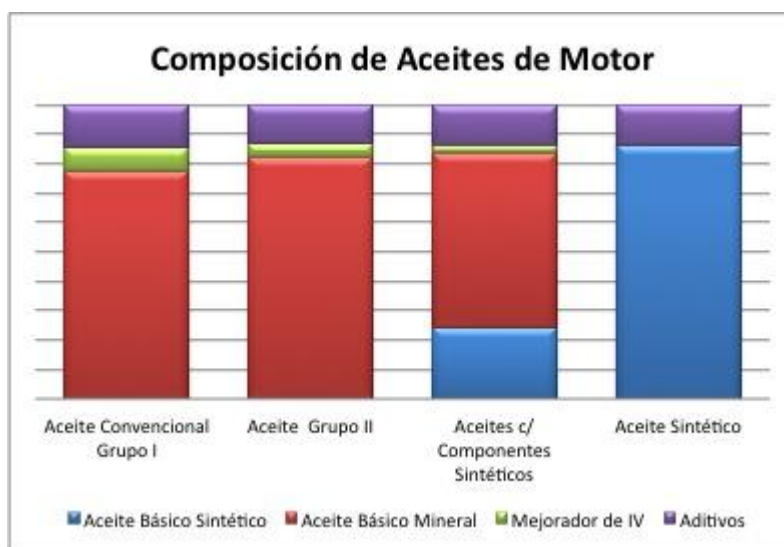
Es un fluido formulado a partir de bases minerales o sintéticas, al que se le añaden aditivos químicos con el fin de reducir la fricción y el desgaste, además de disipar el calor en sistemas mecánicos como los motores de combustión interna (Matuszewska, 2022).

Los lubricantes utilizados en motores consisten en mezclas de aceites lubricantes base, que se distinguen por su viscosidad, y aditivos de alto rendimiento.

Los aceites lubricantes base pueden ser derivados del petróleo (aceites minerales), sintéticos o vegetales.

Los aceites de motor deben soportar cargas más altas en motores de camiones y maquinaria pesada.

Los aditivos de alto rendimiento abarcan una gama de tipos, incluyendo depresores del punto de fluidez, modificadores de viscosidad, antioxidantes, inhibidores de desgaste, dispersantes, detergentes, aditivos básicos, modificadores de fricción, agentes de extrema presión, emulsionantes, inhibidores de óxido, inhibidores de corrosión e inhibidores de espuma (Figura 5)

Figura 5*Aceites lubricantes*

Fuente: (Widman.biz, 2025).

2.2.2 *Aceite usado*

El aceite usado es aceite de desecho. Se define como cualquier aceite derivado del petróleo o sintético que se ha vuelto inadecuado para su propósito original debido a la presencia de impurezas o a la pérdida de sus propiedades originales.

Se define como aquel que, tras cumplir su ciclo de servicio, ha perdido parcial o totalmente sus propiedades fisicoquímicas debido a la degradación térmica, la oxidación, la acumulación de contaminantes y el agotamiento de aditivos (Goyal et al., 2023).

2.2.3 *Degradación oxidativa*

Proceso químico en el cual las moléculas del lubricante reaccionan con el oxígeno a altas temperaturas, generando productos insolubles y ácidos que afectan la viscosidad y estabilidad del aceite (Hassan et al., 2021).

Los lubricantes envejecen debido a factores químicos y térmicos. La oxidación y la degradación térmica suelen mencionarse juntas, pero son procesos fundamentalmente diferentes y requieren un enfoque distinto. Aquí explicamos en qué consiste cada proceso, cómo reconocerlo y cómo mantener sus lubricantes en óptimas condiciones.

2.2.4 Viscosidad

Propiedad fundamental de los aceites lubricantes que expresa la resistencia al flujo. Su variación es un indicador directo del grado de degradación y contaminación del lubricante durante su uso (Wolak, Krasodonski & Zajac, 2020).

La viscosidad del aceite es la fricción interna que se opone a su flujo. Mide la resistencia del aceite al flujo y es uno de los factores más importantes en los lubricantes. La viscosidad también se define como la relación entre el esfuerzo cortante (presión) y la velocidad de corte (caudal).

2.2.5 Contaminación del aceite

Se refiere a la presencia de partículas metálicas, agua, combustible o suciedad en el lubricante, lo cual acelera su deterioro y provoca daños en los componentes del motor (Wolak et al., 2020).

