



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE LOS ACEITES DE TRANSMISIÓN EN  
VEHÍCULOS DE EMAC EP PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA LÍNEA  
BASE DE REFERENCIA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: KEVIN ANDRES MÁRQUEZ JIMBO**  
**MARCOS ADRIÁN GUZMÁN LOZANO**  
**TUTOR: ING. CRISTIAN LEONARDO GARCÍA GARCÍA, PHD.**

Cuenca - Ecuador

2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Kevin Andres Márquez Jimbo con documento de identificación N° 0105196901 y Marcos Adrián Guzmán Lozano con documento de identificación N° 0302452479; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 02 de febrero del 2026

Atentamente.



---

Kevin Andres Márquez Jimbo

0105196901



---

Marcos Adrián Guzmán Lozano

0302452479

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin Andres Márquez Jimbo con documento de identificación N° 0105196901 y Marcos Adrián Guzmán Lozano con documento de identificación N° 0302452479, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de condición de los aceites de transmisión en vehículos de EMAC EP para el establecimiento de una línea base de referencia”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 02 de febrero del 2026

Atentamente.



---

Kevin Andres Márquez Jimbo

0105196901



---

Marcos Adrián Guzmán Lozano

0302452479

## CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Leonardo García García con documento de identificación N° 0103898318, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE LOS ACEITES DE TRANSMISIÓN EN VEHÍCULOS DE EMAC EP PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA LÍNEA BASE DE REFERENCIA, realizado por Kevin Andres Márquez Jimbo con documento de identificación N° 0105196901 y por Marcos Adrián Guzmán Lozano con documento de identificación N° 0302452479, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 02 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Ing. Cristian Leonardo García García, PhD.

0103898318

**DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto con profundo agradecimiento a mis padres, **Cecilia Jimbo** y **Rigoberto Márquez**, quienes, con su apoyo incondicional, su paciencia y su fe constante en mí, me impulsaron a seguir adelante. Gracias por brindarme la oportunidad de estudiar, por animarme a continuar incluso en los momentos difíciles y por creer en mis capacidades cuando más lo necesitaba. Este logro es también el reflejo de su esfuerzo, su amor y su sacrificio, que han sido la base de mi formación y de todo lo que hoy he alcanzado.*

***Kevin Andres Marquez Jimbo***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, **Cecilia Jimbo y Rigoberto Márquez**, por ser mi sostén constante a lo largo de este camino. Gracias por su amor incondicional, su guía, su paciencia y por haberme enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro también es suyo, fruto del sacrificio que hicieron para que yo pudiera seguir adelante.*

*Agradezco de manera especial a mi tutor de tesis, **Cristian García**, por su orientación, compromiso y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Su acompañamiento fue fundamental para consolidar mi trabajo con responsabilidad y claridad.*

*Extiendo mi gratitud a todos quienes formaron parte de este proceso: amigos, compañeros y familiares, quienes, con su aliento, palabras de ánimo y colaboración, hicieron posible que este proyecto se concrete. Cada gesto de apoyo, por pequeño que haya sido, tuvo un impacto significativo en mi formación y en este resultado final.*

**Kevin Andres Marquez Jimbo**

## **DEDICATORIA**

*Dedicó el presente trabajo con especial amor a mis padres por ser una inspiración y guías en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional por su apoyo incondicional y creer en mí incluso en los momentos más difíciles.*

*A mis ángeles mis abuelitos Lolita y Carlos por sus sabios consejos y la sabiduría que me brindan en cada decisión que tomo que hasta el último estuvieron ahí apoyándome en todo. Y también a mi abuelita Rocío gracias por estar siempre pendiente de mí que no me falte nada esto no habría sido posible sin ella y su apoyo.*

*Gracias a todos quienes de una u otra forma fueron parte de este proceso este triunfo no es solo mío, también es de ustedes. Gracias.*

**Marcos Adrián Guzmán Lozano**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco en primer lugar a Dios y a la Virgen del Cisne por brindarme salud, fortaleza y constancia a lo largo de este viaje académico.*

*Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres Marco Guzmán y Rocío Lozano, les debo una deuda eterna de gratitud, por su apoyo incondicional comprensión y sacrificio a lo largo de este proceso siendo mi pilar fundamental para alcanzar este objetivo. Gracias por creer en mí y ser mis impulsores para lograr mis metas.*

*A mi hermana Micaela quien ha caminado y a estado junto a mí en esta etapa con su apoyo y compañía espero que sirva de ejemplo que todo se puede lograr.*

*De igual manera, agradezco a mi tutor Ing. Cristian García por su orientación, paciencia y su compromiso hacia mi desarrollo académico.*

*Finalmente extendiendo mi gratitud a todos quienes forman parte de aquello, familia, amigos, compañeros de una u otra forma creyeron en mí con cada palabra de aliento, cada gesto sincero, a una persona muy especial cuyo apoyo paciencia y*

*comprensión fueron fundamentales a lo largo de este proceso.*

***Marcos Adrián Guzmán Lozano***

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal analizar el estado de los aceites de transmisión utilizados en la flota de vehículos pesados de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP), con el fin de establecer una línea base de referencia técnica que permita optimizar las estrategias de mantenimiento. La investigación se enfoca en evaluar las propiedades fisicoquímicas y tribológicas del lubricante, como viscosidad, índice de acidez, contenido de metales, contaminación y presencia de partículas de desgaste.

Se aplicó un enfoque técnico-descriptivo, mediante el muestreo y análisis de laboratorio de aceites provenientes de diferentes vehículos operativos, como compactadores, barredoras y camiones. Los resultados permitieron identificar tendencias de degradación y comparar el estado real del lubricante frente a los parámetros recomendados por los fabricantes.

El estudio demuestra la importancia del análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo en flotas municipales, ya que permite detectar fallas incipientes, prevenir daños mayores y reducir costos operativos. La propuesta de una línea base de referencia facilitará la toma de decisiones técnicas en cuanto a los intervalos de cambio de aceite y la detección oportuna de anomalías en la transmisión.

Este trabajo contribuye a mejorar la eficiencia del parque automotor de EMAC EP y establece un modelo replicable para otras instituciones que gestionan vehículos pesados bajo condiciones operativas similares.

## **ABSTRACT**

This research project aims to analyze the condition of transmission oils used in the heavy-duty vehicle fleet of EMAC EP (Municipal Public Cleaning Company of Cuenca) in order to establish a technical baseline reference that improves maintenance strategies. The study focuses on evaluating the physicochemical and tribological properties of the lubricant, such as viscosity, acid number, presence of metals, contaminants, and wear particles.

A technical-descriptive approach was applied, based on sampling and laboratory analysis of transmission oil taken from operational vehicles, including compactors, sweepers, and trucks. The results revealed patterns of oil degradation and allowed comparison between actual oil condition and the limits recommended by equipment manufacturers.

The findings highlight the importance of oil condition monitoring as a predictive maintenance tool for municipal fleets. This approach enables early fault detection, reduces mechanical failures, and lowers operational costs. The proposed baseline will assist in technical decision-making regarding oil change intervals and identification of transmission anomalies.

This work contributes to improving the efficiency of EMAC EP's vehicle fleet and offers a replicable model for other institutions managing heavy vehicles under similar operating conditions.

## INDICE

<b><i>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</i></b>	<b><i>2</i></b>
<b><i>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....</i></b>	<b><i>3</i></b>
<b><i>CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION .....</i></b>	<b><i>4</i></b>
<b><i>DEDICATORIA .....</i></b>	<b><i>5</i></b>
<b><i>AGRADECIMIENTO.....</i></b>	<b><i>6</i></b>
<b><i>DEDICATORIA .....</i></b>	<b><i>7</i></b>
<b><i>AGRADECIMIENTO.....</i></b>	<b><i>8</i></b>
<b><i>RESUMEN .....</i></b>	<b><i>10</i></b>
<b><i>GENERALIDADES.....</i></b>	<b><i>17</i></b>
<b><i>INTRODUCCIÓN .....</i></b>	<b><i>17</i></b>
<b><i>PROBLEMA DE ESTUDIO .....</i></b>	<b><i>18</i></b>
<b><i>ANTECEDENTES .....</i></b>	<b><i>18</i></b>
<b><i>IMPORTANCIA Y ALCANCES .....</i></b>	<b><i>19</i></b>
<b><i>DELIMITACIÓN .....</i></b>	<b><i>19</i></b>
<b><i>OBJETIVOS .....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>OBJETIVO GENERAL .....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>CAPITULO I: MARCO TEÓRICO DEL ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE ACEITES DE TRANSMISIÓN .....</i></b>	<b><i>21</i></b>
1.1    Introducción.....	21
1.2    Sistema de Transmisión.....	21
1.3    Fundamentos del aceite de transmisión .....	22
1.3.1    Funciones Del Aceite De Transmisión En Sistemas Pesados .....	22
1.3.2    Propiedades Físicoquímicas Del Aceite De Transmisión.....	23
1.3.3    Mecanismos De Degradación Del Aceite De Transmisión .....	29

1.3.4	Oxidación Del Aceite .....	30
1.3.5	Nitración .....	30
1.3.6	Contaminación por agua .....	31
1.3.7	Contaminación por polvo y partículas sólidas.....	31
1.3.8	Contaminación por glicol .....	31
1.3.9	Contaminación por combustibles .....	31
1.3.10	Pérdida de aditivos .....	32
1.3.11	Cizallamiento mecánico .....	32
1.4	Importancia del monitoreo del aceite como mantenimiento predictivo .....	34
1.4.1	¿Qué Beneficios Tiene El Análisis De Aceite? .....	34
1.5	¿Qué es una línea base de referencia? .....	35
1.6	Metodología y análisis comparativo del aceite de transmisión .....	35
1.6.1	Enfoque Metodológico .....	35
1.7	Muestreo de lubricantes .....	37
<b>2.</b>	<b>CAPITULO 2: METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO DE ACEITES DE TRANSMISIÓN EN VEHÍCULOS DE EMAC EP .....</b>	<b>38</b>
2.1	Variables .....	38
2.1.1	Variables de Entrada.....	39
2.1.2	Aceite Valvoline 80W 90 API GL4 .....	39
2.1.3	Aceite Gulf 75W 90 GL4 .....	40
2.1.4	Nota: .....	41
2.1.5	Variables Controlables .....	41
2.1.6	Variables No Controlables.....	42
2.1.7	Variables de Respuesta .....	43
2.1.8	Nota: .....	43
2.1.9	Frecuencia de Muestreo.....	44
2.2	Vehículos de Experimentación .....	45
2.3	Elementos Para La Sustracción De La Muestra Del Aceite .....	49
2.3.1	Envase de Almacenamiento .....	50
2.3.2	Etiqueta de Identificación.....	50
2.4	Datos Técnicos del Equipo .....	52
	<i>Fuente:</i> (Eralytics, 2024).....	53
2.4.1	Principio de Funcionamiento.....	53
<b>3.</b>	<b>CAPITULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RELACIÓN ENTRE LA CONNDICIÓN DEL ACEITE Y VARIABLES OPERATIVAS .....</b>	<b>54</b>
3.1	Análisis de resultados .....	54
3.2	Caracterización Del Aceite De Transmisión 85W90 En Condición Operación .....	57
3.3	Interpretación Técnica Por Parámetro .....	61
3.3.1	Agua EP.....	61
3.3.2	Oxidación .....	61
3.3.3	TAN .....	61
3.3.4	TBN .....	61

3.3.5	Viscosidad .....	61
3.3.6	Muestras Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo.....	61
3.4	Interpretación Técnica Por Parámetro .....	65
3.4.1	Agua EP.....	65
3.4.2	Oxidación EP.....	65
3.4.3	TAN.....	65
3.4.4	TBN .....	66
3.4.5	Viscosidad .....	66
3.4.6	Caracterización Del Aceite De Transmisión 75W90 En Condición Nueva	66
3.4.7	Caracterización Del Aceite De Transmisión 75W90 En Condición Operación	69
3.5	Interpretación Técnica por Parámetro .....	73
3.5.1	Agua EP.....	73
3.5.2	Oxidación EP.....	73
3.5.3	TAN.....	73
3.5.4	TBN .....	73
3.5.5	Viscosidad .....	74
3.5.6	Muestras Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo.....	74
3.6	Interpretación técnica por parámetro (75W90 #4–#6) .....	78
3.6.1	Agua EP.....	78
3.6.2	Oxidación EP.....	78
3.6.3	TAN.....	78
3.6.4	TBN .....	78
3.6.5	Viscosidad .....	79
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIA.....</b>	<b>85</b>

**INDICE DE FIGURA**

<i>Figura 1 Universidad Politécnica Salesiana.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2 Transmisión de un Vehículo Diesel.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3 Aceites de Transmisión en el Mercado.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4 Sustancias químicas de aditivos.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5 Diagrama Del Proceso De Muestreo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6 Factores de Interferencia.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7 Aceite 80W 90 API GL4 que usa EMAC.....</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<i>Figura 8 Aceite 75W 90 Total GL4 que usa EMAC.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9 Vehículo Kenworth con transmisión MT.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 10 Vehículo MAC con transmisión MT.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 11 Vehículo Scania con transmisión AT.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 12 Vehículo Iveco con transmisión AT.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 13 Bomba de Vacío.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 14 Envase de Almacenamiento.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 15 Analizador de Aceite Eralytics Eraspec Oil.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 16 Principio de espectroscopía infrarroja (FTIR).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 17 Comparación de Espectros Aceite Nuevo.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 18 Comparación Espectros Específicos Aceite Nuevo.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 19 Muestras Del Uno Al Tres Respecto A Aceite Nuevo.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 20 Comparación Espectros Específicos Muestras Uno al Tres.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 21 Muestras Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 22 Comparación Espectros Específicos Muestras Uno al Tres.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 23 Comparación de Espectros Aceite Nuevo.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 24 Comparación Espectros Específicos Aceite Nuevo.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 25 Comparación Espectros Del Uno Al Tres Respecto A Aceite Nuevo.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 26 Comparación Espectros Específicos Muestras Uno al Tres.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 27 Comparación Espectros Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 28 Comparación Espectros Específicos Muestras Cuatro al Seis.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 29 Variación de Parámetros Aceite Valvoline 80w90 GL4.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 30 Variación de Parámetros Aceite Valvoline 80w90 GL4 Líneas.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 31 Variación de Parámetros Aceite Total 80w90 GL4.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 32 Variación de Parámetros Aceite Total 80w90 GL4 Líneas.....</i>	<i>83</i>

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Propiedades Físicouímicas Fundamentales</i> .....	24
<i>Tabla 2 Propiedades Tribológicas Con Valores De Referencia</i> .....	24
<i>Tabla 3 Propiedades Químicas</i> .....	26
<i>Tabla 4 Clasificación SAE</i> .....	27
<i>Tabla 5 Clasificación por protección EP (Extreme Pressure) API GL</i> .....	28
<i>Tabla 6 Comparativa Técnica Entre Tipos De Aceite De Transmisión</i> .....	29
<i>Tabla 7 Relación Entre Degradación Del Aceite Y Fallas En Transmisiones</i> .....	33
<i>Tabla 8 Caracterización Aceite 80W90 Valvoline GL4 que usa EMAC</i> .....	39
<i>Tabla 9 Caracterización Aceite Total 75W90 GL4</i> .....	40
<i>Tabla 10 Variables Controlables</i> .....	41
<i>Tabla 11 Variables No Controlables</i> .....	42
<i>Tabla 12 Variables de Respuesta</i> .....	43
<i>Tabla 13 Frecuencia Muestreo de Aceite</i> .....	44
<i>Tabla 14 Vehículo Kenworth con transmisión MT</i> .....	46
<i>Tabla 15 Vehículo MAC con transmisión MT</i> .....	46
<i>Tabla 16 Vehículo Scania con transmisión AT</i> .....	47
<i>Tabla 17 Vehículo Iveco con transmisión AT</i> .....	48
<i>Tabla 18 Etiqueta de Identificación</i> .....	50
<i>Tabla 19 Datos Técnicos del Equipo</i> .....	52
<i>Tabla 20 Parámetros FTIR y fisicoquímicos de referencia del aceite nuevo 80W90 GL-4</i> .....	56
<i>Tabla 21 Valores de Partida 80w90 Nuevo</i> .....	57
<i>Tabla 22 Comparación de parámetros del aceite usado 80W90 GL-4 respecto a aceite nuevo</i> .....	60
<i>Tabla 23 Comparación de parámetros del aceite usado 80W90 GL-4 respecto a aceite nuevo</i> .....	64
<i>Tabla 24 Parámetros FTIR y fisicoquímicos de referencia del aceite nuevo 75W90 GL-4</i> .....	68
<i>Tabla 25 Valores de Partida Para Aceite 75w90 Nuevo</i> .....	69
<i>Tabla 26 Variación de parámetros SAE 75W90 (#4–#6) respecto a la línea base</i> .....	72
<i>Tabla 27 Variación de parámetros SAE 75W90 (#4–#6) respecto a la línea base</i> .....	77

## **GENERALIDADES**

### **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día un adecuado mantenimiento de los sistemas mecánicos en el sector automotriz es crucial para asegurar la eficiencia operativa y extender la vida útil de los vehículos. En los sistemas de transmisión, el aceite lubricante desempeña un rol esencial al minimizar la fricción, regular la temperatura y evitar el desgaste prematuro de las piezas internas. No obstante, durante el funcionamiento normal del vehículo, este fluido puede sufrir una pérdida progresiva de sus propiedades debido a las condiciones de carga, temperatura y contaminación a las que se expone. En este contexto, el presente estudio tiene como finalidad evaluar el estado actual de los aceites de transmisión en la flota vehicular de EMAC EP, con el propósito de definir una línea base de referencia técnica.

