

Estudio del comportamiento de un aceite lubricante utilizado en un motor Diésel de un equipo de transporte de carga a través de la caracterización de sus propiedades físico-químicas

Jesús Mateo Caicedo Pabón, Hernando José Domínguez Restrepo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Francisco José Saldivia Saldivia

Máster en Mantenimiento Industrial

Codirector

Jorge Luis Chacón Velasco

Doctor en Procesos Termo Fluidodinámicos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físico-mecánica

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Dedicado especialmente a mi madre María Jakeline Pabón Rozo por ser un soporte incondicional y aconsejarme en todo momento, a mi padre José Antonio Caicedo Carrillo por creer en mí y demostrarme que todo es posible. A mi hermana Laura Fernanda Caicedo por ser fuente de inspiración y a toda mi familia por brindarme la motivación necesaria para culminar con esta etapa.

A mi abuelito Matías Pabón QEPD quien, siempre estuvo interesado pendiente de mi carrera universitaria.

A cada una de las personas que conocí y me brindaron apoyo a lo largo de mi carrera, creando razones y alegrías para lograr cumplir este sueño y proyecto de grado.

Jesús Mateo Caicedo Pabón

A Dios todo poderoso por nunca abandonarme ningún día de mi vida y acompañarme en todo este proceso de formación académica y personal.

A mi familia y en especial mi sobrino Nicolás Badran Domínguez, su llegada solo ha traído felicidad y motivación a mi vida.

Hernando José Domínguez Restrepo

Agradecimientos

Agradezco a la empresa Lubrigras S.A.S por otorgarnos la más grande ayuda para poder desarrollar la mayoría de las pruebas de laboratorio requeridas en el proyecto de grado y permitírnos conocer y trabajar de la mano con excelentes personas como lo son el Ingeniero Fernando Rueda y la técnica de laboratorio Olivia Murallas.

A la empresa Quimicur S.A.S por brindarnos la confianza para trabajar de la mano con Don Juvenal Yarce quien permitió realizar las todas las actividades necesarias para culminar el propósito del proyecto y a el conductor Víctor Hugo Gonzales por su paciencia y disponibilidad para el desarrollo de este.

A mi compañero de trabajo Hernando Domínguez por abirme las puertas a este proyecto y que sin importar los obstáculos que se presentaron en el transcurso logramos afrontarlos y sacar este proyecto adelante.

A nuestro director Francisco José Saldivia Saldivia por su acompañamiento y orientación en el desarrollo de los objetivos permitiendo un excelente desempeño en cada una de las actividades realizadas dentro del proyecto.

A la universidad Industrial de Santander por brindarnos los recursos necesarios para ampliar nuestro conocimiento y permitir aplicarlos en nuestro crecimiento profesional.

Jesús Mateo Caicedo Pabón

Agradecimientos

Primero que todo le quiero dar las gracias a mis padres y hermanas por siempre estar a mi lado apoyándome y aconsejándome, sin ellos este trabajo ni tendría portada. A pesar de las dificultades siempre me impulsaron y animaron a no rendirme.

Gracias a mi compañero de trabajo Jesús Caicedo, gracias por creer en este proyecto, y más importante, por creer en mí, y que sin importar los problemas e imprevistos que afrontamos desde el principio nunca desfalleció.

También quiero agradecer a Laura Melisa Acevedo Patiño, fue de gran ayuda y me brindó la mano cada vez que lo necesité, con su bondad y fe en mí, pude llegar hasta la meta.

Estoy agradecido también con el señor Fernando Rueda Acevedo y a la señora Olivia Murallas, y al equipo detrás de ellos que nos dieron un salvavidas cuando más lo necesitábamos, gracias por tener un gran corazón y ayudar a unos muchachos casi que desesperados sin esperar nada cambio, no solo nos brindaron la mano, también nos dieron una importante lección de vida. Me recordaron que es cierto lo que dicen “los buenos somos más”.

Gracias a Quimicur S.A.S y los señores Hugo Gonzales y Juvenal Yarce por su paciencia y disposición para trabajar con nosotros.

Gracias al profesor y director de esta tesis, Francisco José Saldivia Saldivia, por su acompañamiento y guía para la realización de este proyecto.

Y por último y no menos importante quiero agradecerme a mí mismo, quiero agradecerme por el trabajo realizado, por las noches en vela escribiendo, por siempre tener la mejor actitud posible y creer que siempre había algo mejor esperando, por pasar horas haciendo llamadas, saliendo a las calles, tocando cientos de puertas, buscando todo lo necesario que me permitiera poder culminar este trabajo.

Hernando José Domínguez Restrepo

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Planteamiento del Problema	13
2. Justificación	14
3. Objetivos	17
3.1 Objetivo General	17
3.2 Objetivos Específicos.....	17
4. Marco Teórico.....	19
4.1 Antecedentes de Investigación.....	19
4.1.1 Nivel Internacional.....	19
4.1.2 Nivel Nacional	20
4.1.3 Nivel Local.....	21
4.2 Referentes Teóricos	22
4.2.1 Motor Diésel	22
4.2.1.1 Componentes del Motor.....	22
4.2.1.2 Tipos de Motores.	23
4.2.1.3 Ciclos de Funcionamiento.....	24
4.2.1.4 Sistemas de un Motor Diésel.	25
4.2.2 Sistema de Lubricación.....	26
4.2.2.1 Funcionamiento del Sistema.	27
4.2.2.2 Elementos del Sistema de Lubricación.....	27
4.2.2.3 Elementos Lubricados.....	28

ANALISIS DE LUBRICANTE EN MOTOR DIESEL	6
4.2.3 Lubricación	28
4.2.3.1 Lubricante	28
4.2.3.2 Propiedades de los Lubricantes para Motores Diésel	29
4.2.3.3 Análisis de Lubricantes	30
4.2.3.3.1 Beneficios del Análisis de Lubricantes	30
4.2.3.4 Toma de Muestras	31
4.2.3.4.1 Válvulas de Muestreo	31
4.2.3.4.2 Bomba de Succión	32
4.2.3.4.3 Muestro del Drenado o Tapón	33
4.2.3.5 Pruebas para medir el cambio en las propiedades del aceite lubricante	34
4.2.3.5.1 Prueba de Viscosidad Cinemática	34
4.2.3.5.2 Prueba de Punto de Inflamación	35
4.2.3.5.3 Espectroscopia FTIR	35
4.2.3.5.4 Prueba de Número Base	36
4.2.4 Ficha Técnica del Camión Turbo	37
4.2.5 Árbol Lógico de Decisiones	37
4.2.6 Estudio de Tendencia	38
5. Metodología	39
5.1 Análisis de la documentación	40
5.1.1 Propiedades físico-químicas	40
5.2 Proceso de muestreo	41
5.3 Pruebas de Laboratorio	43
5.4 Análisis Complementario con Árboles Lógicos de Decisiones	43

ANALISIS DE LUBRICANTE EN MOTOR DIESEL	7
6. Resultados	44
6.1 Determinación Pruebas Por Realizar	44
6.2 Muestreo	45
6.2.1 Muestras Tomadas	46
6.3 Resultados de las pruebas de laboratorio	48
6.4 Árboles Lógicos de Decisiones.....	49
7. Análisis de Resultados	55
8. Conclusiones.....	59
9. Recomendaciones	61
Referencias Bibliográficas	62

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Resultados de la prueba de viscosidad cinemática a 40°C y 100°C de cada muestra..</i>	48
Tabla 2. <i>Resultados de la prueba de punto de inflamación de cada muestra.....</i>	48
Tabla 3. <i>Resultados de la prueba de número básico de cada muestra</i>	49

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Ficha técnica del vehículo utilizado para el Proyecto</i>	37
Figura 2. <i>Esquema básico de un árbol lógico de decisión</i>	38
Figura 3. <i>Elementos utilizados en la extracción de cada muestra</i>	42
Figura 4. <i>Diagrama de árbol lógico de decisiones para la oxidación</i>	49
Figura 5. <i>Diagrama de árbol lógico de decisiones para la reducción de aditivos</i>	51
Figura 6. <i>Diagrama de árbol lógico de decisiones para la sulfatación</i>	52
Figura 7. <i>Diagrama de árbol lógico de decisiones para la nitración</i>	53
Figura 8. <i>Diagrama de árbol lógico de decisiones para el hollín</i>	54
Figura 9. <i>Resultados de la prueba de viscosidad cinemática a 40°C y 100°C (ASTM D445)</i>	56
Figura 10. <i>Resultados de la prueba de punto de inflamación (ASTM D92)</i>	57
Figura 11. <i>Resultados de la prueba de TBN (ASTM D2896)</i>	58

Resumen

Título: Estudio del comportamiento de un aceite utilizado en un motor Diésel de un equipo de transporte de carga a través de la caracterización de sus propiedades físico-químicas*

Autor: Jesús Mateo Caicedo Pabón, Hernando José Domínguez Restrepo**

Palabras Clave: Diésel, Aceite Lubricante, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, Análisis de Aceite

Descripción: Sabiendo que, en la industria de transporte los vehículos son los activos más importantes con los que se cuentan y que sus motores son los que les da vida, siendo estos sus corazones y sistema principal, este trabajo de grado tiene como finalidad estudiar el comportamiento del aceite lubricante de un motor ISUZU AJB1-TC perteneciente a un Chevrolet TURBO NHR modelo 2011 de la empresa Quimicur S.A.S a través de la caracterización de sus propiedades físico-químicas, desarrollando un análisis de aceite lubricante.

La implementación de este proyecto parte desde el entendimiento e identificación de las variables y pruebas que conformaran el análisis de aceite lubricante, luego de esto se llevará a cabo el muestreo del aceite basándose en las cantidades necesarias del mismo, frecuencia del cambio y contenido en el cárter, el siguiente paso a seguir es llevar las muestras al laboratorio y realizar las pruebas y procedimientos pertinentes basados en las normas ASTM.

Por último, se interpretan los resultados mediante un estudio de tendencia con el fin de determinar la condición del aceite y, por lo tanto, también del equipo; siendo esta información muy útil para prevenir y detectar fallas, aumentando así la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecánica. Director: Francisco José Saldivia Saldivia. Maestría en Mantenimiento Industrial. Codirector: Jorge Luis Chacón Velasco. Doctor en Procesos Termo Fluidodinámicos

Abstract

Title: Performance study of a lubricating oil used in a cargo transport Diesel engine through the characterization of its physical-chemical properties*

Author(s): Jesús Mateo Caicedo Pabón, Hernando José Domínguez Restrepo**

Key Words: Diesel, Lubricating Oil, Preventive Maintenance, Predictive Maintenance, Oil Analysis

Description: Having the knowledge that in the transportation industry the vehicles are the most important assets and their engines are the ones that give them life, working as a heart and their main system, this project has the purpose of studying the lubricating oil's behavior of an ISUZU AJB1-TC engine belonging to a Chevrolet TURBO NHR model 2011 of the company Quimicur S.A.S through the characterization of its physical-chemical properties, developing a lubricating oil's analysis.

The project's implementation starts with the understanding and identification of the variables and tests that will be part of the lubricating oil's analysis. Then, the oil sampling will be carried out based on the necessary quantities, frequency of the oil's change, and content in the oil crankcase. The next step, it is to take the samples to the laboratory and perform the relevant tests and procedures based on ASTM standards.

Finally, the results are interpreted through a trend study in order to determine the condition of the oil and, therefore, the condition of the equipment; being this a very useful information to prevent and detect failures, increasing the reliability and longevity of the machine.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Mechanical Engineering. Director: Francisco José Saldivia Saldivia. Master in Industrial Maintenance. Codirector: Jorge Luis Chacón Velasco. PhD in thermofluid dynamic processes

Introducción

Desde la antigüedad, aproximadamente en el 3.500 A.C con la invención de la rueda, nuestros antepasados mostraron gran interés en poder reducir la fricción y desgaste de sus sistemas de transporte al momento de trasladarse. Los egipcios utilizaron grasas animales y vegetales en sus sistemas de transporte de piedras para construir los monumentos y edificaciones que hoy en día son testimonio de su ingenio.

Con la llegada la revolución industrial hubo grandes transformaciones económicas y tecnológicas, inicialmente se fabricaban máquinas grandes y robustas en las cuales no se priorizaba el mantenimiento. Todo lo anterior cambió cuando se dio lo que se conoce hoy en día como la primera generación del mantenimiento (1940-1950), aunque en esta el fin principal no era prevenir la falla, por lo menos se empezó a implementar rutinas de limpieza y lubricación. Entre los años 1960-1980 se desarrollaron la segunda y tercera generación y con estas el mantenimiento preventivo y predictivo.

El mantenimiento predictivo cuenta con varias tecnologías utilizadas para poder realizar el diagnóstico y predicción de posibles fallas en equipos y sistemas logrando poder apartar la causa del problema y poder desarrollar un plan de acción correctivo basado en su condición y vida útil restante (Saldivia Saldivia, 2020), una de ellas y bastante eficaz es el análisis de lubricantes.

Dado que actualmente muchas empresas buscan prevenir cualquier tipo de falla que represente una parada de planta o peor aún, un riesgo para la seguridad y salud es importante implementar tecnologías como el análisis de aceites lubricantes que consiste en estudiar las propiedades físico-químicas y con base a ello llevar a cabo las acciones pertinentes.