Los nuevos diseños de motores de combustión interna requieren el uso de aceites capaces de soportar condiciones más exigentes, principalmente mayores cargas y temperaturas más elevadas. Las exigencias de los últimos años han impulsado un uso más extendido de aceites base modernos y paquetes de aditivos especialmente diseñados. Esto evita la formación de impurezas y las variaciones de viscosidad derivadas de la degradación de los aditivos viscosificantes bajo cargas elevadas.

La contaminación externa se refiere al aceite contaminado por agentes externos como suciedad, residuos y vapor de agua. Por otro lado, la contaminación interna del aceite de motor se debe al funcionamiento normal del motor y sus componentes. En este caso, los contaminantes incluyen partículas metálicas procedentes de las piezas del motor, combustible sin quemar y otros fluidos esenciales como el refrigerante (gulfoilltd.com, 2025).

2.2.6 Análisis de aceites usados

Es el conjunto de técnicas empleadas para determinar el estado del lubricante y detectar fallas incipientes en los equipos mediante la evaluación de parámetros como viscosidad, número ácido, contenido metálico y oxidación (Hassan et al., 2021).

2.2.7 Tarjetas de fluidos vitales

Herramientas portátiles y desechables que permiten realizar pruebas colorimétricas rápidas en aceites lubricantes usados, facilitando la detección de contaminantes y cambios en las propiedades del fluido de manera visual y accesible (Goyal et al., 2023).

La degradación del aceite produce lodos, lo que aumenta el desgaste, la acidificación y la corrosión, reduciendo la vida útil de los equipos. Todos los aceites modernos contienen aditivos que inhiben la degradación. A medida que estos aditivos se agotan, se forman lodos.

La herramienta de análisis Vital Fluid Analysis Report Card mide el nivel de lodos o residuos en el aceite, indicando si el fluido está en buen estado, necesita cambiarse o si ya es hora de reemplazarlo.

El proceso es sencillo. Al colocar una muestra de lubricante sobre el papel de filtro especial, el lubricante se filtra a través del filtro, dejando atrás los lodos o residuos. La presencia de una cantidad significativa de lodos o residuos, generalmente visible como un anillo oscuro en el sustrato, indica claramente si el fluido ha alcanzado o superado su vida útil. La prueba FluidRx One Drop Testing proporciona una confirmación visual rápida y precisa de que es hora de cambiar el lubricante. Un mantenimiento adecuado del fluido ayuda a garantizar el rendimiento, prolongar la vida útil de los equipos y reducir los costos generales de mantenimiento (powerslutracing.com, 2025).

2.2.8 Tecnología y análisis de aceite

La verificación del desgaste y estado del aceite lubricante en motores de maquinaria pesada se rige principalmente por normas ASTM D5185 (espectrometría para metales de desgaste y aditivos), ASTM D665 (corrosión), y normas ISO para contaminación (ISO 4406) y muestreo (ISO 4021). Estas normativas aseguran la calidad del análisis para evaluar la viscosidad, oxidación y metales críticos.

Como una herramienta de mantenimiento predictivo, el análisis de aceite se utiliza para descubrir, aislar y ofrecer soluciones anormales del lubricante (salud, contaminación) y las condiciones de las máquinas (desgaste). La frecuencia de muestreo recomendada para motores Diésel es cada 250 – 500 horas, o 125 – 250 horas en condiciones severas.

La correcta aplicación de estas normas permite detectar fallas prematuras y maximizar la vida útil del motor.

La norma ISO 4406 es el estándar internacional para clasificar el nivel de contaminación sólida en aceites lubricantes y fluidos hidráulicos. Define códigos (ej. 18/16/13) basados en el conteo de partículas ≥ 4 , ≥ 6 y ≥ 14 micrones por mL, crucial para prevenir el desgaste abrasivo, extender la vida útil de los equipos y asegurar la fiabilidad

Para interpretar el código ISO 4406, se deben entender los rangos de tamaño de partículas y la escala de clasificación. Los códigos ISO 4406 suelen presentarse en un formato como este: XX / XX / XX.

Cada conjunto de números representa un rango específico de tamaño de partículas y la cantidad correspondiente de partículas por mililitro de fluido a esa escala de tamaño. Por ejemplo, un código ISO 4406 de 15/13/10 indicaría que hay:

- El primero código (15) equivale a partículas de tamaño igual o superior a 4 micras por mililitro de fluido.
- El segundo código (13) equivale partículas de tamaño igual o superior a 6 micras por mililitro de fluido.
- El tercer código (10) equivale partículas de tamaño igual o superior a 14 micras por mililitro de fluido.

