

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	30-09-2024	C
	Dependencia	Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO	1(75)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Jepherson Andrés Cerpa Vélez
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Mecánica
DIRECTOR	Mg. Edwin Edgardo Espinel Blanco
CODIRECTOR aplica (si)	No aplica
TÍTULO DE LA TESIS	Plan de mantenimiento predictivo basado en un análisis de aceite para la flota de transporte de carga especial de la empresa Transpol S.A.S. ubicada en San Martín Cesar
TITULO EN INGLES	Predictive maintenance plan based on oil analysis for the special cargo transport fleet of Transpol S.A.S., located in San Martín Cesar
RESUMEN (70 palabras)	
El informe analiza la gestión del aceite en los vehículos de TRANSPOL S.A.S., evaluando su estado y capacidad de conservación. Se determinó que el aceite mantiene sus propiedades hasta los 6,000 km, lo que permitiría extender los intervalos de cambio sin riesgo inmediato. Se proponen estrategias para reducir costos, como la compra en mayor volumen y la ampliación del intervalo a 10,000 km, recomendando monitoreo continuo para asegurar la eficiencia del motor.	
RESUMEN EN INGLES	
The report analyzes oil management in TRANSPOL S.A.S. vehicles, assessing their condition and maintenance capacity. It was determined that the oil maintains its properties up to 6,000 km, which would allow for extended drain intervals without immediate risk. Cost-reducing strategies are proposed, such as purchasing in larger volumes and extending the interval to 10,000 km. Continuous monitoring is recommended to ensure engine efficiency.	
PALABRAS CLAVES	Mantenimiento predictivo, análisis de aceite, optimización de costos y gestión del lubricante
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Predictive maintenance, oil analysis, cost optimization, and lubricant management
CARACTERÍSTICAS	
PÁGINAS: 73	PLANOS:
ILUSTRACIONES: 26	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Plan de mantenimiento predictivo basado en un análisis de aceite para la flota de transporte de carga especial de la empresa Transpol S.A.S. ubicada en San Martín Cesar

Jepherson Andrés Cerpa Vélez

Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Mecánica

Mg. Edwin Edgardo Espinel Blanco

20 de marzo de 2025

Índice

Capítulo 1. Plan de mantenimiento predictivo basado en un análisis de aceite para la flota de transporte de carga especial de la empresa Transpol S.A.S. ubicada en San Martín Cesar	10
1.1. Descripción breve de la empresa	10
1.1.1. Misión	10
1.1.2. Visión.....	10
1.1.3. Objetivos de la empresa	11
1.2. Descripción de la dependencia o proyecto al que fue asignado	12
1.3. Planteamiento del problema	12
1.4. Objetivos de la pasantía.....	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
1.5. Descripción de las actividades a desarrollar en la misma	16
1.6. Métodos	17
1.6.1. Muestreo	20
1.6.2. Información relevante para buenas prácticas	20
1.6.3. Estrategias de frecuencia de muestreo	20
1.6.4. Límites condenatorios de aceites lubricantes.....	21
1.6.5. Tipo de muestreo	22
2. Enfoques referenciales	23
2.1. Enfoque conceptual	23
2.1.1. Tipos de mantenimiento.....	23

	3
2.1.2. Mantenimiento predictivo	23
2.1.3. Mantenimiento proactivo	23
2.1.4. Descripción general del motor	25
2.1.5. Lubricante	30
2.1.6. Tipos de lubricantes	31
2.1.7. Propiedades de los lubricantes	32
2.1.8. Análisis de aceites.....	35
2.2. Marco legal.....	43
2.2.1. ASTM D-7279 Viscosidad	43
2.2.2. ASTM D-6595 Espectrometría	43
2.2.3. ASTM D-95 Determinación de contenido de agua.....	43
2.2.4. ASTM E-2412 FTIR.....	43
2.2.5. ASTM D-5185 Análisis Espectrométrico	44
3. Informe de cumplimiento del trabajo	45
3.1. Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa de transportes TRANSPSOL S.A.S, para establecer fallas en el sistema de mantenimiento actual.	45
3.2. Determinar las propiedades del aceite de acuerdo al método de análisis de aceite llamado espectrometría, con la finalidad de establecer la variación de las propiedades del aceite a medida que aumente el kilometraje recorrido por el vehículo.	48
3.3. Analizar los resultados obtenidos para evaluar técnicamente alternativas a implementar.	50
4. Diagnóstico final	65
4.1. Costos	65
5. Conclusiones	70
6. Recomendaciones	72

Referencias	4
	73

Lista de tablas

Tabla 1. Descripción actividades pasantía	16
Tabla 2. Relación número de muestra y kilometraje recorrido	19
Tabla 3. Límites condenatorios para metales de desgaste.....	21
Tabla 4.Límite condenatorio para la viscosidad.....	21
Tabla 5.Limites condenatorios de las propiedades físico químico	22
Tabla 6. Propiedades de los lubricantes	32
Tabla 7. Grado de viscosidad SAE 15W40.....	34
Tabla 8. Beneficios de las categorías del análisis de aceite	42
Tabla 9. Elementos y posibles fuentes	47
Tabla 10. Prueba a realizar para el motor YD25 de 2.5 litros Nissan.....	51
Tabla 11. Diagnóstico de la empresa	59
Tabla 12. Análisis de resultados.....	61
Tabla 13. Limites en kilometraje basado en el sodio	62
Tabla 14.Límites de kilometraje basado en el hierro.	65
Tabla 15. Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración	66
Tabla 16. Información operativa y costos de mantenimiento	67
Tabla 17. Valores de muestra.....	68

Lista de figuras

Figura 1. Camioneta NISSAN NP300	13
Figura 2. Motor YD25 FRONTIER NISSAN.....	25
Figura 3. Árbol de levas	26
Figura 4. Turbocompresor	27
Figura 5. Inyector de combustible	28
Figura 6. Carter y colocador de aceite	29
Figura 7. Código de contaminación sólida.....	36
Figura 8. Viscosímetro capilar	37
Figura 9. Elementos de desgaste, contaminación y aditivos.	38
Figura 10. Bomba de vacío	39
Figura 11. Muestras realizadas.....	41
Figura 12. Pérdida de viscosidad.....	49
Figura 13. Desgaste del calcio	50
Figura 14. Desgaste del magnesio.....	52
Figura 15. Desgaste del Zinc.....	54
Figura 16. Desgaste del fósforo	54
Figura 17. Desgaste del Molibdeno.....	55
Figura 18. Desgaste del Boro	55
Figura 19. Presencia contaminante de silicio	56
Figura 20. Presencia de contaminante Sodio	56
Figura 21. Presencia de contaminante hierro	57
Figura 22. Propiedades Físico Químicos del Lubricante	58
Figura 23. Rangos de drenado de aceite según fabricante con poco uso	60

Figura 24. Rangos de drenado de aceite según fabricante con rangos de uso.....	61
Figura 25. Comparación de propuestas	63
Figura 26. Análisis de gastos	64

F

Resumen

El informe examina la gestión del aceite en los vehículos de TRANSPSOL S.A.S., con énfasis en el motor Diesel YD25 de 2.5 litros de la Nissan NP300. Se evaluaron los aditivos, el estado del aceite y su capacidad para conservar sus propiedades en condiciones de uso prolongado, considerando el entorno operativo y el tiempo de uso. El objetivo principal fue determinar la viabilidad de extender los intervalos de cambio sin comprometer la integridad del motor y reducir los costos operativos. Los resultados muestran un incremento en la viscosidad y en la presencia de contaminantes hasta los 5,000 km. Sin embargo, hasta los 6,000 km el aceite mantiene sus propiedades sin una degradación significativa, lo que sugiere la posibilidad de extender el intervalo de cambio sin riesgos inmediatos. En consecuencia, se propone dos estrategias para optimizar costos: modificar la presentación de compra del aceite, pasando de contenedores pequeños a timbos de 55 galones, con un ahorro estimado del 86.3% por cambio, y extender el intervalo de reemplazo de 6,000 km a 10,000 km, reduciendo el costo de mantenimiento en un 50.5%. Para garantizar la efectividad de esta medida, se recomienda un monitoreo detallado del aceite cada 1,000 km. Metodológicamente, el estudio se desarrolló en tres fases: diagnóstico, planeación y ejecución. Se identificaron fortalezas y debilidades del sistema, se seleccionaron vehículos de muestra y se implementaron estrategias. Se concluye que extender los intervalos de cambio es viable sin afectar el rendimiento del motor, aunque se sugiere continuar con pruebas adicionales para evaluar la degradación del aceite y garantizar la vida útil del motor.

Palabras clave: Mantenimiento predictivo, Análisis de aceite, Optimización de costos y Gestión del lubricante

Introducción

En esta práctica se realizó un análisis detallado en la empresa TRANSPSOL S.A.S., centrado en la gestión del aceite utilizado en los vehículos, particularmente en el motor YD25 de 2.5lt de la NISSAN NP300. El estudio incluyó la medición de aditivos y el análisis exhaustivo del estado del aceite, con el objetivo de identificar daños ocasionados tanto por factores externos, como el ambiente de operación, como por el tiempo de uso del lubricante. Este análisis también consideró el tipo de aceite empleado en los vehículos, lo cual es crucial para optimizar el rendimiento y prevenir fallos mecánicos.

Uno de los principales enfoques de la práctica fue verificar hasta qué punto se puede extender el intervalo entre los cambios de aceite sin comprometer la integridad del motor, ya que prolongar demasiado este tiempo podría tener repercusiones graves, como el desgaste prematuro de componentes internos y, eventualmente, daños significativos en el equipo. Por lo tanto, un seguimiento constante y riguroso es fundamental para asegurar que el vehículo opere dentro de los parámetros adecuados y, al mismo tiempo, reducir costos operativos.

Además, aunque se revisaron las especificaciones recomendadas por el fabricante en cuanto al tipo y frecuencia de cambio de aceite, se optó por utilizar laboratorios privados para obtener un análisis más preciso y personalizado. Esta decisión permitió un control más exhaustivo del estado del aceite y una mayor comprensión de los efectos que los distintos factores pueden tener sobre el motor, facilitando así un mejor manejo de los recursos y prolongando la vida útil del equipo sin comprometer su eficiencia.

Capítulo 1. Plan de mantenimiento predictivo basado en un análisis de aceite para la flota de transporte de carga especial de la empresa Transpol S.A.S. ubicada en San Martín Cesar

1.1. Descripción breve de la empresa

TRANPSOL S.A.S es una empresa dedicada a prestar servicios de transporte de pasajeros y transporte de carga por carretera, así como el alquiler y suministro de maquinaria amarilla y equipos para el izaje de cargas, alquiler y arrendamiento de otro tipo de equipos industriales, se compromete a satisfacer a nuestras partes interesadas, cumpliendo y adelantándose, en la medida de lo posible, a sus necesidades y expectativas.

1.1.1. Misión

Somos una empresa dedicada al suministro de servicios de transporte especial de pasajeros, transporte de carga líquida, transporte de carga por carretera, alquiler y suministro de maquinaria amarilla y equipos industriales así como el izaje de carga, satisfaciendo así las necesidades de la industria y el sector petrolero en el sector público y privado, contando con un equipo altamente calificado y comprometido con actitud, amabilidad, eficiencia y eficacia, para la prestación de los servicios con calidad.

1.1.2. Visión

Para el año 2025 ser la empresa líder en soluciones, en donde nuestro personal se inspire para dar lo mejor de sí. Ofrecer a nuestros clientes la mejor solución de servicios brindado con la mejor calidad, que se anticipan y satisfacen los deseos y las necesidades de todas las personas. Formar una red de socios exitosa y crear lealtad mutua. Ser una empresa responsable, que hace

su aporte para un mundo mejor y comprometidos con el cuidado y mejoramiento del medio ambiente, así satisfacer las necesidades y expectativas de las partes interesadas.

1.1.3. Objetivos de la empresa

a) Cumplir con los requisitos legales tanto de carácter medioambiental, relacionados con la Seguridad y Salud en el Trabajo y con la Calidad del servicio, como otros requisitos reglamentarios o particulares de los clientes.

b) Mantener una comunicación y colaboración activa con las políticas públicas y otras partes interesadas.

c) Mantener y mejorar la competencia e implicación del personal promoviendo su participación activa.

d) Asegurar el compromiso con el servicio y el cliente

e) Proporcionar apoyo técnico cualificado

f) Optimizar constantemente los procesos mediante el uso de tecnologías limpias.

g) Proteger el medio ambiente mediante la prevención de la contaminación y la minimización del impacto ambiental adverso que puedan generar las distintas actividades.

h) Proporcionar condiciones de trabajo seguras y saludables para la prevención de daños y el deterioro de la salud de los trabajadores relacionados con el trabajo.

i) Establecer procedimientos y criterios para garantizar la prevención, promoción y vigilancia de la salud de sus empleados

j) Formar e informar a los empleados, en materia de Prevención de Riesgos Laborales y Aspectos Ambientales.

- k) Promover en los proveedores y contratistas los mismos principios de gestión y mejora que rigen nuestra Política.
- l) Eliminar los peligros y reducir los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores
- m) Consultar y hacer partícipes a los trabajadores y sus representantes.

1.2. Descripción de la dependencia o proyecto al que fue asignado

La dependencia asignada es coordinación de mantenimiento y jefe de operaciones, la cual se encarga de planear, ejecutar y coordinar de manera eficiente el mantenimiento y operaciones diarias habidas y por haber de los vehículos de transporte especial, carga líquida, carga seca, grúas y maquinaria amarilla de la empresa TRANSPSOL S.A.S.

Por parte de la dependencia se desarrolla el mantenimiento predictivo periódico para disminuir las intervenciones correctivas, y de esta forma, evitar los retrasos en los servicios. Por otra parte, también se archiva el historial de documentación y soportes que demuestren que se están realizando los mantenimientos preventivos y correctivos cuando se requieren a los diferentes vehículos y maquinaria pesada. Por otro lado, se coordina cada operación de dichos vehículos, almacenado en diferentes matrices relacionadas con cada actividad.

1.3. Planteamiento del problema

El análisis de aceite es una de las prácticas más importantes en el mantenimiento proactivo de motores de combustión interna, especialmente en empresas del sector transporte. El aceite cumple funciones críticas como lubricante, refrigerante y agente de limpieza dentro del motor. Su degradación o la falta de un cambio a tiempo pueden llevar al desgaste excesivo de los componentes, lo que puede ocasionar paradas imprevistas, sobrecalentamientos, y daños graves

en el motor. Estos fallos no solo impactan en la disponibilidad de los activos, sino que representan pérdidas económicas significativas, tanto por el coste de las reparaciones como por el tiempo de inactividad de los vehículos.

En el caso de la empresa de transporte TRANSPSOL S.A.S., que opera principalmente en el transporte de carga seca y líquida, servicio especial y maquinaria pesada, la gestión del mantenimiento de sus vehículos es crucial. Su flota, compuesta por siete camionetas NISSAN NP300 FRONTIER con una cilindrada de 2.488 CC, enfrenta condiciones operativas exigentes, ya que sus rutas abarcan zonas como San Martín, Aguachica, Ocaña, Bucaramanga y Barrancabermeja, regiones caracterizadas por altas temperaturas y la presencia de partículas abrasivas en el ambiente.

A pesar de la importancia del mantenimiento adecuado de sus vehículos, TRANSPSOL S.A.S. no ha implementado un sistema técnico riguroso para el análisis del estado del aceite. Actualmente, el cambio de lubricante se realiza de manera rutinaria cada 5.000 kilómetros, basándose en un valor estimado que no considera el monitoreo técnico preciso del desgaste real del aceite. Esto implica un riesgo tanto por el cambio prematuro del lubricante como por posibles demoras en el mismo, generando ineficiencias operativas y afectando tanto la economía como la vida útil de los motores. (Ver figura 1)

Figura 1.

Camioneta NISSAN NP300



El cambio prematuro de aceite significa no aprovechar al máximo las propiedades del lubricante, lo que genera un desperdicio de recursos y sobre costos recurrentes. Dado que TRANSPSOL S.A.S. terceriza el mantenimiento de sus vehículos en talleres locales, sin un equipo interno especializado, la falta de personal técnico capacitado para realizar un análisis adecuado del estado del aceite incrementa el costo de operación. Además, la falta de monitoreo técnico del lubricante genera incertidumbre sobre si el cambio de aceite realmente está ocurriendo en el momento óptimo, lo que podría estar afectando la rentabilidad a largo plazo.