1. Planteamiento del Problema

Como anteriormente se mencionó el mantenimiento ha evolucionado con el pasar de los años, partiendo desde las inspecciones y cuidado básicos que le daban los mismos operarios a las máquinas hasta hoy en día que se cuenta con especialistas dedicados a hacer análisis y diagnósticos apoyados en avanzadas tecnologías y herramientas con el fin de poder definir la mejor manera de actuar sobre ellas.

Los motores de combustión interna tienden a presentar diversos tipos de fallas o averías en el transcurso de su ciclo de vida, como, paso del aceite a la cámara de combustión interna, degradación del aceite, degradación de los componentes, filtración de aceite al sistema de enfriamiento, consumo excesivo de combustible, desgaste de válvulas, etc. Por lo cual teniendo en cuenta que el análisis de lubricantes es una gran instrumento que posibilita detectar fallas y que además tiene tanta relevancia en la industria, este proyecto busca implementar dicho análisis en un motor Diésel de un vehículo de carga Chevrolet NHR modelo 2011 que opera a una gran capacidad para poder estudiar la condición de su aceite lubricante mediante la toma de algunas muestras que serían sometidas a pruebas de laboratorio con el fin de detectar posibles fallas y así proteger la integridad del equipo y las personas que conviven con el mismo.

2. Justificación

Todas las máquinas, equipos e instalaciones, están sujetas en mayor o menor grado, a la acción deteriorante de agentes climáticos (externos) o a la acción dañina de los agentes propios (internos). Como lo son el aire, la sal, rayos solares, polvo, gases corrosivos, vibraciones mecánicas, fricción, presión, etc. (Borrás Pinilla, 2013).

Este proyecto se centrará en caracterizar un aceite lubricante del motor Diésel de una Chevrolet Turbo través de la implementación de un análisis de lubricantes, ya que sí no se lleva a cabo un correcto monitoreo del estado del motor se puede caer en el error de hacer intervenciones antes de tiempo (intervalos establecidos por el fabricante) o peor aún, pasar por desapercibido las fallas, ocasionando daños severos y que esto provoque paradas inesperadas afectando directamente a la producción y rentabilidad del equipo.

Para el monitoreo es necesario tomar muestras antes del cambio de aceite que se realiza cada 6.000km, con una frecuencia de muestreo cada 1.000 km recorridos, para luego someter éstas a distintas pruebas de laboratorio con el fin de determinar la condición del aceite lubricante, ya que su grado de contaminación y degradación está directamente relacionado con el estado en el que se encuentra el motor, logrando así, identificar su comportamiento en el tiempo y obteniendo un diagnóstico certero de su funcionamiento. Para determinar la degradación del aceite lubricante respecto al tiempo es necesario realizar las pruebas de viscosidad cinemática y punto de inflamación, las cuales consisten primero en dejar fluir un volumen de las muestras(virgen y quemado) a través de un viscosímetro capilar midiendo su tiempo; de igual manera dichas muestras son sometidas a aumentos de temperatura en un aparato de copa abierta manual/automatizado para identificar el menor valor de temperatura del aceite al cual los vapores producidos se logren encender con la llama de prueba. Por último, es fundamental la determinación del número básicos

totales (TBN) del aceite lubricante ya que este mide la capacidad que tiene el aceite para poder contrarrestar los ácidos del aceite generados en el proceso de combustión, entre mayor sea este valor mejor será la protección que brinde al motor contra la corrosión.

Todas las pruebas brindan información valiosa para la anticipación de posibles problemas y reparaciones que requiera el motor, mejorando los programas de mantenimiento de forma predictiva y proactiva.

Teniendo en cuenta que uno de los activos con mayor relevancia en la industria del transporte son los vehículos, es crucial poseer información que permita la elaboración e implementación de planes de mantenimiento cuyo fin sea salvaguardar el buen funcionamiento y estado de estos. Por lo que se ve necesario llevar a cabo el análisis de lubricantes, permitiendo así obtener información acerca del motor, siendo este el corazón de la máquina, logrando identificar las propiedades físico-químicas del aceite lubricante; su nivel de contaminación y degradación; y también el deterioro de componentes mecánicos del equipo.

Considerando lo anteriormente mencionado para la caracterización del aceite lubricante se llevarán a cabo pruebas de análisis en laboratorios acreditados con el fin de obtener resultados fiables que respalden la investigación.

A manera de generar un aporte a la comunidad investigativa, este trabajo se unirá a la base de datos de la Escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander junto con más informes, artículos y materiales de estudio existentes relacionados con esta temática que sirvieron como referentes para la elaboración de este, con el fin proporcionar información para llevar a cabo futuros proyectos de lubricación y mantenimiento.

El motor del cual se van a extraer las muestras de aceite es un ISUZU 4JB1-TC de 89 hp y 2771 cc que pertenece a una Chevrolet TURBO NHR modelo 2011 que trabaja bajo prestación de

servicios con movimiento a nivel regional y nacional, moviendo cargas químicas, operando de 6:00 am a 6:00 pm. El vehículo pertenece a Quimicur S.A.S, ubicada en la ciudad de Bucaramanga.

Además de beneficiar a la empresa Quimicur S.A.S, la realización de este plan logrará favorecer a la comunidad de investigación, brindando nueva y valiosa información que puede ser usada en sus bases de datos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Estudiar el comportamiento de un aceite lubricante utilizado en un motor Diésel de un equipo de transporte de carga a través de la caracterización de sus propiedades físico-químicas.

3.2 Objetivos Específicos

Estudiar los factores de contaminación y degradación en las propiedades físico-químicas que indican el estado del aceite lubricante del motor Diésel, con base en la literatura y antecedentes para identificar los tipos de análisis que se llevarán a cabo.

Desarrollar el procedimiento de monitoreo de la condición del aceite lubricante del motor Diésel en operaciones normales por medio de un muestreo frecuente cada 1.000 km recorridos dentro del periodo previo al cambio de este utilizando una bomba de succión para la obtención de una muestra representativa.

Determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite lubricante del motor Diésel sometiendo las muestras recolectadas a pruebas de viscosidad cinemática, punto de inflamación y determinación de números básicos totales, basado en las normas ASTM, para identificar su comportamiento en el tiempo.

Realizar diagramas de árboles lógicos de decisiones a manera de complementar el análisis para dar un posible diagnostico basado en las propiedades reportadas en el método de prueba estándar para la determinación de campo de las propiedades de los fluidos en servicio mediante espectroscopia IR de la norma ASTM D-7889-21.

Interpretar los resultados del comportamiento de las variables examinadas por medio de un estudio de tendencia y así determinar la condición del aceite lubricante a lo largo de su vida útil con la finalidad de prevenir y detectar fallas en la maquinaria aumentando su confiabilidad y disponibilidad.

4. Marco Teórico

4.1 Antecedentes de Investigación

4.1.1 Nivel Internacional

Según Saldivia (2013), en su proyecto llamado “Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustión interna”, cuyo objetivo era evaluar el comportamiento de un motor de combustión interna por medio del monitoreo de las propiedades físico-químicas y agentes contaminantes en el lubricante, con lo cual se obtienen tendencias en función del tiempo de operación del motor y de esta forma poder determinar relaciones entre las características con base a las cuales se toman decisiones sobre el mantenimiento del motor.

El objeto de estudio fue el aceite de un motor de combustión interna de encendido por compresión con encendido y calentamiento sin carga, en velocidad ralentí. El motor fue puesto en funcionamiento por un periodo total interrumpido de 150 horas y se tomaron muestras en intervalos de 15 horas, siendo la primera muestra aceite sin usar (virgen).

Con los resultados arrojados se pudieron dar algunos hallazgos como detección temprana de contaminantes, y con esto determinar el periodo ideal de cambio de aceite lubricante del motor Diésel. También se logró descubrir que pese a una contaminación del lubricante por combustible que no se alcanzaba a quemar la viscosidad se veía disminuida, pero esto no afectaba la acción del aditivo anti-desgaste. Para terminar de concluir, el método de mantenimiento predictivo empleado (análisis de aceite), es una herramienta valiosa ya que permite realizar un chequeo meticuloso de los sistemas vitales del equipo, ofreciendo avisos anticipados de su condición y así poder actuar en función de la misma antes de que ocurran problemas o daños.

En relación con Buchelli y García (2015), en su trabajo “Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a Diésel mediante la técnica de análisis de aceite” que se trataba de realizar un análisis del aceite del motor de una excavadora marca Caterpillar modelo 320D de la flota de G.A.D Municipal de Milagro, para así usarlo como instrumento del mantenimiento predictivo para así poder reducir la averías y evitar lo mayor posible los paros operativos.

Las condiciones de operaciones motor fueron normales y con una frecuencia de cambio del aceite cada 250 horas de trabajo aproximadamente (tiempo sugerido por el fabricante), desde el 29/10/2010 hasta 07/12/2011. Se tomaron muestras de 100 ml para ser llevadas al laboratorio y hacerles pruebas de viscosidad cinemática, número total de basicidad y de acidez, Infrarrojo en aceites usados, y análisis del contenido de metales.

Según los resultados el aceite lubricante del equipo tenía contaminación por refrigerante y combustible, lo anterior causado respectivamente por una junta de la culata quemada y el inyector número 4 no combustiona bien porque estaba lleno de hollín y combustible, en conclusión, el análisis de aceite lubricante permite reparar y detectar daños mucho antes de que se empeoren y se puedan presentar paradas inesperadas y sobrecostos.

4.1.2 Nivel Nacional

En Medellín, Antioquia, según Cañaveral (2021), en su proyecto “Análisis tribológico en motores Isuzu de la empresa Coordinadora mercantil S.A.S.” que consiste en la aplicación de un método de muestro de aceite y análisis de los resultados para motores Isuzu 4JJ1; así como una revisión sistemática de la literatura para identificar modelos que tengan en cuenta la correlación de la emisión de partículas expulsadas por el sistema de escape con variables tribológicas determinadas por el consumo de aceite. Todo lo anterior con el objetivo de mejorar los planes y la

acción de tomar decisiones en la empresa Coordinadora mercantil S.A.S (Cañaveral Barrientos,2021).

Se hizo la comparación entre una toma de muestra drenada directamente del cárter y la otra drenada directamente desde la varilla medidora usando una bomba de vacío, y se pudo observar que los resultados de laboratorio obtenidos de la primera no eran tan confiables y tenían varias incoherencias en distintos elementos del análisis de aceite a comparación del segundo método que arroja resultados más precisos.

Como conclusión se obtuvo que, comparando un método con otro, había una desviación entre los datos del 22%, siendo el segundo el más confiable a la hora de tomar datos, para así poder actuar correctamente en función de la condición, sin tener que realizar procedimientos innecesarios. Los resultados también indicaron que para poder disminuir la cantidad de material particulado en las emisiones hay que disminuir la cantidad de aceite consumido por los cilindros del motor.

4.1.3 Nivel Local

En Bucaramanga, Palacio y Peñaranda (1988) propusieron “Análisis periódico de lubricantes y mantenimiento preventivo” el cual tuvo como objetivo tomar medidas y acciones económicas para prevenir y poner parte del mantenimiento sobre bases planteadas, en la OCCIDENTAL DE COLOMBIA - CAMPO PAYOA.

Este estudio se realizó desde la escuela de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander y surgió de la necesidad de evaluar en detalle la lubricación implementando programas de control sobre sus lubricantes ya que no resultaba adecuado en el sentido técnico y económico realizar cambios de aceite arbitrariamente.

Se analizaron los aceites lubricantes de la parte motriz de compresores Ingersoll- Rand, Waukesha y Ajax. Se tomaron muestras periódicamente para así poder estudiar las propiedades de deterioro más representativas, las cuales fueron viscosidad cinemática, número de ácido total (TAN), número de base total (TBN) y el contenido de metales por absorción atómica. A raíz de lo anterior se pudo observar que se utilizaban distintas marcas de aceite que no eran los formulados por el fabricante y que además se estaban realizando cambios de aceite en periodos muy variados.

De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo concluir que para los Ingersoll-Rand y Waukesha el cambio de aceite fue mayor que el recomendado por el fabricante, y que para los Ajax fue mucho antes. Por lo tanto, los periodos tan variados indican que los análisis de laboratorio representan el método más seguro y confiable para determinar el intervalo correcto de cambio y con esto poder tener un adecuado plan de mantenimiento que salvaguarde la integridad de los equipos, la rentabilidad y producción de la empresa.

4.2 Referentes Teóricos

Para poder comprender cuales son los estudios y procedimientos que se van a llevar a cabo en el desarrollo de este proyecto y cómo se ejecutarán, se debe definir algunos conceptos importantes que hacen parte de los fundamentos de la investigación.

4.2.1 Motor Diésel

4.2.1.1 Componentes del Motor. Los motores de encendido por compresión están compuestos principalmente por las siguientes partes:

Culata: La culata es la pieza del motor encargada de cerrar de los cilindros en la parte superior, esta tiene los huecos por donde entra el aire y salen los gases por las válvulas de admisión y de escape respectivamente, además sirven como soporte de los balancines, válvulas, inyectores y otros; generalmente suelen ser de fundiciones de hierro o aluminio.

Mecanismo de distribución: Es el encargado de que las válvulas de admisión y las de escape estén en sincronización con el pistón, con el fin de que se abran en el momento indicado y se cierren cuando se deba.

