

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MOTORES AUTOMOTRICES  
MEDIANTE ANÁLISIS DE ACEITE. Caso: Empresa Coordinadora Mercantil S.A.

Roland Obdulio Rodríguez Villamizar

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA, Diciembre 6 del 2017

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MOTORES AUTOMOTRICES  
MEDIANTE ANÁLISIS DE ACEITE. Caso: Empresa Coordinadora Mercantil S.A.

Roland Obdulio Rodríguez Villamizar

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO

Director: William Javier Mora Espinoza  
Ingeniero Mecánico  
wjme11@gmail.com

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
Pamplona, Diciembre 6 del 2017

## DEDICATORIA

A mi madre Martha Isabel Villamizar, quien con su invaluable cariño y apoyo incondicional, me ha dado las fuerzas necesarias para sobreponerme ante cualquier dificultad. A mi hermana Darly Yudith Rodríguez, guerrera de mil batallas, quien con su ejemplo me ha enseñado que con esfuerzo y perseverancia es posible superarse y salir adelante . A mi novia Angie Suarez Quintana, quien se convirtió en mi mayor apoyo en los momentos que sentía desfallecer. A las tres infinitas gracias, las llevo en mi corazón, espero Dios me permita siempre estar ahí cuando necesiten de mi...

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	21
1. JUSTIFICACIÓN	23
2. OBJETIVOS	24
2.1 Objetivo general.	24
2.2 Objetivos específicos.	24
3. ESTADO ACTUAL.	25
3.1 El mantenimiento en la industria.	25
3.1.1 Tipos de mantenimiento más conocidos.	25
3.1.2 Tipos de mantenimiento predictivo.	28
3.2 Aceites lubricantes.	32
3.2.1 Tipos de aceites lubricantes.	32
3.2.2 Aditivos	34
3.2.3 Principales propiedades del aceite.	35
3.2.4 Condiciones y agentes que contaminan el aceite.	39
3.3 Técnicas para el análisis de aceite.	43
3.3.1 Técnicas ópticas.	44
3.3.2 Técnicas electroquímicas.	45
3.3.3 Técnicas cromatográficas.	45
3.3.4 Métodos térmicos.	46
3.3.5 Otras técnicas analítica.	46
4. METODO EXPERIMENTAL	49

4.1	ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA FLOTA DE TRANSPORTE DE COORDINADORA MERCANTIL.	49
4.1.1	Tipos de mantenimientos realizados.	53
4.2	LISTADO DE MOVILES DE COORDINADORA MERCANTIL SEDE CALI.	55
4.2.1	MOVILES NKR I.	55
4.2.2	MOVILES NKR III.	56
4.2.3	MOVILES NHR T	57
4.2.4	MOVILES DAIHATSU	58
4.2.5	MOVILES NPR.	59
4.2.6	MOVILES NKR III ELECTRONICAS.	60
4.2.7	MOVILES FRR	61
4.2.8	MOVILES FREIGHTLINER	62
4.2.9	MOVILES INTERNACIONAL	62
4.2.10	MOVILES HINO	63
4.3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANALISIS DE ACEITE.	64
4.3.1	Tipo de aceite utilizado.	66
4.3.2	Tipos de filtros utilizados en las moviles de coordinadora mercantil.	67
4.3.3	PROCESO DE TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE Y ENVIO.	70
4.3.4	BASE DE DATOS Y HOJA DE CONTROL.	73
5.	RESULTADOS.	75
5.1	LIMITES CONDENATORIOS.	75
5.2	DATOS OBTENIDOS Y ACCIONES REALIZADAS.	77
5.2.1	Móviles FRR.	77