Por otro lado, si el aceite se cambia demasiado tarde, cuando ya ha perdido sus propiedades lubricantes, los motores se ven expuestos a daños progresivos. Este riesgo es especialmente alto en entornos como las rutas de operación de TRANSPSOL S.A.S., donde las altas temperaturas y la exposición a partículas abrasivas y salinas incrementan la presencia de sílice y otros compuestos corrosivos en el motor. Estos factores aceleran el desgaste interno y reducen la vida útil del motor, provocando un mayor consumo de combustible, pérdida de potencia y una eventual falla catastrófica que conlleva reparaciones costosas.

En un entorno empresarial donde la eficiencia operativa y la optimización de costos son claves para la competitividad, la implementación de un programa de análisis de aceite no solo permitiría extender la vida útil de los vehículos, sino también identificar patrones de desgaste que podrían anticipar futuros problemas mecánicos. El análisis del aceite usado permite evaluar el estado del motor a través de la detección de partículas metálicas o contaminantes, lo que proporciona información valiosa sobre el desgaste de componentes críticos como los cojinetes, cilindros o pistones.

Además, un programa de análisis técnico del aceite ajustado a las condiciones específicas de operación de TRANSPSOL S.A.S. permitiría adaptar los intervalos de cambio de lubricante a

las necesidades reales de cada vehículo. Esto no solo optimizaría los costos de mantenimiento, sino que también reduciría el impacto ambiental al evitar el uso innecesario de recursos y la generación de residuos peligrosos.

Finalmente, al integrar el análisis de aceite dentro de un sistema de mantenimiento preventivo, la empresa podría reducir la dependencia de talleres externos y minimizar los costos operativos asociados con el mantenimiento. La formación de personal interno especializado también permitiría realizar mantenimientos más rápidos y eficientes, mejorando la disponibilidad de los vehículos y, en consecuencia, la productividad global de la empresa. (Pedro, 2015).

1.4. Objetivos de la pasantía

1.4.1. Objetivo general

Ejecutar un plan mantenimiento proactivo basado en un análisis de aceite para la flota de transporte de carga especial de la empresa TRANSPSOL S.A.S. ubicada en san Martín, Cesar.

1.4.2. Objetivos específicos

Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa de transportes TRANSPSOL S.A.S, mediante un diagnóstico detallado, con el fin de identificar fallas en el sistema de mantenimiento vigente.

Caracterizar las propiedades del aceite utilizando el método de espectrometría, para determinar cómo varían estas propiedades conforme aumenta el kilometraje recorrido por el vehículo.

Analizar los resultados obtenidos, con el propósito de identificar alternativas viables para su implementación en el sistema de mantenimiento.

1.5. Descripción de las actividades a desarrollar en la misma

En la tabla 1, se presenta un desglose de las actividades llevadas a cabo durante la realización de la pasantía.

Tabla 1.

Descripción actividades pasantía

Objetivos específicos	Actividades a desarrollar en la empresa para cumplir los objetivos específicos	Descripción
Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa de transportes TRANSPSOL S.A.S., mediante un diagnóstico detallado, con el fin de identificar fallas en el sistema de mantenimiento vigente	Revisión del sistema de gestión de mantenimiento actual	Realizar una auditoría exhaustiva del sistema de gestión de mantenimiento, revisando las políticas, procedimientos y recursos disponibles en la empresa. Evaluar la documentación y el control de los registros de mantenimiento para <u>identificar puntos débiles o áreas de mejora.</u>
	Análisis de la rutina de mantenimiento y sus frecuencias	Revisar las rutinas de mantenimiento programado, analizando las frecuencias actuales de cambio de aceite (5.000, 10.000 y 15.000 kilómetros) y otros intervalos de servicio utilizados. Comparar estos intervalos con las recomendaciones del fabricante y las mejores <u>prácticas del sector.</u>
	Identificación de personal técnico y recursos	Evaluar si la empresa cuenta con personal calificado para llevar a cabo el mantenimiento interno o si depende excesivamente de proveedores externos. Analizar si hay carencias en las herramientas o tecnología disponibles que podrían afectar la calidad y eficiencia del mantenimiento.
Caracterizar las propiedades del aceite utilizando el método de espectrometría, para determinar cómo varían estas propiedades conforme aumenta el kilometraje recorrido por el vehículo.	Selección del vehículo de muestra y toma de muestra de aceite	Identificar uno o más vehículos de la flota que representen las condiciones de operación típicas de la empresa. Realizar la toma de muestras de aceite en diferentes intervalos de kilometraje para <u>garantizar la representatividad de los datos</u>
	Elección del laboratorio especializado	Investigar y seleccionar un laboratorio acreditado que cuente con la tecnología adecuada para realizar análisis de espectrometría. Asegurarse de que el laboratorio cumpla con los estándares <u>internacionales para el análisis de lubricantes</u>
	Recepción e interpretación de los resultados del análisis de espectrometría	Una vez realizados los análisis, recibir los resultados del laboratorio que describan las propiedades fisicoquímicas del aceite (viscosidad, presencia de partículas metálicas, degradación de aditivos, etc.). Realizar un análisis inicial para determinar cómo cambian estas propiedades con el kilometraje

Continuación tabla 1...

Analizar los resultados obtenidos, con el propósito de identificar alternativas viables para su implementación en el sistema de mantenimiento	Recepción y organización de los datos obtenidos	Consolidar todos los datos de las pruebas de espectrometría en una base de datos o archivo, incluyendo la información sobre las condiciones de operación de los vehículos y las propiedades del aceite en diferentes puntos de kilometraje
	Aplicación de análisis estadístico para evaluar tendencias	Utilizar herramientas como Excel para aplicar fórmulas estadísticas, incluyendo la desviación estándar y análisis de tendencia, con el fin de identificar patrones en el comportamiento del aceite a lo largo del tiempo. Este análisis ayudará a establecer los intervalos de mantenimiento más adecuados.
	Desarrollo de conclusiones y recomendaciones de costos	Basado en los resultados, desarrollar un informe detallado que incluya conclusiones sobre la vida útil del aceite bajo las condiciones operativas de la empresa, posibles ajustes en los intervalos de cambio de aceite, y el impacto económico de implementar estas mejoras en el sistema de mantenimiento. <u>Analizar el costo-beneficio de las diferentes alternativas para la optimización del proceso.</u>

1.6. Métodos

El mantenimiento a emplear en las flotas de la empresa TRANSPSOL S.A.S. es el mantenimiento proactivo, el cual consiste en realizar la toma de la camioneta como muestra para realizar los análisis de aceite, basándose en el cálculo de la muestra. El cálculo del tamaño de la muestra es uno de los aspectos a concretar en las fases previas de la investigación y determina el grado de credibilidad que concederemos a los resultados obtenidos. Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + k^2 * p * q}$$

N: es el tamaño de la población.

k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%. Los valores k más utilizados y sus niveles de confianza son:

Para un k de 1,15 su nivel de confianza es 75%

Para un k de 1,28 su nivel de confianza es 80%

Para un k de 1,44 su nivel de confianza es 85%

Para un k de 1,65 su nivel de confianza es 90%

Para un k de 1,96 su nivel de confianza es 95%

Para un k de 2 su nivel de confianza es 95.5%

Para un k de 2,58 su nivel de confianza es 99%

e: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.

p: probabilidad a favor, es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio.

q: probabilidad en contra, es decir, 1-p.

n: es el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{[(1,28)]^2 * 0,9 * 0,1 * 7}{[(0,3)]^2 * (7-1) + [(1,28)]^2 * 0,9 * 0,1}$$

Se realizarán la toma de muestras es decir de una camioneta de tal manera que se pueda monitorear el estado de las propiedades del aceite a media que el kilometraje aumenta, se realizarán los análisis de aceite como se registra en la tabla 3, (relación número de muestra y kilometraje recorrido).

Tabla 2.*Relación número de muestra y kilometraje recorrido*

numero de muestra	kilometraje recorrido
N°1	1.500
N°2	3.000
N°3	4.500
N°4	6.000

Se estima realizar el análisis de 4 muestras de aceite cada 1500 kilómetros recorridos por el método del aceite que incluye pruebas de:

Espectroscopia de Metales: Hierro, Cobre, Plomo, Aluminio, Cromo, Estaño, Calcio, Sodio y Silicio.

- Medida de contenido de hollín
- Medida de Viscosidad cinemática (ASTM D-7279)
- Contenido de Agua (ASTM D-95)
- Medición del TBN (ASTM D-2896)
- Dilución por combustible
- Dilución por Glicol

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la ejecución de estas pruebas se evaluará mediante la realización e interpretación de graficas las variaciones de las propiedades del aceite con relación al kilometraje recorrido por el vehículo. Una vez analizados los resultados obtenidos se determinará el kilometraje óptimo para realizar el cambio de aceite antes de que ocurra la falla en el motor y finalmente se realizará una propuesta de programa de mantenimiento aplicada a la empresa TRANSPSOL S.A.S con el fin de mejorar las condiciones actuales del mantenimiento empleado y brindar a la empresa una herramienta confiable que disminuya los costos de operación.

1.6.1. Muestreo

El éxito del análisis de aceite comienza con un muestro apropiado, por ello es que una buena práctica de muestreo tiene tres objetivos que son; maximizar la densidad de la información, minimizar la distorsión de la información, y frecuencia correcta. Para esto es importante tener en cuenta unas consideraciones del muestreo tales como; localización del puerto de muestreo, procedimiento del muestro, equipo para tomar la muestra, y la botella de muestra.

1.6.2. Información relevante para buenas prácticas

Una buena práctica de mantenimiento proactivo se basa en tener información certera que pueda suministrar el encargado de mantenimiento y el operador del vehículo. Uso consistente de procedimientos documentados que incluyan mejores prácticas de toma de muestra y aplicación. Muestreo en zona viva y en operación y frecuencias de muestreo apropiadas.

- Registrando las horas del aceite, otras inspecciones y detalles importantes de operación.
- Reportando el volumen de fluido de relleno si lo hubo
- Enviado inmediato de las muestras al laboratorio

1.6.3. Estrategias de frecuencia de muestreo

a) Basado en recorrido: intervalos de kilometraje, consumo de combustible y de cada cambio de aceite.

b) Basado en condición: durante o después de una falla y tendencia de contaminación, por ejemplo, un bloqueo prematuro del filtro.

Pero ciertamente la mejor estrategia es esperar que ocurre primero, ya que, si sucede primero el intervalo de kilometraje, se puede analizar la muestra y mirar los contaminantes y desgaste del lubricante. Y en caso tal que suceda primero alguna falla temprana, con el análisis del aceite se puede llegar a la posible causa.

1.6.4. Límites condenatorios de aceites lubricantes

Son los rangos aceptables o inaceptables para los metales de desgaste, viscosidad y propiedades físico químicas del lubricante, los cuales determinan la condición en la que se encuentra el aceite.

Tabla 3.

Límites condenatorios para metales de desgaste

Límites condenatorios de desgastes (P.P.M.) ASTM D-6595			
Elemento	Normal	Precaución	Crítico SGS
Hierro (Fe)	0-40	71-100	100 +
Cobre (Cu)	0-15	26-45	45 +
Plomo (Pb)	0-15	26-40	40 +
Aluminio (Al)	0-6	16-20	20 +
Cromo (Cr)	0-5	11-15	15 +
Estaño (Sn)	0-10	16-20	20 +
Zinc (Zn)	0	0	0 +
Sodio (Na)	0-5	16-30	30 +
Silicio (Si)	0-5	11-15	15 +

Fuente. Exxon Mobil Corporation (2008)

Tabla 4.

Límite condenatorio para la viscosidad

Método ASTM D-7279	Min	Max
Viscosidad SAE 15W-40 a 100 °C	12,5 cSt	16,3 cSt

Fuente: Exxon Mobil Corporation (2008)

Tabla 5.*Limites condenatorios de las propiedades físico químico*

Prueba	Método	Max
Contenido de Agua, % Vol	ASTM D-95	0,2
Combustible, % Vol	FTIR	3
Oxidación, Ab/0,1 mm	FTIR	3
Hollín, % peso	FTIR	3
Nitración, Ab/0,1 mm	FTIR	2

Fuente. Exxon Mobil Corporation (2008)**1.6.5. Tipo de muestreo**

Muestreo por manguera y bomba de vacío. Este método de muestreo se trata de insertar la manguera por el puerto de llenado o el tubo de inspección de nivel, aunque existen ciertos riesgos que pueden comprometer la muestra, como por ejemplo que la manguera raspe las paredes del tubo y pueden introducir partículas, es difícil muestrear mientras la maquina está en operación debido a que hay partes en movimiento en el interior, entre otras.

2. Enfoques referenciales

2.1. Enfoque conceptual

2.1.1. Tipos de mantenimiento

Antes de realizar cualquier tipo de clasificación o definición del mantenimiento, es de vital importancia conocer que el objetivo del mantenimiento es sostener la funcionalidad de un equipo. En la clasificación de los mantenimientos más influyentes en las industrias, se encuentra mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, proactivo y basado en condición.

2.1.2. Mantenimiento predictivo

Es un tipo de mantenimiento basado en condición, que enfatiza la detección temprana de una falla, utilizando técnicas de análisis no destructivas, como análisis de vibración, termografía y análisis de partículas de desgaste. Este tipo de mantenimiento utilizado fuertemente en industrias aéreas, navales y fábricas automatizadas. Su nivel de monitoreo constante la hace uno de los mantenimientos más costosos y efectivo.

2.1.3. Mantenimiento proactivo

Cuando los beneficios de extensión de vida del mantenimiento proactivo son acompañados por los beneficios de detección temprana del mantenimiento predictivo, se tiene como resultado un comprensivo programa de mantenimiento basado en condición. Mientras que el mantenimiento proactivo se dirige al control de las causas de falla, el mantenimiento predictivo se dirige a la detección de fallas incipientes de las propiedades del fluido y de los componentes de la máquina, como rodamientos y engranes. La detección temprana de fallas de la máquina y el desgaste anormal, es a lo que frecuentemente se refiere como el dominio exclusivo del análisis de aceite en el campo del mantenimiento.

Por definición, involucra el control y monitoreo continuo de las causas de falla en la maquinaria. Es un tipo de mantenimiento basado en condición que enfatiza la rutina de la detección y corrección de las condiciones de causas de falla que de otra manera podrían convertirse en una falla. Dichas causas de falla como alta contaminación de lubricante, alineación y balanceo son tal vez las más críticas.

La filosofía del mantenimiento proactivo de establecer objetivos y administrar las condiciones del lubricante. Una premisa estratégica de las alarmas proactivas es que estas deben establecerse en niveles que generen mejoras con respecto al desempeño anterior, o que aseguren el mantenimiento de niveles en los que el desempeño haya sido optimizado con anterioridad en relación con los objetivos de la organización. Siempre que se aplique una estrategia de mantenimiento proactivo, son necesarios tres pasos para asegurar que los beneficios se logren:

El primer paso, es fijar un objetivo o estándar, asociado con cada causa de falla. En el análisis de aceite, las causas de falla de mayor importancia, se relacionan con la contaminación del fluido (partículas, humedad, calor, refrigerante, etc.) y la degradación de aditivos.

El segundo paso, incluye una auditoría de las causas por las que el fluido se contamina y entonces eliminar sistemáticamente esos puntos de entrada. Frecuentemente se requiere mejorar las filtraciones, para no deteriorar el lubricante.

El tercer paso, es la acción vital de crear un círculo de retroalimentación que proporciona un programa de análisis de aceite. Cuando ocurre alguna excepción, por ejemplo, resultados anormales por arriba de los objetivos), se pueden implementar inmediatamente acciones correctivas.

Utilizando el mantenimiento proactivo como estrategia, el control de contaminación se convierte en una actividad disciplinada de monitoreo y de altos niveles de control de limpieza. En conclusión, el mantenimiento Proactivo está basado en tres principios: a) Mejorar los procedimientos antes de que causan fallas., b) Evitar Paradas del equipo para mantenimiento correctivo. c) Aumentar el Intervalo entre intervalos para mantenimiento preventivo.