Dicha línea permitirá establecer criterios de control y diagnóstico sobre la calidad del lubricante, facilitando la toma de decisiones en cuanto a cambios, mantenimiento o intervención mecánica. La metodología incluirá recolección de muestras, pruebas de laboratorio y análisis de resultados conforme a normas establecidas.

## **PROBLEMA DE ESTUDIO**

En la actualidad, los vehículos de la empresa EMAC EP operan de forma continua bajo distintas condiciones de carga y entorno, lo que genera un desgaste progresivo en los sistemas de transmisión. La falta de monitoreo sistemático del estado del aceite de transmisión impide identificar oportunamente su degradación, lo que podría derivar en fallos mecánicos costosos y no programados. Además, no se dispone de una línea base técnica que permita comparar los parámetros del aceite en condiciones óptimas. Esta situación limita la capacidad para tomar decisiones fundamentadas en cuanto a mantenimientos preventivos o correctivos.

## **ANTECEDENTES**

La caja de cambios en los camiones (Lakshamanan et al., 2024) diésel es crucial para una operación eficiente. La lubricación insuficiente debido a la mala condición del aceite puede provocar fallas en la caja de cambios, lo que resulta en reparaciones costosas y pérdida de producción. Estos sistemas están sometidos a cargas elevadas y condiciones de trabajo severas, por lo que requieren un lubricante en óptimas condiciones para funcionar correctamente. La acumulación de contaminantes y la degradación del aceite comprometen la integridad de los engranajes y rodamientos.

La presencia de partículas de desgaste (Gil et al., 2021) y agentes contaminantes en el aceite puede comprometer sus propiedades lubricantes, provocando un incremento en la fricción y el deterioro de los elementos de la transmisión. Además, un lubricante en mal estado reduce su capacidad para formar una película protectora eficaz, especialmente en situaciones de fricción límite, donde es común la pérdida de adherencia entre superficies metálicas.

## IMPORTANCIA Y ALCANCES

Considerando que estos vehículos están sometidos a trabajos constantes y exigentes, la calidad del lubricante en los sistemas de transmisión influye directamente en el desempeño mecánico, la durabilidad de los componentes y la prevención de fallas críticas. Establecer una línea base de referencia permitirá identificar tendencias de desgaste, definir parámetros de cambio de aceite más precisos y aplicar mantenimientos preventivos basados en evidencia técnica.

El alcance de esta investigación (Bao et al., 2015) incluye la recolección y análisis de muestras de aceite de transmisión en diferentes vehículos, la evaluación de parámetros físico-químicos y contaminantes, y la comparación con estándares técnicos. Los resultados obtenidos servirán como punto de partida para implementar políticas de mantenimiento predictivo, optimizar recursos y prolongar su vida útil.

## DELIMITACIÓN

El presente proyecto se desarrollará en la ciudad de Cuenca, en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, específicamente en el laboratorio de Tribología. El estudio se enfocará exclusivamente en el análisis de aceites de transmisión recolectados de vehículos pertenecientes a la flota operativa de la empresa EMAC EP.

### Figura 1

*Universidad Politécnica Salesiana*



*Fuente (Autores)*

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis de condición de los aceites de transmisión en vehículos de EMAC EP, mediante pruebas de laboratorio para el establecer una línea base de referencia.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Establecer el marco teórico sobre el análisis de aceites de transmisión, mediante la revisión de literatura técnica y científica.

Analizar muestras de aceite de transmisión de vehículos de EMAC EP, mediante pruebas de laboratorio para evaluar su condición.

Relacionar los resultados del análisis con variables operativas, como kilometraje, carga y tipo de transmisión, mediante un tratamiento estadístico.

## **CAPITULO I: MARCO TEÓRICO DEL ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE ACEITES DE TRANSMISIÓN**

### **1.1 Introducción**

En este apartado se realizará una revisión teórica y documental con el objetivo de comprender los conceptos clave relacionados con la investigación y poder estructurar un protocolo de muestreo apropiado para el desarrollo de establecer una línea base del aceite analizado. A partir de este marco conceptual, se definirán las variables involucradas, se describirá el procedimiento experimental y se anticiparán los posibles resultados esperados del estudio.

### **1.2 Sistema de Transmisión**

La transmisión mecánica en vehículos Diesel pesados se refiere al sistema que transmite la potencia del motor a las ruedas, lo que permite que el vehículo se mueva. Este sistema generalmente incluye componentes como engranajes, embragues y ejes, que trabajan juntos para controlar la velocidad y el par del vehículo.

Según (Hlebanja & Hlebanja, 2013) la transmisión de energía ha sido un desafío durante la historia humana. Los hombres usaron engranajes para llevar a cabo esta tarea ya en el surgimiento de nuestra civilización. Los engranajes eran simples ayudas de madera al principio, pero existen las evidencias de dispositivos mecánicos complejos de la antigüedad.

Una transmisión mecánica está compuesta por una serie de componentes metálicos de alta resistencia, diseñados para soportar esfuerzos mecánicos elevados y desgaste constante.

Su función principal es adaptar el par motor y la velocidad del vehículo según las condiciones de manejo. Sus elementos internos, como los engranajes, ejes y sincronizadores, trabajan en conjunto para ofrecer distintas relaciones de transmisión.

## **Figura 2**

*Transmisión de un Vehículo Diesel*



*Fuente: (Maritnez, 2022)*

### **1.3 Fundamentos del aceite de transmisión**

#### **1.3.1 Funciones Del Aceite De Transmisión En Sistemas Pesados**

El aceite de transmisión según (Li et al., 2023) es un lubricante esencial para el funcionamiento de vehículos pesados y maquinaria pesada que trabajan en condiciones severas. Su función principal es lubricar los componentes internos (engranajes, cojinetes, etc.) para reducir la fricción y el desgaste, evitando el contacto directo entre metales.

Este aceite también actúa como un fluido hidráulico en sistemas automáticos, permitiendo el funcionamiento de válvulas y convertidores. Al mismo tiempo, gracias a sus aditivos detergentes y dispersantes, mantiene el sistema limpio al prevenir la formación de lodos y depósitos dañinos. Por último, protege contra la corrosión y la oxidación, lo que garantiza la eficiencia operativa y prolonga la vida útil de toda la transmisión.

### Figura 3

#### *Aceites de Transmisión en el Mercado*



*Fuente: (Disauto, 2026)*

### 1.3.2 Propiedades Fisicoquímicas Del Aceite De Transmisión

Las propiedades físico-químicas de los aceites de transmisión no solo definen su naturaleza técnica, sino que determinan la eficiencia operativa y la vida útil de los componentes mecánicos al establecer su capacidad para soportar cargas extremas, disipar el calor generado por la fricción y resistir la degradación termo-oxidativa. La estabilidad de parámetros como la viscosidad cinemática y el índice de viscosidad es crítica para garantizar una película lubricante constante, evitando el contacto metal-metal bajo condiciones de operación severas.

En consecuencia, la caracterización detallada de estos fluidos permite predecir su comportamiento frente al cizallamiento y la formación de depósitos. Las siguientes tablas resumen las propiedades principales evaluadas bajo estándares técnicos internacionales, tales como las normas ASTM e ISO, proporcionando la base analítica necesaria para validar el rendimiento y la fiabilidad del lubricante en estudio.

La Tabla 1 abrevia (Baumann & Bertsche, 2022) las propiedades físico-químicas básicas del aceite de transmisión utilizadas para evaluar su condición en servicio y nuevo. Estos parámetros permiten identificar cambios asociados a degradación, oxidación o pérdida de desempeño del lubricante.

**Tabla 1***Propiedades Fisicoquímicas Fundamentales*

<b>Propiedad</b>	<b>Descripción Técnica</b>	<b>Norma ASTM</b>	<b>Valores típicos</b>	<b>Alarma</b>
<b>Viscosidad cinemática a 40 °C</b>	Fluidez a baja temperatura	ASTM D445	MTF SAE 80W-90: 120–150 cSt ATF: 25–40 cSt	± 10–15% del valor original alerta ± 20% = cambio inmediato
<b>Viscosidad cinemática a 100 °C</b>	Fluidez en operación caliente	ASTM D445	MTF SAE 80W-90: 14–16 cSt ATF: 6–8 cSt	Mismo criterio: ±15% alerta, ±20% crítico
<b>Índice de viscosidad (VI)</b>	Estabilidad ante cambios térmicos	ASTM D2270	MTF y ATF: 150–180	Disminución >10 puntos VI indica cizallamiento
<b>Punto de inflamación (Flash Point)</b>	Indicador de degradación térmica	ASTM D92	MTF/GL-4: 220–230 °C mínimo ATF: 200–210 °C mínimo	↓ ≥ 20 °C respecto al valor nuevo indica contaminación (combustible o volátiles)
<b>Punto de fluidez (Pour Point)</b>	Operación en climas fríos	ASTM D97	MTF: –24 a –30 °C ATF: –40 a –45 °C	Si sube más de 10 °C → oxidación o contaminación

Fuente: (German Orozco, 2003)

**La**

*Fuente: (German Orozco, 2003)*

presenta las principales propiedades tribológicas del aceite de transmisión, relacionadas con el control del desgaste y la fricción entre componentes.

**Tabla 2**

*Propiedades Tribológicas Con Valores De Referencia*

<b>Propiedad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Norma ASTM</b>	<b>Valores / Requisitos típicos</b>	<b>Alarma</b>
<b>Carga de soldadura EP (Timken / FZG)</b>	Resistencia a cargas extremas	ASTM D3233 / FZG	Aceites GL-5: FZG $\geq$ 12 etapas ATF: FZG $\geq$ 8 etapas	Reducción de 1–2 etapas = degradación de aditivos
<b>Desgaste antiwear (AW)</b>	Desgaste controlado	ASTM D4172	Desgaste típico: 0.40–0.60 mm	> 0.60 mm = pérdida de protección AW
<b>Estabilidad al cizallamiento</b>	Pérdida de viscosidad por trabajo mecánico	ASTM D6278	Pérdida esperada < 10%	> 15% = falla por cizallamiento
<b>Demulsibilidad</b>	Separación del agua	ASTM D1401	Separación en $\leq$ 30 min (aceite/agua: 40/40/0)	>30 min = aceite deteriorado o contaminado

<b>Espuma</b>	Aire atrapado en el fluido	ASTM D892	Volumen máximo: ≤ 50 mL	>50 mL = riesgo de cavitación
---------------	----------------------------	-----------	-------------------------	-------------------------------

Fuente: (Pescoe-Yan, 2021)

La Tabla 3 muestra las propiedades químicas del aceite de transmisión asociadas a procesos de degradación y contaminación. Estos parámetros permiten evaluar la oxidación, acidez y estabilidad química del lubricante durante su operación.

**Tabla 3**

*Propiedades Químicas*

<b>Parámetro</b>	<b>Norma ASTM</b>	<b>Valores normales</b>	<b>Alerta</b>	<b>Crítico</b>	<b>Interpretación técnica</b>
<b>Número ácido (TAN)</b>	ASTM D664	ATF nuevo: 0.1–0.5 mg MTF/GL-5: 1.5–2.5 mg	Incremento +0.5	Incremento >1.0	Oxidación o presencia de ácidos
<b>Número básico (TBN)</b>	ASTM D2896	MTF con aditivos: 2–5 mg KOH/g	Reducción del 50% del valor inicial	Reducción >70%	Agotamiento de aditivos detergentes
<b>Contenido de agua</b>	ASTM D6304	<0.05% (500 ppm)	0.05–0.1%	>0.1% (1000 ppm)	Corrosión, emulsión, degradación
<b>Oxidación (por FTIR)</b>	ASTM D7414	Valor inicial bajo	Incremento +10–20%	Incremento >30%	Oxidación severa
<b>Nitración (por FTIR)</b>	ASTM D7415	Bajo	+10–20%	>30%	Contaminación térmica, cargas altas
<b>Glicol (FTIR)</b>	ASTM E2412	0 ppm	>10 ppm	>50 ppm	Contaminación por refrigerante

*Fuente: (Pesko-Yan, 2021)*

### Clasificación De Aceites De Transmisión

Los aceites de (Verenich et al., 2005) transmisión se clasifican principalmente en tres aspectos para garantizar su correcto funcionamiento. Por viscosidad (según normas SAE o ISO), que define su fluidez en frío y su capacidad para formar una película lubricante estable en caliente. Por rendimiento (según normas API), que mide su protección contra el desgaste y la resistencia a presiones extremas en componentes como engranajes. Y por aplicación, donde se especifica el tipo de fluido según el sistema: MTF para transmisiones manuales, ATF para automáticas, CVT para transmisiones continuas.

En la Tabla 4 se presenta la clasificación SAE aplicada a los aceites de transmisión según su viscosidad, permite identificar el grado adecuado del lubricante en función de los requerimientos del sistema de transmisión.

**Tabla 4**

*Clasificación SAE*

<b>Clasificación SAE</b>	<b>Aplicación típica</b>	<b>Características principales</b>
<b>SAE 70W</b>	Transmisiones manuales ligeras	Alta fluidez a bajas temperaturas facilita arranques en frío
<b>SAE 75W</b>	Transmisiones manuales y diferenciales	Buena protección en frío, menor resistencia al arrastre
<b>SAE 80W</b>	Transmisiones manuales	Equilibrio entre fluidez y protección
<b>SAE 85W</b>	Diferenciales y cajas de carga media	Mayor espesor de película lubricante

<b>SAE 90</b>	Transmisiones y diferenciales	Alta protección a temperatura de operación
<b>SAE 75W-90</b>	Transmisiones modernas	Multigrado, buen desempeño en frío y caliente
<b>SAE 80W-90</b>	Transmisiones y diferenciales convencionales	Uso general, alta resistencia al desgaste
<b>SAE 85W-140</b>	Transmisiones y diferenciales de alta carga	Operación severa, altas temperaturas

*Fuente: (Paoluzzi & Zarotti, 2017)*

Esta clasificación permite seleccionar el aceite adecuado según el nivel de carga, presión de contacto y diseño de los engranajes de la transmisión. Estos niveles indican la capacidad del lubricante para proteger engranajes sometidos a altas cargas y esfuerzos de contacto

**Tabla 5**

*Clasificación por protección EP (Extreme Pressure) API GL*

<b>Clasificación API GL</b>	<b>Nivel de protección EP</b>	<b>Aplicación típica</b>	<b>Características principales</b>
<b>API GL-1</b>	Sin aditivos EP	Transmisiones manuales antiguas	Aceite mineral básico, baja protección contra desgaste
<b>API GL-2</b>	EP bajo	Engranajes helicoidales	Protección limitada, uso poco común
<b>API GL-3</b>	EP moderado	Transmisiones manuales	Aditivos EP ligeros, protección intermedia
<b>API GL-4</b>	EP medio	Transmisiones manuales sincronizadas	Compatible con sincronizadores, buen control de desgaste
<b>API GL-5</b>	EP alto	Diferenciales hipoidales.	Alta protección a cargas extremas, no siempre compatible con sincronizadores
<b>API GL-6</b>	EP muy alto (obsoleto)	Engranajes hipoidales severos	Clasificación en desuso

Fuente: (Verenich et al., 2005)

La Tabla 6 compara las características técnicas de los distintos tipos de aceites de transmisión utilizados en sistemas manuales, automáticos, CVT e hidrostáticos.

**Tabla 6**

*Comparativa Técnica Entre Tipos De Aceite De Transmisión*

<b>Tipo de aceite</b>	<b>Viscosidad típica (40 °C)</b>	<b>Propiedades clave</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
<b>MTF</b>	80–150 cSt	EP medio-alto, estabilidad térmica	Resistente a cargas extremas	No sirve como fluido hidráulico
<b>ATF</b>	25–40 cSt	Fricción controlada, hidráulico	Cambios suaves, baja viscosidad	Sensible a contaminación
<b>CVT Fluid</b>	30–40 cSt	Fricción constante, antideslizamiento	Eficiencia y suavidad	Se degrada rápido por calor
<b>Hidrostático (HLP 46/68)</b>	41–70 cSt	Alta presión, antiespuma	Óptimo para maquinaria	Mala estabilidad frente a agua

Fuente: (Jiang et al., 2011)

### 1.3.3 Mecanismos De Degradación Del Aceite De Transmisión

El aceite de (Dewangan et al., 2019) transmisión, a lo largo de su vida útil, se encuentra sometido a un conjunto de condiciones mecánicas, térmicas y químicas altamente severas, propias del funcionamiento continuo de los sistemas de transmisión en vehículos pesados.

Durante la operación, el lubricante circula constantemente entre engranajes, cojinetes, válvulas y componentes hidráulicos, donde está expuesto a altas cargas, fricción intensa, variaciones bruscas de temperatura y contacto permanente con contaminantes externos. Estas condiciones provocan una degradación progresiva de las propiedades originales del aceite, afectando su viscosidad, estabilidad térmica, capacidad de formar una película lubricante, comportamiento hidráulico y eficacia del paquete de aditivos.

Como consecuencia, el lubricante pierde gradualmente su función protectora, lo que incrementa el contacto metal-metal, acelera el desgaste de los componentes internos y eleva la probabilidad de fallas prematuras en la transmisión.

Adicionalmente, en flotas municipales como la de EMAC EP, donde los vehículos operan bajo ciclos severos de arranque y parada, bajas velocidades con altas cargas, ambientes contaminados por polvo y humedad, y periodos prolongados de operación, los procesos de degradación del aceite se intensifican. Interpretar correctamente los resultados del análisis de condición, establecer líneas base de referencia confiables y aplicar estrategias efectivas de mantenimiento predictivo en los sistemas de transmisión analizados. Los principales mecanismos de degradación del aceite de transmisión son la oxidación, nitración, contaminación, pérdida de aditivos y cizallamiento mecánico.