Inyector de combustible: Son los encargados de introducir un chorro de Diesel en la cámara, después de acabar la carrera de compresión y de esta forma lograr que se dé la combustión.

Pistones, bielas y cigüeñal: El cigüeñal tiene la función de transformar los movimientos alternativos a rotativos en y está compuesto por varias manivelas, por cada pistón una manivela. El radio del cigüeñal es el que establece la distancia que el pistón y la biela logran moverse.

Bloque: Es la estructura o cuerpo del motor, donde están montadas todas las demás partes del motor y por lo general son de fundición de hierro o de aluminio.

Bomba de inyección: Forma parte del sistema de alimentación del vehículo y se encarga de subir la presión del Diesel para ajustarlo a la cadencia de operación de los inyectores y de esta manera dosificar el suministro de Diesel que va a los cilindros.

Depósito de aceite: Como su nombre lo indica es donde se aloja el aceite lubricante con el que trabaja el motor, está ubicado en la base del motor y brinda protección y rigidez a este.

4.2.1.2 Tipos de Motores. Los motores Diésel se pueden clasificar en dos tipos según su ciclo de trabajo, con esto se refiere a la cantidad de carreras o movimientos lineales del embolo.

El motor de dos tiempos solo realiza dos carreras del pistón para llevar a cabo el ciclo, donde la carrera ascendente es para la admisión del aire a la cámara y compresión del gas contenido en la misma, y la carrera descendente es para la explosión del gas cuando alcanza la presión máxima y también para poder expulsar los gases producidos en la combustión.

El motor de cuatro tiempos para poder completar su ciclo de combustión debe llevar a cabo cuatro carreras del embolo.

4.2.1.3 Ciclos de Funcionamiento. A continuación, se describe de forma precisa el ciclo Diésel de cuatro tiempos:

Admisión: La primera carrera es la de admisión, donde el pistón realiza un movimiento descendente para poder succionar el aire por la abertura de la válvula de admisión y de esta manera dejarlo en la cámara.

Compresión: La segunda carrera es la de compresión, el pistón se mueve de forma ascendente para así poder comprimir el gas que se encuentra dentro de la cámara y elevar la temperatura. Luego de que el pistón está posicionado en su punto superior, en ese instante se realiza la inyección de una cantidad finamente pulverizada del combustible en la parte superior del pistón y cuando el combustible se mezcla con el aire comprimido, se produce la combustión a presión cte.

Potencia: Posteriormente la tercera carrera es la de expansión en la cual las válvulas cierran y el pistón se mueve de forma descendente por la fuerza de la combustión lo que genera el movimiento giratorio del cigüeñal, además es en esta fase en la que la energía térmica es transformada en mecánica.

Escape: Finalmente en la cuarta carrera el pistón que se mueve de forma ascendente por la fuerza generada anteriormente donde el cigüeñal continúa rotando para así sacar los gases de la combustión por la válvula de escape que en ese instante se mantiene abierta.

Todas y cada una de estas fases son repetidas en ciclo durante el funcionamiento del motor.

4.2.1.4 Sistemas de un Motor Diésel. Los motores Diesel requieren de diferentes subsistemas para poder realizar las diversas operaciones necesarias para que su funcionamiento sea continuo y confiable, a continuación, se describirá la función de cada uno de los subsistemas:

Sistema de Admisión: Este sistema es el encargado de proporcionar la cantidad adecuada de aire limpio a una velocidad y temperatura necesaria para la combustión en las cámaras, por lo que es de gran importancia que este aire pase por el filtro de admisión de aire el cual retiene los contaminantes sólidos evitando que se acumulen y generen daños en los cilindros, A demás el sistema de admisión cuenta con un turbo compresor y un colector de admisión.

Sistema de Combustible: Su función es transportar y proveer la cantidad adecuada del combustible almacenado para el funcionamiento del motor. También dosifica la mezcla y se encarga de mantener limpio el combustible que se dirige a la cámara. Los elementos que forman el sistema de alimentación Diesel son la bomba de inyección, la porta inyector, el inyector y las líneas de combustible.

Sistema de Escape: El subsistema de escape se centra en llevar todos los gases generados por el proceso de combustión hacia el exterior, a este lo constituyen el colector de escape, el catalizador, el silenciador y la tubería de escape. Una vez se producen los gases resultantes de la combustión estos salen por la válvula de escape de la cámara dirigiéndose al colector múltiple de escape y luego al catalizador donde pasan por procesos fisicoquímicos que ayudan a disminuir la contaminación que provocan al medio ambiente, para finalizar, los gases son llevados hasta el silenciador que se encarga de minimizar los ruidos producidos por la combustión del motor.

En algunos sistemas es posible que tengan instalada una turbina en las tuberías de escape, esto con el fin de ayudar a que los gases impulsen dicha turbina haciendo que gire el soplador en el sistema de admisión.

Sistema de Enfriamiento: El propósito del sistema de enfriamiento es extraer el calor generado por la combustión y el calor producido por la fricción de los componentes móviles hacia al medio ambiente con la finalidad de mantener el motor a una temperatura adecuada para el funcionamiento. Se encarga de hacer circular el refrigerante para absorber el calor de las superficies del motor llevándolo hasta el radiador, aquí el refrigerante vuelve a enfriarse y se libera el calor.

Sistema de Lubricación: El objetivo del sistema lubricante es distribuir el aceite lubricante a las partes que producen fricción, creando una delgada capa en las superficies que reduzca la fricción entre los componentes móviles del motor, disminuya su temperatura y limpie todas las piezas móviles a medida que el lubricante va pasando, como pueden ser: los cojinetes, cilindros y los mecanismos de accionamiento de las válvulas.

4.2.2 Sistema de Lubricación

Es imprescindible comprender el funcionamiento del sistema de lubricación en un motor diésel para conocer más a profundidad de las partes en las que influye dicho sistema y además identificar las superficies con mayor fricción y desgaste. Los motores a gasolina tanto como motores los Diésel tienen los mismos sistemas de lubricación debido a que el diseño de estos motores es similar. Pero una de las características que sobresale en los motores diésel es la tasa de carbón que se produce en la combustión, es por lo que los filtros de aceite de estos motores tienen mejores diseños y son más adecuados.

Cabe resaltar que los aceites de un motor a gasolina son diferentes a los de un motor Diésel por las condiciones de operación del motor lo que modifica las condiciones de fabricación del aceite.

4.2.2.1 Funcionamiento del Sistema. El ciclo del sistema de lubricación en los motores Diésel comienza en el depósito de almacenamiento del aceite del motor, que también ayuda a disminuir la temperatura del lubricante. Inicialmente la bomba de aceite succiona el aceite del cárter filtrándolo por una rejilla que evita el paso de partículas grandes, ya que pueden generar abrasión o desgaste de las superficies internas. Por medio de un tubo el aceite es enviado al cigüeñal, ahí es inyectado a los muñones de bancada donde es distribuido hacia los asientos de biela. La lubricación del pistón se realiza por medio de los surtidores que se encuentran posicionados hacia las paredes de las camisas. Además del cigüeñal el árbol de levas y los balancines también son lubricados para asegurarse del correcto funcionamiento de las válvulas de admisión y de escape.

Luego de que todos los elementos móviles hayan sido lubricados, el aceite regresa al colector y es enviado mediante conductos hacia el cárter para ser usado nuevamente.

4.2.2.2 Elementos del Sistema de Lubricación.

Filtro de aceite de dos elementos: Este filtro se encuentra situado entre la bomba de aceite y el cárter, donde retiene grandes partículas cuando el aceite circula por el elemento de flujo completo y luego en la recirculación evita el paso de lodos y hollín, brindando un mejor estado del aceite cuando va hacia el motor.

Inyector de aceite: El inyector de aceite se encarga de enfriar la parte interna de los pistones con el aceite que pasa por la válvula de retención.

Válvula de retención: Esta se activa cuando la presión del aceite baja a 20psi aproximadamente cortando el paso del aceite y evitando que siga cayendo la presión.

Enfriador de aceite: Con el fin de disminuir las altas temperaturas que el aceite puede llegar a alcanzar, se utiliza un pequeño radiador que funciona con agua y posee unas válvulas de alivio por el posible cambio de la viscosidad del aceite al disminuir su temperatura.

4.2.2.3 Elementos Lubricados. Comprendiendo la función del sistema de lubricación y como el aceite lubricante circula por el motor, es posible distinguir las diferentes partes y elementos que son lubricados, estos son: Cojinetes, bielas, bulón, pistones, anillos del pistón, camisas, culata, árbol de levas, válvula de admisión, válvula de escape, balancín, cigüeñal.

4.2.3 Lubricación

Se puede definir la lubricación como una acción del mantenimiento con el fin de separar dos superficies de contacto una de la otra a modo de reducir la fricción y con esto evitar el deterioro entre ellas. Para lograr esto, si es posible, trate de tener una película de aceite suficientemente gruesa entre las dos superficies de contacto (Linares, 2005).

4.2.3.1 Lubricante.

Los lubricantes son aquellas sustancias (principalmente derivadas del petróleo) que se interponen entre las superficies reduciendo la fricción, reemplazando la fricción adhesiva por la fricción viscosa, se pueden presentar en diferentes estados: sólidos (pulverizados, grafito, talcos), semisólidos (grasa) y líquidos (aceite).

Estos últimos están compuestos de una base, que puede ser aceite mineral o sintético, adicional a la base está compuesto por aditivos, que permiten mejorar sus propiedades (antioxidantes, índice de viscosidad, detergentes, etc.) (Cañaveral Barrientos, 2021).

4.2.3.2 Propiedades de los Lubricantes para Motores Diésel. A diferencia de los aceites lubricantes de otros tipos motores, los de motor Diésel tienen ciertas características como viscosidades mayores, otros tipos y niveles de aditivos y resistencia más alta a la contaminación, entre otras.

Estos aceites tienen que cumplir con propiedades que permitan un buen funcionamiento del equipo para así no ver afectado su rendimiento. Las propiedades más importantes son:

- **Viscosidad:** Es la resistencia del fluido a fluir. La unidad de medida es la viscosidad cinemática, en el sistema internacional es el centistocks [cSt].
- **Índice de Viscosidad:** Mide el cambio en la viscosidad en función de la temperatura, y se muestra como un valor correspondiente a este índice, si se muestra un valor alto indica una mejor tolerancia del aceite a la temperatura.
- **Densidad:** Es la relación entre el volumen y la masa con la que cuenta el aceite.
- **Punto de inflamación:** Se determina como la temperatura más baja a la que se enciende un aceite lubricante cuando se generan los vapores suficientes.
- **Ceniza Sulfatada:** Es porcentaje del peso del material metálico obtenido de los aditivos encontrados mediante la quema de aceite y luego con ácido sulfúrico.
- **Resistencia a la oxidación:** Es la capacidad del aceite de oponerse a reaccionar con el oxígeno y así formar compuestos oxidados.
- **Demulsibilidad:** Es la capacidad del aceite para separar el agua que lo contamina y lograr mantenerlo en suspensión (Buchelli Carpio & García Granizo, 2015).

4.2.3.3 Análisis de Lubricantes. El análisis de aceite es una de las tantas herramientas que nos brinda el mantenimiento predictivo, con ella podemos realizar pruebas no destructivas que permiten anticiparse al estado de falla. Haciendo monitoreos periódicos del aceite usado se puede evaluar su estado de acuerdo con su conveniente reemplazo y el nivel de degradación de las partes mecánicas del equipo.

Esta técnica consiste en estudiar el aceite lubricante de los equipos mecánicos para así poder determinar su condición y con respecto a esto poder dar un diagnóstico acerca del funcionamiento y estado del equipo, que, en caso de presentar anomalía, permitirá llevar a cabo medidas correctivas que eviten paradas inesperadas o de manera opuesta, funcione de manera fiable y medir la vida real de servicio del equipo, que tiene que cumplir los requisitos definidos por la fábrica. Los resultados finales se pueden observar en una reducción significativa en los costos de mantenimiento y una lubricación adecuada (Saldivia Saldivia, 2013).

4.2.3.3.1 Beneficios del Análisis de Lubricantes. Es una herramienta de gestión del mantenimiento para todos los activos. Es un tipo modernos y fundamental del mantenimiento preventivo, ningún otro análisis de aceite es tan completo, ni tan fiable para predecir el riesgo de problemas. Sus principales ventajas son:

- Las reparaciones menores no llegan a escalar; el análisis de aceite usado proporciona una advertencia temprana de los problemas antes de que se conviertan en problemas graves.
- Evitar reparaciones que no sean necesarias; este análisis ahorra tiempo y dinero al identificar lo que no necesita reparación y lo que sí.
- Posibilita programar el estado de reposo para que no interfiera con el horario de labor.
- Reduce el tiempo dedicado a las reparaciones; ayuda a reconocer áreas problemáticas. No conlleva mucho tiempo montarlo y desmontarlo.

- Mejorar el plan de mantenimiento; ayuda a estabilizar un presupuesto, ya que proporciona una predicción de las reparaciones necesarias y el tiempo de inactividad, de modo que algunos de los ahorros se realicen antes de que ocurra el fallo.
- Supervisa las prácticas de mantenimiento; las pruebas de aceite de rutina, y asegura que el mantenimiento se realice por completo (Muñoz y Marín, 2003).