5.2.2	Móviles Daihatsu.	78
5.2.3	Móviles Internacional.	79
5.2.4	Móviles NPR	80
5.2.5	Móviles con anomalías particulares en la muestra de aceite.	81
5.3	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA COORDINADORA MERCANTIL.	87
6.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.	90
6.1	IMPORTANCIA DE LAS MUESTRAS DE ACEITE.	90
6.2	IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO SEGUN EL ANALISIS DE ACEITE.	91
6.3	CONFIABILIDAD EN LAS MUESTRAS DE ACEITE.	91
6.4	DISMINUCIÓN DE COSTOS A TRAVES DEL ANALISIS DE ACEITE.	92
6.5	CONDICION GENERAL DE LOS MOTORES DE LA FLOTA DE TRANSPORTE SEGUN EL ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE ACEITE.	92
6.5.1	Móviles NKR III Reward modelo 2012.	92
6.5.2	Móviles daihatsu modelo 2007	93
6.5.3	Móvil 2440 Hino modelo 2016.	93
7.	CONCLUSIONES	94
8.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.	96
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	97

## LISTA DE TABLAS.

	Pag.
<b>Tabla 1.</b> Origen de partículas metálicas en el motor.	43
<b>Tabla 2.</b> Colores de alerta, para mantenimiento preventivo.	66
<b>Tabla 3.</b> Limites Condenatorios y Acciones Predeterminadas.	75
<b>Tabla 4.</b> Valores de muestra de aceite, Móvil 2283.	82
<b>Tabla 5.</b> Valores de muestra de aceite, Móvil 2283.	83
<b>Tabla 6.</b> Valores de muestra de aceite, Móvil 2343.	84
<b>Tabla 7.</b> Costos de acciones preventivas vs costo de falla.	89

## LISTA DE GRAFICAS.

	Pag.
<b>Grafica 1.</b> Móviles FRR, Metales.	77
<b>Grafica 2.</b> Móviles FRR, Condiciones.	77
<b>Grafica 3.</b> Móviles daihatsu, metales.	78
<b>Grafica 4.</b> Móviles daihatsu, condición del aceite.	78
<b>Grafica 5.</b> Móviles internacional, metales.	79
<b>Grafica 6.</b> Móviles internacional, condición del aceite.	80
<b>Grafica 7.</b> Móviles NPR, Metales.	80
<b>Grafica 8,</b> Móviles NPR, Condición del Aceite.	81
<b>Grafica 9.</b> Móvil 2138, Condición del aceite.	82
<b>Grafica 10.</b> Condición de aceite, Móvil 622.	86
<b>Grafica 11.</b> Móvil 2440, metales.	86

## LISTA DE FIGURAS.

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Analizador de vibraciones	28
<b>Figura 2.</b> Cámara Termográfica	30
<b>Figura 3.</b> Medidor de Ultrasonido	31
<b>Figura 4.</b> Ondas Electromagnéticas.	44
<b>Figura 5.</b> Tipos de viscosímetros capilares.	47
<b>Figura 6.</b> Tabla de Colores según normativa ASTM D 130.	48
<b>Figura 7.</b> Reporte de Trabajo.	50
<b>Figura 8.</b> Interfaz Infomante.	51
<b>Figura 9.</b> Interfaz Solicitud de Trabajo, Infomante.	52
<b>Figura 10.</b> Interfaz Planeación de O.T., Infomante.	53
<b>Figura 11.</b> Móviles NKR I.	55
<b>Figura 12.</b> Móviles NKR III.	56
<b>Figura 13.</b> Móviles NHR T	57
<b>Figura 14.</b> Móviles Daihatsu.	58
<b>Figura 15.</b> Móviles NPR	59
<b>Figura 16.</b> Móviles NKR III Electrónicas.	60
<b>Figura 17.</b> Móviles FRR.	61
<b>Figura 18.</b> Móviles Freightliner.	62
<b>Figura 19.</b> Móviles Internacional.	62
<b>Figura 20.</b> Móviles Hino.	63
<b>Figura 21.</b> Programación Preventivos Noviembre.	65
<b>Figura 22.</b> Ficha Técnica TIR 7400 15W40.	67
<b>Figura 23.</b> Características Filtro de Aire.	69
<b>Figura 24.</b> Pruebas Filtro de Aire.	69
<b>Figura 25.</b> Estructura Filtro de Combustible.	70
<b>Figura 26.</b> Toma de muestras de aceite.	70
<b>Figura 27.</b> Muestras de Aceite.	71