#### **1.3.4 Oxidación Del Aceite**

La oxidación del aceite de transmisión es un mecanismo de degradación provocado por la reacción del lubricante con el oxígeno, proceso que se intensifica a altas temperaturas y bajo cargas severas de operación. Este fenómeno genera la formación de ácidos, lodos y barnices, lo que incrementa el Número de Acidez Total (TAN), oscurece el aceite y altera su viscosidad. Como consecuencia, se reduce la capacidad del lubricante para formar una película protectora estable, aumentando la fricción, el desgaste de los componentes internos y el riesgo de fallas prematuras en la transmisión.

#### **1.3.5 Nitración**

La nitración es un proceso químico asociado principalmente a la reacción del aceite con óxidos de nitrógeno (NOx), generados en ambientes de alta temperatura o en sistemas donde existe proximidad con gases de combustión. Aunque es más frecuente en aceites de motor, también puede presentarse en aceites de transmisión cuando el sistema

opera a temperaturas elevadas de forma prolongada o cuando existe contaminación cruzada con gases o vapores calientes.

La nitración contribuye a la formación de compuestos ácidos y polímeros que incrementan la viscosidad del aceite y favorecen la formación de barnices. Este fenómeno deteriora los sellos, afecta la respuesta hidráulica y acelera el envejecimiento del lubricante. Se identifica principalmente mediante espectroscopía FTIR, donde aparecen bandas características asociadas a compuestos nitrogenados.

### **1.3.6 Contaminación por agua**

El agua puede ingresar al sistema por condensación, lavado del vehículo, ambientes húmedos o fallas en sellos. Su presencia provoca corrosión de componentes metálicos, pérdida de lubricidad, formación de emulsiones y degradación acelerada de aditivos. Se cuantifica mediante ASTM D6304 (Karl Fischer).

### **1.3.7 Contaminación por polvo y partículas sólidas**

El ingreso de partículas sólidas provenientes del ambiente o del desgaste interno incrementa el desgaste abrasivo de engranajes y válvulas. Este tipo de contaminación se evalúa mediante ISO 4406, que establece el nivel de limpieza del aceite.

### **1.3.8 Contaminación por glicol**

La presencia de glicol indica posibles fugas de refrigerante hacia el sistema, lo cual es altamente perjudicial. El glicol reacciona químicamente con el aceite, generando lodos y depósitos que obstruyen conductos y componentes. Se detecta mediante FTIR (Astm D7414).

### **1.3.9 Contaminación por combustibles**

Aunque menos frecuente en transmisiones, puede ocurrir por fallas mecánicas o sellos defectuosos. Provoca una disminución de la viscosidad y del punto de

inflamación, afectando la protección del sistema. Se detecta mediante ASTM D92 (Flash Point) y FTIR.

### 1.3.10 Pérdida de aditivos

Los aceites de transmisión contienen paquetes de aditivos diseñados para mejorar su desempeño, tales como antioxidantes, antidesgaste (AW), extrema presión (EP), detergentes, dispersantes y antiespumantes. Con el tiempo y bajo condiciones severas de operación, estos aditivos se consumen o se degradan, perdiendo su efectividad.

#### Figura 4

*Sustancias químicas de aditivos*



*Fuente: (Belesaca et al., 2023)*

### 1.3.11 Cizallamiento mecánico

El cizallamiento es un fenómeno mecánico que ocurre cuando las cadenas moleculares del aceite, especialmente en lubricantes multigrado y sintéticos, se rompen debido a esfuerzos mecánicos elevados. En transmisiones automáticas, CVT e hidrostáticas, el aceite está sometido constantemente a altas velocidades de corte en engranajes, bombas y válvulas.

Este mecanismo provoca una disminución de la viscosidad, adelgazando la película lubricante y aumentando el contacto metal-metal. El cizallamiento se detecta

mediante la comparación de viscosidad inicial y en servicio según ASTM D445, y suele ser irreversible. Un cizallamiento excesivo compromete la protección del sistema y acelera el desgaste de componentes críticos.

El análisis de (López Álvarez & Calderón Camacho, 2016) condición del aceite permite identificar los mecanismos de degradación que afectan directamente el funcionamiento de las transmisiones. Cada mecanismo genera síntomas específicos en el lubricante y se asocia a fallas mecánicas concretas en engranajes, cojinetes, convertidores de par y sistemas hidráulicos.

**Tabla 7**

*Relación Entre Degradación Del Aceite Y Fallas En Transmisiones*

<b>Mecanismo de degradación</b>	<b>Indicadores en el análisis de aceite</b>	<b>Componentes afectados</b>	<b>Fallas reales en transmisiones</b>
<b>Oxidación</b>	TAN Elevado Picos de oxidación en FTIR Oscurecimiento del aceite	Engranajes, válvulas, cuerpos hidráulicos	Formación de barnices, atascamiento de válvulas, aumento de fricción, sobrecalentamiento, desgaste acelerado
<b>Nitración</b>	Picos FTIR de compuestos nitrogenados viscosidad.	Sellos, válvulas, discos de embrague	Endurecimiento de sellos, pérdida de respuesta hidráulica, cambios bruscos o retardados
<b>Contaminación por agua</b>	Agua > 500 ppm	Cojinetes, engranajes, bombas	Corrosión interna, picaduras, pérdida de lubricidad, fallas de bomba hidráulica
<b>Contaminación por glicol</b>	FTIR positivo a glicol Formación de lodos	Convertidor de par, válvulas, enfriadores	Obstrucción de conductos, colapso del sistema hidráulico, falla total de transmisión
<b>Contaminación por combustible</b>	Baja Viscosidad	Engranajes, discos	Pérdida de película lubricante, desgaste acelerado.
<b>Pérdida de aditivos</b>	Presencia de residuos metálicos	Superficies de contacto	Desgaste prematuro, fallas en engranajes y cojinetes

<b>Cizallamiento</b>	Viscosidad >15% VI reducido	Engranajes, bombas	Adelgazamiento del film, contacto metal-metal, fallas por fatiga
----------------------	--------------------------------	-----------------------	--

*Fuente: (Hou & Han, 2005)*

#### **1.4 Importancia del monitoreo del aceite como mantenimiento predictivo**

El análisis de aceite (Sayyah et al., 2012) es importante porque permite conocer el estado real del lubricante y de los componentes internos sin necesidad de desmontar la transmisión. Con un análisis periódico se puede detectar desgaste, contaminación, degradación térmica y fallas incipientes antes de que se conviertan en averías mayores. Esto convierte al aceite en un “sensor líquido”, ya que arrastra partículas metálicas, restos de aditivos y contaminantes que reflejan de forma directa la salud del sistema.

En sistemas de transmisión pesados como los que opera EMAC EP el lubricante trabaja bajo condiciones extremas: altas cargas, temperaturas elevadas, ciclos severos de arranque y parada, polvo, humedad y vibración. Eso acelera la degradación del aceite y el desgaste de engranajes, cojinetes y válvulas hidráulicas. Por eso, el análisis de aceite se vuelve una herramienta vital dentro del mantenimiento predictivo, ya que permite tomar decisiones técnicas basadas en datos y no en simple calendario de horas o kilometraje.

##### **1.4.1 ¿Qué Beneficios Tiene El Análisis De Aceite?**

En la práctica, la implementación (Shaikh et al., 2024) del análisis de aceite en flotas pesadas como las de EMAC EP genera beneficios directos y medibles tanto en el rendimiento mecánico como en el aspecto económico-operativo. En primer lugar, disminuye significativamente la ocurrencia de daños catastróficos en las transmisiones, cuyos costos de reparación son muy elevados. Además, el análisis permite extender la vida útil del sistema, ya que sin esta herramienta las transmisiones suelen durar entre 4 y

5 años en condiciones severas, pero con monitoreo periódico pueden alcanzar 6 a 8 años, reduciendo la frecuencia de reemplazos.

Reduce costos de reparación

Optimiza los cambios de aceite

Aumenta la disponibilidad y confiabilidad

### **1.5 ¿Qué es una línea base de referencia?**

Una línea base de referencia es un conjunto de valores iniciales y rangos operativos que representan el comportamiento normal y esperado de un lubricante y del sistema mecánico donde se utiliza. Funciona como un punto de comparación que permite evaluar si un aceite en uso se encuentra dentro de los parámetros aceptables o si presenta desviaciones que pueden indicar desgaste, contaminación o degradación.

En el contexto del análisis de aceite, la línea base se construye a partir de datos del aceite nuevo (especificaciones de fabricante, viscosidad, TAN, TBN, aditivos, limpieza ISO, metales presentes por formulación, entre otros) y de los primeros análisis del aceite en servicio bajo condiciones reales de operación. Estos valores permiten establecer un patrón de comportamiento que sirve como referencia para interpretar los datos según el aspecto u ítem a evaluar.

## **1.6 Metodología y análisis comparativo del aceite de transmisión**

### **1.6.1 Enfoque Metodológico**

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, aplicado y analítico, orientado a la evaluación del estado del aceite de transmisión mediante técnicas de análisis de condición en laboratorio. El estudio se desarrolla bajo un diseño no experimental, debido a que las variables analizadas no son manipuladas, sino observadas y medidas tal como se presentan en condiciones reales de operación.

El análisis se fundamenta en la comparación entre el aceite nuevo utilizado como referencia inicial y el aceite en servicio, con el objetivo de establecer una línea base de referencia específica para las transmisiones de la flota de EMAC EP. Las mediciones y ensayos se realizan en laboratorio utilizando equipos automáticos de la marca ERALYTICS, reconocidos a nivel internacional por su precisión, repetibilidad y cumplimiento de normas ASTM e ISO. El uso de instrumentación ERALYTICS garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos en pruebas de viscosidad, acidez, contenido de agua y otros parámetros críticos del lubricante.

#### **Selección de la Muestra y Equipos Analizados:**

La población de estudio está constituida por vehículos de la flota de EMAC EP equipados con sistemas de transmisión automática y manual. La selección de las unidades se realiza considerando criterios técnicos como: tipo de transmisión, antigüedad del equipo, horas de operación, condiciones de carga y ambiente de trabajo. Para cada sistema se selecciona un tipo específico de aceite de transmisión conforme a las recomendaciones del fabricante, el cual será analizado tanto en condición nueva (envasado) como durante su operación.

#### **Procedimiento de Muestreo del Aceite (ASTM D4057):**

El muestreo del aceite constituye una de las etapas más críticas del análisis de condición, ya que una muestra mal tomada puede conducir a resultados erróneos e interpretaciones incorrectas. Por esta razón, el procedimiento de muestreo se realiza estrictamente conforme a la norma ASTM D4057 – Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products, la cual establece prácticas estandarizadas para la obtención de muestras representativas tanto de lubricantes en servicio como de aceites nuevos sin uso.

## 1.7 Muestreo de lubricantes

Para los aceites de transmisión en operación, el muestreo se realiza cuando el equipo se encuentra a temperatura normal de trabajo, asegurando que el lubricante esté completamente circulado y homogéneo. La toma de muestra se efectúa preferentemente en puntos presurizados del sistema, tales como válvulas de muestreo o líneas de retorno, evitando zonas muertas como el fondo del cárter o depósitos donde se acumulan sedimentos no representativos.

Antes de recolectar la muestra definitiva, se descarta una cantidad inicial de aceite con el fin de eliminar posibles contaminantes acumulados en el punto de toma. La muestra se recoge en frascos limpios, secos y herméticos, fabricados con materiales compatibles, y se rotula indicando información relevante como: identificación del equipo, tipo de aceite, fecha y punto de muestreo. Este procedimiento garantiza que la muestra refleje fielmente el estado real del lubricante y del sistema de transmisión al momento del análisis. El muestreo del aceite nuevo se realiza directamente desde el envase original, previo a su utilización en el equipo, siguiendo igualmente los lineamientos de la norma ASTM D4057. Antes de la toma, el envase se agita suavemente para asegurar la homogeneidad del contenido, evitando la sedimentación de aditivos.

### **Figura 5**

*Diagrama Del Proceso De Muestreo*



*Fuente: (Autores)*

## 2. CAPITULO 2: METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO DE ACEITES DE TRANSMISIÓN EN VEHÍCULOS DE EMAC EP

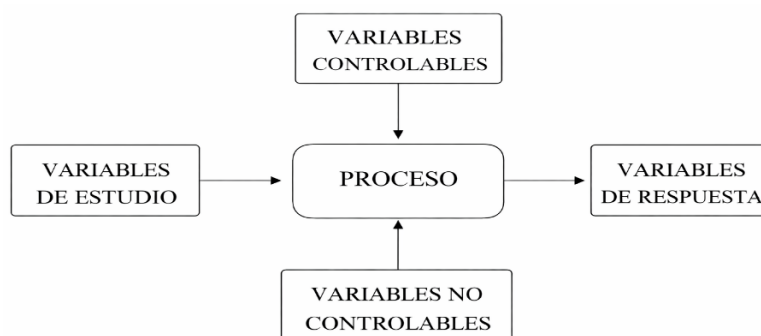
Este capítulo describirá los factores que participaron en el experimento, el método utilizado para obtener las muestras de aceite lubricante, además de los instrumentos de laboratorio y los recursos requeridos para llevar a cabo este procedimiento.

### 2.1 Variables

Los elementos que influyen en la operación del aceite en la transmisión reciben el nombre de: variables de entrada, variables de control, variables no controlables y variables de salida, tal como se muestra en la Figura 6.

### Figura 6

*Factores de Interferencia*



*Fuente: (Autores)*

### 2.1.1 Variables de Entrada

Son elementos que influyen de manera directa en las variables dependientes. Por esta razón, es esencial elegir variables de investigación que se distingan por su facilidad de manipulación.

### 2.1.2 Aceite Valvoline 80W 90 API GL4

Es un lubricante elaborado a partir de aceites base de alta refinación y aditivos, proporcionan características de protección contra el desgaste, prevención de oxidación y corrosión, regulación de la formación de espuma y compatibilidad alta. Formulado para usar en la mayoría de los tipos de transmisiones manuales, transejes y diferenciales.

A continuación, Se detallan las características técnicas del aceite usado para transmisiones manuales en los vehículos recolectores de la empresa EMAC.

**Tabla 8**

*Caracterización Aceite 80W90 Valvoline GL4 que usa EMAC*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor típico</b>
<b>Grado SAE</b>	–	SAE 80W-90
<b>Gravedad específica a 60 °F</b>	–	0.89
<b>Densidad (lb/gal) a 60 °F</b>	lb/gal	7.4 – 7.5
<b>Punto de inflamación</b>	°C	≥ 200
<b>Punto de fluidez</b>	°F	–15
<b>Viscosidad cinemática a 40 °C</b>	cSt	140
<b>Viscosidad cinemática a 100 °C</b>	cSt	14.5

*Fuente: (Iasa Global, 2023)*

### 2.1.3 Aceite Gulf 75W 90 GL4

Gulf Syngear 75W-90 es un aceite de engranajes 100 % sintético formulado para transmisiones manuales y automatizadas que requieren alta protección contra desgaste, buen rendimiento a bajas y altas temperaturas, y compatibilidad con sincronizadores.

#### Figura 7

*Aceite 75W 90 Total GL4 que usa EMAC*



*Fuente: (Autores)*

A continuación, se detallan las características técnicas del aceite usado para transmisiones automatizadas en los vehículos recolectores de la empresa EMAC.

#### Tabla 9

*Caracterización Aceite Total 75W90 GL4*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor típico</b>
<b>Grado SAE</b>	–	SAE 75W-90
<b>Gravedad específica a 60 °F</b>	–	0.86
<b>Densidad (lb/gal) a 60 °F</b>	lb/gal	7.2
<b>Punto de inflamación</b>	°C	≥ 210
<b>Punto de fluidez</b>	°F	–45
<b>Viscosidad cinemática a 40 °C</b>	cSt	100 – 105
<b>Viscosidad cinemática a 100 °C</b>	cSt	15.0 – 15.5

*Fuente: (Iasa Global, 2023)*

#### 2.1.4 Nota:

La empresa EMAC usa vehículos con transmisiones automatizadas, como las utilizadas en los vehículos Scania P360, emplean aceite para engranajes sintético SAE 75W-90 en lugar de un fluido ATF tradicional debido a que su diseño interno es equivalente al de una transmisión manual. Utiliza en realidad una caja automatizada Scania Opticruise (AMT), no una automática hidráulica con convertidor de par.

Disponen de posiciones de manejo similares a una automática, como Drive (D), Neutral (N) y Reverse (R), y en muchos casos también funciones de estacionamiento o bloqueo que cumplen el rol del Parking. Desde el punto de vista del conductor, la operación es muy similar a la de una transmisión automática convencional, ya que no se utiliza pedal de embrague y los cambios se realizan de forma automática mediante actuadores electrónicos e hidráulicos.

#### 2.1.5 Variables Controlables

Son aquellos factores del proceso de investigación que pueden ser definidos, ajustados y mantenidos bajo control por el investigador durante el desarrollo del estudio. El control de estas variables permite reducir la incertidumbre y garantizar la reproducibilidad de los resultados. En la tabla 10 se encuentran definidas las variables controlables.

**Tabla 10**

*Variables Controlables*

<b>Variables controlables</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Temperatura del aceite</b>	$T_{ref}$	14	°C
<b>Volumen de la muestra</b>	$V_m$	150	mL
<b>Condiciones de almacenamiento</b>	$C_a$	Envase limpio, sellado y protegido de la luz	–

<b>Método de muestreo</b>	$M_m$	Muestreo directo por drenaje	–
<b>Punto de Toma de Muestra</b>	–	Ubicación específica en la transmisión donde se extrae el aceite, garantizando representatividad.	–

*Fuente: (Autores)*

La temperatura promedio del aceite de transmisión al momento del muestreo fue de 14 °C, ya que las muestras se tomaron en horas de la mañana con los vehículos en condición de reposo. Se recolectó un volumen de 100 ml por muestra, el cual fue almacenado en un envase limpio, sellado y protegido de la luz, fabricado para este fin.