2.1.4. Descripción general del motor

Figura 2.

Motor YD25 FRONTIER NISSAN

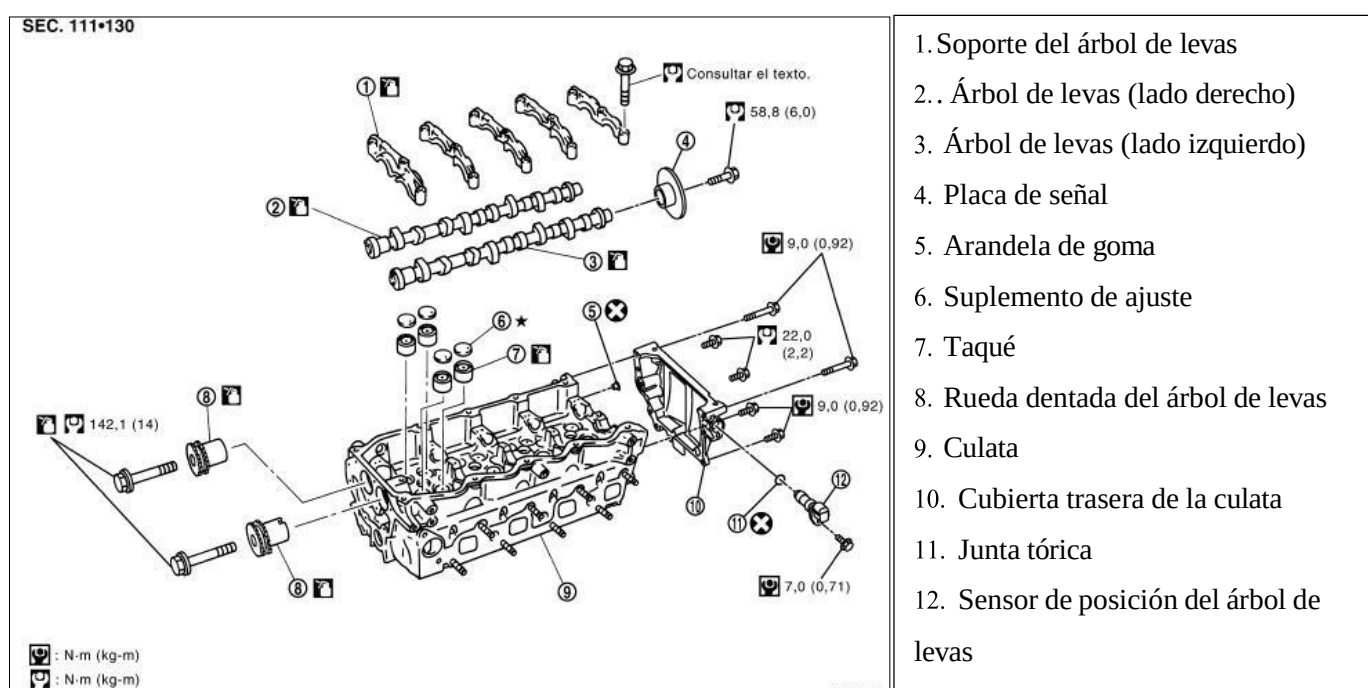


Arquitectura del motor. El motor YD25 es un motor diésel de 4 cilindros en línea, con una cilindrada de 2.5 litros. Cada cilindro tiene un diámetro de 91 mm y una carrera de 101 mm, lo que resulta en una cilindrada total de 2488 cc. La relación de compresión es de 17.5:1, lo que permite una eficiente combustión del combustible (Nissan frontier YD25, 2024).

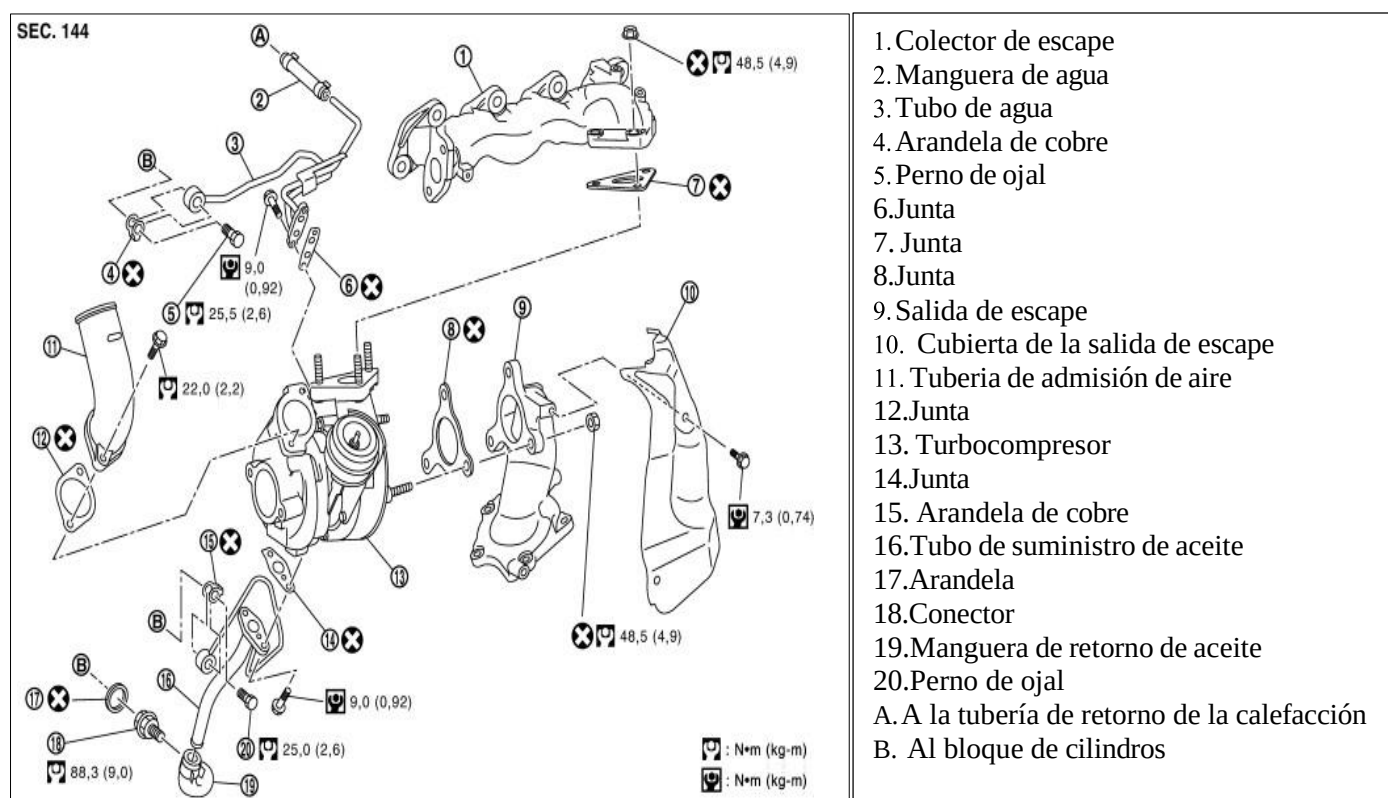
Cabeza del motor. La cabeza del motor YD25 está diseñada para proporcionar una eficiente combustión y refrigeración. Cuenta con 2 válvulas por cilindro, una de admisión y una de escape, que están operadas por un árbol de levas en cabeza. El árbol de levas está equipado con un sistema de ajuste hidráulico que permite un ajuste preciso de la apertura y cierre de las válvulas.

Figura 3.

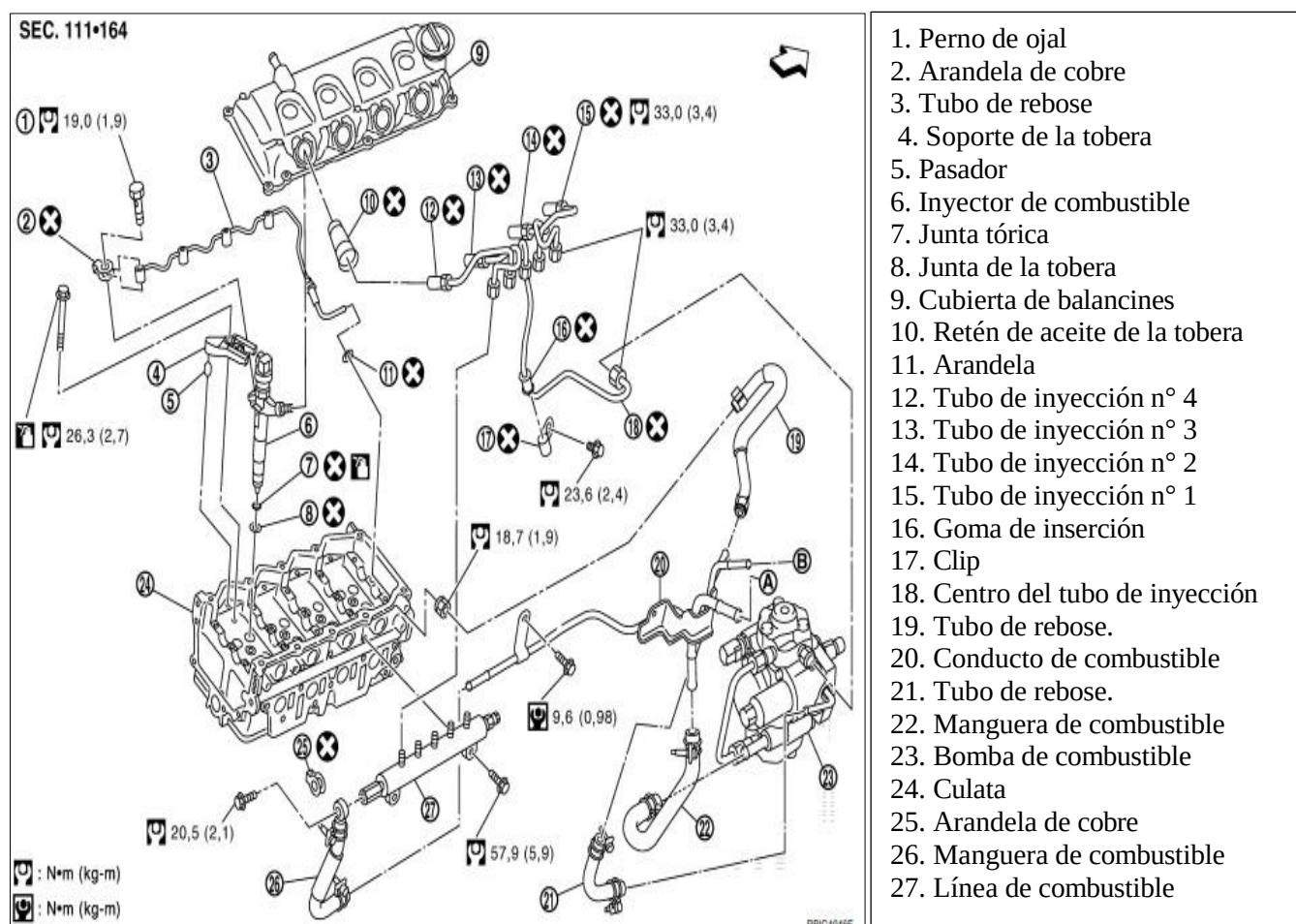
Árbol de levas



Bloque del motor. El bloque del motor YD25 está fabricado en hierro fundido y cuenta con un diseño de 4 cilindros en línea. Está equipado con un sistema de refrigeración por líquido que ayuda a mantener la temperatura del motor dentro de los límites adecuados. El bloque del motor también cuenta con un sistema de lubricación por cárter húmedo que proporciona lubricación a todos los componentes del motor (Nissan frontier YD25, 2024).

Figura 4.*Turbocompresor*

Sistema de combustible. El motor YD25 cuenta con un sistema de inyección directa de combustible, que proporciona una eficiente combustión y reduce las emisiones. El sistema de combustible está controlado por una computadora que regula la cantidad de combustible inyectado en cada cilindro. El sistema de combustible también cuenta con un sensor de flujo de aire que mide la cantidad de aire que entra en el motor y ajusta la cantidad de combustible inyectado en consecuencia.

Figura 5. *inyector de combustible*

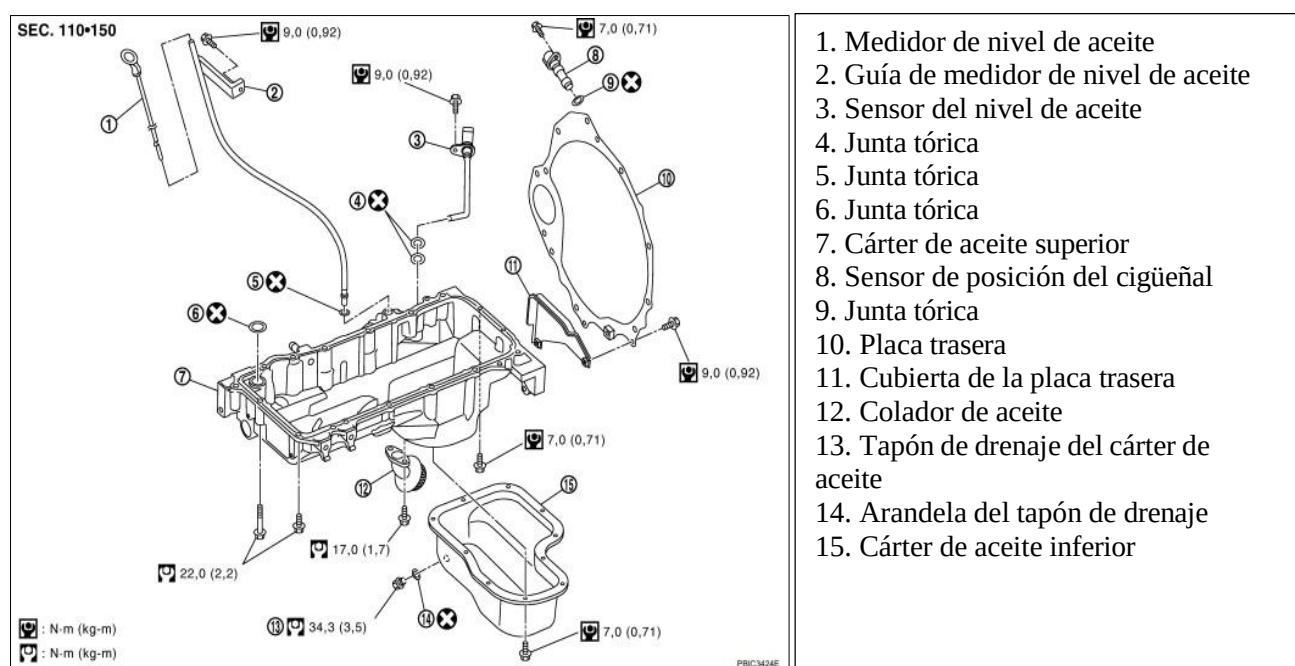
Sistema de refrigeración. El motor YD25 cuenta con un sistema de refrigeración por líquido que ayuda a mantener la temperatura del motor dentro de los límites adecuados. El sistema de refrigeración incluye un radiador, una bomba de agua y un termostato. El radiador está diseñado para disipar el calor del motor de manera eficiente, mientras que la bomba de agua asegura que el líquido de refrigeración circule adecuadamente. El termostato regula la temperatura del motor y evita que se sobrecaliente.

Sistema de lubricación. El motor YD25 cuenta con un sistema de lubricación por cárter húmedo que proporciona lubricación a todos los componentes del motor. El sistema de

lubricación incluye un cárter de aceite, una bomba de aceite y un filtro de aceite. El cárter de aceite está diseñado para contener el aceite lubricante y proporcionar una reserva de aceite en caso de que se necesite. La bomba de aceite asegura que el aceite lubricante circule adecuadamente por todo el motor, mientras que el filtro de aceite limpia el aceite y evita que entren partículas dañinas en el motor.

Figura 6.