Capítulo III

Metodología

El presente capítulo describe la evaluación del estado de los aceites lubricantes usados y que constituye una herramienta fundamental para el mantenimiento predictivo de maquinaria pesada, ya que permite identificar de manera oportuna procesos de degradación, contaminación y pérdida de propiedades lubricantes.

Este diagnóstico se ha realizado comúnmente mediante análisis de laboratorio que, si bien ofrecen resultados precisos, implican mayores costos, tiempos de respuesta prolongados y dependencia de infraestructura especializada.

En este contexto, la presente investigación adopta una metodología experimental de tipo descriptivo-comparativo, basada en el uso de tarjetas de análisis cromatográfico Vital Fluids, las cuales permiten una caracterización rápida y estandarizada del aceite lubricante usado mediante la observación de patrones de difusión, halos y anillos formados por la migración del fluido sobre un medio absorbente.

3.1 Enfoque metodológico

La investigación tiene un enfoque experimental–descriptivo, de carácter aplicado, ya que evalúa la condición de aceites lubricantes usados mediante un método rápido estandarizado y compara sus resultados con parámetros básicos de referencia de laboratorio.

El diseño es no probabilístico, con muestras intencionales, seleccionadas según criterios técnicos de operación y uso.

Este enfoque metodológico busca validar la utilidad de las tarjetas cromatográficas como una herramienta complementaria de diagnóstico, capaz de apoyar la toma de decisiones en campo, reducir tiempos de evaluación y optimizar los procesos de mantenimiento, sin reemplazar los análisis convencionales de laboratorio, sino fortaleciendo su aplicación mediante métodos rápidos y de bajo costo.

3.2 Tipo y diseño de investigación

- Tipo: Experimental aplicada.
- Diseño: No probabilístico, con muestras intencionales.

3.3 Variables de estudio

Las variables de estudio (Tabla 1) definidas en la investigación permiten analizar de manera estructurada la relación entre el método de análisis cromatográfico mediante tarjetas Vital Fluids y el estado de degradación de aceites lubricantes usados en maquinaria pesada.

La variable independiente corresponde a la aplicación del método rápido estandarizado, mientras que las variables dependientes se asocian al nivel de degradación y contenido de impurezas del aceite, evaluados a partir de los patrones cromatográficos obtenidos.

Tabla 1

Variables de estudio

Tipo de Variable	Variable	Indicador / Unidad de medida	Instrumento
Independiente	Método de análisis cromatográfico con tarjetas Vital Fluids	- Diámetro del halo de difusión - Presencia de anillos periféricos	Observación visual directa de tarjetas Vital Fluids
	Estado de degradación del aceite lubricante usado	- Nivel de impurezas visibles - Patrón cromatográfico - Grado de dispersión	Tarjetas cromatográficas Vital Fluids
Dependiente	Contenido de impurezas en el aceite	- Anillo oscuro - Núcleo definido - Distribución irregular	Tarjetas Vital Fluids
Control	Condiciones de aplicación del método	- Temperatura ambiente - Tiempo de reposo	Registro experimental

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las variables controladas y cuál es la variable independiente.

3.4 Revisión técnica y científica

3.4.1 Paso 1. Búsqueda bibliográfica

- Se realiza una revisión sistemática de literatura científica y técnica en bases de datos indexadas (Scopus, ScienceDirect, Google Scholar).
- Se incluyen manuales técnicos, normas ASTM, SAE e información del fabricante Vital Fluids.

3.4.2 Paso 2. Análisis documental

- Se identifican principios de funcionamiento de las tarjetas cromatográficas.
- Se establecen criterios de interpretación de manchas: difusión, coloración, anillo de impurezas, núcleo y halo.
- Se define el método rápido estandarizado a aplicar.

3.5 Selección de muestras de aceite lubricante

3.5.1 Paso 3. Definición de la población y muestra

- Se seleccionan tres muestras diferentes de aceites lubricantes usados provenientes de maquinaria pesada en operación, de los motores C13 de la excavadora Caterpillar 349.
- Cada muestra corresponde a un equipo distinto o a diferentes horas de servicio.