El muestreo se realizó directamente por drenaje mediante bomba de succión, manteniendo un punto de toma de muestra constante en la transmisión para todos los vehículos analizados. En este caso el tapón de llenado de la transmisión.

### 2.1.6 Variables No Controlables

También llamadas variables de ruido son factores que no pueden ser controlados por el investigador. Estas variables, inherentes a la naturaleza de la investigación, pueden influir en los resultados y dificultar la interpretación. En la Tabla 11 se encuentran definidas.

**Tabla 11**

*Variables No Controlables*

<b>Variables no controlables</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Estilo de conducción</b>	$E_{(c)}$	Variable según operador	–
<b>Carga transportada</b>	$C_{(t)}$	Variable según operación	kg
<b>Tipo de ruta</b>	$T_{(r)}$	Urbana / periurbana / pendiente	–
<b>Km de operación</b>	$K_o$	Variable acumulada	Km
<b>Estado de desgaste de la transmisión</b>	$D_{(t)}$	Variable según uso previo	–

*Fuente: (Autores)*

### 2.1.7 Variables de Respuesta

Corresponden a los parámetros obtenidos directamente a partir del análisis por espectroscopía infrarroja (FTIR), realizados mediante el equipo Eralytics, y representan el comportamiento del aceite de transmisión bajo condiciones reales de operación. Estas variables reflejan el estado fisicoquímico del lubricante, en este estudio, las variables de respuesta constituyen los indicadores fundamentales para evaluar la condición del aceite y el desgaste del sistema de transmisión. Mismos que se observan en la Tabla 12 a continuación.

**Tabla 12**

*Variables de Respuesta*

<b>Variables de respuesta</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Oxidación (FTIR)</b>	Ox	Resultado del equipo	Índice / AU
<b>Nitración (FTIR)</b>	Nit	Resultado del equipo	Índice / AU
<b>Sulfatación (FTIR)</b>	Sulf	Resultado del equipo	Índice / AU
<b>Agua / Humedad (FTIR)</b>	H <sub>2</sub> O	Resultado del equipo	Índice / AU
<b>Degradación del paquete de aditivos (FTIR) (si aplica)</b>	Add	Resultado del equipo	Índice / AU

*Fuente: (Eralytics, 2024)*

### 2.1.8 Nota:

La denominación “Índice/AU” se emplea debido a que los parámetros obtenidos mediante el análisis por FTIR se expresan como índices relativos, los cuales representan variaciones en la absorbancia infrarroja (Absorbance Units, AU) asociadas a cambios químicos específicos en el aceite. Estos valores no corresponden a una unidad física directa, sino a unidades propias del método de medición y del procesamiento interno del equipo, basadas en la comparación con una muestra de referencia.

### **2.1.9 Frecuencia de Muestreo**

En el presente estudio, la frecuencia de muestreo se estableció una vez por semana, considerando las condiciones reales de operación y disponibilidad de la flota de EMAC EP. Operativamente, los vehículos analizados cumplen jornadas variables de trabajo, con rotaciones diarias, rutas cambiantes y planes de mantenimiento que no siguen una secuencia fija, lo que impide realizar muestreos continuos o diarios sin afectar la operatividad institucional.

Desde el punto de vista operativo, una frecuencia semanal representa un equilibrio entre la obtención de información técnica suficiente y la no interferencia con las actividades normales de la flota, ya que permite programar el muestreo dentro de las ventanas reales de disponibilidad de los vehículos, sin generar tiempos muertos, retrasos en el servicio ni sobrecarga al personal de mantenimiento.

Las muestras de aceite en servicio se tomaron de manera aleatoria, considerando los vehículos disponibles en los días programados para el muestreo, sin realizar un seguimiento a una unidad específica, debido a que los vehículos presentan variaciones en sus horarios y planes de mantenimiento, lo que dificulta la obtención de muestras.

Este enfoque permitió obtener datos más representativos del estado real del aceite de transmisión en la flota, reflejando la diversidad de condiciones de operación existentes. Adicionalmente, se analizaron muestras de aceite totalmente nuevo, obtenidas directamente de los envases almacenados en bodega, como referencia comparativa. Todo el proceso de muestreo se realizó conforme a la norma ASTM D405.

En la Tabla 13 se presenta el tipo de aceite de transmisión analizado y la frecuencia con la que se realizó el muestreo durante el desarrollo del presente estudio.

#### **Tabla 13**

*Frecuencia Muestreo de Aceite*

<b>Fecha de Muestreo</b>	<b>Valvoline 80W 90</b>
08/09/2025	Barril Nuevo
08/09/2025	AMA 0534 #47
23/09/2025	AMA 1097 #67
23/09/2025	AMA 1094 #61
01/10/2025	AMA 1101 #66
01/10/2025	AMA 1123 #68
06/10/2025	AMA 1097 #67
<b>Fecha de Muestreo</b>	<b>Total 75W 90</b>
10/09/2025	Nuevo Barril
13/09/2025	AMA 1459 #12
15/09/2025	Nuevo Barril
18/09/2025	AMA 1497 #17
22/09/2025	AMA 1478 #22
01/10/2025	AMA 1459 #12
22/10/2025	AMA 1497 #17

*Fuente: (Autores)*

## **2.2 Vehículos de Experimentación**

Para el desarrollo del presente estudio, los vehículos de experimentación fueron seleccionados en función de su disponibilidad operativa en los días en que se realizaron las pruebas y el muestreo. Se consideraron vehículos equipados con transmisión manual, de los cuales se extrajeron muestras del aceite utilizado en este tipo de sistemas, correspondiente al lubricante 80W-90 marca Valvoline. Adicionalmente, se incluyeron vehículos con transmisión automatizada, tal como se describió en apartados anteriores, los cuales emplean aceite sintético Gulf 75W-90. En la figura 10 y 11 se observan ejemplos los vehículos usados de transmisión MT. Y en la figura 12 y 13 se observan vehículos usados de transmisión AT.

### **Figura 8**

*Vehículo Kenworth con transmisión MT*



*Fuente(Autores)*

**Tabla 14**

*Vehículo Kenworth con transmisión MT*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Marca</b>	Kenworth
<b>Modelo (estimado)</b>	K300
<b>Tipo</b>	Camión pesado de uso municipal
<b>Configuración</b>	Cab-over
<b>Año aproximado</b>	2005 – 2012
<b>Motor</b>	Diésel
<b>Cilindrada</b>	7.0 – 8.9 L (aprox.)
<b>Potencia máxima</b>	260 – 330 hp
<b>Torque máximo</b>	900 – 1.200 Nm
<b>Transmisión</b>	Manual
<b>Número de velocidades</b>	10
<b>Aplicación</b>	Recolección y servicios municipales
<b>Kilometraje</b>	52.947 km

*(Autores)*

**Figura 9**

*Vehículo*

*transmisión MT*

*Fuente:*

*MAC con*



*Fuente:(Autores)*

**Tabla 15**

*Vehículo MAC con transmisión MT*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Marca</b>	MAC
<b>Modelo (estimado)</b>	MR Series
<b>Tipo</b>	Camión pesado de uso municipal
<b>Configuración</b>	Cab-over
<b>Año aproximado</b>	1998 – 2008
<b>Motor</b>	Diésel
<b>Cilindrada</b>	7.6 – 8.9 L
<b>Potencia máxima</b>	250 – 330 hp
<b>Torque máximo</b>	950 – 1.300 Nm
<b>Transmisión</b>	Manual
<b>Número de velocidades</b>	6 a 9
<b>Tipo de transmisión</b>	Manual
<b>Aplicación</b>	Recolección, barrido y servicios urbanos
<b>Kilometraje</b>	32.947 km

*Fuente: (Autores)*

### **Figura 10**

*Vehículo Scania con transmisión AT*



*Fuente: (Autores)*

### **Tabla 16**

*Vehículo Scania con transmisión AT*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Marca</b>	Scania
<b>Modelo</b>	P360
<b>Tipo</b>	Camión pesado de uso municipal
<b>Año aproximado</b>	2015 – 2020
<b>Motor</b>	Diésel
<b>Cilindrada</b>	~12.7 L
<b>Potencia máxima</b>	360 hp

<b>Torque máximo</b>	~1.850 Nm
<b>Transmisión</b>	Automatizada
<b>Sistema de transmisión</b>	Scania Opticruise
<b>Convertidor de par</b>	No
<b>Aceite de transmisión</b>	SAE 75W-90 sintético
<b>Aplicación</b>	Recolección y servicios urbanos
<b>Kilometraje</b>	88.265 km

*Fuente: (Autores)*

### **Figura 11**

*Vehículo Iveco con transmisión AT*



*Fuente: (Autores)*

### **Tabla 17**

*Vehículo Iveco con transmisión AT*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Marca</b>	IVECO
<b>Modelo (estimado)</b>	Eurocargo / Trakker
<b>Tipo</b>	Camión pesado de uso municipal
<b>Año aproximado</b>	2014 – 2020
<b>Motor</b>	Diésel

<b>Cilindrada</b>	6.7 – 7.8 L
<b>Potencia máxima</b>	280 – 360 hp
<b>Torque máximo</b>	1.000 – 1.500 Nm
<b>Transmisión</b>	Automatizada
<b>Sistema de transmisión</b>	IVECO Eurotronic (ZF AMT)
<b>Convertidor de par</b>	No
<b>Aceite de transmisión</b>	SAE 75W-90 sintético
<b>Aplicación</b>	Operación urbana severa
<b>Kilometraje</b>	31.780

*Fuente: (Autores)*

### 2.3 Elementos Para La Sustracción De La Muestra Del Aceite

**Como se indicó previamente, la toma de muestras de aceite se llevó a cabo con una frecuencia semanal, utilizando la herramienta que se muestra en la Figura 12**

***Bomba de Vacío.*** Para la extracción del lubricante se seleccionó como punto de muestreo el tapón de llenado de la transmisión, lo que permitió acceder directamente al aceite en servicio.

Gracias al empleo de un sistema de bomba de vacío, el procedimiento de muestreo se realizó de manera sencilla y segura. Todo el proceso se ejecutó de conformidad con la norma ASTM D4057, garantizando la correcta representatividad y fiabilidad de las muestras obtenidas.

#### **Figura 12**

*Bomba de Vacío*



*Fuente: (Autores)*

### 2.3.1 Envase de Almacenamiento

Una vez extraída la muestra de aceite, esta debe almacenarse en un envase plástico completamente limpio, con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación que pueda alterar los resultados de las pruebas de laboratorio. En la Figura 13

*Envase de Almacenamiento* se muestra el contenedor utilizado para este propósito, el cual cuenta con un volumen de 200 mL, adecuado para la realización de los análisis correspondientes.

**Figura 13**

*Envase de Almacenamiento*



*Fuente: (Autores)*

### 2.3.2 Etiqueta de Identificación

Con el fin de llevar a cabo, una correcta información de las muestras de aceite de transmisión se utilizan etiquetas con las siguientes características detalladas en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Etiqueta de Identificación*

Ítem	Información en la etiqueta	Descripción
1	Código de muestra	Identificación única asignada a cada muestra.
2	Fecha de muestreo	Día, mes y año en que se realizó la toma de la muestra.

<b>3</b>	Marca del vehículo	Marca del vehículo del cual se obtuvo la muestra (Scania, IVECO, Kenworth, MACK, etc.).
<b>4</b>	Modelo del vehículo	Modelo o serie del vehículo muestreado.
<b>5</b>	Tipo de transmisión	Manual o Automatizada.
<b>6</b>	Tipo de aceite	(SAE 80W-90, SAE 75W-90).
<b>7</b>	Estado del aceite	Aceite en servicio o aceite nuevo.
<b>8</b>	Kilometraje / horas de operación	Kilometraje u horas acumuladas al momento del muestreo.
<b>9</b>	Punto de muestreo	Ubicación desde donde se extrajo el aceite (tapón de llenado, drenaje, etc.).
<b>10</b>	Operador	Nombre o código de la persona que realizó el muestreo.

*Fuente: (Autores)*

### **2.3.3 Analizador de Aceite Eralytics Eraspec Oil**

El Eraspec Oil es un analizador de aceites lubricantes que opera bajo el principio de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), diseñado para la evaluación rápida y confiable de la condición de aceites en servicio. El equipo permite identificar procesos de degradación y contaminación del lubricante mediante el análisis de bandas espectrales características, proporcionando parámetros como oxidación, nitración, sulfatación, contenido de agua, presencia de glicol y degradación de aditivos.

#### **Figura 14**

*Analizador de Aceite Eralytics Eraspec Oil*



*Fuente: (Autores)*

1. Botón de encendido / Puerto USB
2. Depósito de muestra (recipiente de vidrio)
3. Manguera de entrada de muestra
4. Panel táctil (pantalla de control)
5. Manguera de salida de muestra
6. Depósito de salida o depósito de residuos

## 2.4 Datos Técnicos del Equipo

La información (Oil, 2018) técnica del equipo se detalla a continuación en la Tabla 19, esta información viene dada por parte del fabricante.

**Tabla 19**

*Datos Técnicos del Equipo*

Parámetro	Especificación técnica
-----------	------------------------

<b>Métodos de ensayo disponibles</b>	ASTM D5845, D6277, D7777, D7806; EN 238; EN 14078; ISO 15212; IP 559
<b>Correlación a</b>	ASTM D86, D323, D613, D976, D2699, D2700, D4814, D5191, D6378; EN 13016; ISO 3405, ISO 5163, ISO 5164, ISO 5165
<b>Tipo de espectrómetro</b>	Interferómetro patentado mid-FTIR láser y diseño de temperatura controlada
<b>Celda de medición</b>	20 $\mu\text{m}$ y/o 100 $\mu\text{m}$ de longitud de trayectoria, con celdas de referencia; diseño de celda de doble o triple trayectoria optimizada para mediciones de gasolina, diésel y jet
<b>Medidor de densidad</b>	0 – 3 $\text{g}/\text{cm}^3$ ( $r = 0,0005 \text{ g}/\text{cm}^3$ ); celda de tubo en U oscilante
<b>Medición del tiempo</b>	60 segundos, incluye introducción de muestra, medición y cálculos; tiempo de calentamiento de 30 segundos
<b>Volumen de la muestra</b>	10 mL

*Fuente: (Eralytics, 2024)*

#### 2.4.1 Principio de Funcionamiento

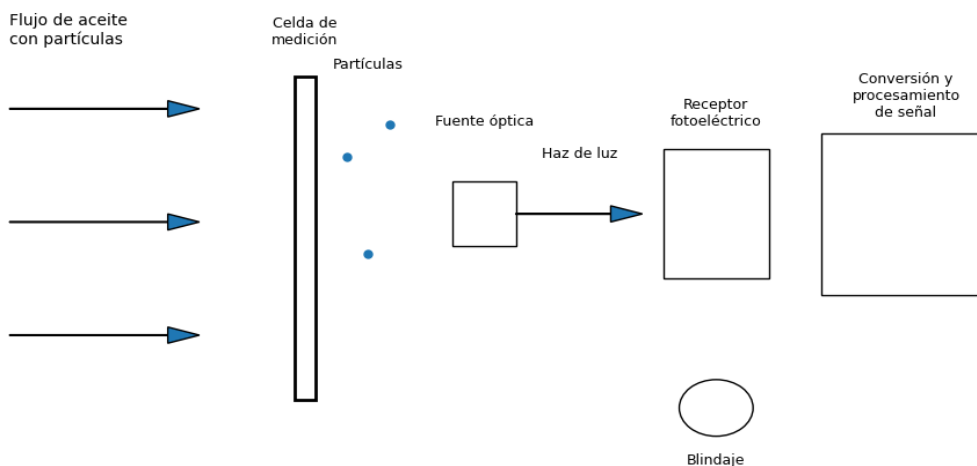
El analizador de condición de aceites ERASPEC OIL opera bajo el principio de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). En este método, una pequeña cantidad de aceite es conducida a una celda de medición, donde es atravesada por un haz de radiación infrarroja de longitud de onda media (mid-FTIR). Las moléculas presentes en el lubricante absorben la radiación en bandas espectrales características, asociadas a enlaces químicos específicos.

**La señal resultante es procesada mediante un interferómetro, generando un espectro infrarrojo que es comparado con bibliotecas y referencias internas del equipo. A partir de estas variaciones de absorbancia, el sistema determina índices relativos que permiten evaluar procesos de degradación, contaminación y envejecimiento del aceite, como oxidación, nitración, sulfatación, presencia de agua y degradación de aditivos, conforme a metodologías ampliamente aceptadas en análisis de condición de lubricantes. En la Figura 15**

*Principio de espectroscopía infrarroja (FTIR)* se observa el principio de funcionamiento.