Carter y colocador de aceite



Rendimiento. El motor YD25 tiene una potencia máxima de 130 caballos de fuerza a 4.000 rpm y un par máximo de 304 Nm a 2.000 rpm. Estos valores lo hacen adecuado para aplicaciones de trabajo pesado y uso diario. El motor YD25 también cuenta con un sistema de control de emisiones que reduce las emisiones de gases contaminantes y hace que el motor sea más amigable con el medio ambiente (Nissan frontier YD25, 2024).

2.1.5. Lubricante

Los lubricantes aparecen de diferentes maneras, en forma de fluido, grasa o sólida, dependiendo de los requerimientos de la aplicación. Los lubricantes pueden proporcionar algunos o todos los siguientes beneficios:

Reducción de fricción y desgaste. Los lubricantes reducen fricción por medio de la separación de las superficies en movimiento con una película de fluido que transporta la carga.

Control de contaminación. Los lubricantes sirven para aislar los componentes de las máquinas del medio ambiente, deteniendo o haciendo más lento el ingreso de contaminantes como partículas, agua y químicos. De igual manera, los lubricantes fluidos recogen los contaminantes y los transportan al tanque o depósito, en donde pueden asentarse por gravedad o los conducen a un filtro o separador en donde son removidos.

Control de temperatura. Los lubricantes fluidos absorben el calor en el punto en que este se genera de tal forma que pueda disiparse naturalmente, o ser removido por un intercambiador de calor u otro sistema de enfriamiento.

Prevenir ataque químico. Al formar una capa protectora sobre la superficie de los componentes, los lubricantes proporcionan protección contra la corrosión.

Transmitir energía. En sistemas hidráulicos, el fluido es el medio por el cual la energía se transmite para hacer actuar los cilindros, válvulas, motores, etc.

2.1.6. Tipos de lubricantes

El fluido o lubricante ideal deberá ser lo suficientemente viscoso para mantener las superficies apartadas, permanecer estable bajo los cambios de temperatura, mantener limpias las superficies lubricadas, no permitir la formación de residuos gomosos, no permitir la formación de lodos y no deberá ser corrosivo (Calsin, 2024).

Aceite sintético. Las bases lubricantes sintéticas son fabricadas por procesos especiales (distintos a la refinación) para realizar funciones específicas, lo cual les otorga una mayor uniformidad en sus propiedades. Estos aceites son la solución para trabajos en condiciones extremas (temperaturas muy altas o muy bajas). Las principales ventajas del uso de bases sintéticas comparadas con las bases minerales son: amplio rango de temperaturas de operación, mayor resistencia a la oxidación, ahorro de energía, mantenimiento con menor frecuencia, menor uso de aditivos y más fácil degradación (Calsin, 2024).

Aceite semisintético. Los aceites semisintéticos son una combinación de bases lubricantes minerales y sintéticas, diseñados para ofrecer un equilibrio entre desempeño y costo. Este tipo de aceite combina la estabilidad y resistencia de los aceites sintéticos con las propiedades económicas de los minerales, haciéndolos adecuados para una amplia variedad de aplicaciones. Sus principales ventajas incluyen: mejor resistencia a la oxidación y temperaturas extremas en comparación con los aceites minerales, buena protección contra el desgaste, mayor durabilidad del lubricante y un precio más accesible que los aceites totalmente sintéticos.

2.17. Propiedades de los lubricantes

Los lubricantes varían de manera significativa de un producto a otro. Algunas de las pruebas usadas comúnmente para describir las propiedades de los aceites básicos. Las propiedades del aceite básico de un lubricante, determinan por mucho el desempeño operacional del fluido o grasa lubricante resultante.

Tabla 6.

Propiedades de los lubricantes

Propiedades	Porque es importante	Como se determina	ASTM No.
Viscosidad	Define el grado de viscosidad del aceite	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad	D445
Índice de Viscosidad	Define la relación entre la temperatura y la viscosidad	Variación indexada de la viscosidad entre 40°C y 100°C	D2270
Densidad relativa	Define la densidad del aceite con relación al agua	Hidrómetro	D1298
Punto de inflamación	Define propiedades de volatilidad a altas temperaturas	Probador de punto de flama, temperatura a la que se obtiene una chispa de llama en la superficie	D92/D93
Punto de fluidez	Define el comportamiento del aceite a bajas temperaturas	Flujo por gravedad en un contenedor de prueba, temperatura a la que se alcanzan 22000 cSt aprox.	D97/IP15

Fuente. Troyer (2004)

Uno de los motivos por lo que los lubricantes cumplen tan bien sus tareas son por el uso de los aditivos. Estos son químicos que se añaden al aceite básico para alterar una o más de las propiedades de desempeño. En general, se puede decir que los aditivos son usados para: Mejorar las propiedades existentes del aceite básico. Suprimir propiedades indeseables del aceite básico. Impartir nuevas propiedades al aceite básico. A continuación, se revisan los aditivos más comunes y sus funciones:

Antioxidantes/inhibidores de oxidación: Los aceites lubricantes reaccionan con el oxígeno, especialmente en altas temperaturas, formando hidroperóxidos, radicales libres, acetonas, aldehídos y ácidos orgánicos. La velocidad con la que ocurre este proceso llamado oxidación, estas reacciones cambian las propiedades físico químicas del aceite como; Incremento de viscosidad, Incremento de acidez, Incremento de densidad relativa, Oscurecimiento, Barniz en las superficies de los componentes, Acumulación de lodos. Y esto depende de los siguientes factores: Aireación: a) Afecta la cantidad de oxígeno disponible para reaccionar con las moléculas de aceite., b) Temperatura: La tasa de oxidación es aproximadamente el doble cada vez que la temperatura se incrementa en 10°C., c) Agua: Provoca hidrólisis y promueve la oxidación., d) Catalizadores metálicos: Cobre, plomo, hierro y otros metales químicamente activos promueven la oxidación del aceite.

Inhibidores de corrosión. El agua afecta adversamente tanto al aceite como a la superficie de la máquina. Los aditivos forman una película de protección que repele al agua de las superficies de hierro o acero. Al separar el agua de la superficie del componente se inhibe el proceso de herrumbre. Los siguientes son aditivos inhibidores de corrosión comunes: sulfonatos, fosfatos y ácidos orgánicos.

Dispersantes y Detergentes. Los dispersantes son moléculas polares que envuelven el lodo y partículas de hollín para inhibir su aglomeración y evitar que se depositen en la superficie del componente, especialmente en las zonas más frías de los motores (cárter, cubierta de cabezas, etc.). Los detergentes ayudan a mantener limpias las superficies de alta temperatura (pistones, anillos, válvulas, etc.) de depósitos que se forman por subproductos de la combustión. Los compuestos comunes de aditivos dispersantes y detergentes incluyen: Succiniamidas, sulfonatos de bario y calcio, fenatos, detergentes poliméricos y compuestos de aminas.

Aditivos Anti-desgaste y Extrema Presión. Los aditivos anti desgaste y extrema presión protegen a los componentes lubricados. También son conocidos como aditivos anti rayados. Bajo condiciones de alta presión, estos aditivos químicamente activos reaccionan con la superficie de los componentes formando una película suave, parecida a un jabón metálico que ofrece mejor lubricidad en contacto límite entre las superficies. Los aditivos Anti desgaste y Extrema Presión más comunes incluyen: Dialquil dtiofosfato de Zinc (Anti-desgaste), Tricresil fosfato (Anti-desgaste) y Azufre-fósforo (Extrema Presión).

Es un aceite lubricante de alta calidad para motores diesel fabricado exclusivamente con aceites básicos parafínicos grupo II importados y un paquete balanceado de aditivos de gran estabilidad química. Fórmula diseñada para proporcionar un alto nivel de desempeño.

Este aceite cuenta con las siguientes propiedades, cabe resaltar que las características típicas son valores promedios, son normales algunas variaciones, pero éstas no afectan la calidad y el desempeño del producto.

Tabla 7.

Grado de viscosidad SAE 15W40

Grado de viscosidad SAE	15W40	
Apariencia visual	Claro y brillante	
Viscosidad a 100°C, cSt	ASTM D-445	15
Viscosidad a 40°C, cSt	ASTM D-445	113
Índice de viscosidad	ASTM D-2270	138
TBN, mg KOH/g	ASTM D-2896	10
Cenizas sulfatadas, % peso	ASTM D-874	1,0
Punto de inflamación, °C	ASTM D-92	240
Punto de fluidez, °C	ASTM D-97	-35
Color visual	Rojo	

2.1.8. Análisis de aceites

El análisis de aceite es una estrategia del mantenimiento proactivo y predictivo ampliamente utilizada y de grandes beneficios económicos, en él se evalúan las propiedades físicas, químicas o de lubricación, para el control de calidad, y clasificación de desempeño de productos. Nos permite ver la contaminación o partículas de desgaste. Esta práctica requiere la disponibilidad de una cantidad suficiente de información específica de la máquina y la aplicación para obtener esas valiosas conclusiones (universidad metropolitana , 2006).

De esta manera el análisis de aceite proporciona avisos muy tempranos de estos acontecimientos y amplía el tiempo de planeación y el número de opciones con las cuales corregir el problema. Y si éste es solucionado facilitar la justificación financiera de proyectos, al identificar la tendencia del desempeño para reconocer las mejoras en la productividad resultantes de la administración efectiva de lubricación y/o análisis de aceite. Normalmente se realizan regularmente un pequeño número de pruebas para soportar decisiones importantes acerca de la máquina y del lubricante (universidad metropolitana, 2006). Existen tres categorías importantes del análisis de aceite:

Análisis de las propiedades de los fluidos (la salud del lubricante). Esta categoría del análisis de aceite trata de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y de los aditivos del aceite.

Análisis de contaminación (la contaminación del lubricante). Los contaminantes son materia externa que se introduce al sistema desde el medio ambiente o es generada internamente. La contaminación compromete la confiabilidad de la máquina y promueve la falla del lubricante. El análisis de aceite asegura que las acciones encaminadas al cumplimiento de la meta de control de contaminación se mantengan.

Análisis de partículas de desgaste (el desgaste de la maquinaria). Cuando los componentes se desgastan, generan partículas. El monitoreo y análisis de las partículas generadas permite a los técnicos detectar y evaluar condiciones anormales para que se puedan hacer e implementar decisiones de mantenimiento efectivas para controlar el desgaste.

Las pruebas de análisis de aceite más comunes y los beneficios relacionados con sus tres categorías.

Figura 7.

Beneficios de las categorías del análisis de aceite

Pruebas posibles	Lo que se analiza		
	Propiedades del fluido	Contaminación	Partículas de desgaste
	Propiedades Físicas y químicas del aceite usado (proceso de envejecimiento).	Contaminantes destructivos de la máquina y el lubricante.	Presencia e identificación de partículas de desgaste.
Conteo de partículas			
Análisis de humedad			
Análisis de viscosidad			
Densidad ferrosa			
Ferrografía analítica			
TAN/TBN			
Infrarrojo (FTIR)			
Prueba de membrana			
Punto de inflamación			
Análisis de elementos			
Tipo de mantenimiento	Mantto proactivo	Mantto proactivo	Mantto predictivo
Tipo de beneficio	Máximo beneficio	Mínimo beneficio	No hay beneficio

Fuente. Troyer (2004)

Conteo de partículas: el método de conteo de partículas proporciona la cantidad de partículas que hay en el aceite en un rango específico de tamaños por volumen de fluido (usualmente por ml o 100 ml). La concentración de partículas y sus datos de distribución deben expresarse en términos de Códigos de niveles de contaminación sólida ISO 4406.

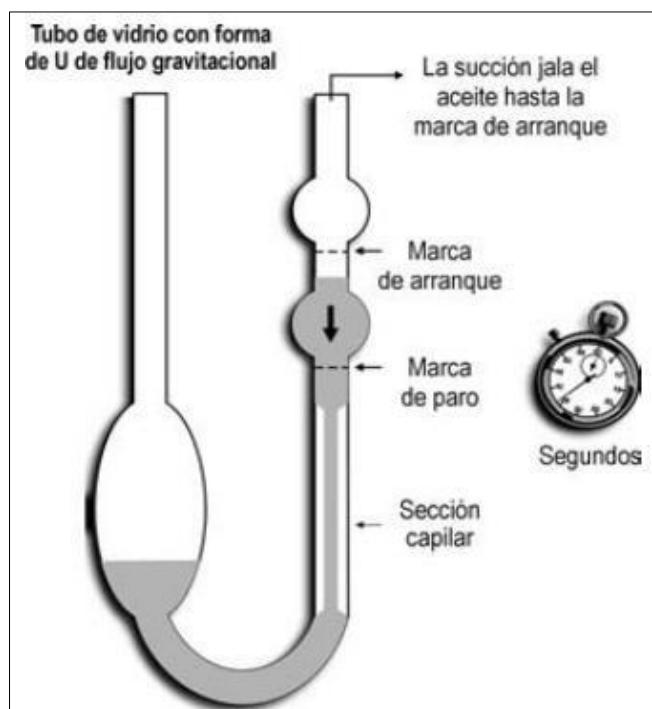
Figura 8.*Código de contaminación sólida*

Número de partículas por ml		Número de Rango (R)
Mayores que	Hasta e inclusive	
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

Fuente. ISO 4406 (1999)

Viscosidad. La viscosidad cinemática es la medida de la resistencia de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales. Se determina midiendo el tiempo en segundos, que requiere un nivel determinado de fluido para fluir una distancia conocida, bajo gravedad a través de un capilar de un viscosímetro calibrado, bajo una presión y temperatura controlada estrechamente.

La viscosidad afecta la operación del equipo, pérdidas por fricción y el espesor de la película de aceite en los cojinetes. Y es bien sabido que los cambios más modestos en la viscosidad pueden afectar adversamente el desempeño y estabilidad del lubricante causando posiblemente contacto metal-metal y desgaste.

Figura 9.*Viscosímetro capilar*

Fuente. D445 (1997)

Número Ácido (AN). Mide la concentración de ácidos en aceites industriales. Su valor se reporta en mg KOH/g de aceite. Un incremento en el AN indica degradación del aceite debido a la oxidación o contaminación, con niveles superiores a 4.0 considerados altamente corrosivos, especialmente en presencia de agua.

Número Básico (BN). Aplica a aceites de motor y mide la reserva alcalina que neutraliza ácidos generados durante la combustión. Su agotamiento indica un aceite corrosivo. Los resultados se reportan en mg KOH/g de aceite.

Espectroscopía Infrarroja (FTIR). Método rápido que evalúa parámetros como oxidación, nitración, contaminación (hollín, agua, glicol) y aditivos. Compara el espectro del aceite usado con la línea base del aceite nuevo a nivel molecular. Aunque no es concluyente por sí solo, complementa otras pruebas para un análisis completo.

Espectroscopía de Elementos. Cuantifica la presencia de materiales inorgánicos en el aceite, como metales de desgaste (hierro, plomo) y contaminantes, en ppm. Utiliza espectrómetros de emisión atómica que identifican concentraciones de 15 o más elementos, proporcionando información clave sobre desgaste, contaminación y agotamiento de aditivos.

Figura 10.

Elementos de desgaste, contaminación y aditivos.

Elemento	Desgaste	Contaminación	Aditivo
Hierro (Fe)	X	X	
Cobre (Cu)	X	X	X
Cromo (Cr)	X		
Estaño (Sn)	X		
Aluminio (Al)	X	X	
Plomo (pb)	X		
Silicio (Si)		X	X
Sodio (Na)		X	X
Boro (Bo)		X	X
Calcio (Ca)		X	X
Magnesio (Mg)		X	X
Zinc (Zn)	X		X
Fósforo (P)		X	X
Molibdeno (Mo)			X
Potasio (K)		X	

Fuente. D4951 (2019)

Contaminantes y Desgaste. Silicio, sodio, boro, calcio y magnesio. Indican contaminación externa, como tierra (silicio y aluminio) o agua dura (calcio y magnesio).

Hierro, cobre, cromo, estaño, aluminio y plomo. Señalan desgaste anormal de componentes internos.

Zinc y fósforo. Actúan como aditivos anti-desgaste. Azufre, fósforo y molibdeno: Componentes de aditivos para presión extrema.