Criterios de selección:

- Aceites minerales para maquinaria pesada.
- Aceites con diferentes periodos de uso (horas de operación).
- Condiciones reales de trabajo (carga, temperatura, ambiente).

3.6 Recolección de muestras de aceite

3.6.1 Paso 4. Preparación para el muestreo

- Se limpia el punto de muestreo.
- Se purga el sistema para evitar contaminación externa.
- Se utilizan recipientes limpios y etiquetados.

3.6.2 Paso 5. Toma de muestras

- Se recolectan aproximadamente 100 ml de aceite por muestra (Figura 6).
- Cada muestra se identifica con código, equipo, tipo de aceite y horas de servicio.

Figura 6*Recolección de muestras***3.6.3 Paso 6. Almacenamiento**

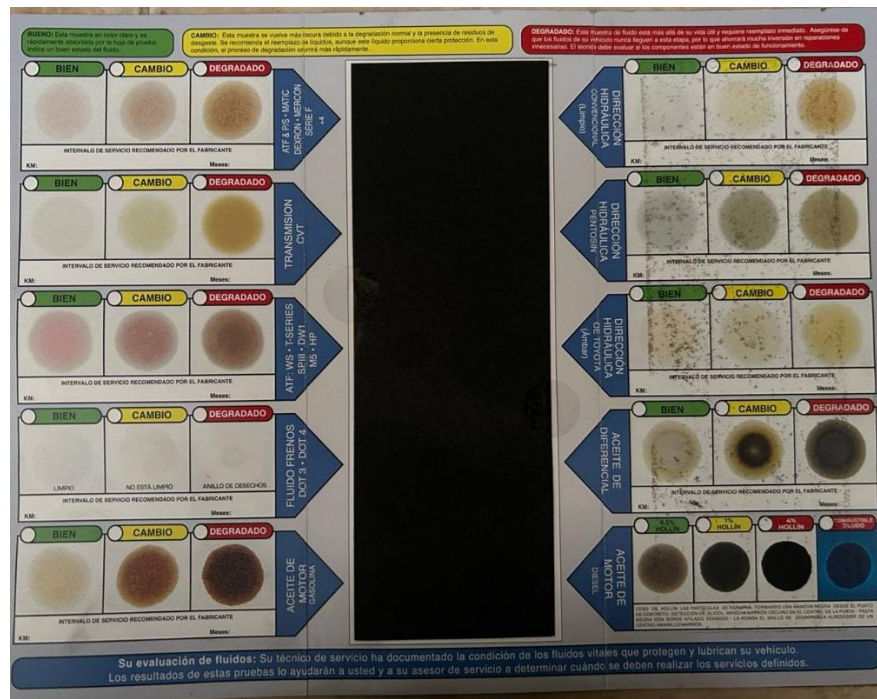
- Las muestras se conservan a temperatura ambiente, protegidas de la luz directa y polvo (Figura 7).

Figura 7*Muestras***3.7 Aplicación del método Vital Cards****3.7.1 Paso 7. Preparación de las tarjetas**

- Se colocan las tarjetas Vital Fluids sobre una superficie plana y limpia (Figura 8).
- Se verifica la integridad del papel cromatográfico.

Figura 8

Tarjetas Vital Fluids



3.7.2 Paso 8. Aplicación de la muestra

- Se deposita una gota controlada de aceite usado en el centro de cada tarjeta, con ayuda de una jeringa (Figura 9).
- Se aplica una tarjeta por muestra (mínimo tres tarjetas), se coloca la gota de aceite en la zona indicada en la tarjeta (Figura 10).