<b>Figura 28.</b> Formatos de muestras, Vernolab.	72
<b>Figura 29.</b> Formato de Informe, Vernolab.	73
<b>Figura 30.</b> Toma de muestra de aceite, Móvil 2283.	83
<b>Figura 31.</b> Culata defectuosa, móvil 2343.	84
<b>Figura 32.</b> Culata nueva, Móvil 2343.	85

## LISTA DE ANEXOS.

	Pag.
<b>Anexo 1.</b>	98
<b>Anexo 2.</b>	98

# PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MOTORES AUTOMOTRICES MEDIANTE ANÁLISIS DE ACEITE.

Caso: Empresa Coordinadora Mercantil S.A.

Rodríguez Villamizar Roland Obdulio

Pamplona University, Km 1 Via B/manga, Pamplona, Colombia

---

## **RESUMEN.**

El presente trabajo está enfocado en el diseño y la implementación de un plan de mantenimiento predictivo a través del análisis de aceite usado en los motores de la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil S.A., Sede Santiago de Cali, Colombia. Con el fin de mantener un total conocimiento del funcionamiento interno de cada componente mecánico del motor, para de esta manera intervenirlos cuando sea necesario y poder evitar al máximo la generación de fallas que ocasionen posibles paradas no programadas de los móviles, disminuyendo de esta manera las pérdidas económicas generadas por la inoperatividad prolongada, debido a mantenimientos correctivos realizados al parque automotor, con lo cual se busca de igual forma, aumentar significativamente la productividad de la empresa.

Para la realización del proyecto primero se llevó a cabo una etapa de investigación, en donde se consultó el estado del arte en temas relacionados con el expuesto en este trabajo y se extrajeron todos los datos existentes de la flota de transporte, necesarios para crear la base de datos de la misma, una vez culminada esta etapa se da inicio a la extracción de las muestras de aceite de los motores de las ochenta y un móviles de la empresa, con el fin de empezar a enviarlas en paquetes de diez muestras al laboratorio vernolab, ubicado en la ciudad de Cartagena, Colombia. El cual las analiza, determina su composición química y física, para con esto redactar un informe que posteriormente envíen a la empresa, en base a este se tomaran las acciones pertinentes para cada móvil. Simultáneamente se trabajó en una hoja de cálculo que permitiera un control más eficiente de los resultados arrojados por los análisis, detallándose en ella los móviles en orden de marca y tipo de prioridad de intervención, con el fin de intervenir primero las que presenten altos riesgos de falla y seguir de esta manera sucesivamente, las acciones tomadas para cada parada programada, dependieron del tipo de anomalía presentada en la muestra, la corrección de la misma solo es posible determinarla a través de una nueva muestra de aceite tomada después de un tiempo prudencial de uso, por lo cual el trabajo resulta ser extenso en tiempos de espera y muy dado a los resultados estadísticos.

Palabras clave: Predictivo; Móviles; Motor; Falla; Composición.

---

## **Abstrac.**

The present work is focused on the design and implementation of a predictive maintenance plan through the analysis of used oil in the engines of the transport fleet of the company Coordinadora Mercantil S.A., Santiago de Cali Headquarters, Colombia. In order to maintain a full knowledge of the internal functioning of each mechanical component of the engine, in order to intervene when necessary and to avoid the generation of faults that cause possible unscheduled stops of the