Densidad Ferrosa. Un incremento en partículas ferrosas grandes (mayores a 5 micrones) indica desgaste anormal y puede advertir una falla inminente.

Ferrografía Analítica. Análisis de partículas de desgaste mediante ferrogramas o filtros. Se examinan características como tamaño, color, composición y textura para diagnosticar la causa y gravedad del desgaste.

Contenido de Agua (Karl Fischer). Mide la cantidad de agua en el aceite, reportada en ppm o porcentaje. Altos niveles de agua aceleran la corrosión, degradan aditivos, forman lodo y reducen la efectividad del lubricante. También pueden causar depósitos duros en cojinetes y promover crecimiento bacteriano.

Prueba del Punto de Flama. Detecta contaminantes inflamables como combustible. Determina la temperatura a la que el aceite emite vapores inflamables. Contaminación por combustible o solventes puede comprometer la lubricación y generar riesgos de incendio o explosión.

En las tablas 9 y 10 se mostrarán los componentes y su posible origen para saber cómo está el elemento de análisis

Figura 11.*Elementos y posibles fuentes*

	ELEMENTO	FUENTE
COMPONENTES MAQUINARIA	Aluminio (Al)	Pistones, Cojinetes, Bloques, Cáster, Bujes, Ventiladores, Cojinetes de empuje
	Cadmio (Cd)	Cojinetes de apoyo
	Cromo (Cr)	Segmentos, Cojinetes de rodillos/rodillos cónicos, Camisas, Válvulas de escape
	Cobre (Cu)	Bujes de bulón, Cojinetes, Bujes de leva, Enfriador de aceite, Bujes de tren de válvulas, Arandelas de empuje, Regulador, Bomba de aceite
	Hierro (Fe)	Cilindros, Bloque, Engranajes, Cigüeñal, Bulones, Segmentos, Árbol de levas, Tren de válvulas, Forros de bomba de aceite, Óxido
	Plomo (Pb)	Cojinetes
	Plata (Ag)	Cojinetes, Buje de bulón (EMD)
	Estaño (Sn)	Pistones, Revestimiento de cojinetes, Bujes
ELEMENTOS CONTAMINANTES	Boro (Br)	Refrigerante, Posible aditivo del aceite
	Cloro (Cl)	Contaminante del biogás
	Potasio (K)	Refrigerante
	Sodio (Na)	Refrigerante, Sal de la carretera, Aditivo
	Silicio (Si)	Suciedad, Polvo, Sellador, Aditivo, Desespumante de silicona Siloxano de gas combustible
	Vanadio (V)	Contaminación residual del combustible
PROBLEMAS EN EL LUBRICANTE	Bario (Ba)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente
	Calcio (Ca)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre, Antioxidante
	Magnesio (Mg)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre
	Molibdeno (Mo)	Antidesgaste, Antifricción
	Fósforo (P)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Extrema presión
	Zinc (Zn)	Antioxidante, Antidesgaste, Inhibidor de la corrosión
COMPONENTES MAQUINARIA	Aluminio (Al)	Bombas, Embrague, Arandelas de empuje, Bujes, Impulsor del convertidor de par
	Cromo (Cr)	Cojinetes de rodillos/rodillos cónicos
	Cobre (Cu)	Embragues, Discos de dirección, Bujes, Arandelas de empuje, Enfriador de aceite
	Hierro (Fe)	Engranajes, Discos, Carcasas, Cojinetes, Bandas de freno, Carretes del cambio, Bombas, Tomas de fuerza
	Plata (Ag)	Cojinetes
ELEMENTOS CONTAMINANTES	Boro (Br)	Refrigerante, Posible aditivo del aceite
	Cloro (Cl)	Contaminante del biogás
	Potasio (K)	Refrigerante
	Sodio (Na)	Refrigerante, Sal de la carretera, Aditivo
	Silicio (Si)	Suciedad, Polvo, Sellador, Aditivo, Desespumante de silicona Siloxano de gas combustible
PROBLEMAS	Vanadio (V)	Contaminación residual del combustible
	Bario (Ba)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente
	Calcio (Ca)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre, Antioxidante
	Magnesio (Mg)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre
	Molibdeno (Mo)	Antidesgaste, Antifricción
	Fósforo (P)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Extrema presión
	Zinc (Zn)	Antioxidante, Antidesgaste, Inhibidor de la corrosión

Fuente. Exxon mobil corporation (2008)

La selección de pruebas que se realizaran a el motor YD25 de 2.5 litros Nissan son las siguientes.

Tabla 8.

Prueba a realizar para el motor YD25 de 2.5 litros Nissan

Prueba o procedimiento
Conteo de partículas
Viscosidad a 100°C
TBN o BN
FTIR
Punto de flama
Prueba ASTM Glicol
Densidad ferrosa
Ferrografia analítica
Contenido de agua
Análisis de elementos

La determinación de residuos en aceite usado es un método de diagnóstico clave practicado en programas de monitoreo de condición de máquina. La presencia o aumento de la concentración de metales específicos de desgaste puede ser indicativa de las primeras etapas de desgaste si hay datos de concentración basal para comparación. Un aumento marcado en los elementos contaminantes puede ser indicativo de materiales extraños en los lubricantes, tales como anticongelante o arena, que pueden conducir al desgaste o la degradación del lubricante. El método de ensayo identifica los metales y su concentración de manera que se pueden establecer tendencias relativas al tiempo o la distancia y se pueden tomar medidas correctivas antes de un fallo más grave o catastrófico.

2.2. Marco legal

2.2.1. ASTM D-7279 Viscosidad

Este método de ensayo cubre la medición de la viscosidad cinemática de los líquidos transparentes y opacos; Tales como aceites de base, aceites formulados, aceite diesel, biodiesel, mezclas de biodiesel, fuelóleos residuales, combustibles marinos y aceites lubricantes usados usando un viscosímetro Houillon en modo automatizado (OMNITEK, 2024).

2.2.2. ASTM D-6595 Espectrometría

Este método de ensayo cubre la determinación de metales de desgaste y contaminantes en aceites lubricantes usados y fluidos hidráulicos utilizados mediante la rotación de electrodo de disco espectroscopia de emisión atómica. Este método de ensayo proporciona una indicación rápida de desgaste anormal y la presencia de contaminación en lubricantes nuevos o usados y fluidos hidráulicos (Science laboratory and cetificatio, 2018).

2.2.3. ASTM D-95 Determinación de contenido de agua

La presencia de agua Puede indicar problemas vinculados al agua de refrigeración, condensación, etc (Science laboratory and cetificatio, 2018).

2.2.4. ASTM E-2412 FTIR

Práctica estándar para el monitoreo de la condición de lubricantes usados por análisis de tendencias usando espectrometría infrarroja por transformación de Fourier (FTIR) la cual abarca el monitoreo del agotamiento de aditivos, la acumulación de contaminantes y la degradación del stock base en lubricantes de maquinaria, fluidos hidráulicos y otros fluidos utilizados en el

funcionamiento normal de la maquinaria. Los contaminantes monitoreados incluyen agua, hollín, etilenglicol, combustibles y aceite incorrecto. La oxidación, nitración y sulfonación de las reservas de base se controlan como evidencia de degradación. El objetivo de esta actividad de monitoreo es diagnosticar la condición operativa de la máquina en base a las condiciones de falla observadas en el aceite (Science laboratory and cetificatio, 2018).

2.2.5. ASTM D-5185 Análisis Espectrométrico

El análisis Espectrométrico nos da un informe cuantitativo de los elementos presentes en el aceite. Los elementos se pueden dividir en tres categorías; metales de desgaste, contaminantes y aditivos. El ICP permite al analista determinar cuando existe presencia de contaminantes ambientales y del proceso o cuando se ha producido un relleno de aceite incorrecto. Tiene la limitación del tamaño de partículas <5-8 micras (EUROLAB, 2024).

3. Informe de cumplimiento del trabajo

Los resultados se desglosan teniendo en cuenta los objetivos específicos propuestos durante el desarrollo de la pasantía de la siguiente manera:

3.1. Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa de transportes TRANSPSOL S.A.S, para establecer fallas en el sistema de mantenimiento actual.

La empresa TRANSPSOL S.A.S. presenta un sistema de mantenimiento poco estructurado, especialmente en el seguimiento del mantenimiento preventivo, como el cambio de aceite en su flota de camionetas. Actualmente, los cambios de aceite se realizan con base en intervalos de kilometraje predeterminados, generalmente cada 5.000 kilómetros. Sin embargo, esta estimación se realiza de manera generalizada, sin el respaldo de datos obtenidos mediante herramientas tecnológicas como el análisis de aceite, lo que limita la precisión y confiabilidad del proceso.

Un análisis exhaustivo de las rutinas actuales reveló que los intervalos establecidos para el cambio de aceite (5.000, 10.000 y 15.000 kilómetros) no siempre se ajustan a las condiciones reales de operación de los vehículos ni a las recomendaciones específicas de los fabricantes. Este desajuste podría ocasionar tanto el desperdicio de recursos, debido a cambios prematuros, como el deterioro de los motores, por cambios tardíos. Como parte del diagnóstico, se contrastaron estas prácticas con estándares del sector para identificar oportunidades de mejora.

Se llevó a cabo una auditoría completa del sistema de gestión de mantenimiento vigente, donde se evaluaron las políticas, procedimientos y documentación histórica de los registros de mantenimiento. Este análisis permitió identificar áreas críticas como:

Falta de un control detallado de las intervenciones realizadas.

Inconsistencias en los tiempos de respuesta.

Baja estandarización en las prácticas de mantenimiento.

Ausencia de métricas claras para evaluar la efectividad de las acciones.

Adicionalmente, se realizó un inventario del personal técnico y los recursos disponibles.

Aunque el equipo técnico cuenta con experiencia básica en mantenimiento, se identificó una fuerte dependencia de proveedores externos para tareas especializadas, lo que incrementa los costos y genera retrasos operativos. También se detectaron deficiencias en la disponibilidad de herramientas especializadas, como equipos para el análisis de aceite y dispositivos de monitoreo, que son fundamentales para mejorar la eficiencia del mantenimiento.

Finalmente, se observó que no existe una organización o programación adecuada para los cambios de aceite, lo que provoca variaciones en el kilometraje real de los vehículos al momento de realizar el mantenimiento. Esto incrementa el riesgo de cambios inoportunos, ya sea prematuros o tardíos, afectando el rendimiento y la vida útil de los motores.

Este diagnóstico evidencia la necesidad de adoptar un enfoque más tecnológico y basado en datos para el mantenimiento de la flota, permitiendo así optimizar los recursos y mejorar la confiabilidad operativa de la empresa. A continuación, se realiza una evaluación general de mantenimiento a la empresa.

Tabla 9.*Diagnóstico de la empresa*

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	CUMPLIMIENTO	
		SI	NO
Programa de mantenimiento	La empresa cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos	X	
Gestión y Estrategia del Mantenimiento	La empresa gestiona planes de mantenimiento preventivos (cambios de aceite) técnicos y efectivos como procesos de mejora		X
Desarrollo de planes y ejecución del Mantenimiento y Monitoreo de Condiciones.	La empresa ejecuta planes de mantenimiento en base al programa establecido y realiza monitoreo basado en las condiciones.		X
seguimiento del mantenimiento	La empresa tiene bitácoras de mantenimiento, como lo es el historial de los mantenimiento correctivos y preventivos	X	
inspecciones	La empresa realiza inspecciones pre operacionales y mensuales en temas mecánicos del vehículo	X	
Fichas técnicas de vehículos	La empresa cuenta con las fichas técnicas que describen los componentes de los equipos y manuales de operación.	X	
Inventario de repuesto	La empresa tiene inventario de repuestos organizado e identificado para uso del mantenimiento correctivo y preventivos de los vehículos.	X	
Control de rendimiento de combustible	La empresa registra y evalúa el rendimiento del combustible en kilómetros por galón.	X	

Recursos Humanos involucrados en el Mantenimiento, (cambios de aceite).	La empresa tiene a su disposición personal técnicamente calificado para realizar procesos de mantenimiento preventivo (cambios de aceite)	X
Tecnologías utilizadas en el Mantenimiento Predictivo. Para uso proactivo	La empresa incorpora herramientas tecnológicas en los procesos de mantenimientos como lo son análisis de aceite, vibraciones, termografía, etc.	X

3.2. Determinar las propiedades del aceite de acuerdo al método de análisis de aceite llamado espectrometría, con la finalidad de establecer la variación de las propiedades del aceite a medida que aumente el kilometraje recorrido por el vehículo.

Se seleccionaron vehículos representativos de la flota, considerando aquellos con mayores recorridos y condiciones operativas típicas de la empresa. Las muestras de aceite se tomaron en intervalos de 5.000 kilómetros, siguiendo estrictos protocolos de limpieza y esterilidad para garantizar la integridad de los resultados.

Se investigaron varios laboratorios acreditados en análisis de lubricantes y se eligió uno que cumple con estándares internacionales y cuenta con la tecnología adecuada para espectrometría. Se formalizó un contrato de servicios que incluyó el transporte seguro de las muestras y la entrega de resultados dentro de un plazo estipulado.

Toma de muestra. Las muestras se toman aproximadamente cada mil quinientos kilómetros (1500) para tener poder llevar una secuencia de desgaste más acertada. Las muestras serán recolectadas en frascos suministrados por el laboratorio. Donde el dispositivo encargado de desplazar el lubricante desde el motor hacia estos frascos de muestreo, es una bomba de vacío

Figura 12.*Bomba de vacío*

La bomba consta de tres partes uno es el embolo, el cual es el encargado de crea un vacío que permita la succión del fluido. También consta de un cabeza que es donde se conecta el embolo y una manguera. Para la toma de las muestras lo primero que se hace es unir las tres partes que forman una bomba de vacío. Seguidamente destapar el agujero donde va la lámina que mide el nivel de aceite, será allí donde se introducirá la manguera para poder llegar al aceite. Después de introducida la manguera, se procede a colocar frasco por debajo de la bomba y enroscarla para poder completar la tarea de la bomba la cual es crear vacío para succionar el fluido. Una vez hecho se empieza a bombear para sacar la muestra de aceite en esta se aprecia como comienza a desplazarse el fluido hacia el frasco. Una vez llenado el frasco se retira y se tapa. Finalmente, las muestras se rotulan, en este se colocan los datos del equipo, datos del lubricante y componentes.

Figura 13.*Muestras realizadas*

Los resultados del laboratorio incluyeron datos sobre viscosidad, contaminación por partículas metálicas y degradación de aditivos. Se observó un deterioro progresivo de las propiedades del aceite conforme aumentaba el kilometraje, con variaciones significativas en vehículos sometidos a condiciones de alta carga. Estos hallazgos fueron correlacionados con las condiciones de operación.

3.3. Analizar los resultados obtenidos para evaluar técnicamente alternativas a implementar.

Alternativas de costos según el análisis de las propiedades del lubricante, los cuales se muestran en la tabla 12.