4.2.3.4 Toma de Muestras. El proceso de toma de muestras es un aspecto crucial del análisis de lubricantes, ya que si este no se realiza de manera correcta, no se puede obtener una muestra representativa logrando así afectar por completo los resultados y todo el trabajo a realizar.

Para la toma de muestras es importante poder realizar el proceso de tal manera que siempre se pueda repetir manera y que sea vea reflejado el estado actual del aceite del equipo. No se debe tomar una muestra después de agregar aceite de “relleno” o haber cambiado el filtro, ya que esta condición no es normal. El nuevo aceite de “relleno” con la adición de aditivos frescos va a cambiar el resultado y mostrará mejor resultado que el actual.

La muestra debe tomarse siempre de la misma manera y del mismo lugar durante el trabajo normal. Es ideal para poder tomar la muestra hacerlo en un área que esté antes del filtro de aceite y después de los cilindros, cojinetes, engranajes o bombas. El aceite siempre debe estar a la temperatura normal de trabajo y circular para permitir que todas las partículas e impurezas se mezclen dentro de la muestra.

Los envases de almacenamiento deben estar muy limpios, dejándolos abiertos al tomar la muestra y cerrarlos de inmediatamente (Widman International SRL, 2018).

Se puede realizar la toma de muestras por medio de tres métodos.

4.2.3.4.1 Válvulas de Muestreo. Para este caso es necesario que los equipos tengan un punto del cual se puedan tomar las muestras durante el uso normal del mismos. Esta válvula o

punto de muestreo debe instalarse delante del filtro para recoger todas las partículas posibles. Debe ser donde circule el aceite a baja presión, no en la base del cárter o un área sin circulación. Para tomar una muestra, debe:

- Retirar la tapa de la válvula y conectar una manguera si es necesario.
- Presionar el botón de la válvula para que fluya suficiente aceite para excluir aceite viejo que posiblemente se haya quedado atrapado y limpiar la boquilla de la válvula.
- Acercar el frasco de la muestra vacío debajo de la válvula y llenarlo un 80% aproximadamente.
- Colocar y asegurar la tapa del frasco hasta que se haya asegurado la integridad del sello.
- Colocar y asegurar la tapa de la válvula en su lugar para mantener todo limpio.
- Diligenciar el formato de la etiqueta del frasco con la debida información o cerciorarse si ya se hizo.

4.2.3.4.2 Bomba de Succión. Se debe asegurar de que las mangueras utilizadas con las bombas sean correctas y nuevas para cada una de las muestras. El uso de una manguera ya utilizada dará un resultado de prueba incorrecto.

Evitar rayar el costado del tanque o la tubería de entrada al insertar la manguera de la bomba de vacío. Para poder tomar una muestra se tiene que:

- Medir y cortar la manguera nueva de la misma longitud de la varilla medidora. Debe llegar al centro del tanque.
- Introducir la manguera por el cabezal de la bomba de vacío y apriete la tuerca de retención. La manguera debe pasar por el cabezal y terminar otros 3 mm adicionales.
- Colocar y asegurar el frasco de muestra nuevo en la bomba y pasar la manguera al aceite, sin dejar que toque con el fondo del cárter.

- Crear un vacío en la bomba, manteniéndola en posición horizontal para procurar que el aceite no contamine la misma. Si el aceite contamina la bomba, debe descargarse y limpiarse antes de tomar la siguiente muestra.
- Dejar que se llene el frasco de muestra hasta que llegue a un 80% de capacidad.
- Retirar la manguera del sistema y la bomba para poder desecharla.
- Colocar y apretar la tapa del frasco de muestra hasta asegurar la integridad su sello.

Diligenciar el formato de la etiqueta del frasco con la debida información o cerciorarse si ya se hizo.

4.2.3.4.3 Muestra del Drenado o Tapón. Tomar una muestra de aceite drenando es el método con menor confiabilidad. Si la muestra se toma comenzando el drenado del aceite, puede recolectarse un aceite más sucio y/o en condiciones peores de lo que es en realidad.

Para hacerlo correctamente, debe asegurarse que el aceite esté muy caliente y que el vehículo esté recién parado, para evitar cualquier contaminación extraña que haya podido asentarse cerca del tapón. Para poder recolectar la muestra, debe:

- Limpiar las zonas cercanas al tapón para evitar alguna contaminación externa.
- Dejar fluir suficiente aceite para eliminar cualquier partícula, lodo o residuo no representativo de la zona cercana al tapón.
- Colocar y asegurar el frasco de la muestra bajo el flujo de aceite y dejar que se llene el frasco de muestra hasta que llegue a un 80% de capacidad.
- Colocar y ajustar la tapa en el frasco de la muestra hasta haber asegurado la integridad del sello.
- Diligenciar el formato de la etiqueta del frasco con la debida información o cerciorarse si ya se hizo (Widman International SRL, 2018).

En los tres casos de toma de muestra es importante llevar la muestra al laboratorio lo antes posible.

4.2.3.5 Pruebas para medir el cambio en las propiedades del aceite lubricante. Todas las pruebas de laboratorio que se van a llevar a cabo en este proyecto estarán reguladas bajo la normativa del organismo ASTM (American Society for Testing and Materials) con el fin de que los resultados obtenidos cumplan con las normas internacionales de calidad.

4.2.3.5.1 Prueba de Viscosidad Cinemática. Según la norma ASTM D 445-21e2, este método permite determinar la viscosidad cinemática, de productos derivados del petróleo en estado líquido, pudiendo ser tanto transparentes como opacos. Consiste en medir el tiempo requerido para que una pequeña cantidad de líquido fluya bajo los efectos de la gravedad a través de un viscosímetro de capilar en vidrio adecuadamente calibrado.

El resultado obtenido en este método de prueba depende de cómo se comporte la muestra y está diseñado para implementarse a fluidos cuyas tasas de corte y esfuerzo cortante son proporcionales, es decir, los que se comportan como un fluido newtoniano. No obstante, si la viscosidad llega a variar de modo relevante con respecto a la velocidad de corte, se pueden obtener diferentes resultados con viscosímetros capilares de diámetros distintos. Se toma el tiempo que tarda un volumen fijo de líquido en fluir por gravedad a través del capilar de un viscosímetro calibrado bajo un cabezal impulsor reproducible y a una temperatura conocida y estrechamente controlada. La viscosidad cinemática (valor determinado) es el producto del tiempo de flujo medido y la constante de calibración del viscosímetro. Se necesitan dos valores de este tipo a partir de las cuales se calcula un resultado promedio de la viscosidad cinemática de dos determinaciones aceptables.

4.2.3.5.2 Prueba de Punto de Inflamación. La norma ASTM D92-18 dice que este es un método de prueba dinámico y depende de índices definidos de aumentos de temperatura para controlar su precisión. Su aplicación principal es para materiales viscosos derivados del petróleo con valores de inflamación sobre los 79°C (175 °F) e inferiores a 400°C (752 °F), a excepción de los aceites combustibles.

El método describe como determinar el punto de inflamación por medio de una copa abierta Cleveland manual o una copa abierta Cleveland automatizada. Aproximadamente 70 ml de muestra de prueba se llenan en una copa de prueba. El aumento de la temperatura de la muestra de ensayo es rápido al inicio y luego pasa a tener una velocidad constante más lenta a medida que va acercándose al punto de inflamación. Cada cierto intervalo se debe pasar la llama de prueba sobre la copa. El punto de inflamación es la temperatura más baja del líquido a la cual al aplicar la llama de prueba sobre la copa produce la ignición de los vapores del líquido de prueba de la muestra.

4.2.3.5.3 Espectroscopia FTIR. La norma ASTM D 7889-21 es un “método de prueba estándar para la determinación de campo de las propiedades de los fluidos en servicio usando espectrometría IR”. Este método explica la manera en que se mide la oxidación, el aditivo anti-desgaste, la nitratación, la sulfatación y el hollín, llegando a cubrir cinco métodos de prueba en servicio FTIR existentes en el análisis de fluidos en servicio. Asimismo, examina el uso de los espectrómetros proporcionando información de contenido de agua, glicol y metales.

La espectrometría IR parte de la interacción entre la materia y la radiación infrarroja, la radiación infrarroja es radiación electromagnética con una longitud de onda más larga que la luz normalmente visible, consiste en que la luz infrarroja atraviesa el material de muestra, dependiendo de su energía, esto puede desencadenar la vibración de enlaces moleculares específicos (absorción), la energía absorbida se consume, por lo que la toma del haz IR original. Esta absorción

es propia de la naturaleza de los enlaces químicos presentes en la muestra. El resultado de este método es un espectro IR el cual funciona como una huella digital que es útil para la identificación de muestras orgánicas e inorgánicas. El factor principal de una espectrometría FTIR es el interferómetro, durante la medición, el haz IR entra en el interferómetro y se dirige directamente a un divisor de haz. Luego el haz se divide y se dirige a un espejo fijo y uno móvil, respectivamente. El haz se recombina y finalmente se dirige al material de muestra. Anteriormente el análisis de las muestras se realizaba paso a paso, lo que generaba una irradiación con distintas longitudes de onda únicas. En cambio, FTIR recolecta la información espectral de todas las longitudes de onda simultáneamente ahorrando mucho tiempo.

4.2.3.5.4 Prueba de Número Base. Según la norma ASTM D 2896-21, este método cubre la determinación de constituyentes básicos en productos derivados del petróleo por titulación con ácido perclórico en ácido acético glacial. Los constituyentes que pueden considerarse con Productos derivados del petróleo características básicas incluyen bases orgánicas e inorgánicas, compuestos amino, sales de ácidos débiles (jabones), sales básicas de bases poliácidas y sales de metales pesados.

El método consiste en que la muestra se disuelve en una mezcla esencialmente anhidra de ácido acético glacial y cloro benceno y se titula con una solución de ácido perclórico en ácido acético glacial utilizando un valorímetro potenciométrico. Se utilizan un electrodo indicador de vidrio y un electrodo de referencia, el cual está conectado con la solución de muestra a través de un puente salino. Los valores obtenidos del medidor se trazan frente a los volúmenes correspondientes de la solución de titulación y el punto final se toma en la inflexión de la curva resultante (ASTM 2896-21, 2021).

4.2.4 Ficha Técnica del Camión Turbo

Tal como se observa en la **Figura 1**, podemos encontrar la ficha técnica del vehículo con el que se trabajó en este proyecto.

Figura 1.

Ficha técnica del vehículo utilizado para el Proyecto

FICHA TECNICA DEL EQUIPO				PAG:	1 DE 1
Nombre del equipo	Grupo	Número de serie	Número de la placa		
Camion Turbo	transporte de carga	9GDNHR554BBO35913	SOI 715		
				Especificaciones técnicas Gnrls.	
				Marca	Chevrolet
				Motor	Isuzu 4jb1-tc
				Referencia	NHR
				Modelo	2011
				Número de llantas	4
				Número de ejes	2
				Carga disponible maxima	1825 kg
				Motor	
				Potencia	89 hp
				Regimen de maxima potencia	3400 rpm
Regimen de maximo Torque	200rpm				
No. De cilindros y disposición	4 en linea				
Combustible	Diesel				
Aspiración	Turbo				
Frenos		Eje		Dirección	
Principal:		Delantero:		Marca	Isuzu
Marca	Isuzu	Isuzu F029		Tipo	Hidráulica
Tipo	Hidráulico	Eje		Referencia	Estandar
Parqueo:		Trasero:			
Marca	Isuzu	Isuzu R036			
Tipo	Guaya				

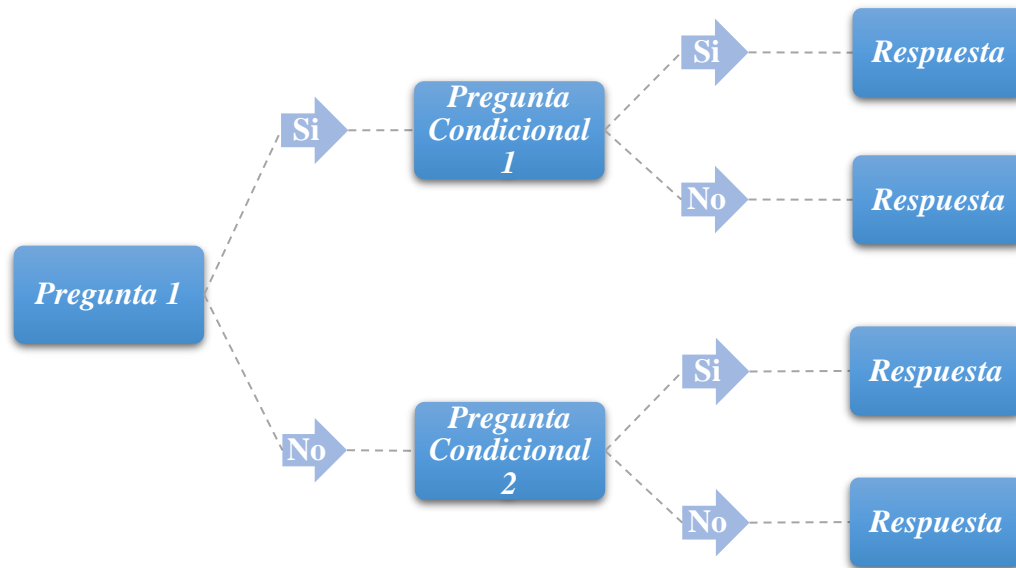
4.2.5 Árbol Lógico de Decisiones

El árbol lógico de decisiones es una herramienta que permite localizar y clasificar fallas dependiendo de la naturaleza de estas y con esto considerar que tipo de acciones tomar. El método consiste en responder una serie de preguntas dicotómicas partiendo desde una variable/pregunta principal que se responden con un sí o un no. Se utiliza la lógica deductiva para proceder consecuentemente a través de la falla y así poder llegar a una conclusión y con esto, también, poder determinar las tareas más convenientes de mantenimiento que se puedan llevar a cabo.