**Figura 15**

*Principio de espectroscopía infrarroja (FTIR)*



*Fuente: (Autores)*

### 3. CAPITULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RELACIÓN ENTRE LA CONNDICIÓN DEL ACEITE Y VARIABLES OPERATIVAS

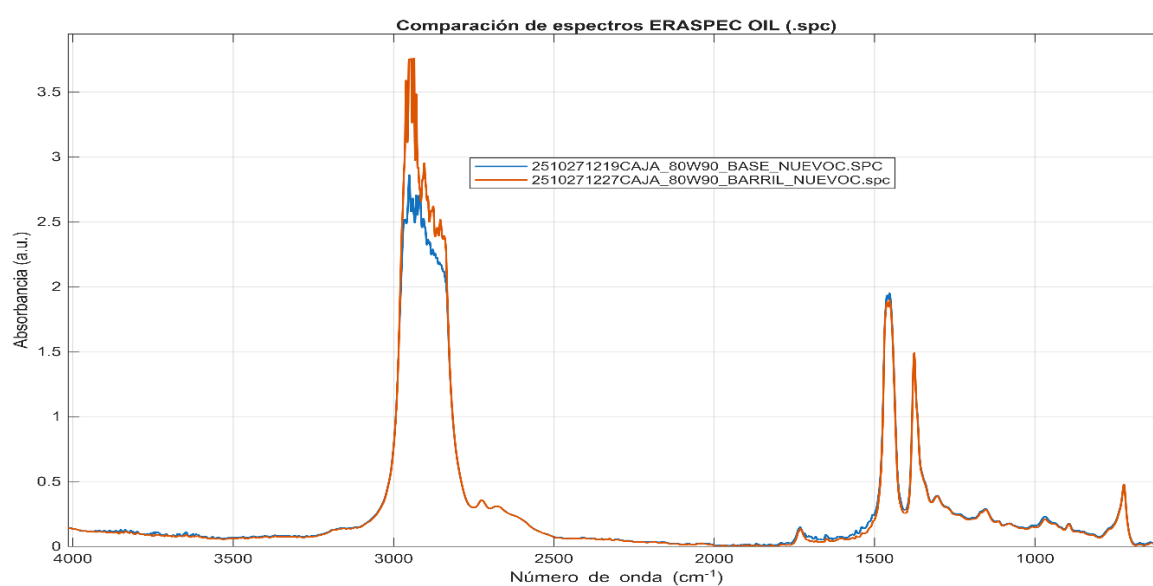
#### 3.1 Análisis de resultados

El análisis de resultados inicia con la evaluación del aceite de transmisión Valvoline GL-4 85W90 en condición nueva, con el objetivo de establecer la referencia inicial de comportamiento fisicoquímico, a partir de la cual se compararán las muestras en servicio y se construirá la línea base de la flota EMAC EP.

Para ello se analizaron dos muestras de aceite nuevo 85W90, correspondientes a diferentes tomas, una desde el barril y otra desde la manguera dispensadora con el fin de confirmar que las variaciones iniciales se mantienen dentro de rangos normales de fabricación. A continuación, en la Figura 16 y Figura 17 se observan las gráficas correspondientes a las dos muestras de aceite nuevo analizados.

### Figura 16

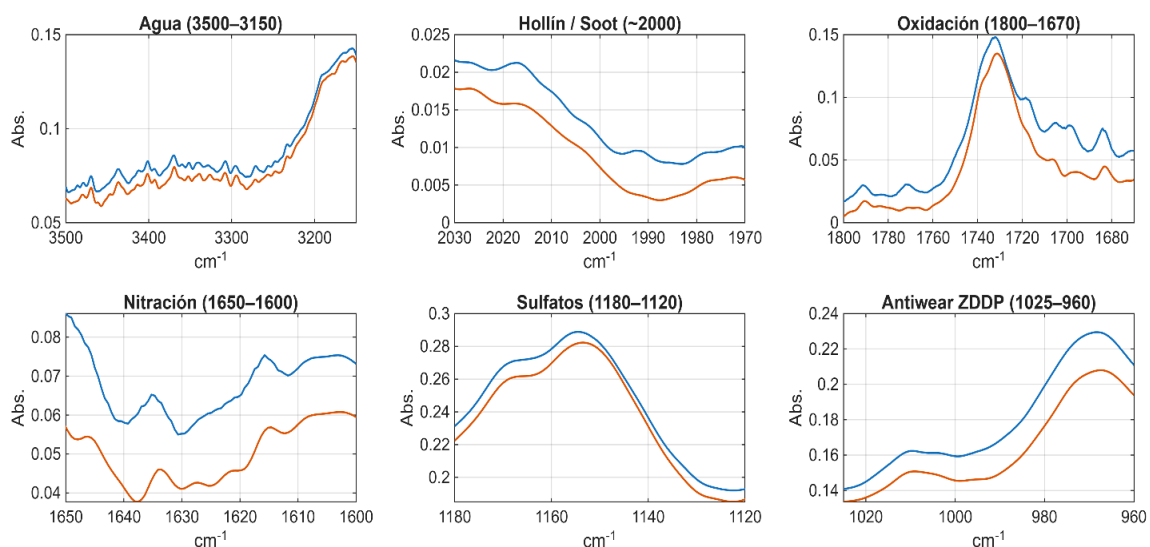
#### *Comparación de Espectros Aceite Nuevo*



*Fuente: (Autores)*

### Figura 17

#### *Comparación Espectros Específicos Aceite Nuevo*



*Fuente: (Autores)*

Los resultados FTIR y fisicoquímicos del aceite nuevo 80W90 GL-4 evidencian una condición inicial estable, caracterizada por baja humedad, mínima oxidación y presencia íntegra del paquete de aditivos EP. La similitud entre ambas muestras confirma la reproducibilidad del lubricante y permite establecer estos valores como referencia base para la evaluación comparativa de las muestras en servicio, asegurando que futuras variaciones reflejen procesos reales de degradación operativa. En la Tabla 20 se describe esta condición con valores del análisis.

**Tabla 20**

*Parámetros FTIR y fisicoquímicos de referencia del aceite nuevo 80W90 GL-4*

Parámetro	Barril nuevo	Manguera Dispensadora nuevo	Región FTIR (cm <sup>-1</sup> )	Significado técnico
Agua EP	218.6	236.8	3500–3150	Humedad inicial normal en aceite nuevo, sin contaminación hídrica
Oxidación EP	5.5	7.1	1800–1670	Aceite químicamente sano, sin envejecimiento térmico
Agua DT	8.6	8.0	3500–3150	Confirmación espectral de baja presencia de agua

<b>Oxidación DT</b>	5.4	7.1	1800–1670	Estabilidad química inicial del lubricante
<b>TAN</b>	1.8	1.7	—	Nivel ácido normal de aceite nuevo
<b>TBN</b>	3.9	4.4	—	Reserva alcalina inicial del lubricante
<b>Visc. 40 °C (cSt)</b>	110.7	114.9	—	Condición reológica inicial SAE 80W90
<b>Visc. 100 °C (cSt)</b>	12.6	12.7	—	Estabilidad de película lubricante

Fuente: (Autores)

La línea base se establece como el valor central representativo del comportamiento normal del lubricante nuevo, calculado mediante el promedio de las dos muestras analizadas. Adicionalmente, se conserva el intervalo mínimo–máximo como banda de variación natural del aceite nuevo, atribuible a tolerancias de fabricación, condiciones de almacenamiento y dispersión.

**Tabla 21**

*Valores de Partida 80w90 Nuevo*

<b>Parámetro</b>	<b>Línea base</b>
<b>Agua EP</b>	227.7
<b>Oxidación EP</b>	6.3
<b>TAN</b>	1.75
<b>TBN</b>	4.15
<b>Visc 40°C</b>	112.8
<b>Visc 100°C</b>	12.65

Fuente: (Iasa Global, 2023)

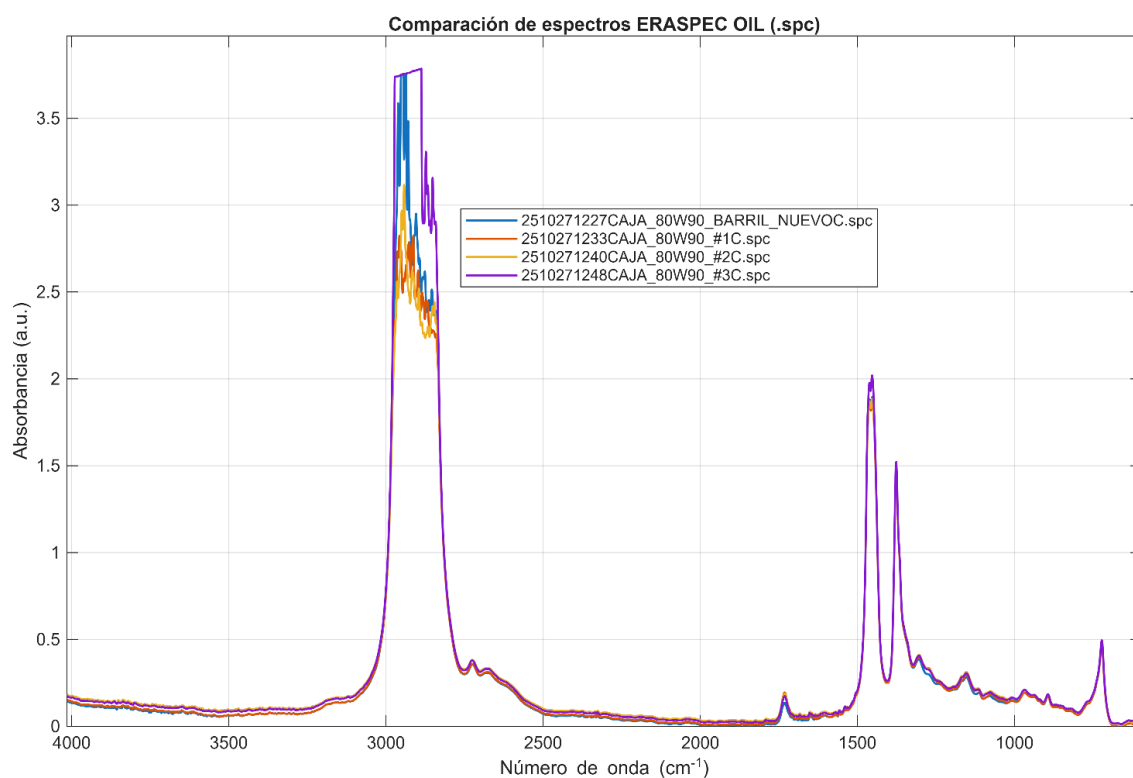
### **3.2 Caracterización Del Aceite De Transmisión 85W90 En Condición Operación**

En esta sección se analizan las muestras representativas de aceites de transmisión con grado de viscosidad SAE 80W90 que se encuentran en uso y en operación. Estas muestras fueron seleccionadas por su condición de servicio real, lo que permite evaluar

el comportamiento del lubricante bajo cargas mecánicas, térmicas y ambientales propias del funcionamiento normal del sistema de transmisión. En total se cuentan seis muestras, pero se agruparán en bloques de tres para facilitar una mejor visualización. En la Figura 18 y Figura 19 se observa.

### Figura 18

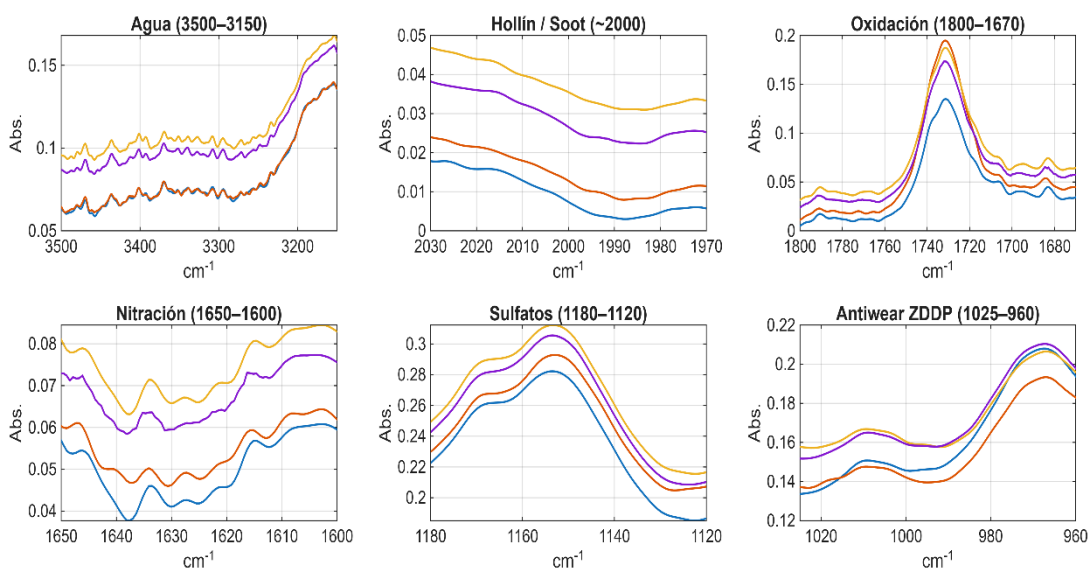
*Muestras Del Uno Al Tres Respecto A Aceite Nuevo*



*Fuente: (Autores)*

### Figura 19

*Comparación Espectros Específicos Muestras Uno al Tres*



*Fuente: (Autores)*

Al contrastarlas con la huella espectral de la línea base del aceite nuevo, se observan modificaciones en la intensidad relativa de varias bandas, especialmente en la región de los productos de oxidación y en las zonas asociadas a aditivos.

Estas variaciones indican que el lubricante ha experimentado cambios químicos propios de la operación, aunque sin pérdida total de la estructura base del aceite. En la Tabla 22 a continuación se observan los valores de los espectros.

**Tabla 22***Comparación de parámetros del aceite usado 80W90 GL-4 respecto a aceite nuevo*

<b>Parámetro</b>	<b>Línea base</b>	<b>#1</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#2</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#3</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>
<b>Agua EP</b>	227.7	218.9	-8.8	-3.9%	312.1	+84.4	+37.1%	289.6	+61.9	+27.2%
<b>Ox EP</b>	6.3	7.2	+0.9	+14.3%	7.4	+1.1	+17.5%	6.2	-0.1	-1.6%
<b>TAN</b>	1.75	1.7	-0.05	-2.9%	1.7	-0.05	-2.9%	1.6	-0.15	-8.6%
<b>TBN</b>	4.15	3.4	-0.75	-18.1%	2.9	-1.25	-30.1%	3.1	-1.05	-25.3%
<b>Visc 40°C</b>	112.8	112.3	-0.5	-0.4%	104.3	-8.5	-7.5%	110.1	-2.7	-2.4%
<b>Visc 100°C</b>	12.65	12.7	+0.05	+0.4%	12.0	-0.65	-5.1%	12.5	-0.15	-1.2%

*Fuente: (Autores)*

### 3.3 Interpretación Técnica Por Parámetro

#### 3.3.1 Agua EP

La muestra #2 (+37.1%) y #3 (+27.2%) claramente fuera de la banda natural mientras la muestra #1 aún dentro del rango del aceite nuevo.

#### 3.3.2 Oxidación

Las muestras #1 y #2: incrementos del **14–18%** mientras #3 aún cercano a valores de aceite nuevo.

#### 3.3.3 TAN

Se mantiene cercano al valor inicial, etapa temprana de degradación, aún sin acumulación fuerte de ácidos.

#### 3.3.4 TBN

Caídas severas en todas las muestras, consumo acelerado de la reserva química del lubricante, esto confirma envejecimiento químico real aunque el TAN aún no suba.

#2: -30%

#3: -25%

#1: -18%

#### 3.3.5 Viscosidad

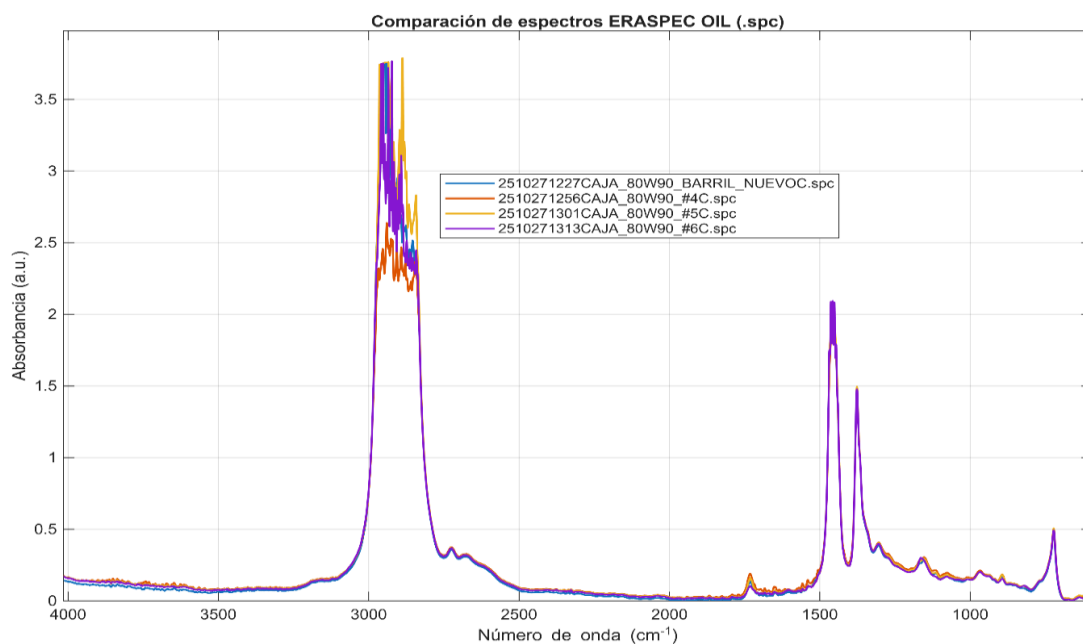
La muestra #2 presenta **disminución significativa** (hasta -7.5%)

#### 3.3.6 Muestras Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo.

A continuación, en la Figura 20 se observa en espectro correspondiente a las muestras cuatro, cinco y seis.