mobiles, thus decreasing the economic losses generated by the prolonged inoperativeness, due to corrective maintenance performed on the vehicle fleet, which is sought in the same way, significantly increase the productivity of the company. For the realization of the project, a research stage was carried out first, where the state of the art was consulted on topics related to the one presented in this paper and all the existing data of the transport fleet was extracted, the last ones necessary to create the database of the same one, once culminated this stage begins to the extraction of the samples of oil of the motors of the eighty and a mobiles of the company, with the end to begin sending them in packages of ten samples to the vernolab laboratory, located in the city of Cartagena, Colombia. Which analyzes them, determines their chemical and physical composition, for this write a report that they subsequently send to the company, based on this will take the relevant actions for each mobile. Simultaneously I know how to work in a spreadsheet that allows a more efficient control of the results thrown by the analysis, detailing in it the motives in order of brand and type of intervention priority, in order to intervene first those that present high risks of fail and follow in this way successively, the actions taken for each scheduled stop, depended on the type of anomaly presented in the sample, the correction of the same can only be determined through a new sample of oil taken after a prudential time of use, for which the work turns out to be extensive in waiting times and very given to the statistical results.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aceite lubricante tiene varias funciones importantes, la principal es reducir la abrasión por fricción, eliminando agentes corrosivos manteniendo de esta manera los componentes mecánicos en buenas condiciones de funcionamiento, los aditivos se utilizan para mejorar esta función o para proporcionar propiedades adicionales tales como la de mantener viscosidades apropiadas a diferentes temperaturas entre otras. Las causas principales de la degradación de los aceites lubricantes están relacionadas con fenómenos de oxidación, degradación de las cadenas moleculares y contaminación por residuos insolubles e impurezas metálicas, debidos a fenómenos térmicos y abrasiones mecánicas. La degradación del aceite lubricante se acompaña de cambios en su viscosidad, para analizar los aceites lubricantes se han desarrollado diferentes métodos, entre estos se encuentran: cromatografía, espectroscopia de

infrarrojos, resonancia magnética nuclear, y la espectroscopia de absorción atómica. (Silva, 2013)

El desarrollo de los motores de combustión interna, se ha centrado en las últimas tres décadas en la reducción del impacto negativo sobre el medio ambiente que en gran medida se asocia con la reducción de las emisiones tóxicas de gases de escape a la atmósfera, pero también con la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, que aunque no es un gas tóxico, se considera perjudicial porque intensifica la ocurrencia del efecto invernadero. La reducción de las emisiones de dióxido de carbono sólo puede lograrse reduciendo el consumo de hidrocarburos, dado que el consumo de combustible depende de la demanda de potencia y la eficiencia total del motor, se debe reducir la fricción y las pérdidas mecánicas, las pérdidas de la bomba de aceite son las más altas de todas las unidades auxiliares, esta situación es aún peor cuando la temperatura del aceite es baja, porque la viscosidad aumenta de

una manera exponencial y la demanda de energía de la bomba de aceite también aumenta. (EwaRostek, 2017)

El presente trabajo está centrado en el análisis de la composición de los aceites lubricantes usados en los motores diesel, pertenecientes a la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil sede Cali, con el fin de controlar variaciones drásticas en sus condiciones que puedan perjudicar los elementos mecánicos, evitar la aparición de agentes que puedan precipitar la degradación del aceite y mantener un estricto control en la contaminación producida por combustiones defectuosas al igual que gastos innecesarios de energía por viscosidades elevadas.

## **2. EXPERIMENTAL**

El siguiente trabajo se desarrollo en la empresa Coordinadora Mercantil en la sede de Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia, denominada como la terminal número tres en orden de mayor importancia en cuanto al tamaño y apunta a ser la terminal número dos en cuanto al volumen de mercancía que transporta, cuenta con alrededor de 300 empleados, 22 de ellos establecidos en el área de mantenimiento, la empresa dispone de ochenta y un móviles para transportar la mercancía en el sur occidente de Colombia, esta área comprende las ciudades de Cali, Pasto, Popayán y Buenaventura, entre otras.