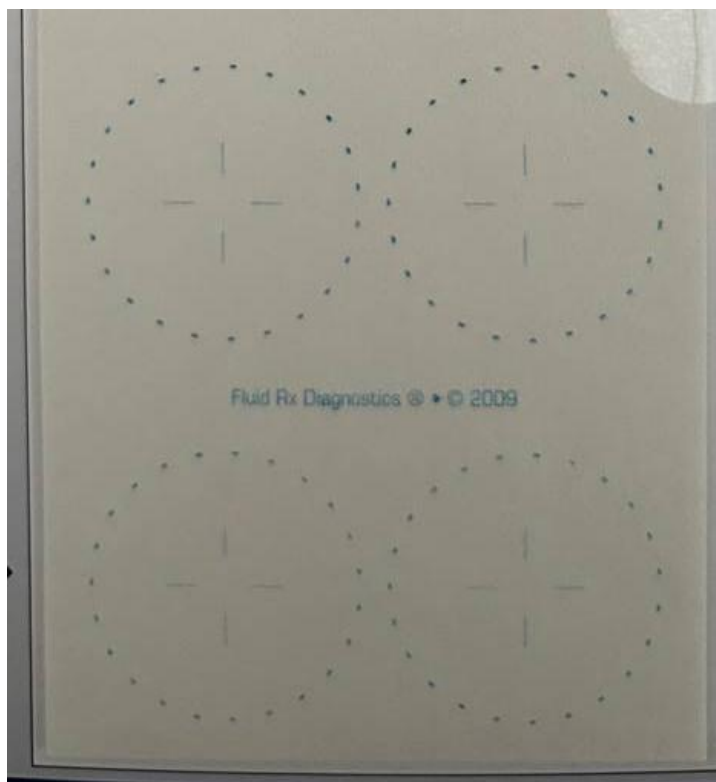
Figura 9

Aplicación de la muestra

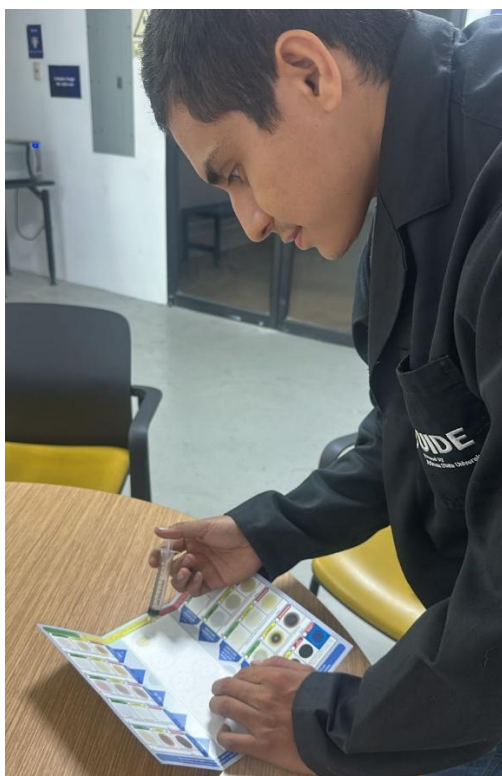


Figura 10

Ubicación de la muestra de aceite para análisis

**Figura 11**

Colocación de la muestra

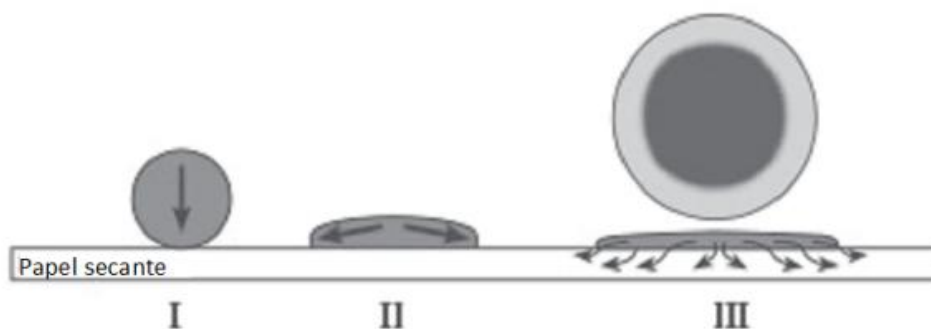


A continuación, deje que la gota de aceite se desarrolle o absorba radialmente en el papel, creando una difusión estructurada de la mancha. Se absorberá hacia afuera desde donde se aplicaron las gotas de aceite por acción capilar. La velocidad del movimiento de absorción y el recorrido total está influenciada por muchas propiedades físicas (p. Ej., viscosidad) y químicas (p. Ej., polaridad), incluida la temperatura.

Típicamente, después de aproximadamente una hora, la gota está lista para ser examinada. Tenga en cuenta que algunas gotas de aceite continuarán moviéndose incluso días después. Por esta razón, use un intervalo de tiempo estándar, especialmente si se toman imágenes para futuras comparaciones (Figura 12).

Figura 12

Procedimiento de la prueba



Fuente: (noria.mx/lube-learn, 2025).

3.7.3 Paso 9. Tiempo de difusión

- Se deja actuar el proceso de difusión capilar durante 24 horas, según especificación del fabricante.