#### Figura 20

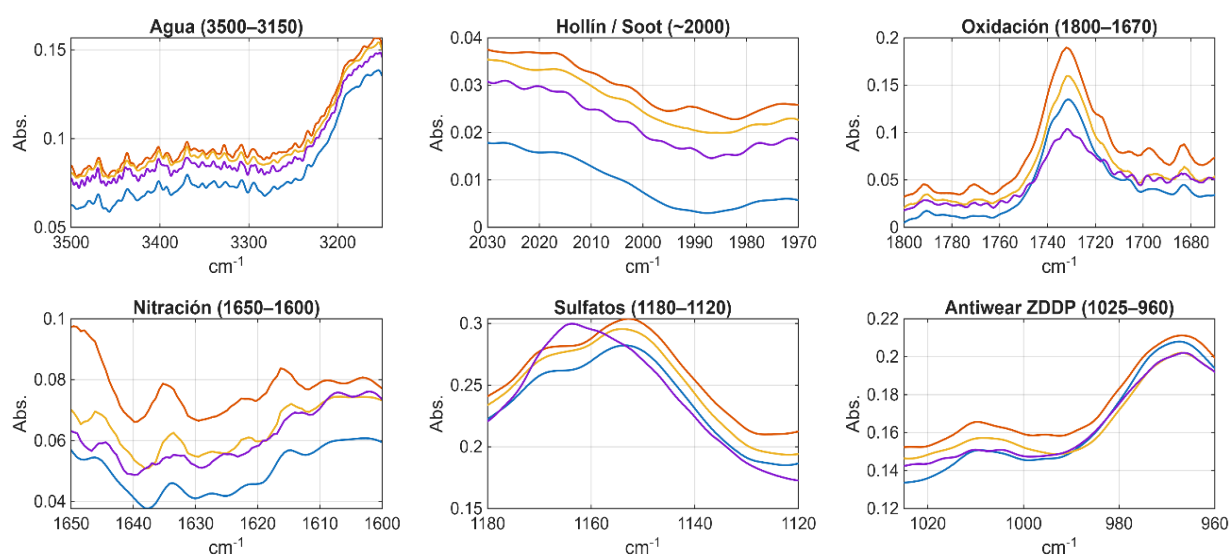
*Muestras Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo*



Fuente: (Autores)

**Figura 21**

*Comparación Espectros Específicos Muestras Uno al Tres*



Fuente: (Autores)

Las muestras #4, #5 y #6 presentan desviaciones sistemáticas respecto a la línea base del aceite nuevo, principalmente en los parámetros de humedad y oxidación, lo que confirma la activación sostenida de procesos de envejecimiento químico durante la operación.

**Adicionalmente, las variaciones observadas en las bandas de aditivos EP y anti desgaste indican consumo progresivo del paquete químico. En conjunto, los resultados permiten clasificar al lubricante en una fase intermedia de degradación, aún funcional, pero con tendencia evolutiva hacia la pérdida de propiedades tribológicas si continúa en servicio. En la Tabla 23**

*Comparación de parámetros del aceite usado 80W90 GL-4 respecto a aceite nuevo se observa de mejor manera estas variaciones.*

**Tabla 23***Comparación de parámetros del aceite usado 80W90 GL-4 respecto a aceite nuevo*

<b>Parámetro</b>	<b>Línea base</b>	<b>#4</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#5</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#6</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>
<b>Agua EP</b>	227.7	275.7	+48.0	+21.1	266.4	+38.7	+17.0	251.6	+23.9	+10.5
<b>Ox EP</b>	6.3	7.7	+1.4	+22.2	5.5	-0.8	-12.7	4.7	-1.6	-25.4
<b>TAN</b>	1.75	1.8	+0.05	+2.9	1.6	-0.15	-8.6	1.7	-0.05	-2.9
<b>TBN</b>	4.15	3.0	-1.15	-27.7	2.5	-1.65	-39.8	2.0	-2.15	-51.8
<b>Visc 40°C</b>	112.8	110.3	-2.5	-2.2	106.7	-6.1	-5.4	108.2	-4.6	-4.1
<b>Visc 100°C</b>	12.65	12.4	-0.25	-2.0	12.2	-0.45	-3.6	12.1	-0.55	-4.3

*Fuente: (Autores)*

### 3.4 Interpretación Técnica Por Parámetro

#### 3.4.1 Agua EP

Las tres muestras se encuentran claramente fuera de la banda natural del aceite nuevo, confirmando ingreso activo de humedad durante la operación. Esto evidencia contaminación hídrica progresiva, típica de sistemas de transmisión por respiración térmica, la cual acelera la oxidación del lubricante.

**#4:** +21.1 %

**#5:** +17.0 %

**#6:** +10.5 %

#### 3.4.2 Oxidación EP

Se observa comportamiento diferenciado entre las muestras, esto indica que la muestra #4 se encuentra en una fase más avanzada de envejecimiento térmico, mientras #5 y #6 corresponden a estados previos del mismo proceso.

**#4:** +22.2 % → incremento significativo, oxidación activa

**#5:** -12.7 % → aún en etapa temprana

**#6:** -25.4 % → condición inicial de oxidación

#### 3.4.3 TAN

El TAN se mantiene cercano al valor de la línea base, lo que indica que el aceite aún no presenta acumulación importante de subproductos ácidos.

**#4:** +2.9 %

**#5:** -8.6 %

#6: -2.9 %

#### 3.4.4 TBN

Se registran caídas severas del TBN en todas las muestras, evidenciando consumo acelerado de la reserva alcalina del lubricante, este comportamiento confirma envejecimiento químico real del aceite, aun cuando el TAN todavía no muestra incrementos significativos.

#4: -27.7 %

#5: -39.8 %

#6: -51.8 %

#### 3.4.5 Viscosidad

Las tres muestras presentan disminución de viscosidad respecto a la línea base, indicativa de cizallamiento mecánico del lubricante en engranajes, Esto demuestra pérdida progresiva de la capacidad de formación de película lubricante bajo carga severa.

#4: -2.2 % (leve)

#5: -5.4 % (moderada)

#6: -4.1 % (moderada)

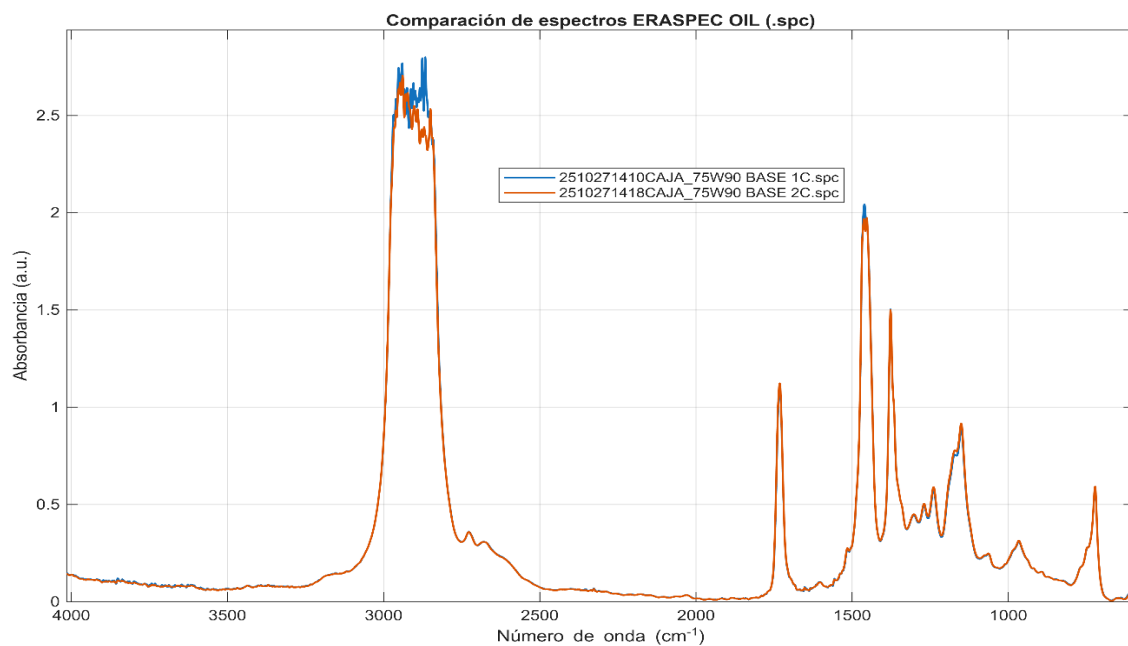
#### 3.4.6 Caracterización Del Aceite De Transmisión 75W90 En Condición Nueva

En esta sección se evalúan muestras representativas de aceites de transmisión SAE 75W90 en condición de servicio, seleccionadas por encontrarse en operación real. El análisis permite estudiar el comportamiento del lubricante bajo sollicitaciones mecánicas, térmicas y ambientales propias del funcionamiento normal del sistema de transmisión del vehículo.

Para facilitar la interpretación de resultados, las seis muestras analizadas se presentan en dos grupos de tres. En las Figura 22 y Figura 23 se muestran los espectros FTIR correspondientes.

**Figura 22**

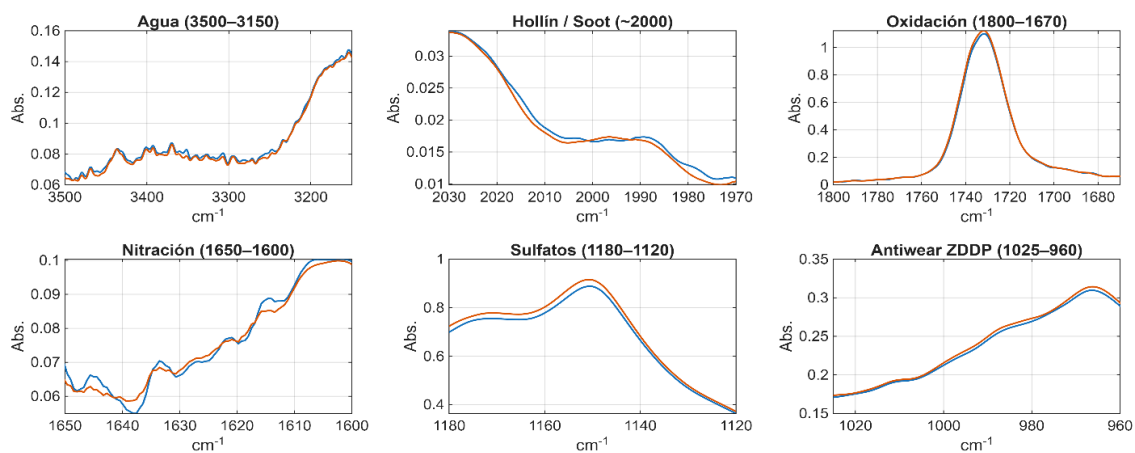
*Comparación de Espectros Aceite Nuevo*



*Fuente: (Autores)*

**Figura 23**

*Comparación Espectros Específicos Aceite Nuevo*



*Fuente: (Autores)*

El análisis FTIR realizado a las dos muestras de aceite SAE 75W90 nuevo muestra que ambas presentan espectros prácticamente idénticos en todo el rango infrarrojo. Esto indica que el lubricante tiene una composición química homogénea y estable, sin diferencias significativas entre muestras tomadas de la base de almacenamiento. La coincidencia de las curvas confirma que el aceite no ha sufrido alteraciones químicas antes de entrar en servicio. En la Tabla 24 se describe esta condición con valores del análisis y en la Tabla 25 los valores de partida.

**Tabla 24**

*Parámetros FTIR y fisicoquímicos de referencia del aceite nuevo 75W90 GL-4*

<b>Parámetro</b>	<b>Región FTIR (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Base 1</b>	<b>Base 2</b>	<b>Significado técnico</b>
<b>Agua EP</b>	3500–3150	237.3	232.6	Indica presencia de humedad en el lubricante. El agua acelera la oxidación y favorece la corrosión interna de engranajes y rodamientos.
<b>Oxidación EP</b>	1800–1670	32.2	33.0	Mide el envejecimiento térmico del aceite por formación de compuestos carbonílicos. Refleja degradación química progresiva.
<b>Sulfatos (EP)</b>	1180–1120	0.88 aprox.	0.90 aprox.	Banda asociada a aditivos sulfurados de extrema presión. Representa la capacidad de protección de engranajes.
<b>ZDDP (Antiwear)</b>	1025–960	0.31 aprox.	0.32 aprox.	Aditivo antidesgaste que forma películas protectoras sobre superficies metálicas. Su reducción indica consumo de protección tribológica.
<b>TAN</b>	—	4.3	4.4	Mide la acidez total del aceite. Valores bajos indican ausencia de subproductos ácidos por degradación.
<b>TBN</b>	—	6.5	6.8	Mide la reserva alcalina del lubricante para neutralizar ácidos. Indica estabilidad química inicial.
<b>Visc. 40 °C (cSt)</b>	—	126.9	125.6	Define la capacidad de formación de película lubricante en régimen hidrodinámico.

<b>Visc. 100 °C (cSt)</b>	—	15.6	15.7	Representa la estabilidad de la película lubricante en condiciones de alta temperatura.
---------------------------	---	------	------	---

*Fuente: (Autores)*

**Tabla 25**

*Valores de Partida Para Aceite 75w90 Nuevo*

<b>Parámetro</b>	<b>Línea base (<math>\mu</math>)</b>	<b>Rango aceite nuevo</b>
<b>Agua EP</b>	235.0	232.6 – 237.3
<b>Oxidación EP</b>	32.6	32.2 – 33.0
<b>TAN</b>	4.35	4.3 – 4.4
<b>TBN</b>	6.65	6.5 – 6.8
<b>Visc 40°C</b>	126.25	125.6 – 126.9
<b>Visc 100°C</b>	15.65	15.6 – 15.7

*Fuente: (Autores)*

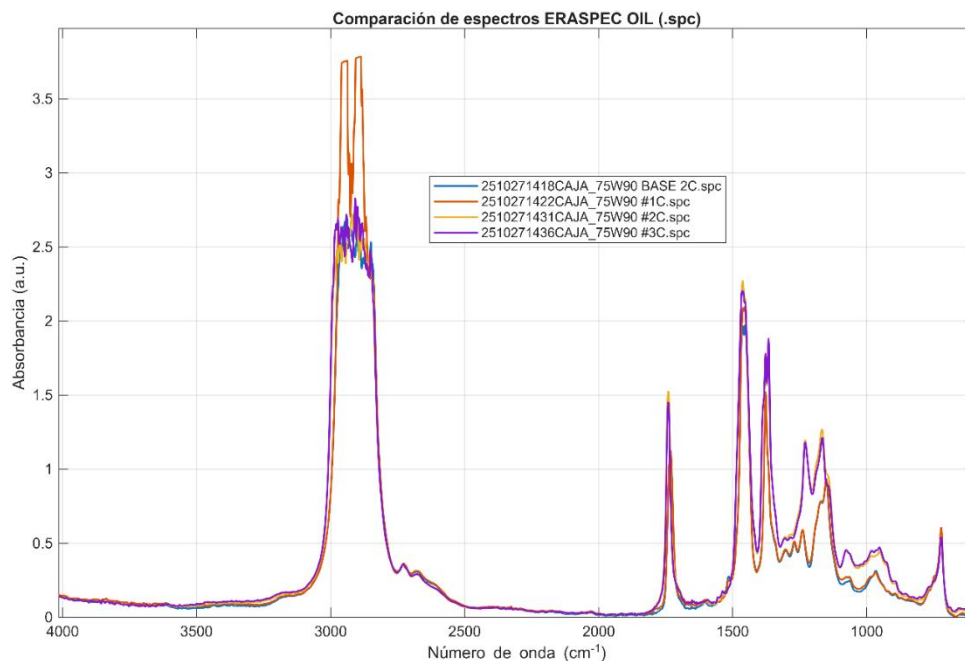
### **3.4.7 Caracterización Del Aceite De Transmisión 75W90 En Condición Operación**

En esta sección se evalúan muestras representativas de aceite de transmisión SAE 75W90 en condición de servicio, seleccionadas por encontrarse en operación real. Este análisis permite estudiar el comportamiento del lubricante bajo esfuerzos mecánicos.

Además de las propiedades térmicas y ambientales propias del funcionamiento normal del sistema de transmisión. Para facilitar la interpretación de los resultados, las seis muestras analizadas se presentan en dos grupos de tres. En las Figura 24 y Figura 25 se muestran los espectros correspondientes.

#### **Figura 24**

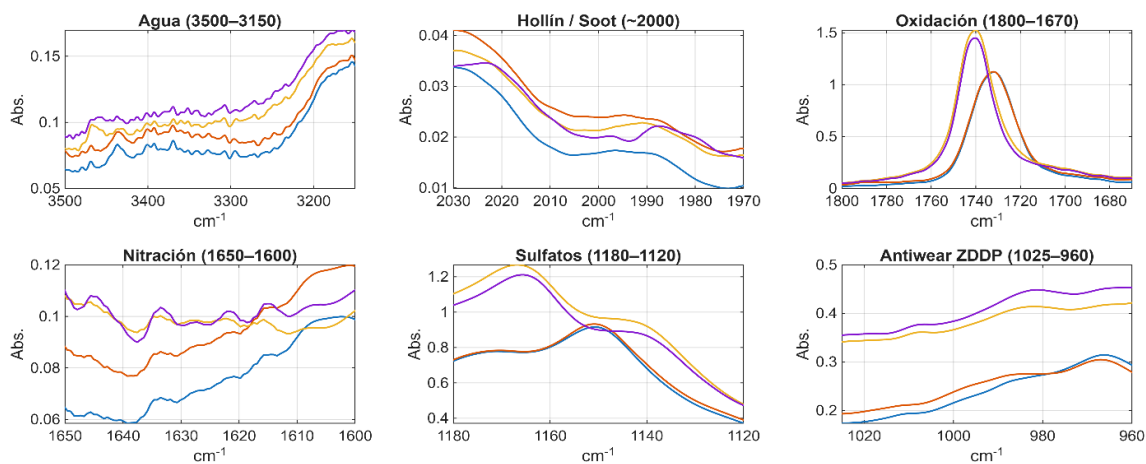
*Comparación Espectros Del Uno Al Tres Respecto A Aceite Nuevo*



*Fuente: (Autores)*

**Figura 25**

*Comparación Espectros Específicos Muestras Uno al Tres*



*Fuente: (Autores)*

Los espectros de las muestras analizadas confirman que el lubricante ha sufrido alteraciones químicas y fisicoquímicas inducidas por la operación. En comparación directa con la línea base, se observa un incremento progresivo del contenido de agua, superando ampliamente el rango natural del aceite nuevo, lo que evidencia contaminación hídrica durante el servicio y explica la aceleración de los procesos de degradación.