Las móviles están destinadas a dos tipos de rutas denominadas rutas locales y domesticas, las locales comprenden el área metropolitana de Cali, y las domesticas cubren los viajes inter municipales entre las diferentes ciudades de la región. Cada móvil cuenta con un número interno el cual sirve para identificarla en ruta, esto

teniendo en cuenta que la empresa cuenta con seguimiento satelital y dedica un estricto cuidado a la posición y los tiempos que se manejan en las entregas y recogidas de mercancía, a continuación se describirán los tipos de mantenimiento manejados por la empresa, se definirán los datos relevantes de cada móvil, y se profundizara en el trabajo realizado por parte del autor

### **2.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANALISIS DE ACEITE.**

La empresa Coordinadora Mercantil S.A., ha implementado desde hace algún tiempo el mantenimiento predictivo a los motores de la flota de transporte, basándose en la toma de muestras de aceite usado, esto con el fin de sustentar de manera científica los lapsos de tiempo o recorrido entre cambios de aceite, el mantenimiento centrado en la confiabilidad es el estandarte del mantenimiento en Coordinadora Mercantil, el aceite de motor, caja y diferencial es el ejemplo más notorio de la aplicación del mismo, los cambios de aceite son prolongados hasta que según los componentes de la muestra de aceite analizada por los ingenieros, sus propiedades empiezan a tornarse inapropiados para los componentes mecánicos.

El trabajo realizado consistió principalmente en basarse en los análisis de las muestras de aceite de motor usado, no solo para decidir cuánto tiempo más puede mantenerse el aceite en el motor, sino también para conocer de primera mano las condiciones de operación del mismo, para de esta manera corregir de manera especializada las anomalías presentes, desde sus inicios, evitando de esta manera que se puedan transformar en

futuras fallas reales que puedan generar contratiempos en la operatividad de la flota.

la estrategia utilizada para poder corregir anomalías en los motores que las presentaron, fue estructurar la programación del mantenimiento preventivo, ya existente, basado en los resultados del mantenimiento predictivo, la empresa permite al jefe de mantenimiento parar diariamente dos móviles programadas con anterioridad para su respectivo mantenimiento, esto se aprovecho, programándose en orden de importancia, a las móviles que presentaban mayores anomalías en la muestra de aceite y así sucesivamente, de esta manera se logro trabajar en cada motor de manera individual, corrigiendo directamente los componentes que según la muestra de aceite presentaban inconvenientes. Claramente no es suficiente solo intervenir un elemento y suponer que el problema está resuelto, se debía corroborar que el problema se había sustraído del motor, para lo cual se hizo necesario pasado un tiempo prudencial de operatividad del motor, volver a tomar una nueva muestra, la cual indicaría si las acciones realizadas en el mantenimiento tuvieron éxito o si por el contrario se debía programar de nuevo la móvil para un nuevo cheque

La empresa Coordinadora Mercantil S.A., actualmente utiliza para sus motores automotrices aceite sintético, rubia tir 7400 15w40 de la marca Total, este aceite se está usando hasta que cumple los diez mil kilómetros de recorrido o cumple cuatro meses de uso, tiempo determinado por los estudios realizados por los ingenieros de la compañía, que determinaron propiedades adecuadas hasta este lapso de tiempo o recorrido.

## 2.2 PROCESO DE TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE Y ENVIO.

Para la toma de muestras de aceite se debe seguir un cuidadoso proceso, esto con el fin de que la muestra no se contamine y de esta manera tener resultados altamente confiables que permitan a su vez tomar decisiones acertadas.



El técnico dispone como la imagen lo sugiere de un mecanismo compuesto de un recipiente de seguridad y una manguera, de uso único, proporcionados por la empresa total, la bomba de succión por vacio, pertenece a la empresa coordinadora mercantil y es utilizada para tomar cada muestra, estos implementos están destinados a evitar cualquier tipo de contaminación con el ambiente y posterior alteración de los resultados obtenidos.