Tabla 10.*Análisis de resultados*

	muestra 1 (km)	muestra 2 (km)	muestra 3 (km)	muestra 4 (km)	
Propiedades del lub	1500	3001	4500	6000	NOTAS
ASTM D7279					
Viscosidad 100°C	13.6	13.7	13.4	13.9	
Visc calculada	13.64	13.45994004	13.46	13.64	
Errores cuadrados	0.0016	0.057628784	0.0036	0.0676	
Calcio (Ca) ppm	1632	1657	1639	1717	aditivo
	1639.1	1637.007606	1661.9	1713.8	
Errores cuadrados	50.41	399.6958179	524.41	10.24	
Magnesio (Mg) ppm	503	516	510	487	aditivo
Molibdeno (Mo) ppm	39	41	40	41	aditivo
Fosforo (P) ppm	838	832	819	849	aditivo
Zinc (Zn) ppm	930	942	922	943	aditivo
boro (B) ppm	3	2	3	2	aditivo
Silicio (Si) ppm	11	12	11	12	contaminante
	11.001196	11.001329	11.001196	11.001329	
	1.43042E-06	0.997343766	1.43042E-06	0.997343766	
Sodio (Na) ppm	3	4	4	5	contaminante
	2.5009	2.5013	2.5013	2.5017	
	0.24910081	2.24610169	2.24610169	6.24150289	
Aluminio (Al) ppm	2	6	4	6	desgaste
Cromo (Cr) ppm	0	0	0	0	desgaste
Cobre (Cu) ppm	0	1	1	2	desgaste
Hierro (Fe)	10	14	12	20	desgaste
	9.7991	12.601467	15.4001	18.2006	
	0.04036081	1.955894552	11.56068001	3.23784036	
plomo (Pb) ppm	0	0	0	0	desgaste
Manganeso (Mn) ppm	0	1	1	1	no tiene
Niquel (Ni) ppm	0	1	1	0	no tiene
Plata (Ag) ppm	0	0	0	0	no tiene
Estaño (Sn) ppm	0	0	0	0	no tiene
Titanio (Ti) ppm	0	0	0	0	no tiene
Vanadio (V) ppm	1	1	0	0	no tiene
Bario (Ba) ppm	0	0	0	0	no tiene
Oxidacion A/0.1mm	170	180	190	200	
Nitracion A/0.1mm	8	9	9	11	
	7.899686618	8.800373294	9.699859855	10.59994647	
	0.010062775	0.039850822	0.489803816	0.160042825	
Agua %	0.1	0.2	0.2	1	
Hollin A/0.1mm	0.18	0.23	0.33	0.44	
	0.170747331	0.172214048	0.171158012	0.175734171	
	8.56119E-05	0.003339216	0.025230777	0.069836429	
Glicol %	0	0	0	0	paso de refrigerante incrementa sodio
Sulfatacion A/0.1mm	0.02	0.04	0.06	0.07	
Volatiles %	0	0	0	0	combustible

Espectrometría ASTM D6595

FTIR (ASTM E3412)

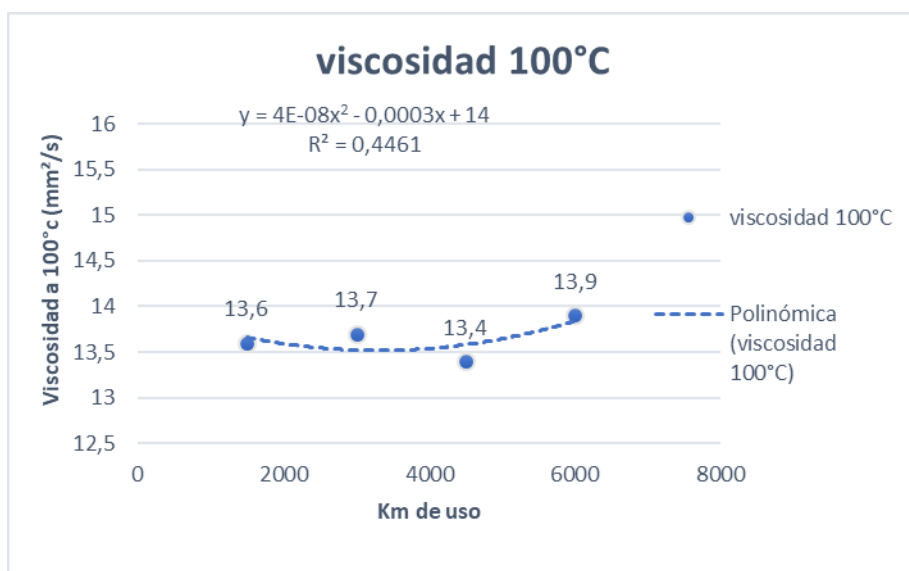
Se consolidaron los resultados en una base de datos centralizada, incluyendo parámetros clave como kilometraje, condiciones operativas, y propiedades fisicoquímicas del aceite. Este sistema permite una visualización clara de las tendencias y facilita la interpretación de los datos.

Mediante herramientas como Excel, se analizaron las tendencias de degradación del aceite. Los resultados indicaron que ciertos vehículos podrían extender sus intervalos de cambio de aceite sin comprometer el rendimiento, mientras que otros requieren ajustes para prevenir daños a largo plazo. Se generaron gráficos de tendencia para soportar las conclusiones.

Como se puede ver, hasta los 6000 Kms no se presentan de manera significativa Cobre, Plomo, Manganeso, Plata, Níquel, Estaño, Titanio, Vanadio ni Bario, de acuerdo a la espectrometría realizada. Adicionalmente la prueba FTIR indica que no existe aún presencia significativa de agua, glicol o de volátiles que puedan afectar las propiedades del lubricante. Al analizar por partes, iniciamos por estudiar el comportamiento de la viscosidad en el fluido:

Figura 14.

Pérdida de viscosidad



Se observa una tendencia típica cuadrática, aunque el modelamiento muestra un R cuadrado algo bajo, su valor de correlación r es 0,6679, adecuado para una aproximación con un

error estándar de aproximación de $s_r = 0,1304$, lo que a su vez nos da para los 4 datos en regresión polinomial cuadrática un error s_y/x de 0,1805. Al buscar el límite máximo condenatorio para la viscosidad se tiene:

$$V = 4 * 10^{-8} * x^2 - 0,0003 * x + 14 = 16,3 \text{ [cSt]}$$

$$4 * 10^{-8} * x^2 - 0,0003 * x + 14 - 16,3 = 0$$

$$4 * 10^{-8} * x^2 - 0,0003 * x - 2,3 = 0$$

Al resolver la ecuación cuadrática se obtienen dos posibles resultados, descartando el negativo por sentido físico se tendría un límite de kilometraje como:

$$\text{para } V = 16,3 \text{ [cSt]} \text{ se tiene un } x = 12.500 \text{ kms}$$

Teniendo en cuenta límites de confianza, al asumir un comportamiento normal de los datos alrededor de cada punto, se tienen dos posibles valores como límites, se toma el inferior de un rango de confianza del 95% ($z=1,96$) para mantener un factor de seguridad confiable:

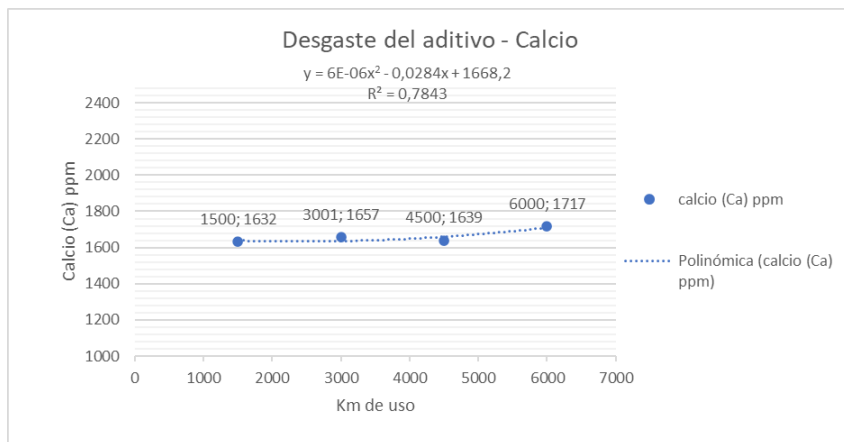
$$\text{para } V = 16,3 - 1,96 * 0,2554 = 15,8 \text{ [cSt]} \text{ se tiene un } x = 11.435 \text{ kms}$$

El ultimo calculo contempla el error estándar s_y/x en una confianza del 95%, lo que asegura un nivel muy óptimo con la correlación obtenida de que a dicho kilometraje aún no se tendrá el límite condenatorio por viscosidad. Se debe tener en cuenta que un límite de más de 11.435 kms es casi el doble al último kilometraje revisado en las pruebas (6.000 kms) y la afectación por parámetros como impurezas o desgaste puede aseverar efectos negativos en el

lubricante, incluso en propiedades como la viscosidad. Además de lo anterior, para establecer un máximo de kilometraje se debe incorporar el análisis de los demás parámetros. Al evaluar el desgaste del aditivo de calcio.

Figura 15.

Desgaste del calcio



Se obtiene una ecuación con un error cuadrado muy ajustado, y un error de correlación no cuadrado de 0,8856, lo cual es más que indicativo de un gran ajuste, su sr es de 984,75 que genera un error sy/x de solo 22,18. Se observan igualmente buenos ajustes con los demás aditivos, aunque algunos presentan datos insuficientes para hablar de una tendencia clara, y son valores bajos, como se ve en la revisión de su desgaste:

Figura 16.

Desgaste del magnesio

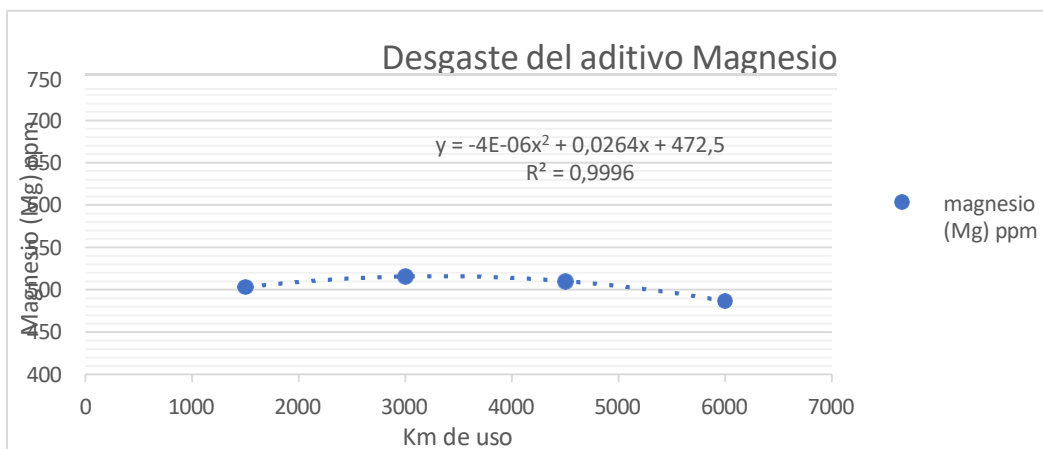


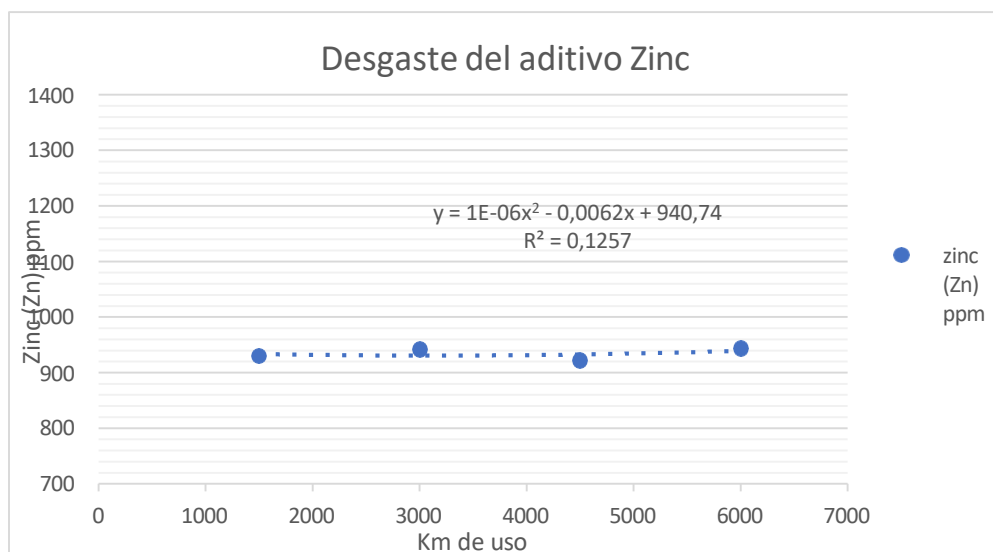
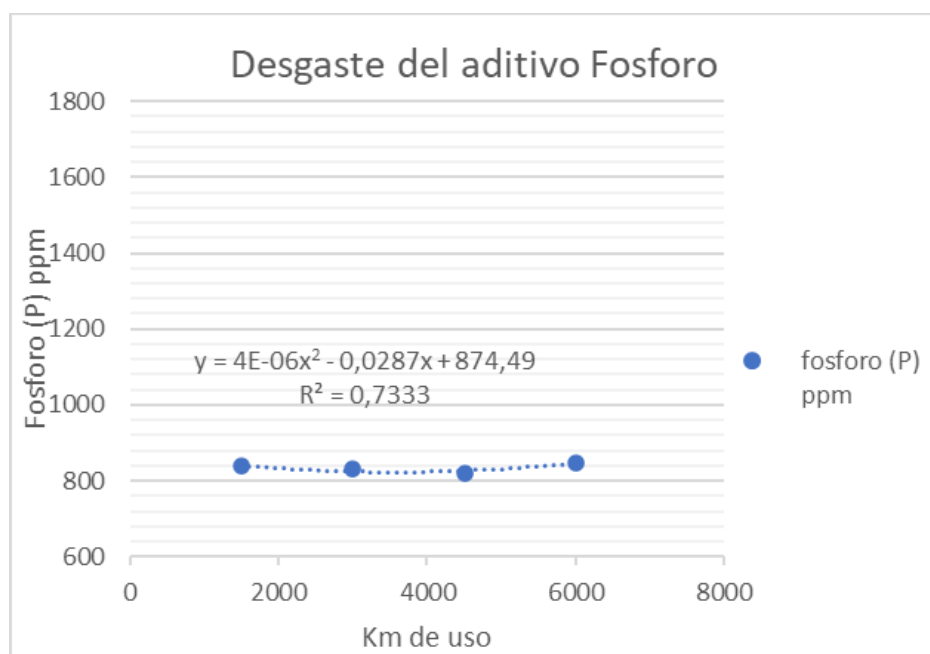
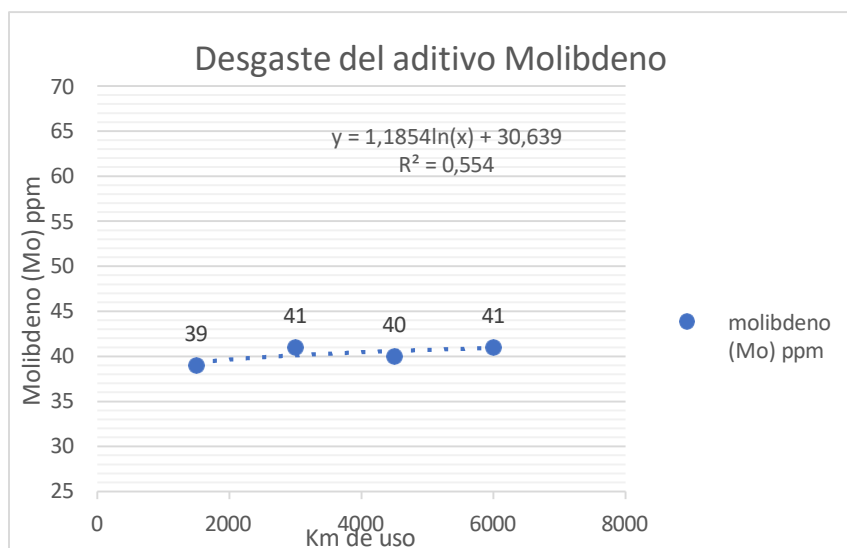
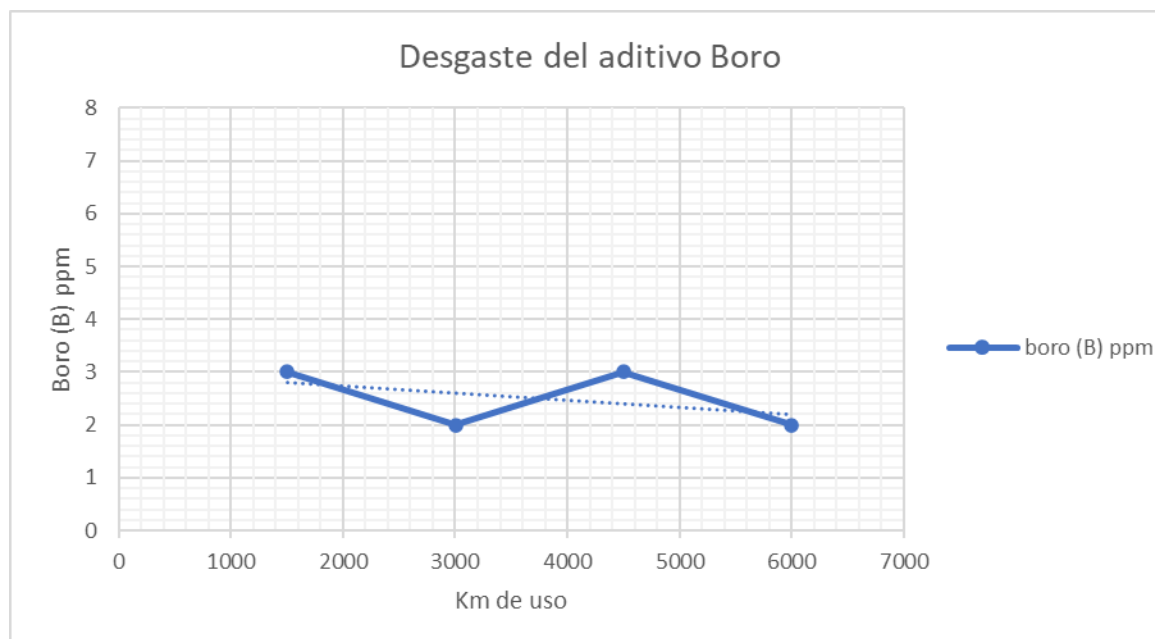
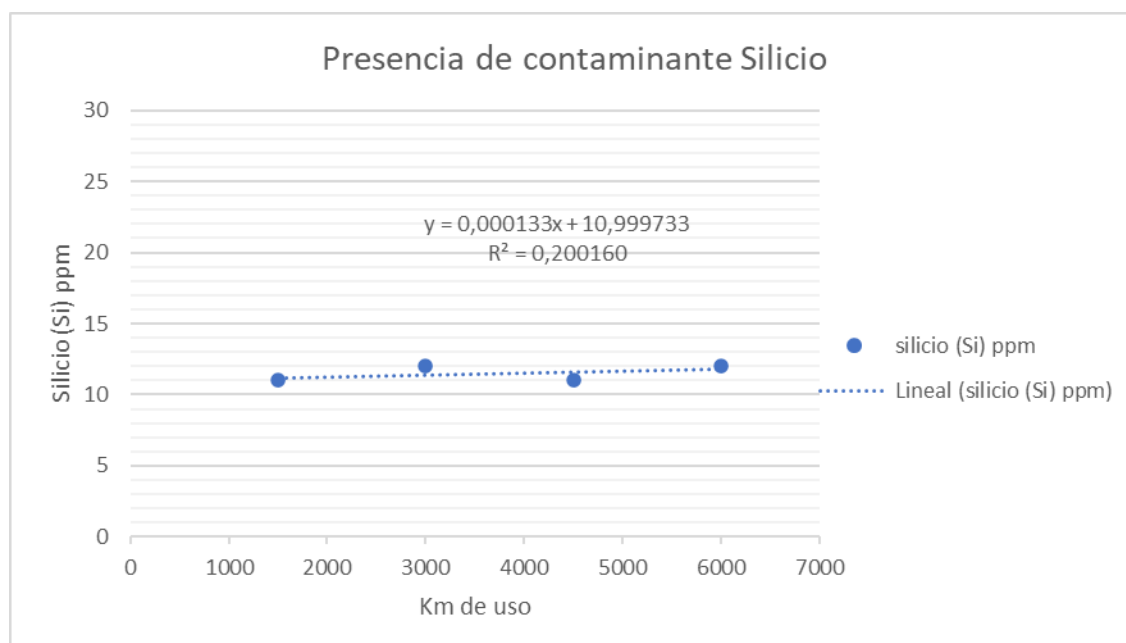
Figura 17.*Desgaste del Zinc***Figura 18.***Desgaste del fósforo*