3.8 Análisis visual e interpretación cromatográfica

3.8.1 Paso 10. Observación de patrones

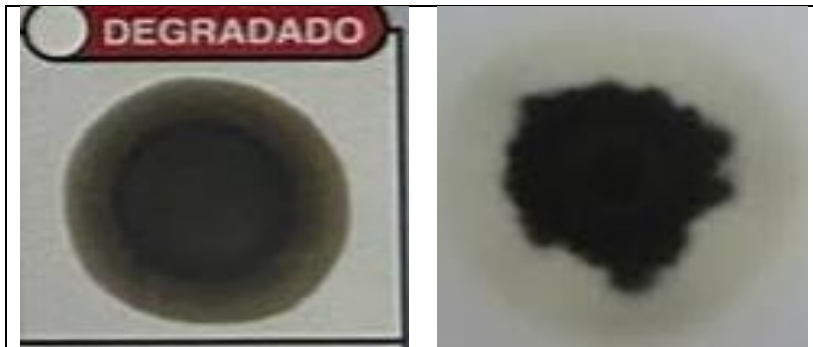
Se evalúan visualmente los siguientes parámetros (Figura 13):

- Diámetro de difusión
- Presencia de anillo oscuro (impurezas)
- Núcleo central
- Uniformidad del halo

- Cambio de coloración

Figura 13

Evaluación visual



3.8.2 Paso 11. Registro de resultados

Se documentan los resultados mediante:

- Fotografías digitales
- Fichas de análisis cromatográfico
- Clasificación cualitativa (bueno, aceptable, crítico)

3.9 Análisis de laboratorio de referencia

3.9.1 Paso 12. Ensayos básicos de laboratorio

Para cada muestra se consideran parámetros básicos de referencia, tales como:

- Viscosidad (comparativa)
- Presencia de partículas sólidas
- Contaminación por hollín o residuos
- Contenido de agua (si aplica)

Nota: Los resultados se utilizan únicamente como referencia comparativa, no como análisis exhaustivo.

3.10 Comparación y análisis de resultados

3.10.1 Paso 13. Comparación cualitativa y descriptiva

- Se contrastan los patrones obtenidos en las tarjetas Vital Cards con los parámetros de laboratorio.

- Se evalúa la correlación entre:

Tamaño del anillo de impurezas

Nivel de contaminación detectado en laboratorio

Condición general del aceite

3.10.2 Paso 14. *Análisis comparativo entre muestras*

- Se comparan las tres muestras para identificar:

Diferencias en degradación

Influencia de horas de servicio

Utilidad del método rápido

3.11 Validación del método rápido

3.11.1 Paso 15. *Evaluación de utilidad*

- Se determina la viabilidad del uso de tarjetas cromatográficas como:

Método preliminar

Herramienta de diagnóstico rápido en campo

- Se analizan ventajas y limitaciones frente a métodos de laboratorio.

3.12 Presentación de resultados

3.12.1 Paso 16. *Sistematización*

- Tablas comparativas
- Registro fotográfico de tarjetas
- Interpretación técnica de resultados

Capítulo IV

Resultados y discusión

Los resultados presentados en este capítulo corresponden al análisis experimental de tres muestras de aceite lubricante usado provenientes de maquinaria pesada, evaluadas mediante el uso de tarjetas cromatográficas Vital Fluids como método rápido estandarizado.

Para cada muestra se realizaron tres repeticiones, con el fin de verificar la consistencia y reproducibilidad del procedimiento.

Los resultados obtenidos permiten identificar y comparar los patrones de degradación del aceite en función del contenido de impurezas y su comportamiento cromatográfico, así como contrastarlos con parámetros básicos de referencia de laboratorio, proporcionando una base objetiva para la discusión sobre la efectividad del método aplicado.

4.1 Análisis cromatográfico de las muestras de aceite

Se analizaron tres muestras de aceite lubricante usado provenientes de maquinaria pesada, identificadas como Muestra A, Muestra B y Muestra C.

Para cada muestra se realizaron tres repeticiones independientes, aplicando el método de tarjetas cromatográficas Vital Fluids bajo las mismas condiciones experimentales.

Tras un tiempo de difusión de 24 horas, se observaron patrones cromatográficos claramente diferenciados entre las muestras, evidenciando distintos niveles de degradación y contaminación del aceite.