De igual forma, los valores de oxidación muestran aumentos marcados frente al aceite nuevo, especialmente en las muestras #2 y #3, indicando envejecimiento térmico avanzado del lubricante. Este comportamiento es coherente con el incremento simultáneo del número ácido total (TAN), el cual refleja acumulación de subproductos ácidos formados por oxidación, inexistentes en el aceite nuevo. En la Tabla 26 se observa de mejor manera esto

**Tabla 26***Variación de parámetros SAE 75W90 (#4–#6) respecto a la línea base*

<b>Parámetro</b>	<b>Línea base</b>	<b>#1</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#2</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#3</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>
<b>Agua EP</b>	235	267.7	+ 32.7	+ 13.9	301.7	+ 66.7	28.4	328	+ 93	+ 39.6
<b>Ox EP</b>	32.6	34.5	+ 1.9	+ 5.8	44.7	+ 12.1	37.1	40.6	+ 8	+ 24.5
<b>TAN</b>	4.35	4.3	-0.05	-1.1	5.6	+ 1.25	28.7	5.7	+ 1.35	+ 31
<b>TBN</b>	6.65	5.7	-0.95	-14.3	11.9	+ 5.25	78.9	11.8	+ 5.15	+ 77.4
<b>Visc 40°C</b>	126.25	129.3	+ 3.05	+ 2.4	157.5	+31.25	24.8	155.3	+29.05	+ 23
<b>Visc 100°C</b>	15.65	15.8	+ 0.15	+ 1.0	20.8	+ 5.15	32.9	20.6	+ 4.95	+ 31.6

*Fuente: (Autores)*

### **3.5 Interpretación Técnica por Parámetro**

#### **3.5.1 Agua EP**

Las tres muestras se encuentran claramente fuera de la banda natural del aceite nuevo, esto indica contaminación hídrica progresiva severa, aceleradora directa de oxidación y corrosión interna.

#1: +13.9 %

#2: +28.4 %

#3: +39.6 %

#### **3.5.2 Oxidación EP**

Se evidencia envejecimiento térmico avanzado:

#1: +5.8 % (etapa inicial)

#2: +37.1 % (degradación severa)

#3: +24.5 % (degradación avanzada)

#### **3.5.3 TAN**

Se observa incremento de acidez en muestras #2 y #3, lo que quiere decir acumulación de subproductos ácidos por oxidación.

#1: -1.1 % (normal)

#2: +28.7 %

#3: +31.0 %

#### **3.5.4 TBN**

Comportamiento anómalo químicamente crítico, esto confirma degradación química compleja del lubricante, típica de aceites de transmisión envejecidos.

#1: -14.3 % → consumo normal

#2: +78.9 % → interferencia química por productos nitrogenados

#3: +77.4 % → alteración química del sistema ácido-base

### 3.5.5 Viscosidad

Se observa incremento severo de viscosidad en #2 y #3, indica oxidación avanzada, polimerización y espesamiento del aceite. Estos datos concuerdan con los de los demás parámetros.

#1: +2.4 %

#2: +24.8 %

#3: +23.0 %

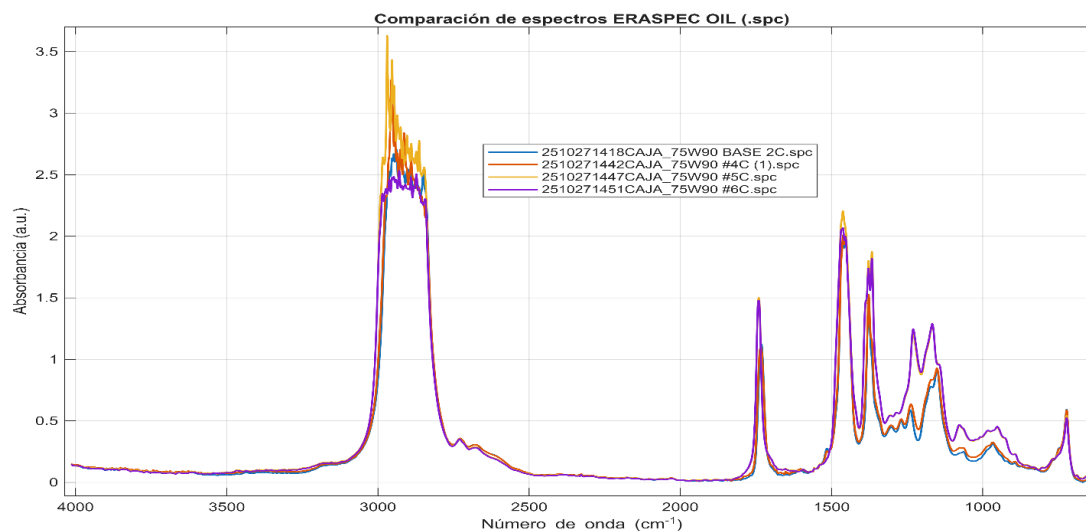
### 3.5.6 Muestras Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo

A continuación, en la Figura 26 y

Figura 27 se observa en espectro correspondiente a las muestras cuatro, cinco y seis.

#### Figura 26

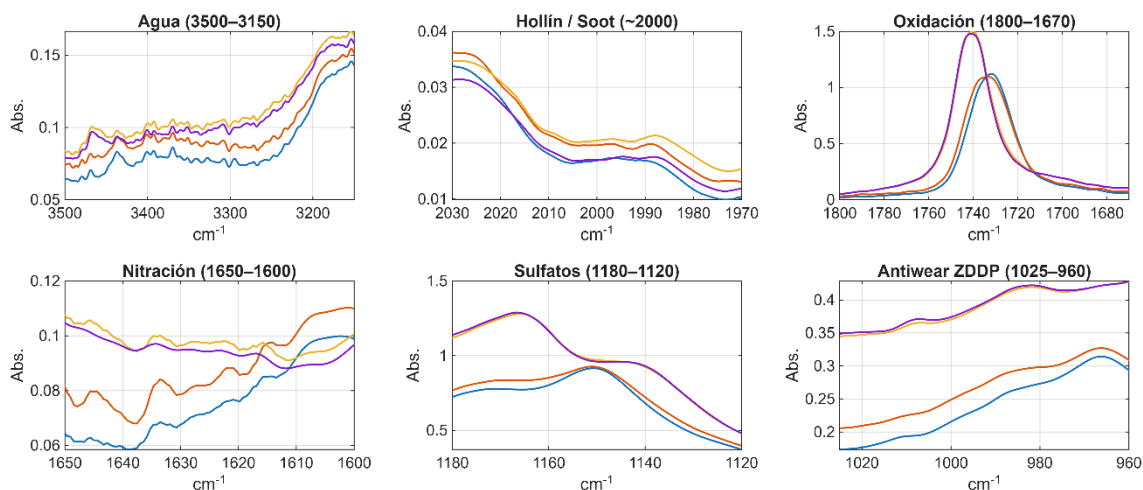
*Comparación Espectros Del Cuatro Al Seis Respecto A Aceite Nuevo*



*Fuente: (Autores)*

**Figura 27**

*Comparación Espectros Específicos Muestras Cuatro al Seis*



*Fuente: (Autores)*

Los espectros de las muestras #4, #5 y #6 presentan desviaciones severas respecto a la línea base del aceite nuevo, evidenciando contaminación hídrica sostenida, envejecimiento térmico avanzado y fuerte inestabilidad reológica. La comparación directa con el aceite nuevo confirma que las muestras #5 y #6 se encuentran en una fase avanzada de degradación, mientras que la muestra #4 se ubica en una etapa intermedia. Estos resultados validan la utilidad de la línea base como referencia objetiva para el diagnóstico del estado del lubricante en servicio.

Adicionalmente, la alteración simultánea de los parámetros químicos y fisicoquímicos demuestra que el deterioro del aceite no responde a un único mecanismo, sino a la acción combinada de procesos de oxidación, contaminación y consumo de aditivos. Esta interacción explica la pérdida progresiva de la capacidad protectora del lubricante sobre los componentes de la transmisión. En consecuencia, el aceite analizado

se aproxima a condiciones críticas de operación, en las cuales se incrementa el riesgo de desgaste acelerado de engranajes y rodamientos. En la Tabla 27 se muestra los valores.

**Tabla 27***Variación de parámetros SAE 75W90 (#4–#6) respecto a la línea base*

<b>Parámetro</b>	<b>Línea base</b>	<b>#4</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#5</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>	<b>#6</b>	<b>Δ</b>	<b>Δ %</b>
<b>Agua EP</b>	235	268	+ 33	+ 14	310.5	+ 75.5	+ 32.1	296.9	+ 61.9	+ 26.4
<b>Ox EP</b>	32.6	35.4	+ 2.8	+ 8.6	44.4	+ 11.8	+ 36.2	44.7	+ 12.1	+37.1
<b>TAN</b>	4.35	4.6	+ 0.25	+ 5.7	5.6	+ 1.25	+ 28.7	5.6	+ 1.25	+ 28.7
<b>TBN</b>	6.65	7.7	+ 1.05	+ 15.8	11.8	+ 5.15	+ 77.4	12.1	+ 5.45	+ 82
<b>Visc 40°C</b>	126.25	114.3	-11.9 5	-9.5	160.4	+34.1 5	+ 27.1	169.3	+43.0 5	+ 34.1
<b>Visc 100°C</b>	15.65	15.2	-0.45	-2.9	21	+ 5.35	+ 34.2	21.7	+ 6.05	+ 38.7

*Fuente: (Autores)*

### **3.6 Interpretación técnica por parámetro (75W90 #4–#6)**

#### **3.6.1 Agua EP**

Las tres muestras se mantienen fuera de la banda natural del aceite nuevo lo que confirma contaminación hídrica sostenida en el sistema de transmisión.

#4: +14.0 %

#5: +32.1 %

#6: +26.4 %

#### **3.6.2 Oxidación EP**

Se observa envejecimiento térmico avanzado:

#4: +8.6 % (etapa inicial–intermedia)

#5: +36.2 % (degradación severa)

#6: +37.1 % (degradación severa)

#### **3.6.3 TAN**

Incremento de acidez en todas las muestras:

#4: +5.7 %

#5: +28.7 %

#6: +28.7 %.

#### **3.6.4 TBN**

Comportamiento químico crítico, refleja alteración del equilibrio ácido–base por productos de degradación, típico de aceites de transmisión envejecidos.

#4: +15.8 %

#5: +77.4 %

#6: +82.0 %

### **3.6.5 Viscosidad**

Comportamiento severamente inestable:

#4: -9.5 % (cizallamiento)

#5: +27.1 % (oxidación/polimerización)

#6: +34.1 % (oxidación severa)

#### 4. CONCLUSIONES

La línea base para el aceite Valvoline 80w90 GL4 se encuentra correctamente definida y representa el estado fisicoquímico “sano” del aceite nuevo, es decir, la condición ideal del lubricante antes de ser sometido a servicio. Esta línea base funciona como una referencia estable y objetiva frente a la cual se evalúa el deterioro progresivo de las muestras en operación.

Agua EP tiene incrementos de +10 a +21 %, confirmando contaminación hídrica sostenida. La presencia de agua favorece la oxidación, la pérdida de película lubricante y la corrosión interna de engranajes y rodamientos.

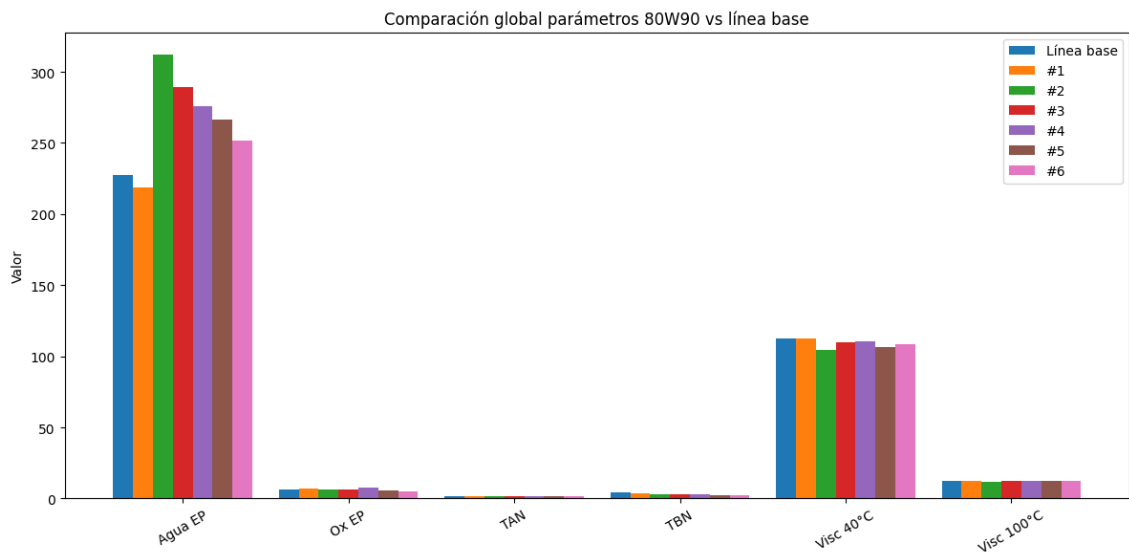
Ox EP tiene cambios entre +22 % y -25% esto representa valores bajos asociados a consumo de antioxidantes, fenómeno típico cuando el paquete de aditivos empieza a agotarse.

Viscosidad a 40 °C Presenta variaciones entre -2.2 % y -4.1 % Esta pérdida de viscosidad indica cizallamiento del polímero y degradación de la base lubricante, reduciendo la capacidad de separación de superficies.

Estado ácido-alcalino (TAN y TBN) , el TAN permanece cercano al valor inicial en cambio el TBN cae hasta -52 % en la muestra #6. Los ácidos aún no se acumulan masivamente. Pero la reserva alcalina está colapsando, confirmando envejecimiento químico real. Es una fase peligrosa: el aceite parece “normal” por TAN, pero ya perdió su capacidad protectora. En la Figura 28 se indica de mejor manera.

**Figura 28**

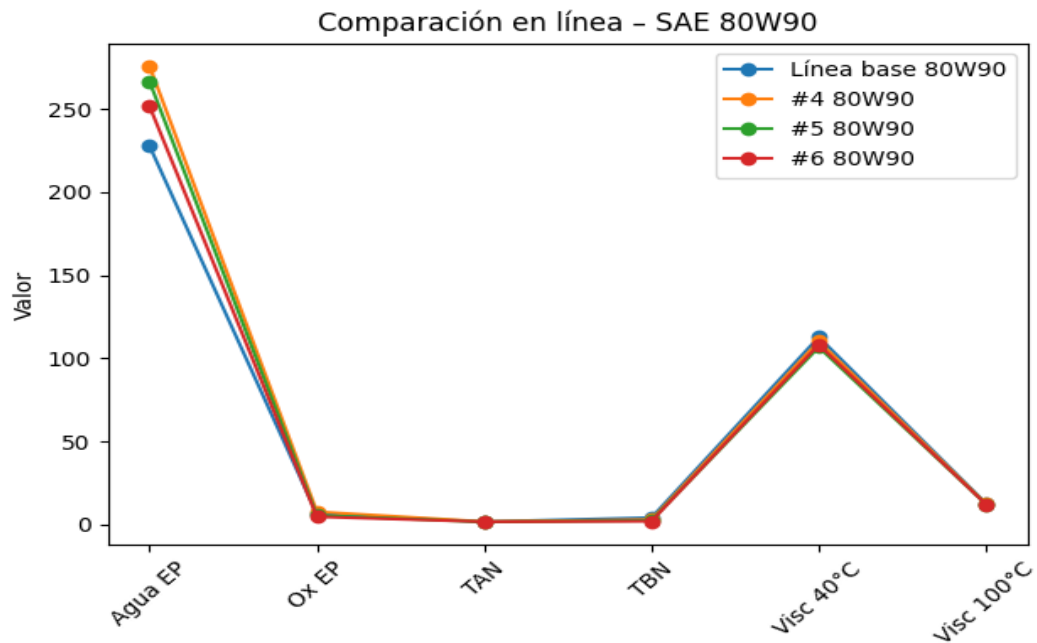
*Variación de Parámetros Aceite Valvoline 80w90 GL4*



*Fuente: (Autores)*

**Figura 29**

*Variación de Parámetros Aceite Valvoline 80w90 GL4 Líneas*



*Fuente: (Autores)*

La línea base establecida para el aceite Total SAE 75W90 GL-4 se encuentra adecuadamente determinada y refleja el estado fisicoquímico óptimo del lubricante en

condición nueva, es decir, su situación ideal antes de entrar en servicio. Esta referencia constituye un patrón confiable y objetivo que permite comparar y cuantificar de forma precisa la degradación progresiva de las muestras en operación.

Agua EP En el gráfico se observa que todas las muestras en servicio superan de forma marcada la línea base de 235, alcanzando valores entre 310 y 328 en las muestras #2, #3, #5 y #6. Este comportamiento confirma que la línea base corresponde a un aceite nuevo con bajo contenido de humedad y alta estabilidad del cárter. Dado que la diferencia excede ampliamente la variación natural del aceite nuevo, se trata de una condición anormal de operación.