En la siguiente **Figura 2** se aprecia la estructura de un árbol lógico de decisiones:

Figura 2.

Esquema básico de un árbol lógico de decisión



4.2.6 Estudio de Tendencia

El estudio o análisis de tendencia es un procedimiento/herramienta empleada para analizar datos y comportamientos de variables durante un periodo de tiempo determinado para producir una gran cantidad de información valiosa. El estudio de tendencia puede ser de gran importancia porque es un indicador de posibles problemas o cambios abruptos en el comportamiento de las variables lo cual permite actuar de manera temprana y así evitar cualquier imprevisto.

Hay diversas formas de llevar a cabo un estudio de tendencia y obtener resultados buenos, como, por ejemplo, encuestas, muestreos, entrevistas, observación, entre otros. Cabe resaltar que la autenticidad de los datos determina la precisión del pronóstico de tendencia. Cuanto más precisos sean, mejor será análisis de tendencia.

5. Metodología

Este proyecto cumple con las características de un estudio de campo descriptivo en la categoría de un proyecto viable, entendiendo el proyecto viable como: crear y desarrollar una propuesta de un modelo operativo factible para resolver problemas, necesidades o exigencias organizacionales o sociales; pudiendo aludirse a la formulación de procesos, políticas, programas, tecnologías o métodos.

Por lo tanto, el proyecto de investigación tiene como objetivo estudiar el comportamiento del aceite lubricante utilizado en un motor Diésel de un equipo de transporte de carga, caracterizando sus propiedades físico-químicas.

Para llevar a cabo este proyecto hubo varias consideraciones en relación con el procedimiento en si del análisis de aceite, desde las variables a analizar y el método de recolección de muestras, hasta el comportamiento de los resultados obtenidos.

- Para la identificación de las variables se hizo un estudio de la documentación variada que se recolectó relacionada con el tema; teniendo en cuenta también la asesoría de un experto en el área.
- Se hicieron tomas de muestras del aceite periódicamente utilizando el método de recolección por bombeo con el fin de obtener una población con características representativas.
- Para determinar los valores de las propiedades de cada una de las muestras recolectadas, estas se sometieron a pruebas de laboratorio regidas por la normativa ASTM.
- A manera de complementar las pruebas realizadas también se hicieron diagramas de árboles lógicos de decisiones teniendo en cuenta la normativa ASTM.

5.1 Análisis de la documentación

Consultar acerca de las propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes y la importancia de que un motor de combustión interna cuente con un lubricante en el sistema con el fin de proporcionar mayor facilidad en la operación del motor y así alargar su vida útil como equipo funcional, es necesario indagar a profundidad las distintas características, especificaciones, funcionamiento mecánico, subsistemas, tribología, índices de fallas, tipos de fallas y técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo de un motor diésel, complementariamente se debe buscar acerca de las pruebas de análisis de aceite relacionadas con la degradación de sus propiedades fisicoquímicas y de igual manera con la detección de contaminantes en el aceite lubricante, para finalmente poder comprender de forma íntegra como influye la degradación y contaminación del aceite lubricante en la operación y funcionamiento del motor diésel y así establecer las diferentes pruebas a realizar para el desarrollo del proyecto.

5.1.1 Propiedades físico-químicas

Teniendo en cuenta el contenido y los conceptos estudiados que brinda la materia de Tópicos especiales - Tribología de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander y la información consultada en diferentes artículos científicos, informes, tesis de grado, libros y planes de estudio que se encuentran dentro y fuera de las bases de datos de la biblioteca (UIS) vinculadas con el tema de análisis de lubricantes en motores diésel, se logró determinar las propiedades fisicoquímicas que reflejan el estado del aceite lubricante, viscosidad cinemática, índice de viscosidad, punto de inflamación, TBN, ceniza sulfatada, resistencia a la oxidación, nitración, sulfatación, demulsibilidad y aditivo.

Sin embargo, estos factores no son los únicos para tener en cuenta, es por eso que se debe estudiar y observar las condiciones en las que está operando el aceite, como lo son las velocidades

de fricción, temperatura, entorno y magnitud del servicio, posibles contaminantes, el estado en el que se encuentra el motor y los kilómetros en los que ha estado en uso el aceite en análisis. Los contaminantes que frecuentemente se llegan a presentar en el aceite son agua, aire, combustible, partículas metálicas, refrigerante, y barniz.

5.2 Proceso de muestreo

Hay que tener en cuenta dos variables, la primera es que si durante el proceso de extracción la muestra se contamina por algún factor externo esta muestra no será válida para realizar los correspondientes análisis y en segundo lugar se debe extraer una muestra representativa del aceite a analizar, por ende si no se realiza una correcta toma de muestras las pruebas subsecuentes arrojarán resultados alterados e imprecisos, es por esto que se debe establecer las cantidades de las muestras y periodos de extracción en base a la capacidad de aceite que tiene el motor del vehículo y además debe establecerse la forma de extracción más adecuada.

Para determinar la cantidad de muestras a extraer y la frecuencia con la que se hace cada toma de muestra, hay que considerar la capacidad de almacenamiento que tiene el motor para el aceite lubricante.

Además, el cambio de aceite establecido para el motor del vehículo es a los 6.000 kilómetros recorridos, así que conociendo la capacidad de aceite con la que cuenta el motor, el kilometraje del cambio de aceite y considerando que este debe trabajar constantemente durante largos viajes, sin poner en riesgo su operación, se debe decidir la frecuencia con la que se realizará cada toma de muestra del aceite lubricante Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40.

Para efectuar la extracción de las muestras del aceite lubricante del motor Diésel del equipo se tuvieron en cuenta varios aspectos importantes antes, durante y después del proceso, todo esto

con el fin de poder ejecutar una serie de pasos que conllevarían a un excelente muestreo y toma de una muestra representativa.

Lo primero que hay que considerar son las condiciones de operación del motor antes y durante la extracción del aceite, el motor debe estar encendido y en funcionamiento, ya que el aceite debe estar circulando. A demás se debe tener listos los siguientes elementos:

- Jeringa de 50 ml
- Manguera de plástico de 1/8 de pulgada
- Envase transparente de mínimo 200 ml
- Guantes de nitrilo

Figura 3.

Elementos utilizados en la extracción de cada muestra



Para extraer la muestra, se introduce la manguera por el conducto de la varilla medidora, ya que por este se podrá acceder directamente al aceite alojado en el cárter evitando la mayor cantidad de contaminantes indeseables posibles. Se debe procurar que la manguera no haga contacto con el fondo del cárter.

No es adecuado extraer una muestra con el motor parado ya que el aceite se encontrará asentado y muchos de los componentes a analizar estarán en el fondo del cárter causando la pérdida de valiosa información.

Ya extraído el aceite se procede a envasarlo en un frasco hermético de vidrio transparente hasta llenar al menos 200 ml de la muestra. Luego se enrosca la tapa del frasco hasta asegurar el sello hermético y por último poder etiquetarlo con la información pertinente, como el kilometraje al que se tomó la muestra, fecha, y tipo de aceite.

5.3 Pruebas de Laboratorio

Una vez recolectadas todas las muestras del aceite lubricante son enviadas inmediatamente al laboratorio para ser sometidas a los procedimientos de sus respectivas pruebas de laboratorio bajo la normativa ASTM permitiendo medir y comparar el cambio en las propiedades físico-químicas del aceite lubricante y al mismo tiempo obtener resultados que cumplan con los requisitos de las normas internacionales de calidad.

5.4 Análisis Complementario con Árboles Lógicos de Decisiones

A manera de complementar el análisis de lubricante de este proyecto, se realizarán diagramas de árboles lógicos de decisiones pensando en los posibles hallazgos que se puedan presentar en la prueba FTIR de la norma ASTM D-7889 y con esto poder brindar un diagnóstico más completo de lo esperado.

El método de prueba estándar para determinación de campo de las propiedades de los fluidos en servicio mediante IR espectroscopia (ASTM D-7889) utiliza un espectrómetro de rejilla para obtener un espectro con datos detallados sobre el estado en el que se encuentra el fluido en servicio, específicamente se muestran lecturas de los niveles de oxidación, aditivo anti-desgaste, sulfatación, nitración y hollín en fluidos de tipo hidrocarburo (API Grupo 1-1V). El aceite Mobil

Delvac MX ESP SAE15W40 se identifica con la característica anteriormente mencionada y se procede a seleccionar las 5 propiedades del fluido que analiza esta prueba.

6. Resultados

6.1 Determinación Pruebas Por Realizar

Se plantearon diferentes técnicas analíticas a emplear para observar la alteración de las propiedades fisicoquímicas del lubricante y asimismo identificar los posibles contaminantes y la degradación del aceite, estas técnicas se clasifican en la determinación de la degradación del aceite y la contaminación presente en este:

La técnica ASTM D445-21, es el método de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos, esta prueba como su nombre lo indica consiste en determinar la viscosidad cinemática del líquido midiendo el tiempo que le toma en fluir por la fuerza gravitacional dentro de un viscosímetro capilar, esto con el fin de analizar si hay alguna variación desde la muestra virgen hasta el cambio del aceite en uso, ya que la viscosidad es la característica más importante del lubricante debido a que influye en la capacidad de carga de trabajo, en la disminución de fricción entre las superficies y el rendimiento del motor, evitando el desgaste en las piezas y permitiendo el funcionamiento del motor en las condiciones necesarias y adecuadas.

En segundo lugar, está la técnica ASTM D92-18, método de prueba estándar para punto de inflamación que determina la temperatura mínima a la cual el aceite se inflama cuando desprende una cantidad significativa de vapores al exponerlo a una llama, este valor brinda información sobre la amplitud del corte de destilación empleado en la base para así lograr la identificación de

contaminantes por productos aún más volátiles, este valor varía según la evaporación de las partes volátiles del aceite o también por la presencia de combustible.

En tercer lugar, se encuentra la técnica ASTM D2896-21, método de prueba estándar para determinar el número base de productos derivados del petróleo mediante titulación potenciométrica de ácido perclórico.

6.2 Muestreo

Para poder determinar la cantidad de muestras a extraer y la frecuencia con la que se hace cada toma de muestra, se tuvo que considerar la capacidad que tiene el motor para el almacenamiento del aceite lubricante, el cual es de 8/4 de galón de aceite lubricante, esto quiere decir que cuenta con 2 galones de capacidad, que convertidos a litros son:

$$\text{Capacidad de aceite} = 2 [\text{Gal}] * \frac{3.785 [L]}{1 [\text{Gal}]} = 7.57 [L]$$

Adicionalmente el cambio de aceite establecido para el vehículo es a los 6.000 kilómetros recorridos, de esta forma teniendo conocimiento de la capacidad de aceite con la que el motor cuenta, del kilometraje al que se realiza el cambio de aceite y considerando que este trabaja sin interrupción durante largos viajes, se decide que la frecuencia con la que se realizarán las tomas de muestra es de 1.000 kilómetros recorridos, obteniendo un total de 7 muestras habiendo incluido la muestra virgen del aceite lubricante Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40.

En cuanto a la cantidad de mililitros por muestra, se determina mediante el requerimiento de mililitros por prueba que se vaya a realizar al aceite lubricante; la prueba de viscosidad cinemática bajo la norma ASTM D445-21 necesita de 20 ml de aceite, la prueba de punto de inflamación bajo la norma ASTM D92-18 necesita de 80 ml de aceite y la prueba para determinar el número básico bajo la norma ASTM D2896-21 necesita de un mínimo de 70 ml de aceite, sumando un total de 170 ml. Dado que no es conveniente sacar cantidades exactas por posibles

problemas o situaciones que puedan presentarse durante los procedimientos de laboratorio se aproxima a una cantidad de 200 ml por toma de muestra, este valor multiplicado por la cantidad total de muestras a extraer menos la muestra virgen debe ser menor que $\frac{1}{4}$ de la capacidad de almacenamiento de aceite del motor, con el propósito de que el motor no se vea afectado en su operación regular.

$$200 [ml] * (7 - 1) = 1.200 [ml] < 1.893 [ml]$$

6.2.1 Muestras Tomadas

- Muestra V

La muestra virgen se obtuvo el día en el que se hizo el cambio de aceite del vehículo NHR Chevrolet modelo 2011 que se realizó el 12 de septiembre del año 2022 en el servicentro Campo Hermoso SAS ubicado en el barrio Campo Hermoso, Bucaramanga. Este cambio de aceite se hizo cuando el vehículo contaba con 276.330 kilómetros recorridos desde su fecha de fabricación hasta dicha fecha.

- Muestra #1

El día 20 de septiembre del 2022 a las 8:20 pm en la calle 31#11-54 en el barrio centro de Bucaramanga se realizó la extracción de la primera muestra del aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40 al motor del vehículo turbo NHR modelo 2011 marca Chevrolet con un kilometraje del aceite de 1071 km recorridos después del cambio de aceite y sumando un total de 277.401 kilómetros.