4.1.1 Muestra A

Las tres repeticiones mostraron un halo de difusión amplio y relativamente uniforme, con un núcleo central poco marcado y ausencia de anillos oscuros pronunciados.

Este patrón indica un aceite con bajo contenido de impurezas sólidas, adecuada dispersión de aditivos y una degradación incipiente.

La repetibilidad del patrón fue alta, ya que las tres tarjetas presentaron resultados visuales consistentes, lo que sugiere estabilidad del método para esta condición de aceite.

4.1.2 Muestra B

En las tres repeticiones se observó un halo de difusión moderado, acompañado de un anillo periférico de coloración oscura, indicativo de presencia de partículas contaminantes y productos de oxidación.

El núcleo central fue más definido en comparación con la Muestra A.

Aunque existieron ligeras variaciones en el diámetro del anillo entre repeticiones, el patrón general fue consistente, clasificándose el estado del aceite como condición intermedia o aceptable, con signos evidentes de degradación.

4.1.3 Muestra C

Las tarjetas correspondientes a la Muestra C presentaron, de forma repetida, un halo reducido, con núcleo central oscuro y anillo periférico bien definido, evidenciando alta concentración de contaminantes sólidos, hollín y degradación avanzada del lubricante.

La similitud entre las tres repeticiones confirma la alta reproducibilidad del método incluso en aceites con elevado nivel de deterioro, clasificándose esta muestra como aceite en condición crítica.

4.2 Repetibilidad del método

El análisis de las tres repeticiones por muestra permitió evaluar la consistencia del método cromatográfico.

En todos los casos, las variaciones observadas entre repeticiones fueron mínimas y no alteraron la clasificación cualitativa del estado del aceite, demostrando que el método Vital Fluids es repetible y confiable para evaluaciones rápidas en campo.

La evaluación de la repetibilidad del método de cromatografía en tarjetas Vital Fluids demuestra que, al aplicar el procedimiento bajo las mismas condiciones de muestreo, volumen de aceite y tiempo de desarrollo, se obtienen patrones cromatográficos consistentes y comparables entre sí.

Las pruebas repetidas sobre muestras similares evidencian una distribución de manchas, halos y zonas de difusión con características muy semejantes, lo que indica

estabilidad en la respuesta del método. Todas las muestras indican presencia de suciedad y residuos, por lo que todas mostraron una silueta como la indicada en la Figura 14.

Figura 14

Resultados de la prueba



4.3 Comparación con parámetros básicos de laboratorio

Los resultados obtenidos mediante las tarjetas cromatográficas fueron comparados con parámetros básicos de referencia de laboratorio, como presencia de partículas, contaminación visible y cambios en la viscosidad aparente.

- La Muestra A presenta concordancia entre el patrón cromatográfico limpio y parámetros de laboratorio dentro de rangos aceptables.
- La Muestra B muestra correspondencia entre el anillo de impurezas observado y la detección de partículas sólidas moderadas.
- La Muestra C evidencia alta correlación entre el patrón crítico de la tarjeta y elevados niveles de contaminación detectados en laboratorio.

Esta concordancia valida el uso de las tarjetas como un método preliminar de diagnóstico.

4.4 Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que el método de tarjetas cromatográficas Vital Fluids permite caracterizar de forma rápida y efectiva la degradación de aceites lubricantes usados, diferenciando claramente entre aceites en buen estado, condición intermedia y condición crítica.

La repetición del análisis tres veces por muestra evidenció una alta reproducibilidad, lo cual es fundamental para su aplicación en programas de mantenimiento predictivo, donde la confiabilidad del método es clave para la toma de decisiones.

La comparación con parámetros básicos de laboratorio mostró una alta correspondencia cualitativa, confirmando que, si bien las tarjetas no sustituyen un análisis completo de laboratorio, sí constituyen una herramienta complementaria eficaz, especialmente en entornos donde se requiere una evaluación rápida y de bajo costo.

Además, el método permite reducir tiempos de diagnóstico, minimizar costos operativos y facilitar decisiones oportunas sobre cambios de aceite o mantenimiento de maquinaria pesada, aportando valor técnico y operativo.

No obstante, se identifican como limitaciones la naturaleza cualitativa del análisis y la dependencia de la correcta interpretación visual, lo cual sugiere la necesidad de capacitación técnica y el uso del método como parte de un sistema integral de monitoreo.