Figura 19.*Desgaste del Molibdeno***Figura 20.***Desgaste del Boro*

El límite de uso del lubricante se podría considerar de acuerdo a los límites condenatorios de sus elementos contaminantes, por lo cual se analizan los mismos:

Figura 21.*Presencia contaminante de silicio*

La tendencia esperada en este contaminante es creciente, como se observa pese a la dispersión de datos alrededor del punto medio, el R cuadrado es considerablemente bajo indicando una alta dispersión de los datos alrededor de la tendencia, el R es de 0.4473, a penas aceptable que se considere una tendencia lineal creciente, pero se hace difícil estimar realmente el kilometraje al que se obtendría exactamente el límite condenatorio del silicio o el límite de precaución. Se contempla además que el error S de la regresión lineal es de 0,9986 en este caso, por lo que siendo el límite crítico 15, y considerando un comportamiento más o menos normal, se podría tomar el valor límite menos 1,96 desviaciones estándar con un valor máximo de trabajo adecuado para una estimación:

$$S = 15 - 1,96 * 0,9986 = 13,04$$

Igualando la ecuación:

$$S = 0,000133 * x + 10,999733 = 13,04$$

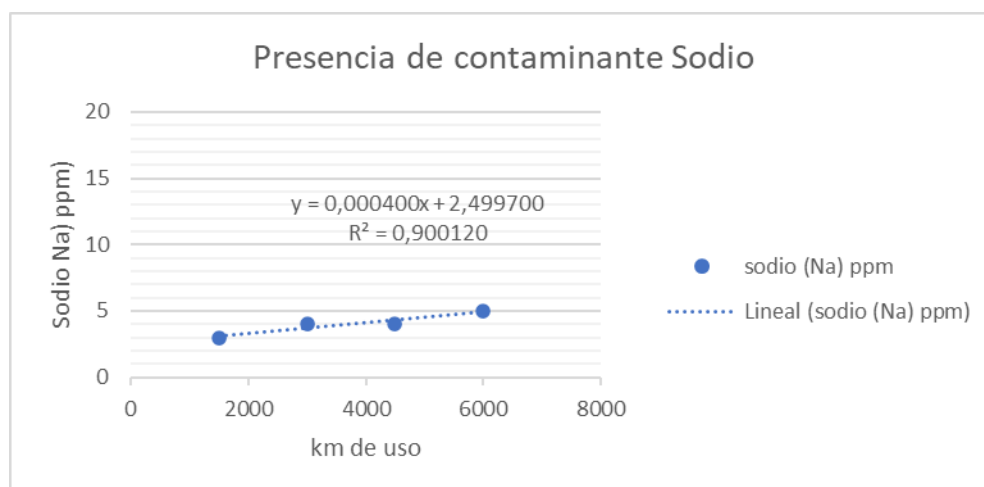
$$x = \frac{13,04 - 10,999733}{0,000133} = 15.340 \text{ kms}$$

Un límite altamente elevado, lo cual deja con seguridad que no se alcanzará la cantidad de partículas si consideramos una tendencia lineal aproximada aún con los errores por dispersión de los valores alrededor de la tendencia central. Por lo cual seguiría siendo limitante el valor de la viscosidad antes que el del silicio.

Al analizar ahora la presencia de sodio:

Figura 22.

Presencia de contaminante Sodio



Vemos que su correlación lineal presenta a diferencia del silicio, una mayor claridad, menor dispersión de la tendencia central y un menor ajuste con un R de 0,9487. La desviación de la regresión es de 2,3433, bastante buena, y su límite crítico es de 30, entrando a precaución a partir de los 16. Considerando los valores dados y como valor de consideración 1,96 veces desviación antes del valor central:

$$S = 16 - 1,96 * 0,9487 = 14,14$$

Igualando la ecuación:

$$S = 0,0004 * x + 2,4997 = 14,14$$

$$x = \frac{14,14 - 2,4997}{0,0004} = 29.100 \text{ kms}$$

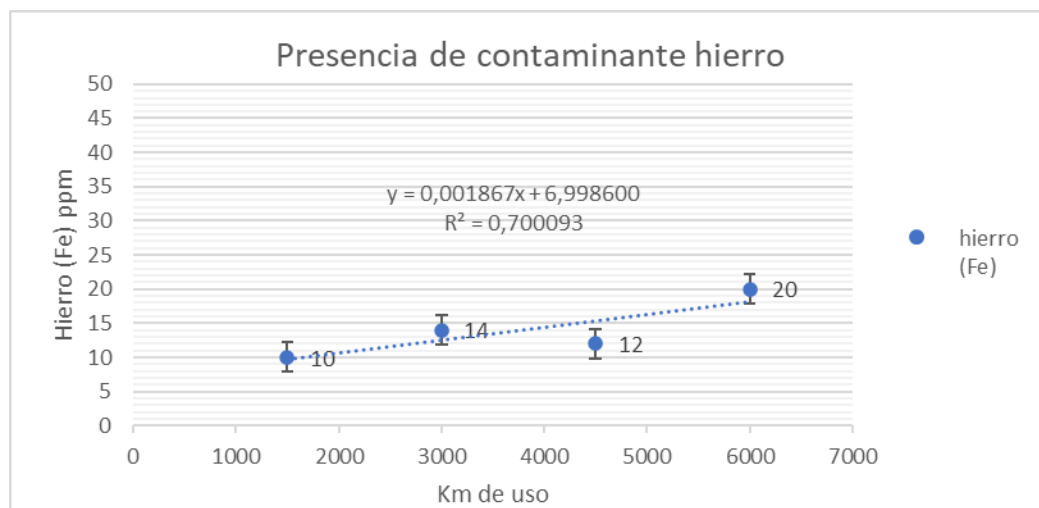
Tabla 11.

Limites en kilometraje basado en el sodio

Ppm	Límite en Kms
Na= 30	68.750
Na= 30-1.96*2.3433=25,40	57.250
Na= 16	33.750
Na= 16-1.96*2.3433=11.40	22.250

Como se puede ver, no se alcanzarían ni los límites de precaución antes de requerirse el cambio de aceite por el parámetro de viscosidad.

No es menester, debido a los resultados observados en la tabla, analizar los contaminantes de aluminio, cromo y cobre, dado que su presencia es aún muy baja para intentar observar alguna tendencia significativa o considerar su contaminación como efectiva en las propiedades del lubricante evaluado en cada test. Por otro lado, si se puede considerar el análisis del contaminante hierro:

Figura 23.*Presencia de contaminante hierro*

Como se puede ver, las barras de error son pequeñas ya que no hay gran dispersión alrededor de la tendencia central, se obtiene un R cuadrado de 0,700 que es más que excelente y un valor de correlación R de 0,8367 que indica una ajustada tendencia lineal. Su error estándar de aproximación es de 2.0490 con el cual, asumiendo la tendencia normal, se puede evaluar el punto de precaución y punto crítico de la misma forma que con el sodio.

Desviación antes del valor central:

$$S = 71 - 1,96 * 0,8367 = 69.36$$

Igualando la ecuación:

$$S = 0,001867 * x + 6.9986 = 69.36$$

$$x = \frac{69.36 - 6.9986}{0,001867} = 33.401 \text{ kms}$$

$$x = \frac{Fe [ppm] - 6.9986}{0,001867} \text{ kms}$$

Tabla 12.

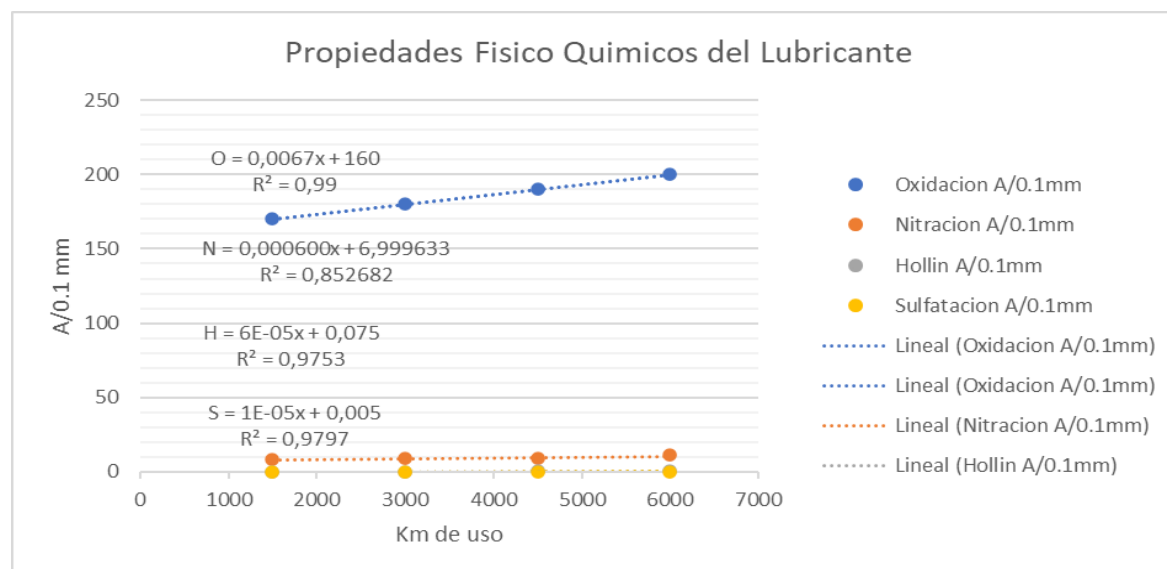
Límites de kilometraje basado en el hierro.

Ppm	Límite en Kms
Fe= 100	49.813
Fe= 100-1.96*2.0490 =95.98	47.660
Fe= 71	34.280
Fe= 71-1.96*2.0490 =66.98	32.127

Como se puede observar, nuevamente los límites son elevados a comparación del establecido como máximo por criterio de viscosidad, por lo cual, se continúa con el límite de esta. Finalmente se evalúan las propiedades físico-químicas de acuerdo a las pruebas realizadas. Como era de esperarse, la tendencia es creciente en todos los casos, siendo más crítico el crecimiento del % peso del hollín por lo cual, entre los límites máximos permitidos por la norma ASTM D-95 sería, de acuerdo a los resultados, un limitante más significativo que los demás, sin embargo, como el límite de nitración es menor, 2%, por lo que se considerará también en el análisis.

Figura 24.

Propiedades Físico Químicos del Lubricante



Los valores R cuadrado muestran adecuados valores de ajustes, con un valor de error estándar para el hollín de 0,2219 y para el cálculo de nitración de 0,5915. Asumiendo el comportamiento normal (asunción común en regresiones lineales) se estima el kilometraje para los valores límites de 3 para el hollín y 2 para la nitración:

$$x_{\text{hollín}} = \frac{H [\text{ppm}] - 0,075}{6 * 10^{-5}} \text{ kms}$$

$$x_{\text{nitración}} = \frac{N [\text{ppm}] - 6.9996}{0.0006} \text{ kms}$$

Tabla 13.

Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración

Ppm	Límite en Kms
H= 3	48.750
H = 3-1.96*0,2219=2.56	41.416
N= 2	34.005
N= 2-1.96*0,5915=0.84	29.014

Como se observan, con las tendencias actuales, todos los límites en kilómetros de uso, tanto en propiedades físicas como en presencia de contaminantes, son valores alto en comparación al obtenido por el modelo de viscosidad. Se podría decir que si las condiciones actuales observadas se mantuvieran el parámetro limitante sería principalmente la viscosidad a 100°C, pero se debe contemplar que el crecimiento de la contaminación, el desgaste y de propiedades como la nitración, cantidad de hollín, entre otros revisados pueden cobrar mayor importancia a un kilometraje mayor donde se vea con más claridad una tendencia general.

De acuerdo a la literatura se encuentran propuestas de límites de uso de lubricantes en valor de kilometraje de 32 mil kilómetros de uso aproximadamente para el lubricante según el

fabricante y de acuerdo a las condiciones de uso. Habría que profundizar en un estudio más prolongado para obtener parámetros más precisos en valores que podrían ser cada 1000 kms (1mil, 2mil, 3mil, 4mil, 5mil, 6mil, 7mil y 8mil) para ampliar el panorama.

Con la información actual es posible, además de las recomendaciones de un estudio más prolongado, evaluar el análisis económico de ampliar en el plan de mantenimientos el cambio de aceite lubricante de 8 mil kilómetros hasta 12.000 kilómetros como se ha probado en el estudio, y la alternativa de probar las propiedades a límites mayores y evaluar el ahorro posible en términos económicos si se llevan a límites tan extremos como los que se pueden encontrar al estudiar las recomendaciones del fabricante (YD25) que están alrededor de 10 mil kilómetros de acuerdo a las condiciones de uso actuales.