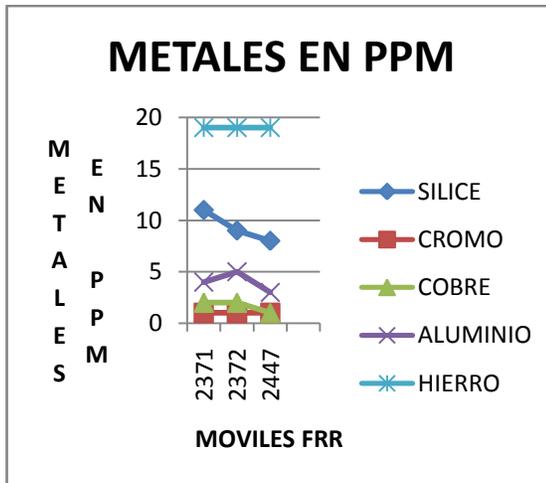


Los frascos llevan su respectiva etiqueta para una fácil identificación y clasificación por parte de la empresa Vernolab S.A., Empresa encargada de realizar el análisis de las muestras y posteriormente de enviar un informe con los componentes y propiedades presentes en cada muestra, estos resultados se obtienen de dos formatos, PDF Y Excel, se hace uso de ambos tipos de informes para alimentar la base de datos diseñada por el autor para cada móvil.

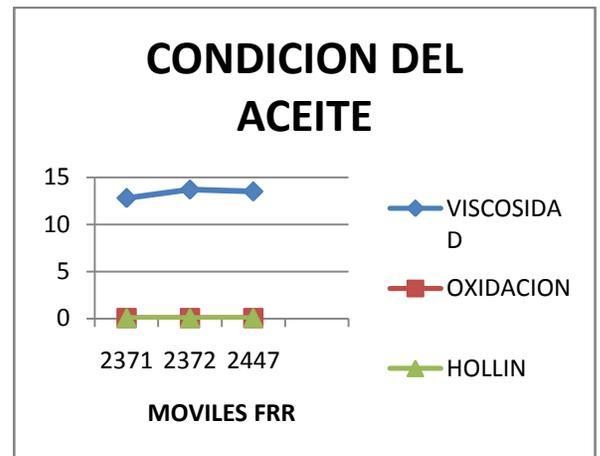
### 3. RESULTADOS.

Debido a que algunas móviles tendieron a comportarse de manera de similar según su marca y línea, a continuación se mostraran los datos obtenidos de manera grupal y las acciones tomadas para mitigar las fallas en caso de existir.

#### 3.1 MOVILES FRR.

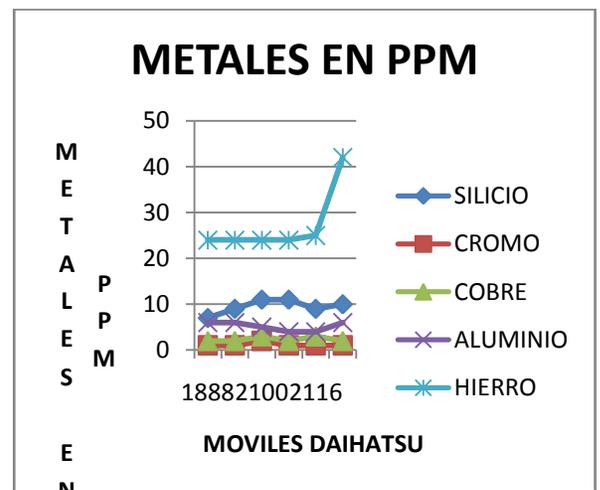


grafica: ppm de metales para cada móvil

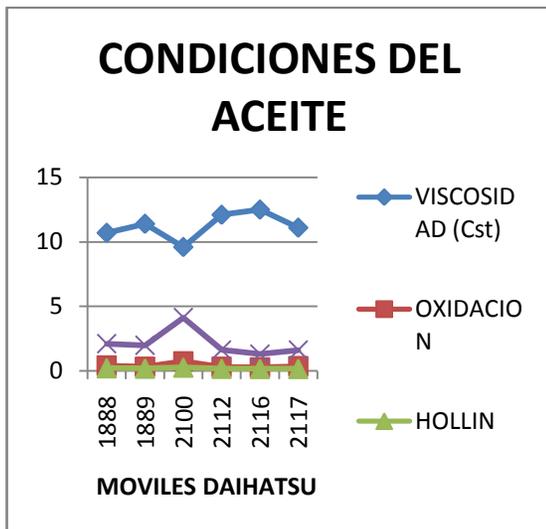


como se puede apreciar en las graficas todos las móviles marca Chevrolet, de la línea FRR, se encuentran dentro de los rangos adecuados de trabajo, por lo cual para estas móviles se realizaron solo las tareas normales del mantenimiento preventivo.