- Muestra #2

El día 27 de septiembre del 2022 a las 11:00 am en la carrera 17#4-1 en el barrio San Francisco de Bucaramanga se realizó la extracción de la segunda muestra de aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40 al motor del vehículo turbo NHR modelo 2011 marca Chevrolet con un

kilometraje del aceite de 1951 km recorridos después del cambio de aceite y sumando un total de 278.281 kilómetros.

- Muestra #3

El día 30 de septiembre del 2022 a las 8:30 pm en la calle 31#11-54 en el barrio centro de Bucaramanga se realizó la extracción de la tercera muestra de aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40 al motor del vehículo turbo NHR modelo 2011 marca Chevrolet con un kilometraje del aceite de 3011 km recorridos después del cambio de aceite y sumando un total de 279.341 kilómetros.

- Muestra #4

El día 7 de octubre del 2022 a las 6:30 am en la calle 31#11-54 en el barrio centro de Bucaramanga se realizó la extracción de la cuarta muestra de aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40 al motor del vehículo turbo NHR modelo 2011 marca Chevrolet con un kilometraje del aceite de 4039 km recorridos después del cambio de aceite y sumando un total de 280.369 kilómetros.

- Muestra #5

El día 10 de octubre del 2022 a las 7:00 am en la calle 31#11-54 en el barrio centro de Bucaramanga se realizó la extracción de la quinta muestra de aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40 al motor del vehículo turbo NHR modelo 2011 marca Chevrolet con un kilometraje del aceite de 5023 km recorridos después del cambio de aceite y sumando un total de 281.353 kilómetros.

- Muestra #6

El día 22 de octubre del 2022 a las 7:30 am en la calle 45#7 Occidente en el barrio Campo Hermoso de Bucaramanga se realizó la extracción de la sexta muestra de aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40 al motor del vehículo turbo NHR modelo 2011 marca Chevrolet con un kilometraje del aceite de 6228 km recorridos después del cambio de aceite y sumando un total de 282.558 kilómetros.

6.3 Resultados de las pruebas de laboratorio

Luego de obtener y anotar los resultados de todas las muestras se organizaron en tablas para facilitar su interpretación, como se ilustra a continuación:

Tabla 1.

Resultados de la prueba de viscosidad cinemática a 40°C y 100°C de cada muestra

Norma ASTM INTERNACIONAL D445							
Aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40							
Muestra	V	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Kilometraje	0	1.071	1.951	3.011	4.039	5.023	6.228
cSt 40°C	105,94	100,99	99,91	97,18	97,61	96,68	96,4
cSt 100°C	13,75	13,32	13,12	12,94	12,96	12,87	12,89

Tabla 2.

Resultados de la prueba de punto de inflamación de cada muestra

Norma ASTM INTERNACIONAL D92							
Aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40							
Muestra	V	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Kilometraje	0	1.071	1.951	3.011	4.039	5.023	6.228
Punto de inflamación [°C]	231	230	225	229	222	222	222

Tabla 3.

Resultados de la prueba de número básico de cada muestra

Norma ASTM INTERNACIONAL D2896							
Aceite Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40							
Muestra	V	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Kilometraje	0	1.071	1.951	3.011	4.039	5.023	6.228
TBN	10,4	8,9	8,8	8,8	8,8	8,7	8,6

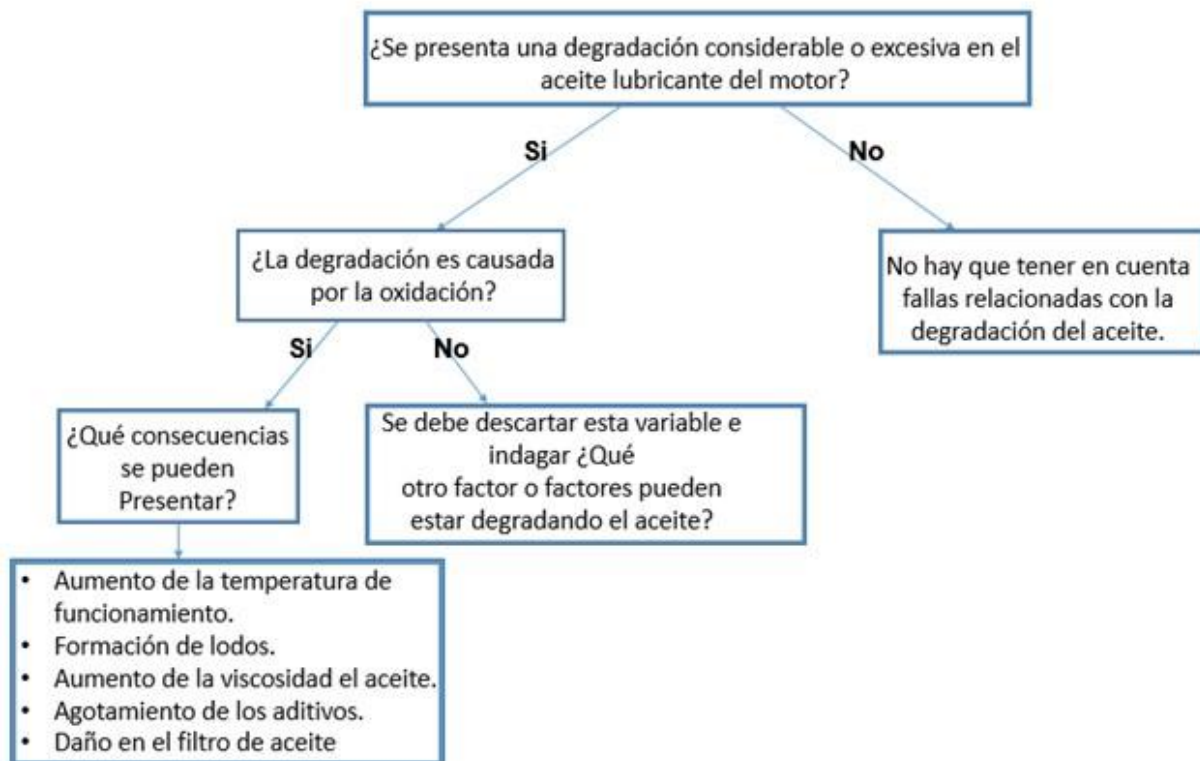
6.4 Árboles Lógicos de Decisiones

Oxidación

En la **Figura 4** se puede apreciar los posibles eventos cuando se presenta oxidación en el aceite.

Figura 4.

Diagrama de árbol lógico de decisiones para la oxidación



La oxidación es una de las tantas formas que tiene el aceite de degradarse. Es un proceso inevitable e irreversible que sufre el aceite cuando sus moléculas “entran en contacto” con los átomos del oxígeno.

Altos niveles de oxidación comúnmente son generados por los elementos de oxidación en los gases producidos en la combustión del motor, altas temperaturas, presencia de partículas de cobre, contaminación de glicol que a la vez está relacionado con el refrigerante del motor ya que estos últimos tres funcionan como catalizadores en la reacción química y también por prolongados cambios del aceite lubricante.

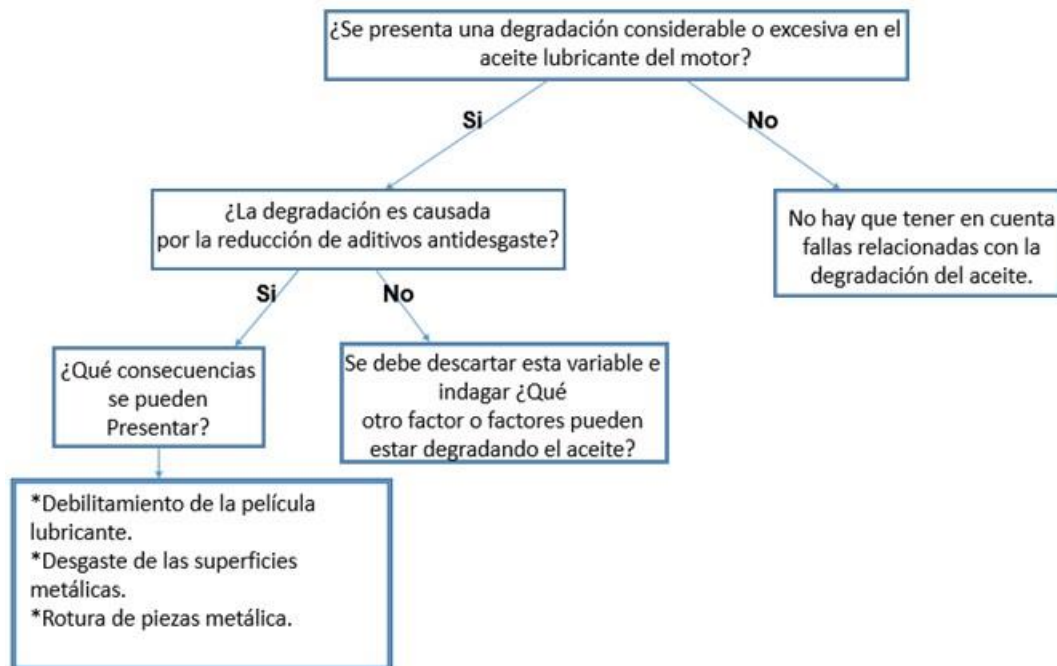
En relación con la oxidación del aceite las fallas más comunes que se pueden presentar en el equipo son, atascamiento en los anillos lo que puede llevar a una mala combustión, daño en el filtro de aceite, consumo de energía desmedido, fallas en el arranque, generación de barnices y lacas en áreas calientes, daños en el radiador y no es muy común, pero por eso no es menos importante, un ataque corrosivo del aceite efecto de la acidificación.

Reducción de aditivos de desgaste

En la **Figura 5** se puede apreciar los posibles eventos cuando se presenta degradación del aditivo anti-desgaste.

Figura 5.

Diagrama de árbol lógico de decisiones para la reducción de aditivos



Los aditivos son compuestos químicos que se le agregan al aceite con el fin mejorar sus propiedades de trabajo e incluso añadir nuevas. Un buen aceite con aditivos de buena calidad puede sobrepasar con facilidad la capacidad de lubricar de un aceite con malos y pobres aditivos.

En el caso de los aditivos anti-desgaste, estos se encargan de brindar un efecto de protección para poder evitar el contacto metal-metal entre las piezas del motor.

Los aditivos anti-desgaste están principalmente conformados por fósforo y zinc y cuando estos componentes se ven reducidos en el aceite este se ve directamente afectado en el debilitamiento de la película lubricante. La reducción de estos aditivos está relacionada por la

contaminación con hollín y la baja calidad del aditivo usado que no soporta las altas temperaturas de trabajo.

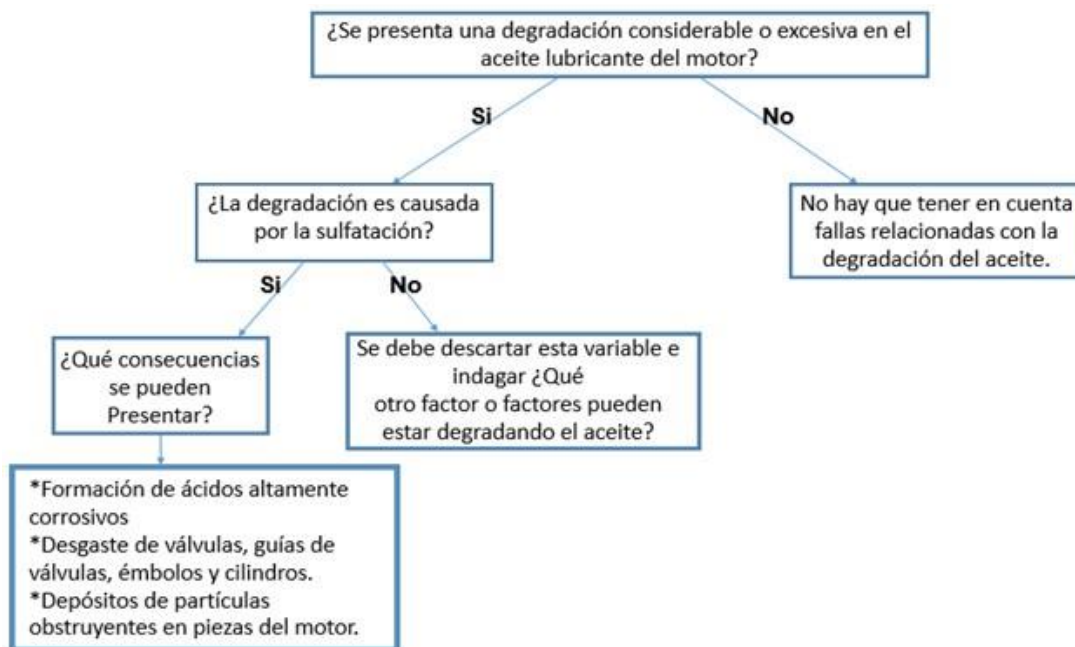
En consideración con la reducción de los aditivos anti-desgaste las fallas más comunes que se pueden presentar son, desgaste de piezas metálicas y combustión incompleta en el motor en relación con la contaminación excesiva por hollín.

Sulfatación

En la **Figura 6** se puede apreciar los posibles eventos cuando se presenta sulfatación en el aceite.

Figura 6.