Conclusiones

La revisión de información técnica y científica permite establecer que las tarjetas cromatográficas son una herramienta confiable, práctica y de bajo costo para la evaluación preliminar del estado de los aceites lubricantes, ya que facilitan la identificación visual de contaminantes, productos de oxidación y niveles de degradación del lubricante sin requerir equipos complejos.

La aplicación del método de tarjetas Vital Fluids en muestras de aceite usado recolectadas en maquinaria pesada evidencia que esta técnica puede implementarse fácilmente en campo, proporcionando resultados rápidos y claros que apoyan la toma de decisiones oportunas en los procesos de mantenimiento preventivo.

La comparación entre los resultados obtenidos mediante las tarjetas y los parámetros básicos de referencia de laboratorio muestra una correspondencia consistente en cuanto al contenido de impurezas y el estado del aceite, confirmando que este método puede emplearse como una herramienta complementaria y confiable al análisis tradicional.

Recomendaciones

Se debe implementar el uso de tarjetas cromatográficas Vital Fluids como parte de los programas de mantenimiento predictivo en maquinaria pesada, especialmente para evaluaciones rápidas que permitan tomar decisiones oportunas sobre el cambio o continuidad del uso del lubricante.

Complementar el método cromatográfico con análisis cuantitativos de laboratorio en casos donde los patrones indiquen condiciones críticas, con el fin de obtener un diagnóstico más completo y preciso del estado del aceite y del sistema mecánico.

Se propone desarrollar futuras investigaciones que incorporen un mayor número de muestras, distintos tipos de aceites y condiciones de operación, así como herramientas de análisis digital de imágenes, para fortalecer la objetividad y estandarización de la interpretación de los resultados cromatográficos.

Referencias

- Bastiampillai, N. (2023). *Statistical analysis and modelling of engine oil degradation*. Academic Thesis, Dalarna University. (Incluye PCA y análisis multivariado para comportamiento de aceite)
- Fox, M. F. (2010). *Chemistry and technology of lubricants* (Vol. 107115, pp. 56-75). R. M. Mortier, & S. T. Orszulik (Eds.). Dordrecht: Springer.
- Goyal, A., Sharma, M., & Kumar, N. (2023). *Portable diagnostic kits for field-based analysis of lubricants: A review*. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135356. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135356>
- Hassan, M. I., Al Shorman, M., Irfan, M., & Altarawneh, R. (2021). *Condition monitoring of lubricating oils using advanced analytical techniques*. *Tribology International*, 155, 106771. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106771>
- Kurra, S. K., Pandey, S., Khatria, N., et al. (2021). Study of lubricating oil degradation of CI engine fueled with diesel-ethanol blend. *Tribology in Industry*, 43(2), 222–231.
- Lee, P., & Zhmud, B. (2021). Low friction powertrains: Current advances in lubricants and coatings. *Lubricants*, 9(8), 74.
- Matuszewska, J. (2022). Tribological aspects of engine oil degradation and its monitoring methods. *Wear*, 494–495, 204282. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204282>.
- Ramirez Camba, R., Garcia Garcia, C., Garcia Tobar, M., & Fajardo Merchan, J. (2025). An integrated methodological approach for interpreting used oil analysis in diesel engines. *Lubricants*, 13(4), Artículo 169. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040169>
- Sazzad, M. R. I., Rahman, M. M., Hassan, T., Al Rifat, A., Al Mamun, A., Rahman Adib, A., & Masum Meraz, R. (2024). Advancing sustainable lubricating oil management: Re-refining techniques, market insights and innovative enhancements. *Heliyon*, 10, e39246. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39246>
- Sazzad, M. R. I., Rahman, M. M., et al. (2024). Techniques for analysis and reuse of used lubricating oil: A review. *Heliyon*, 10, 39246.

- Wakiru, J. M., & Pintelon, L. (2020). A review on lubricant condition monitoring information analysis for maintenance decision support. *Journal of Manufacture and Maintenance Studies*. (Revisiones recientes muestran tendencias en monitoreo de condición aplicado a análisis de lubricantes).
- Wei, L., Duan, H., Jin, Y., et al. (2021). Motor oil degradation during urban cycle road tests. *Friction*, 9, 1002–1011. <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0386-z>
- Wolak, A., Krasodonski, W., & Zając, G. (2020). Assessment of used engine oils using FTIR spectroscopy and viscosity measurements. *Friction*, 8(5), 923–934. <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0344-9>.