#### 3.2 MOVILES DAIHATSU.



Las móviles daihatsu no presentan índices altos de metales en el aceite por lo cual no se toman acciones de ningún tipo, en cuanto a esta parte.



En las móviles daihatsu, se observa un fenómeno común de alto porcentaje de combustible en el aceite, acompañada de una disminución progresiva de la viscosidad, debido a que la nitración se encuentra dentro de los rangos estipulados se descarta contaminación por sopleteo y se procede a iniciar la calibración de los inyectores con el fin de controlar la degradación paulatina del aceite, se procede de igual forma a reemplazar el aceite deteriorado por aceite nuevo.

#### 4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.

##### 4.1 IMPORTANCIA DE LAS MUESTRAS DE ACEITE.

Como se dijo en un apartado anterior, la empresa Coordinadora Mercantil S.A., ya venía realizando análisis de aceite a los motores de la flota de transporte principalmente de ruta nacional (Tracto-mulas), aun no se pensaba en estructurar los mantenimientos preventivos de las móviles locales y domesticas, basándose, en las muestra de aceite, principalmente porque no se veía la necesidad de hacerlo, el autor observo esta

oportunidad de hacer del mantenimiento de Coordinadora Mercantil S.A., algo aun mejor, esto teniendo en cuenta de que el mantenimiento que se venía realizando, ya de por si era muy bueno. Se procedió a dialogar con el jefe de mantenimiento de la sede de Cali y el jefe de mantenimiento a nivel nacional, de la posibilidad de implementar el análisis de aceite de una manera profunda y estructurada a todas las móviles de la sede, con el fin de basar el mantenimiento preventivo realizado, en el mantenimiento predictivo basado en las muestras de aceite usado de motor, para lo cual ofrecieron todo su apoyo y respaldo. Se inicio con la toma de muestras con el fin de tener datos vigentes de todas las móviles y empezar a enviar muestras al laboratorio, para que estas llegaran por paquetes que se hicieran mas fáciles de transportar y analizar. Al mismo tiempo se empezó a generar la base de datos y la hoja de control de acciones, para agilizar la estructuración del mantenimiento predictivo, las muestras de aceite empezaron a ser analizadas y los informes comenzaron a ser enviados por parte del laboratorio, al llegar estos informes, se discuten con el ingeniero jefe de mantenimiento, con el fin de ir teniendo conocimiento de que móviles necesitarían intervención y en que fechas se podría realizar.

##### 4.2 CONFIABILIDAD EN LAS MUESTRAS DE ACEITE.

El proceso que se siguió para la toma y envío de muestras fue de estricto cuidado evitando a toda costa que las muestras se contaminaran o se regaran en el camino, esto con el fin de obtener siempre resultados altamente confiables, y de esta manera tomar las decisiones más acertadas

posibles. La mayoría de las móviles de la empresa presentaron muestras con condiciones apropiadas de trabajo, cuestión que siempre es un alivio, pero en algunos casos particulares en que se encontraron anomalías en las muestras, al realizarles la inspección a los vehículos se encontraban que presentaban fallas relacionadas con lo mostrado por el análisis de aceite, cuestión que solo ratifico el gran poder que tiene esta herramienta, y certifico, que se debía prestar más atención a cualquier signo de alerta observado, puesto que muy seguramente la móvil tendería a fallar de no prestarle atención.

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, quedo como el principal dato a tener en cuenta al momento de programar las móviles de preventivos mensual.

#### 4.3 CONDICION GENERAL DE LOS MOTORES DE LA FLOTA DE TRANSPORTE SEGUN EL ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE ACEITE.

Se determina una buena condición general de las móviles, se encuentran algunos inconvenientes particulares que se califican como normales teniendo en cuenta la ardua operación diaria a la que son sometidos los vehículos, sin embargo hay algunos casos en los que las muestras de aceite analizadas y las experiencias vividas en el taller, denotan una condición especial de alerta, estos se describirán a continuación.