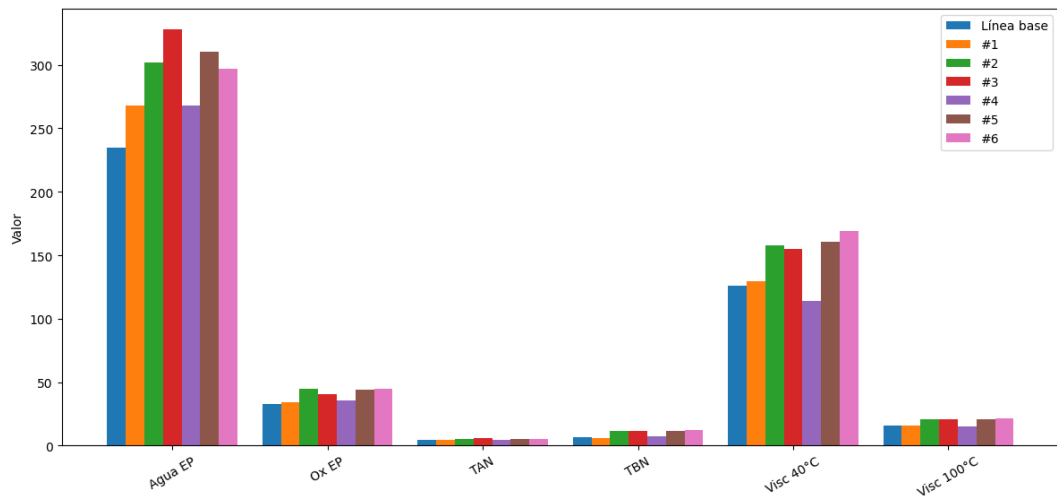
Ox EP la línea base en 32.6 marca el nivel normal de oxidación inicial. En el gráfico las muestras #2, #3, #5 y #6 suben a 40–45. Esto representa incrementos del orden del +25 a +40 %. Técnicamente esto significa ruptura progresiva de la base lubricante, Formación de compuestos carbonílicos, Inicio de espesamiento químico y generación de barnices. La línea base confirma que estos valores ya están fuera de la zona de envejecimiento normal.

Viscosidad a 40 °C La línea base en 126.3 cSt define la fluidez correcta. En el gráfico las muestras #2, #3, #5 y #6 suben hasta 155–169 cSt. Esto es un aumento del 20–35 % lo que indica oxidación avanzada, presencia de contaminantes polares (agua + productos oxidados), formación de polímeros de degradación.

Estado químico ácido–alcalino (TAN y TBN) la línea base muestra un equilibrio sano, TAN = 4.35 y TBN = 6.65 en servicio el TAN sube hasta 5.6–5.7 y el TBN se agota en varias muestras. Esto confirma que se están formando ácidos, la reserva alcalina se está consumiendo y que el aceite entra en fase activa de degradación química. En la Figura 30 se evidencia esto.

**Figura 30**

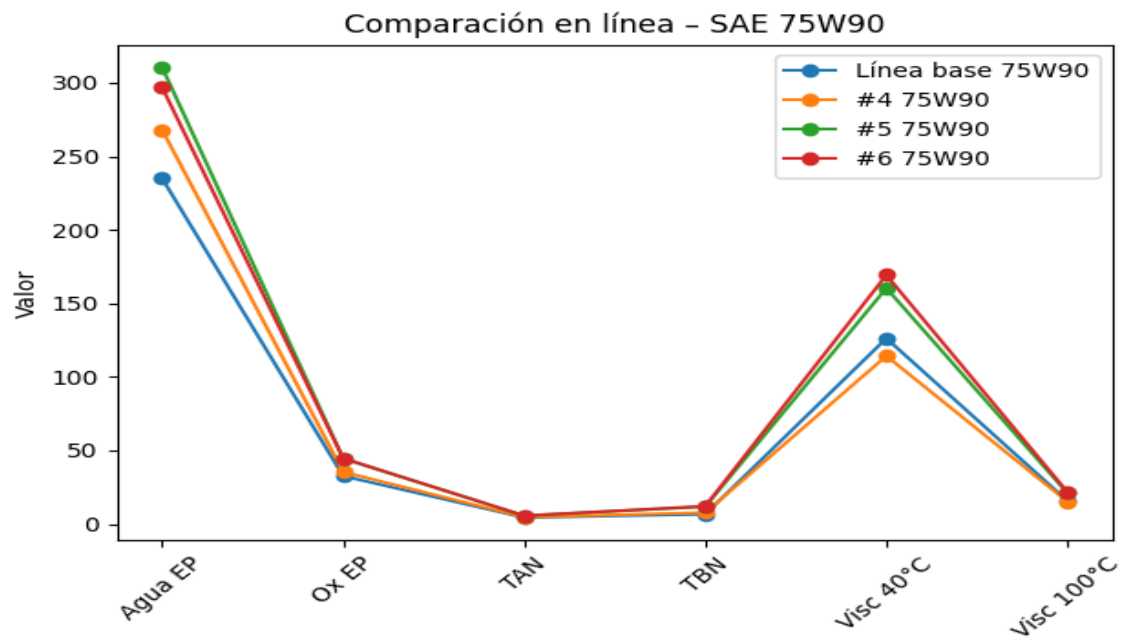
*Variación de Parámetros Aceite Total 80w90 GL4*



*Fuente (Autores)*

**Figura 31**

*Variación de Parámetros Aceite Total 80w90 GL4 Líneas*



*Fuente: (Autores)*

## 5. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda aplicar un mantenimiento basado en condición y no en kilometraje fijo, ya que las muestras analizadas presentan desviaciones claras respecto a la línea base del aceite nuevo. El aumento sostenido de agua, junto con la oxidación elevada y las variaciones de viscosidad, demuestra que el lubricante está envejeciendo de forma acelerada y anormal, lo cual incrementa el riesgo de corrosión, desgaste de engranajes y fallas prematuras de la transmisión. Por esta razón, se debe acortar de inmediato el intervalo de cambio de aceite y, paralelamente, corregir la causa raíz del ingreso de humedad, revisando sellos, respiraderos y condiciones de operación.

La línea base debe mantenerse como referencia técnica permanente para evaluar futuras muestras, permitiendo decidir los cambios de aceite por estado real del lubricante y no por periodos fijos, optimizando así la confiabilidad del sistema y reduciendo costos por fallas mecánicas.

## 6. REFERENCIA

- (s.f.). Tesis Posgrado, universidad politécnica de catalunya, ingeniería industrial, especialidad mecánica, catalunya. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24328/anexos.pdf>
- Aceros. (2022). Importadora. Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-cuadrado-estructural-y-grandes-dimensiones/>
- American association of state highway and transportacion officials. (s.f.).
- Aparicio, F., vera, C., & Diaz, V. (2016). *Teoría de los vehículos automóviles* (vol. Ii). Madrid, españa: dextra. Recuperado el 07 de 11 de 2023
- Arosrw. (2022). Obtenido de <https://arosrw.com.ec/>
- Auto magazine.ec. (2022). Obtenido de <https://automagazine.ec/como-leer-un-neumatico/>
- Autocad, W. (1949). *Autodesk*. Publicaciones.
- Autonocion. (13 de junio de 2021). *Autonocion*. Obtenido de autonocion web site: <https://www.autonocion.com/como-funciona-un-neumatico-las-fuerzas-ocultas/>
- Autores. (s.f.). Remolques. Pág. 1.
- Belesaca et al., 2. (2023). Analisis de la degradacion del aceite en un motor de combustion interna con sistema de carburacion. 41.
- Bravo, P. (2001). *Libros maravilloso*. Libros maravilloso.
- Cad, S. (2013). Bartolome lopez lucas.
- Campingarenablanca. (s.f.). Obtenido de <https://www.campingarenablanca.com/tipos-de-remolques/>
- Carrera automotriz. (s.f.). Diseño caorrocera .

- Casanova manzana rueda distribución, d. (s.f.). Manzana rueda. Obtenido de <https://casanovaautopartesec.com/repuestos/suspension/manzana-rueda/>
- Connecting buyers whith chinese . (s.f.). Obtenido de [https://es.made-in-china.com/co\\_qdtruck/product\\_4-persons-21ft-travel-camper-trailer-off-road-camping-trailer-caravan\\_erenroiry.html](https://es.made-in-china.com/co_qdtruck/product_4-persons-21ft-travel-camper-trailer-off-road-camping-trailer-caravan_erenroiry.html)
- Daimler. (2021). Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:va6c2:5bc49389-0012-4cf8-a5ff-bf469dfca9e7>
- Dassault systemes. (2021). *Solidwoks*. Publicaciones solidworks.
- Decreto, ejecutivo. (2012). Reglamento a la ley de transporte terrestre transito y seguridad vial. (91), 30. Obtenido de [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-12/reglamento\\_a\\_la\\_ley\\_de\\_transporte\\_terrestre\\_transito\\_y\\_seguridad\\_vial.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-12/reglamento_a_la_ley_de_transporte_terrestre_transito_y_seguridad_vial.pdf)
- Dedraw, J. (s.f.). Dedraw. Obtenido de <https://www.edrawsoft.com/es/article/trailer-wiring-diagram.html>
- Dipac. (2019). Obtenido de <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-rectangular-galvanizado/>
- Dipac. (2019). Productos de acero. *Perfiles*. Obtenido de <https://dipacmanta.com/categoria-producto/tubos/>
- Disauto. (2026). <https://disauto.ec/product/mannol-energy-combi-1l-5w30-1-galon-4-litros/>.
- Diseño asistido cad. (2013). *Lucas, bartolomé lopez*.
- Dmk racing. (04 de diciembre de 2015). *Categorias del karting*. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de dmk racimng-co, : <https://dmkracing.com/noticias/categorias-competicion-karting/>

- Eralytics. (2024). Analisis espectral de aceites y combustibles. *Eralytics*.  
[https://eralytics.com/wp-content/uploads/eraspec\\_bro\\_es\\_web.pdf](https://eralytics.com/wp-content/uploads/eraspec_bro_es_web.pdf).
- Formacad. (s.f.). *Formacad*. Obtenido de <https://formacad.es/historia-del-cad-y-sus-origenes/>
- Fuentes, V. (21 de marzo de 1995). *Solidworks history*. Recuperado el 10 de noviembre de 2023, de solidworks history: <https://www.3ds.com/about/company>
- García, H. (1995). Historia de los remolques. *Remolques hermanos garcia*. Obtenido de <https://www.remolqueshnosgarcia.com/historia/>
- Grupo ranchmart. (s.f.). Obtenido de <https://ranchmart.com.mx/product/nodrizas-con-remolque-5000-lts/>
- Herrador, M. (2025). Analisis de lubricantes de transmision continuamente . *Universidad de san carlos de guatemala*,  
<https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis25/t16975.pdf>.
- Iasa global, I. (2023). Informacion del producto. *Iasa global*, 1.
- Idoneo, B. (s.f.). Tipos de ballestas. *Idoneo ballestas*. Obtenido de <https://idoneo.es/motorpedia/ballesta#>
- Intentsoffroad. (2021). Obtenido de <https://www.pandamech.com/es/info/que-es-un-remolque-semirremolque-de-cama-plana-donde-puedo-comprarlo/>
- Izquierdo, F. (2001). Teoria de los vehiculos automoviles. *Madrid ets ingenieros industriales*. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books/about/teor%3%ada\\_de\\_los\\_veh%3%adculos\\_autom%3%b3viles.html?id=algpaaaacaaj&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/teor%3%ada_de_los_veh%3%adculos_autom%3%b3viles.html?id=algpaaaacaaj&redir_esc=y)
- Jornsen, R., Helmut, S., & Jurgen, B. (2001). *The automotive chassis* (segunda ed., vol. Ii). Portland: society of automotive engineers. Recuperado el 11 de noviembre de 2023

- Leon, D. (2014). *Produccion e introduccion al mercado de un vehiculo kartirting: contruccion de un vehiculo karting*. Tesis licenciatura, universidad san francisco de quito, electromecanica automotriz y administraci3n de talleres, quito. Recuperado el 11 de noviembre de 2023, de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4684/1/112597.pdf>
- Madue1o, 2. (s.f.). Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:va6c2:59959a71-f906-4d90-aafa-8b296ab7d88b>
- Madue1o, 2. (s.f.). Dise1o de un remolque. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3080/1/plan%20de%20titulaci%3%93n%20%28diego%20novo%29.pdf>
- Madue1o, 2. (s.f.). Remolque cerrado. Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:va6c2:59959a71-f906-4d90-aafa-8b296ab7d88b>
- Majewski. (2021). Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/historia-del-automovilpdf/252119926>
- Maritnez, 2. (2022). ¿cu1ales son las partes del sistema de transmisi3n? *Fuso*, <https://www.fuso.com.pe/blog/partes-sistema-transmision/>.
- Mgtires rancing. (2018). *Mgtires rancing*. Obtenido de [mgtires.com](https://mgtires.com): <https://app.bibguru.com/p/f12f1932-73d6-433f-b033-198b34f756dd>
- Michelin. (2022). *Michelin*. Obtenido de michelin web site: <https://centroamerica.michelin.com/auto/consejos/cambiar-llantas/indicador-de-desgaste-de-las-llantas>
- Ministerio de transporte, colombia. (2014). (20), 1.

Muñoz, J. (24 de octubre de 2018). *La magia de elegir bien los neumáticos en rallies*.

Obtenido de soymotor : <https://soymotor.com/coches/articulos/la-magia-de-elegir-bien-los-neumaticos-en-rallies-953984>

Norma nte inen 2415. (s.f.). Tubos de acero. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/365086224/nte-inen-2415-2>

Norma nte inen 2415. (s.f.). Tubos de acero al carbon soldados para aplicaciones estructurales y usos generales requisitos. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/365086224/nte-inen-2415-2>

Norma nte-inen-2656. (s.f.). Clasificación vehicular. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/371819937/nte-inen-2656>

Normativa nte inen1155. (s.f.). Vehículos automotores para mantener o mejorar la visibilidad. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/188232176/norma-inen-nte-1155>

Oil, E. (2018). La última tendencia en análisis de aceite. *Eralytics*, [https://eralytics.com/wp-content/uploads/eraspecoil\\_bro\\_es\\_web.pdf](https://eralytics.com/wp-content/uploads/eraspecoil_bro_es_web.pdf).

Omegalfa. (2016). Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:va6c2:59959a71-f906-4d90-aafa-8b296ab7d88b>

Pablo, Q. (2018). *Diseño y fabricación del chasis para un kart kf4 según la normativa cik/fia*. Tesis pregrado, universidad politécnica salesiana, cuenca. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15766/1/ups-ct007735.pdf>

Panda\_mech & equi. (s.f.). Obtenido de <https://www.pandamech.com/es/info/que-es-un-remolque-semirremolque-de-cama-plana-donde-puedo-comprarlo/>

- Pauta, J., & Sanchez, R. (2014). *Diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia tipo fórmula sae*. Tesis pregrado, universidad politécnica salesiana, carrera de ingeniería mecánica automotriz, cuenca. Recuperado el 10 de noviembre de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7183/1/ups-ct004048.pdf>
- Pendiente máxima. (s.f.). Obtenido de <https://swipcar.com/es/blog/asistente-de-arranque-en-pendiente>
- Plaza, D. (2011). *Análisis de un kart de competición y sus componentes*. Tesis pregrado, universidad zaragoza, ingeniería mecánica, zaragoza. Recuperado el 13 de noviembre de 2023, de <https://zaguan.unizar.es/record/5673/files/taz-pfc-2011-125.pdf?version=3>
- Port trailer. (s.f.). Primeros remolques. Obtenido de <https://www.port trailer.com/historia-de-los-semirremolques/>
- Pulido, H., & Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño*. Mc graw hill interamericana.
- Remolque eje central meiller. (s.f.). Obtenido de <https://www.talleresrobles.com/meiller/remolque-eje-central>
- Remolque furgón chapa lisa. (s.f.). *Speedrm*. Obtenido de <https://speedrem.com/comprar/remolques-furgon-chapa-lisa/remolque-cerrado-220-130-130-furgon/>
- Remolques furgón chapa plegada. (s.f.). *Speedrem remolques*. Obtenido de <https://speedrem.com/comprar/remolques-furgon-chapa-plegada/remolque-cerrado-250-150-150-con-freno/>
- Sanango, B., & villalta, J. (2018). *Estudio para la optimización en la línea de fabricación aplicado las 5s*. Tesis pregrado, universidad politécnica salesiana, carrera de

- ingeniería mecánica automotriz, Cuenca. Recuperado el 11 de noviembre de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16527/1/ups-ct008019.pdf>
- Sculpteo. (2020). *Solidworks*.
- Solidworks adr formación. (s.f.). *Adr formación*. Obtenido de [https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/\\_que\\_es\\_solidworks\\_.html](https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html)
- Spredreem. (s.f.). *Remolque cerrado chapa*, pág. 2. Obtenido de <https://speedrem.com/comprar/remolques-furgon-chapa-lisa/remolque-cerrado-para-2-karts-240x155x150-aerodinamico-copia/>
- Standard, I. (2021). International standard. 1-part1. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/63769/25ef5fa5331a4b6091b379d363958ab4/iso-4000-1-2015.pdf>
- Sugawara. (2015). Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:va6c2:5bc49389-0012-4cf8-a5ff-bf469dfca9e7>
- Swipcar. (s.f.). Pendiente superable. Obtenido de <https://swipcar.com/es/blog/asistente-de-arranque-en-pendiente>
- Technical regulations cikfia. (2018). Obtenido de [http://www.cikfia.com/filcadmin/content/regulations/technical/technical%20regulations/2018/web\\_rt2018.pdf](http://www.cikfia.com/filcadmin/content/regulations/technical/technical%20regulations/2018/web_rt2018.pdf)
- Transporte 1155, Colombia. (2014). Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/norma1.jsp?i=156141&dt=s>
- Willian, F., & Milliken, D. (2015). *Race car vehicle dynamics*. Obtenido de <https://www.sae.org/publications/books/content/r-146/>
- Zitzewitz. (2020). *Mecanismo (ajuste, simulación)*. Publicaciones.