Diagrama de árbol lógico de decisiones para la sulfatación



La sulfatación es un fenómeno causado por la oxidación de compuestos de azufre del combustible en el aceite y es otro factor más relacionado con la degradación del aceite lubricante.

Su incremento al transcurrir el tiempo es un indicador de posibles defectos en el motor en general o alguno de sus subsistemas.

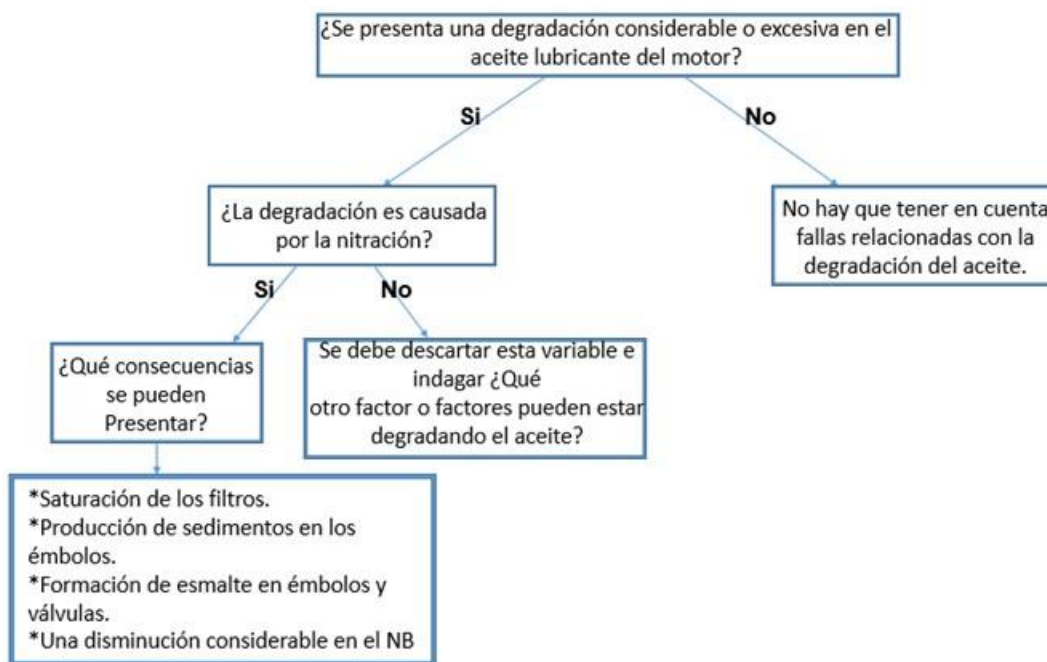
Las fallas relacionadas con la degradación del aceite a raíz de la sulfatación pueden ser mal funcionamiento de los inyectores de combustible, obstrucción de conductos o atascamiento en guías de válvulas, émbolos, anillos, cilindros y pistones causada por depósito de grumos o lodos, desgaste de piezas metálicas causado por la abrasión del aceite.

Nitración

En la **Figura 7** se puede apreciar los posibles eventos cuando se presenta oxidación en el aceite.

Figura 7.

Diagrama de árbol lógico de decisiones para la nitración



La nitración es una situación despreciable que significa que el aceite se está llenando con compuestos de óxido de nitrógeno. Y paralelo a los otros tipos de oxidación, también es un fomentador e indicador de la degradación del aceite.

Aunque sea más común que se presenten niveles alarmantes de nitración en motores de gas combustible, en los motores Diésel se pueden presentar si llega a haber alguna falla relacionada

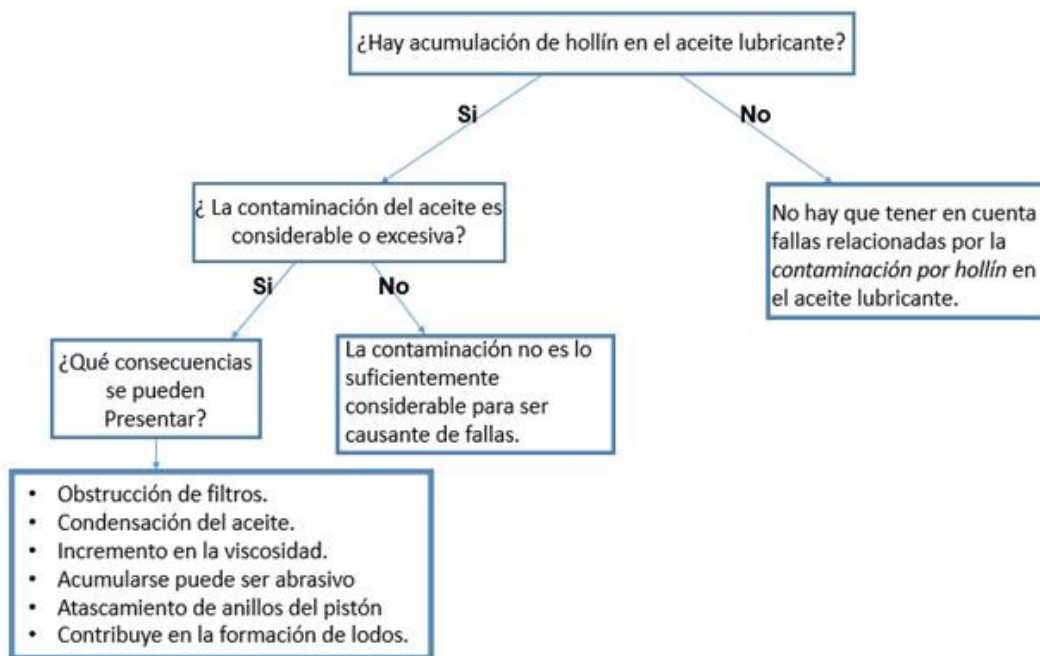
en el proceso de combustión del motor y esto puede ocasionar un aumento en la viscosidad del aceite, taponamiento del filtro, aumento del consumo de aceite, depósito de sedimentos en válvulas y pistones, y generación de esmaltes y lacas en zonas muy calientes.

Hollín

En la **Figura 8** se puede apreciar los posibles eventos cuando hay presencia de hollín en el aceite.

Figura 8.

Diagrama de árbol lógico de decisiones para el hollín



El hollín o también conocido como materia carbonosa es un contaminante insoluble casi que inevitable que se produce durante el proceso de la combustión y viaja en forma de partículas por los gases producidos en la misma hasta llegar al cárter. Las causas principales de altos niveles de hollín en el aceite son cambios de aceite extendidos, aceleración excesiva del motor o ingreso de aire muy frío. También se debe estar presentando una combustión incompleta y es un indicativo de problemas de inyección o de admisión en la cámara de combustión.

Altos niveles de hollín están directamente relacionados con el rápido consumo de los aditivos detergentes/dispersantes (calcio y magnesio) y el espesamiento del aceite, esto puede ocasionar fallas como taponamientos en el filtro de aceite y venas de lubricación, formación de depósitos de lodo, desgaste de componentes metálicos por abrasión, atascamiento en los anillos de los pistones y fugas de aceite a través de las toberas.

7. Análisis de Resultados

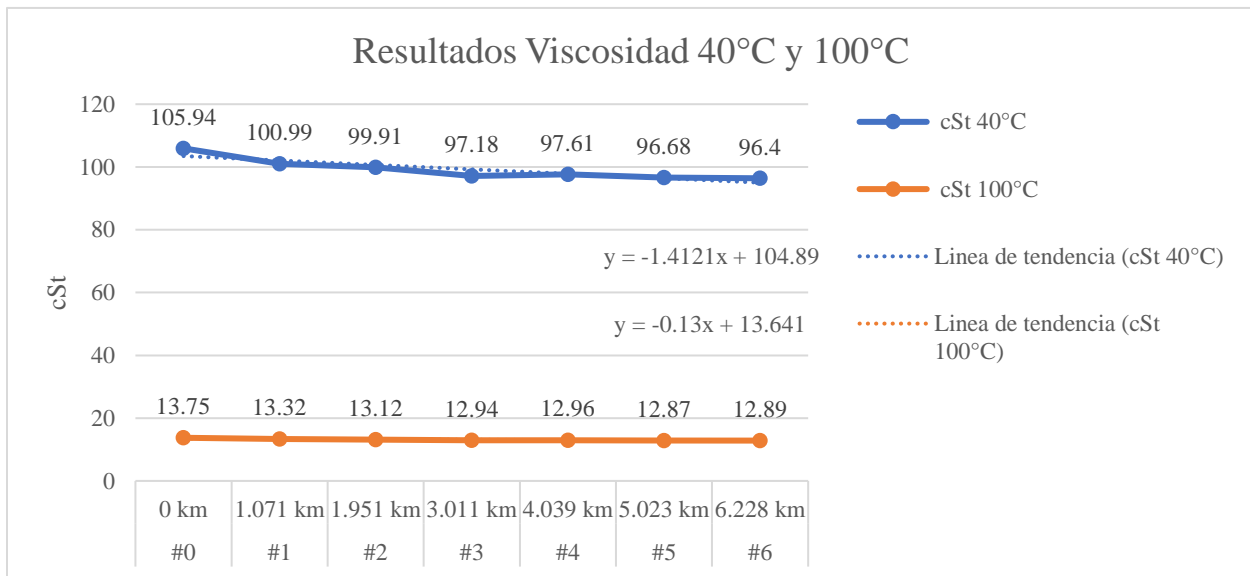
En la prueba de viscosidad cinemática a 40°C se obtuvieron resultados decrecientes a partir 105,94 a 96,4 cSt, teniendo una reducción total de 9,54 cSt. Esta disminución está indirectamente relacionada con el kilometraje recorrido del vehículo y su tiempo de operación, ya que a medida que el vehículo suma kilómetros recorridos y el tiempo de uso del aceite aumenta, la viscosidad del aceite disminuye.

Paralelamente en la prueba de viscosidad cinemática a 100°C se obtuvieron resultados decrecientes a partir 13,75 a 12,89 cSt, teniendo una reducción total de 0,86 cSt lo cual indica un comportamiento similar de los resultados obtenidos en la prueba anterior.

En la **Figura 9** se observa el gráfico de tendencia donde se logran apreciar cada uno de los valores de viscosidad de las diferentes muestras a 40°C y 100°C, con una línea de tendencia respectivamente, este gráfico lo podemos ver en la siguiente figura.

Figura 9.

Resultados de la prueba de viscosidad cinemática a 40°C y 100°C (ASTM D445)



Como se aprecia en la **Figura 9**, aunque se presenta una disminución en la viscosidad cinemática en ambas temperaturas de las pruebas, los resultados no son alarmantes ya que a 40°C la disminución de las viscosidades se mantiene dentro del 10% permisible, lo que es normal y no presenta variaciones significativas. A 100°C la viscosidad cinemática sigue disminuyendo y los resultados a pesar de no partir desde el rango indicado por el fabricante, el cual está entre 14 a 16 cSt, estos resultados continúan siendo aceptables para el trabajo que requiere el aceite ya que están por encima del límite inferior de 10%, se aprecia una disminución normal de la viscosidad entre el primer valor y el ultimo. El impacto de la pequeña disminución de la calidad del aceite puede no sea algo tan relevante en el momento, pero es un factor que se podría tener en cuenta a largo plazo para futuros planes de mantenimiento y cambios de aceite.

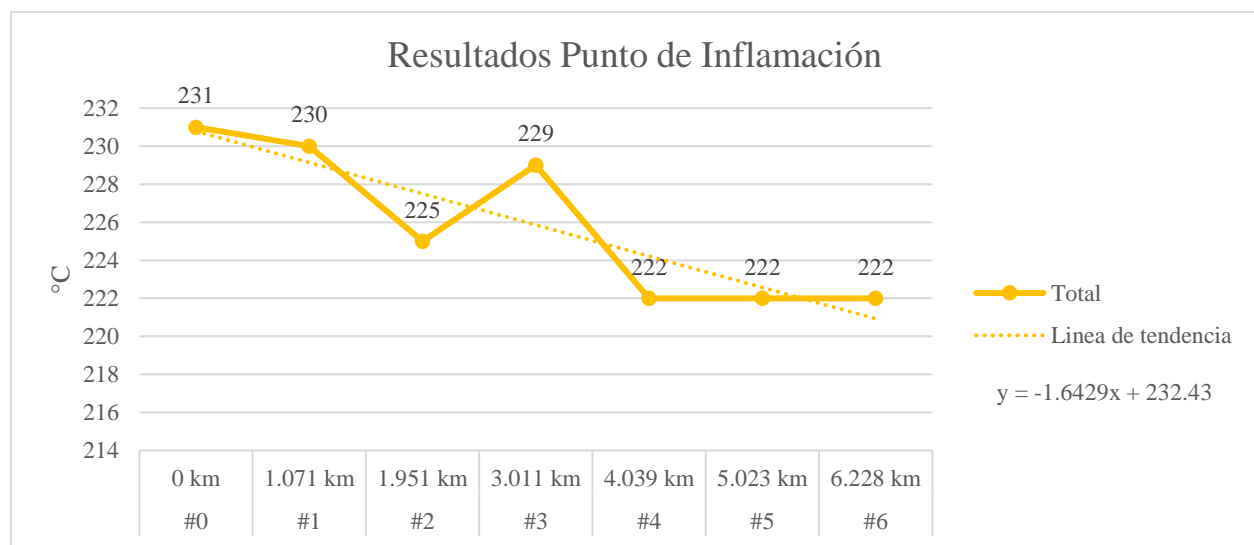
En la prueba punto de inflamación se puede observar un comportamiento decreciente del punto de inflamación a partir de 231°C a 222°C, sin embargo, se evidencia un aumento anormal del punto de inflamación de la muestra #2 a la #3. La disminución general de la variable se ve relacionada con el tiempo de operación del aceite y los kilómetros recorridos por el vehículo.