Según datos del fabricante en el manual de operación del motor YD25 de 2.5 litros en la sección 2 normas de mantenimiento. Se tiene intervalos para el cambio de aceite donde se pregunta:

¿Es su vehículo uno de los de abajo?

Camión de transporte

Autobús

Equipo que acumula 8.000 millas o 12.874km al mes o más.

Figura 25.

Rangos de drenado de aceite según fabricante con poco uso

Clasificación del Aceite	Kilómetros	Millas	Horas	Meses
CF-4	3000	2000	100	6
CG-4	6500	4000	200	6
CES 20,071 (equivalente a CH-4 y CES 20,072)	11,000	7000	300	6
CES 20,076	14,000	9000	400	6

Nota. En la figura se muestra si los rangos son Negativos. Fuente: YD25 de 2.5 Litros Nissan. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

Para el caso que acá se estudia es no aplica esta condición.

Sí es sí. Seleccione y siga cualquier intervalo de drenado de aceite severo, normal o ligero basado en como usa usted su motor. Vea los intervalos de drenado de aceite por severidad del servicio.

Figura 26.

Rangos de drenado de aceite según fabricante con rangos de uso

Signature e ISX	Clasificación del Aceite	Servicio-Severo < 5.5 mpg > 80k GVW	Servicio Normal 5.5 a 6.5 mpg 70 a 80k GVW	Servicio Ligero > 6.5 mpg < 70k GVW
1999 Signature e ISX	CES 20,071 (CH-4)	24,000 km [15,000 mi]	56,000 km [35,000 mi]	72,000 km [45,000 mi]
1999 Signature e ISX	CES 20,076	32,000 km [20,000 mi]	64,000 km [40,000 mi]	80,000 km [50,000 mi]

Fuente. YD25 de 2.5 Litros Nissan. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000

Si bien es nuestro caso, ya que las camionetas tienen un rendimiento de 34 kilómetros por galón lo cual son 21.12 millas por galón. Catalogándolo en el rango SEVERO, entonces según la tabla 13, el intervalo de cambio de aceite debería hacerse cada 22.250 kilómetros, para el tipo de aceite que tenga características CES 20076. Y el aceite usado por nuestra empresa es un aceite multigrado de viscosidad SAE 15W-40 que cumple con los niveles de calidad API CI-4, CH-4, CG-4 para los motores diesel y API SL para los motores a gasolina. También cumple las especificaciones de los fabricantes de motores diesel tales como Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel Allison, Dina, Ford, Mercedes Benz, Perkins, Scania y Volvo

Podemos concluir que los cálculos presentados en este capítulo son aproximados a la realidad y las recomendaciones del fabricante, ya que, según los cálculos, la flota puede llegar a extender el límite de kilometraje para el cambio de aceite hasta en 10.000 km, y el fabricante lo recomienda para este caso en 12.000km.

4. Diagnóstico final

4.1. Costos

Se elaboró un informe técnico que incluye las siguientes recomendaciones: a) Ajustar los intervalos de cambio de aceite en función de las condiciones operativas reales., b) Invertir en capacitación del personal técnico y adquirir equipos para análisis de aceite in situ., c) Implementar un sistema digital para registrar y monitorear el mantenimiento de la flota. Resumiendo, la información del análisis económico a un año, teniendo un promedio de viaje de 21 viajes por mes para la camioneta:

Tabla 14.

Información operativa y costos de mantenimiento

Número muestra de camioneta	1	Gal por cambio	2
Viajes por año por vehículo	256	Costos actuales	
Recorrido promedio por viaje Kms	350	Caneca x1gal	
			\$ 127,000.0
			0
		Caneca x5gal	
			\$ 570,000.0
			0
Kilómetros totales por año:	89,600	Total, x12 gal	
			\$ 1,394,000.0
			0

En dicho proyecto, se trabaja de la mano con Polaris Laboratories, quien tiene su sede en Funza, Colombia; este laboratorio nos brinda análisis de propiedades fisicoquímicas, materiales aditivos y de desgaste, en la siguiente tabla se observa el valor por muestra:

Tabla 15.*Valores de muestra*

			# Muestras	TOTAL
Valor Análisis	\$	37.000,00	4	\$ 148.000,00
Muestra	\$	3.500,00	4	\$ 14.000,00
Total Muestra C/U	\$	40.500,00		\$ 162.000,00

El número de muestras es decisión de la persona encargada de realizar el estudio; pero, el laboratorio recomienda que el tiempo, en este caso el kilometraje entre muestras sea corto y el mismo entre cada muestra, ya que esto permite valores más exactos al momento de evaluar la tendencia a futuro.

Se tienen dos propuestas, cambiar el llenado usando dos canecas de 1 gal de lubricante y dos canecas de 5 gal de lubricante por comprar timbos de 55 gal y llenar mediante trasiego con su debido procedimiento bajo altos estándares de seguridad y salud al trabajar. Cada caneca o tonel de 55 gal tiene un costo actual de 5.270.000 pesos COP, lo que da un costo por cambio de 12 gal de \$191.636 pesos COP, un ahorro del 86,3% por cambio.

La segunda propuesta es acorde a los objetivos del trabajo, extendiéndose al menos el límite de cambio del lubricante a al menos 7100 kilómetros, con una propuesta de estudiar las propiedades hasta los 10 kilómetros para ver la posibilidad de un ahorro económico más amplio.

Tabla 16.*Propuesta económica en condiciones actuales*

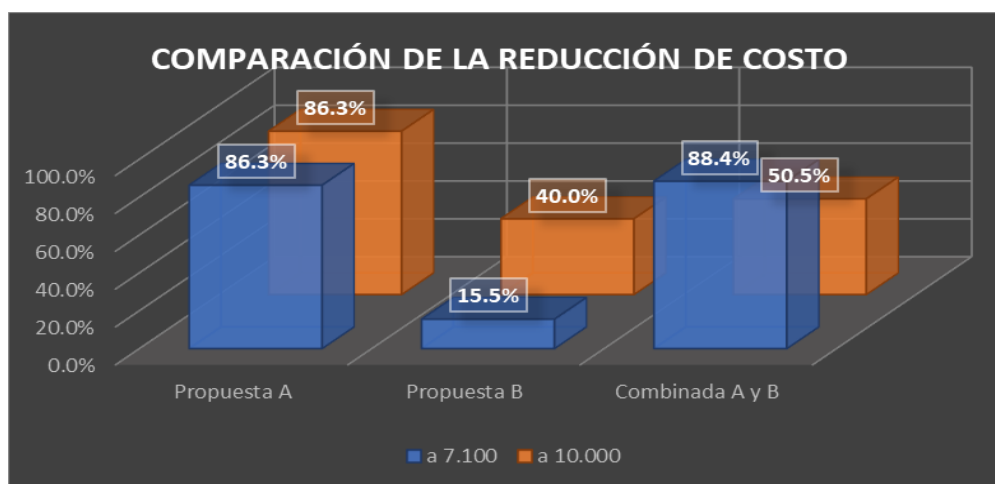
Propuesta probada	Kilómetros a los que se cambia el lubricante		
	6000	7100	Ahorro solo por cambio
Número de cambios por mes:	14.93	12.62	2.31
Con las canecas actuales	\$ 20,817,066. 67	\$ 17,591,887. 32	\$ 3,225,179. 34
Con timbo de 55 gal	\$ 2,861,769. 70	\$ 2,418,396. 93	15.5%
Ahorro respecto al valor base	\$ 17,955,296. 97	\$ 18,398,669. 74	
Reducción del costo en %	86.3%	88.4%	

Sí solo se hiciera la propuesta de cambiar la presentación de compra, propuesta A, por el timbo de 55 galones solo se ahorraría un 86.3%, si solo se hiciera el cambio del plan de mantenimiento extendiendo el tiempo de reemplazo del aceite a cada 7100 kilómetros (propuesta B) se lograría un ahorro de una tercera parte del costo actual, y combinando ambas se lograría hasta un 88.4% del ahorro del costo. Al aplicar el análisis de las muestras y la evaluación de costo, se puede observar que la empresa al aplicar un análisis para cada vehículo del valor que nos indica la tabla anterior; según los datos analizados e interpretado, se puede extender el cambio de aceite a 10.000 km, para interpretar mejor la propuesta, observar la siguiente tabla:

Tabla 17.*Propuesta económica en condiciones futuras e ideales*

Propuesta recomendada para evaluar	Kilómetros a los que se cambia el lubricante		
	6000	10000	Ahorro solo por cambio
Número de cambios por mes:	14,93	8,96	5,97
Con las canecas actuales	\$ 20.817.066,67	\$ 12.490.240,00	\$ 8.326.826,67
Con timbo de 55 gal	\$ 2.861.769,70	\$ 10.302.370,91	40,0%
Análisis de Aceite		\$ 1.451.520,00	
Ahorro respecto al valor base	\$ 17.955.296,97	\$ 11.966.215,76	
Reducción del costo en %	86,3%	57,5%	

Esta extensión del tiempo de uso del lubricante tiene un potencial de extensión a un límite mayor, como se observó en el cálculo y el cual es coherente con las recomendaciones del fabricante. En este límite si se evalúa por ejemplo a 10 mil kilómetros se tiene un potencial de ahorro en costo de hasta dos terceras partes del costo actual si se combina con el cambio de presentación del aceite.

Figura 27.*Comparación de propuestas*

Se realizó un análisis comparativo entre el gasto principal en cambio de aceite lubricante y un gasto propuesto que incluye análisis de aceite para extender el cambio a 10.000 KM. Además, se consideró la compra de aceite por tambores de 55 galones.

Los resultados muestran una reducción de más de una tercera parte del costo actual en el cambio de aceite lubricante. Sin embargo, se identificó un potencial aún mayor para ahorrar hasta un 50,5% del costo actual anual, siempre y cuando sea posible llevar los cambios de aceite a valores de cada 10 mil kilómetros sin sacrificar el rendimiento y la capacidad del equipo.

Figura 28.

Análisis de gastos



Al hacer el estudio de costos, al aplicar esta propuesta, la diferencia de gastos en los cambios de aceite a 10.000 KM de las camionetas analizadas, en este caso se trabajó con las camionetas que cuentan con motores YD25 de 2,5Lt de Nissan; a la cual se le aplicó un análisis de 4 muestras a cada 1.500 Km, se puede observar que la diferencia aproximada de \$6.000.000 anuales que la empresa se ahorra para dichas camionetas.

5. Conclusiones

El informe analiza el desempeño de un lubricante en un motor diesel YD25 de 2.5 litros, evaluando su viscosidad, contaminantes y propiedades físico-químicas. Los resultados muestran que el lubricante mantiene sus propiedades hasta los 6,000 km, sin presentar degradación significativa en términos de viscosidad, contaminantes como cobre, plomo, manganeso, plata, níquel, estaño, titanio, vanadio y bario, y propiedades físico-químicas como el contenido de agua, glicol y volátiles. Sin embargo, se identifican tendencias crecientes en la viscosidad y en la presencia de contaminantes, lo que sugiere que el lubricante puede empezar a degradarse a medida que se acerca a los 10,000 km.

Se presentan propuestas para cambiar la presentación de compra del lubricante y extender el tiempo de reemplazo, lo que podría generar ahorros significativos. La primera propuesta consiste en cambiar la presentación de compra de lubricante de canecas de 1 y 5 galones a un timbo de 55 galones, lo que podría generar un ahorro del 86.3% por cambio. La segunda propuesta consiste en extender el tiempo de reemplazo del lubricante de 6,000 km a 10,000 km, lo que podría generar un ahorro adicional del 50.5% del costo actual. Esto se lograría mediante la evaluación de las propiedades del lubricante a intervalos de 1,000 km, para determinar su degradación y establecer un límite de reemplazo más preciso.

Se concluye que es posible extender el límite de cambio de aceite lubricante sin sacrificar rendimiento y capacidad del equipo. Los cálculos y análisis realizados sugieren que el lubricante puede mantener sus propiedades hasta los 10,000 km, lo que permitiría extender el tiempo de reemplazo y generar ahorros significativos. Sin embargo, se recomienda realizar pruebas adicionales para confirmar la viabilidad de esta propuesta, especialmente en términos de desgaste de aditivos y contaminantes, y para determinar el impacto en el rendimiento y la vida útil del

motor. En resumen, el informe sugiere que es posible optimizar el uso del lubricante en el motor diesel YD25 de 2.5 litros, extendiendo el tiempo de reemplazo y cambiando la presentación de compra. Esto podría generar ahorros significativos y mejorar la eficiencia del mantenimiento del equipo.

6. Recomendaciones

Extender el tiempo de reemplazo del lubricante: De acuerdo a los resultados, es posible extender el tiempo de reemplazo del lubricante de 6,000 km a 10,000 km sin sacrificar rendimiento y capacidad del equipo. Esto podría generar ahorros significativos en costos de mantenimiento.

Realizar pruebas adicionales: Se recomienda realizar pruebas adicionales para confirmar la viabilidad de extender el tiempo de reemplazo del lubricante y para determinar el impacto en el rendimiento y la vida útil del motor.

Evaluar las propiedades del lubricante a intervalos regulares: Se recomienda evaluar las propiedades del lubricante a intervalos regulares de 1,000 km para determinar su degradación y establecer un límite de reemplazo más preciso.

Considerar la implementación de un programa de mantenimiento predictivo: Se recomienda considerar la implementación de un programa de mantenimiento predictivo para monitorear el estado del lubricante y del motor, y para programar el reemplazo del lubricante de manera más eficiente.

Referencias

Calsin, N. (2024). *studoco*. Obtenido de studoco:

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-huancavelica/tecnologia-de-los-materiales-de-la-construccion/aceites-y-lubricantes-blog/19200899>

D445, A. (1997). *Método de prueba estándar para la viscosidad de los fluidos por medio de un viscosímetro de vidrio*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

D4951, A. (2019). *Método de prueba estándar para la determinación de la contaminación por partículas en líquidos hidráulicos*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

EUROLAB. (2024). *EUROLAB laboratory services*. Obtenido de EUROLAB laboratory services: [https://www.eurolab.net/es/testler/malzeme-testleri/element-tayini-\(astm-d-5185\)/](https://www.eurolab.net/es/testler/malzeme-testleri/element-tayini-(astm-d-5185)/)

EXXON MOBIL COPORATION . (2008). *Análisis signum de aceite*. Bélgica : La compañía .

ISO 4406 . (1999). *Energia hidraulica - Fluidos - Método para codificar el nivel de contaminación por partículas sólidas*. Suiza: Organizacion internacionacion de normalización .

Nissan frontier YD25. (2024). *Motor manual*. Obtenido de Motor manual:

<file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/470889321-Manual-motor-YD25-Frontier-Nissan-pdf.pdf>

Noria Latín América. (28 de 06 de 2024). *Noria.mx*. Obtenido de <https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/numero-acido-una-guia-completa/#:~:text=ASTM%20D664%20mide%20los%20componentes,y%20agua%20en%20la%20muestra.>

OMNITEK. (2024). *Omniek B.V.* Obtenido de <https://omnitek.nl/es/astm-d7279>

Pedro, A. A. (2015). *Tribologia Y Lubricacion*. Medellin: Quinta Edicion El Autor.

Science laboratory and cetificatio. (2018). *SCIENCE by Eurolab*. Obtenido de SCIENCE by Eurolab: [https://www.laboratuar.net/es/testler/yakit-yaglama-testleri/astm-d6595-spektrometrik-analiz-\(21-metal\)-testi/](https://www.laboratuar.net/es/testler/yakit-yaglama-testleri/astm-d6595-spektrometrik-analiz-(21-metal)-testi/)

TROYER, D. &. (2004). *Oil analysis*. Tulsa, USA : Noria corporation.

Universidad metropolitana . (22 de Febrero de 2006). *Estudio de factibilidad técnico-económico para la implementacion de un laboratorio tribología*. Obtenido de <http://repositorios.unimet.edu.ve/docs/31/ATTP155D4P3.pdf>