También se observa un comportamiento constante en los últimos 3 resultados generando un posible límite de resistencia inferior en el punto de inflamación del aceite.

Los resultados obtenidos se ilustraron en otro gráfico de tendencia diferente al anterior, utilizando la misma estructura para observar su comportamiento con respecto al recorrido del equipo. A continuación, en la Figura 10 se puede ver la ilustración de los resultados.

Figura 10.

Resultados de la prueba de punto de inflamación (ASTM D92)



De la **Figura 10** se puede decir que el punto de inflamación tiende a disminuir de una forma esperada, ya que la diferencia en el resultado del punto de inflamación inicial hasta el final es de tan solo 7°C, siendo una degradación normal en el aceite, debido al uso del equipo y a los largos trayectos de trabajo, además los resultados obtenidos se encuentran muy por encima del límite inferior del punto de inflamación, el cual es de 180°C según el libro de Tribología y lubricación industrial y automotriz.

Desde el punto de inflamación de la muestra #2 a la muestra #3 se generó un aumento en esta variable a causa de que en la práctica a la temperatura de 223°C por el paso de la llama se presentó un destello de halo azul, lo cual es un comportamiento normal dentro la experiencia

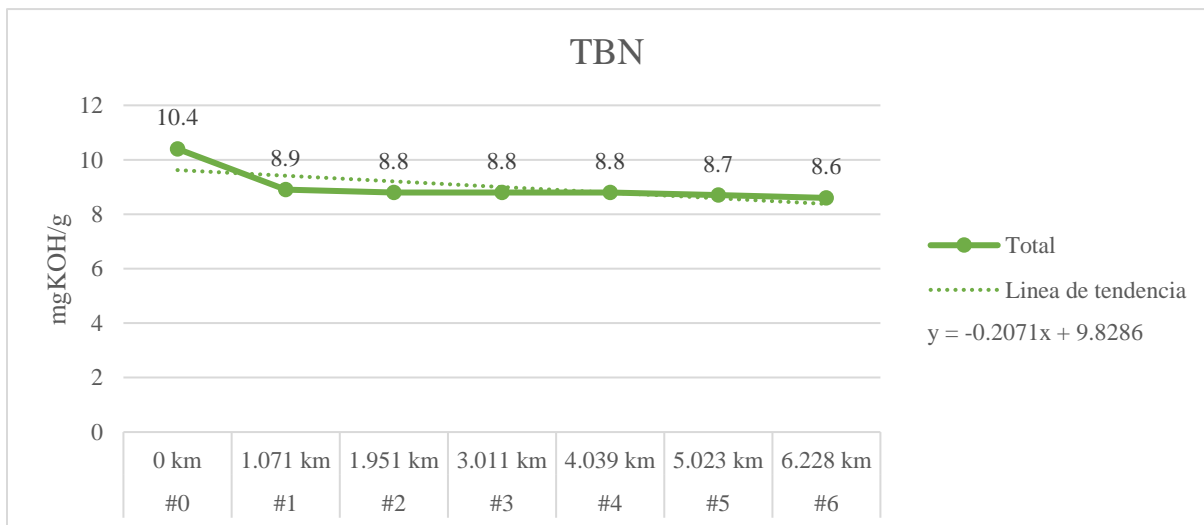
debido a que puede haber trazas de combustible en esa muestra (muestra #3), pero según la norma no se toma como el resultado real de la prueba. El siguiente destello distintivo se dio a la temperatura de 229°C.

Finalmente, según los resultados obtenidos de la prueba de TBN, la basicidad del aceite es casi constante durante su tiempo de operación, teniendo un desempeño adecuado dentro del motor, manteniendo su confiabilidad y disponibilidad. Esto es de esperarse debido a que la disminución de las reservas alcalinas del aceite no es muy común.

La **Figura 11** representa la gráfica de tendencia de los resultados obtenidos en la prueba de números básicos totales (TBN).

Figura 11.

Resultados de la prueba de TBN (ASTM D2896)



En la **Figura 11** se puede observar que los valores de TBN prácticamente no varían en el transcurso del tiempo y recorrido del equipo, únicamente presenta una pequeña diferencia entre el valor de la muestra sin uso y los demás resultados, esta variación no representa problemas ni alertas ya que no disminuye más de un 50% y asimismo se encuentra dentro del rango permisible de número básico que es entre 8 y 12 mg KOH/g, esto permite deducir que la reserva alcalina del

aceite es más que suficiente para poder perdurar en el fluido y que el aditivo detergente/dispersante es de muy buena calidad y logra combatir los contaminantes en el aceite y neutralizar los ácidos que se pueden formar a raíz de la combustión.

Amanera de agregar, las tres variables analizadas, viscosidad cinemática, punto de inflamación y número de básicos totales (TBN), se podrían relacionar en nuevos gráficos con el fin de ver cómo se comportan unas con respecto a las otras y saber qué tipo de relación pueden tener; por ejemplo, entre mayor sea la viscosidad es más probable que el valor de TBN se vea reducido y entre mayor sea el punto de inflamación, la viscosidad cinemática tiende a disminuir.

8. Conclusiones

Al conocer el tipo de aceite con el que se está trabajando y como; y cuáles son los factores contaminantes y degradantes que actúan sobre él, es más fácil establecer las pruebas que se le realizaran, logrando así reducir esfuerzos y gastos innecesarios.

Aplicar un análisis de lubricante a las muestras de aceite extraídas por medio del método descrito en este proyecto, es un proceso más sencillo y en algunos casos, practico, que desarmar sistemas del motor casi que por completo para poder predecir, prever y determinar ciertos tipos de fallas y problemas, consiguiendo así, resultados seguros e inmediatos. Y con lo anterior, lograr evitar paradas e intervenciones agresivas que detengan las funciones y operaciones de la máquina.

El comportamiento de las propiedades del aceite con respecto al tiempo fue optimo y no hay factores que pongan en duda la veracidad del análisis pese a que presentó reducciones de 9,01% y 6,25% en la viscosidad cinemática a 40°C y 100°C respectivamente, de 3,9% en el punto de inflamación y de 17,3% en el TBN las cuales se encuentran dentro de los rangos de disminución permitidos para que el aceite siga cumpliendo con su propósito.

A pesar de no obtener resultados cuantificables, la metodología del árbol lógico de decisión demuestra ser una herramienta bastante útil ya que al aplicarla a las variables principales de la norma ASTM D7889 correspondiente al método de prueba estándar para la determinación de campo de las propiedades de los fluidos en servicio mediante espectroscopia IR, permite plantear los distintos escenarios que se pueden presentar según los resultados esperados sin la necesidad de gastar recursos económicos realizando la prueba pertinente a la norma y con esto también poder establecer un posible diagnóstico para el equipo.

Se puede observar que los resultados obtenidos de las pruebas tienden a disminuir de una manera esperada en relación con el buen funcionamiento del aceite lubricante por lo cual se deduce que el equipo no presenta falla o avería relacionada con la viscosidad del aceite, número básico y punto de inflamación; aunque, como en este último se señaló que la muestra #3 puede que esté contaminada con combustible, vale la pena considerar ese detalle y de pronto hacer alguna revisión del sistema de combustión; verificar la calidad del combustible, el octanaje, el filtrado, calibración de los inyectores y funcionamiento de la bomba de combustible; lo anterior indica que el plan de mantenimiento que viene implementándose en el vehículo logra su objetivo principal el cual es salvaguardar el activo. Para futuros análisis de aceites lubricantes y modificaciones en el plan de mantenimiento se debe tener en cuenta el estudio de tendencia realizado, el cual permitió percibir que la viscosidad cinemática a 100°C se acerca considerablemente a su límite inferior justo antes del cambio de aceite, y que de haber alguna negligencia a la hora de hacer el cambio del lubricante, como sobrepasar el kilometraje sugerido por el especialista, esto atacaría gravemente la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

9. Recomendaciones

Para futuros muestreos del aceite es recomendable utilizar una bomba de succión de aceite como instrumento idóneo para la recolección del fluido lo cual permite extraer cantidades precisas de manera práctica y eficiente.

Para aumentar el alcance del proyecto y tener un análisis más profundo se requiere realizar de forma complementaria el método de prueba estándar para Agua en petróleo crudo por valoración coulométrica de Karl Fischer (Norma ASTM D4928); el método de prueba estándar para la determinación de campo de las propiedades de los fluidos en servicio mediante espectroscopia IR (Norma ASTM D7889) para identificar los valores de hollín, oxidación, sulfatación, nitración, reducción del aditivo anti-desgaste en el fluido petrolífero; el método de prueba estándar para la determinación de múltiples elementos de aceites lubricantes y aceites base usados y no usados mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) (Norma ASMT D5185) con el fin realizar un análisis elemental; y para determinar el nivel de deterioro que tienen los aditivos que posee, la eficiencia, el desgaste de los componentes que lubrica el aceite y las partículas extrañas que ingresan al sistema, lo ideal es que todas las pruebas se realicen en un mismo laboratorio para evitar problemas logísticos.

Al realizar las pruebas complementarias se obtiene más información lo cual permite llevar a cabo análisis con base a la relación de variables sobre la condición del aceite permitiendo un mejor un diagnóstico, más completo y preciso.

Referencias Bibliográficas

- Albarracín Aguilón, P. R. (2014) *Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz*. Ingenieros de lubricación
- Allauca Gualoto, W. A., & Carrillo Vallejo, A. I. (2021). *Estudio del lubricante para motores diésel 6 cilindros en línea turboalimentados basado en análisis del aceite en diferentes condiciones geográficas*.
- ANCAP. (2011). *Análisis de aceite como herramienta para el mantenimiento predictivo-proactivo*.
- ASTM. (2018). ASTM-D. Norma núm.92-18. *Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester*. <https://www.astm.org/d0092-18.html>
- ASTM. (2021). ASTM-D. Norma núm.2896-21. *Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration*. <https://www.astm.org/d2896-21.html>
- ASTM. (2021). ASTM-D. Norma núm.7889-21. *Standard Test Method for Field Determination of In-Service Fluid Properties Using IR Spectroscopy*. <https://www.astm.org/d7889-21.html>
- ASTM. (2022). ASTM-D. Norma núm.445-21e2. *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. <https://www.astm.org/d0445-21e02.html>
- Barrientos, J. D. C. (2021). *Análisis tribológico en motores Isuzu 4jj1 de la empresa coordinadora mercantil S.A (Tesis de pregrado)*. Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería, Medellín, Colombia.
- Borrás Pinilla, C. (2013). *Ingeniería de mantenimiento Material Docente*.

- Buchelli Carpio, L., & García Granizo, V. (2015). *Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite / The use of using oil analysis for early detection of faults in diesel internal combustion interna a diésel mediante la técnica de análisis*. Obtenido de Ciencia Unemi, 8(15), 84–95: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol8iss15.2015pp84-95p>
- Chura, A. F. A. (2019). *Optimización del consumo de aceite y mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de cobre en la región Moquegua*. Universidad Continental, Facultad de ingeniería, Arequipa, Perú.
- Consuegra Pacheco, Salomón. (2007). *Guía de estudio y asignatura: Motores Diesel*.
- Cortina, C. H. A. (2016). *Evaluación de los parámetros de degradación de aceite como herramienta de gestión del mantenimiento de motores Diésel-Unimaq SA (Tesis de pregrado)*. Universidad César Vallejo, Cajamarca, Perú.
- Covenin. (2011). *Covenin. Norma núm. 3049*. <https://n9.cl/yi98m>
- Delgado, J. C., Saldivia, F., & Fygueroa, S. (2014). Sistema para la determinación de la degradación del lubricante basado en el tratamiento digital de manchas de aceite de motores diésel. *UIS Ingenierías*, 13(1), 55–61.
- Díaz, C. E. M. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo de motores Diésel basado en análisis de aceite* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Guamán Albarracín, H. R., & Ávila Pesántez, O. M. (2020). *Análisis de la degradación y vida útil del lubricante motor, en un vehículo modelo Actros 3353S mediante ensayos de viscosidad y TBN* (Bachelor's tesis).
- IPP. (18 agosto, 2020). *Análisis de tendencias: ¿Por qué es tan importante el marketing?* <https://www.ipp.edu.pe/blog/analisis-de-tendencias/>

Olarte, C. W., Botero, A., & Cañon, A. (agosto de 2010). *Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria*. Obtenido de *Scientia Et Technica*, 45(16), pp. 223–226:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>

Sánchez-Gómez, A. (2017). *Técnicas de mantenimiento predictivo: metodología de aplicación en las organizaciones*.

Tormos, M. B. (2005). *Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado*. Editorial Reverté.

UNE - Normalización Española. (2018). *UNE-EN (Norma núm.13306)*. Obtenido de <https://n9.cl/wq8xr>

Widman International SRL. (2018). *Como tomar muestras de aceite*. Obtenido de https://www.widman.biz/Análisis/toma_muestras.html