##### 4.3.1 MOVILES NKR III REWARD MODELO 2012.

Estas móviles tienen como se comento en apartados anteriores problemas significativos al parecer con el material y/o método de fabricación usados en su elaboración, la empresa ya se ha

visto en la necesidad varias veces de cambiar las culatas de estos vehículos las cuales en su mayoría no tienen reparación, el Ingeniero Byron Silva, Jefe de mantenimiento de la empresa a nivel nacional, opto por hacer algunos ensayos a las mismas, los cuales arrojaron malformaciones internas que solo con el tiempo se convierten en causales de falla, la investigación realizada para el desarrollo de este trabajo, dejo ver las condiciones que presenta la muestra de aceite justo unos días antes de que la culata falle irremediamente, estos análisis quedan como una estadística de señal de alarma en estos vehículos.

##### 4.3.2 MOVILES DAHATSU MODELO 2007

Estas móviles muestran un comportamiento similar en las muestras de aceite, con altos contenidos de combustible en el aceite, baja viscosidad y alta oxidación, para estas móviles se determino como acción correctiva realizar una calibración de inyectores, permitir un lapso de tiempo de operación con aceite nuevo y volver a tomar muestras, en caso de encontrarse que el problema persiste se determinara que los inyectores han llegado al final de su vida útil y serán reemplazados por inyectores nuevos, de igual manera se someterá la bomba de inyección a una calibración con el fin de eliminar la falla totalmente.

##### 4.3.3 MOVIL 2440 HINO MODELO 2016.

Esta es una móvil que causa un especial cuidado debido a que es de las mas nuevas que operan actualmente en la sede Cali, los altos niveles de cobre presentes en las muestras de aceite podrían denotar una falla en su fabricación, por lo cual se le está haciendo un especial seguimiento, se

programa para bajar su enfriador de aceite, pero en caso de no encontrarse mejoría, se procederá a el envío de la misma al taller encargado de la garantía, con el fin de que estos hagan las pruebas pertinentes y den a la empresa un informe claro y conciso de lo acontecido con la misma.

## 5. CONCLUSIONES

Se analizo a profundidad el estado del arte en todo el tema referente al mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, encontrándose una gran cantidad de valiosa información que permitió generar un criterio valido al momento de intervenir las móviles que lo requirieron, conociendo de antemano las causas y posibles soluciones de los problemas presentados.

Se concluyo que el plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, fue exitoso, dado que siguiendo el procedimiento establecido, se pudieron determinar el estado general de los motores automotrices de la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil, sede Cali, interviniéndose en las ocasiones que lo ameritaban, impidiendo de esta manera, fallas en ruta de las móviles, paradas no programadas que ocasionaran perdidas tanto económicas como de credibilidad en la empresa.

se observo que el punto más crítico en el proyecto, se dio en el envío de muestras y tiempos de espera de respuestas por parte del laboratorio, debido a que las muestras se movilizaban por tierra a la ciudad de Cartagena, estas muchas veces tendían a regarse y se debían devolver, con lo cual se perdía mucho tiempo vital para la toma de decisiones, por otra parte debido a que en este laboratorio entran las muestras de aceite de las móviles de ruta nacional de todo el país, muchas veces se

generaba congestión, que se veía traducida en largos tiempos de espera para la respuestas de las muestras analizadas, cuestión que de una manera u otra perjudico de igual forma la rápida creación de la base de datos por parte del autor.

Se determino en cuanto al estudio de costos beneficios para la empresa Coordinadora Mercantil sede Cali, se encontraron dificultades al momento de cuantificar costos, es claro para todos que el mantenimiento predictivo, es una excelente herramienta para una empresa que quiere aumentar su productividad, pero determinar una cifra exacta de disminución de costos se hace una tarea bastante compleja debido a la cantidad de variables que se manejan.

## 6. Agradecimientos.

Primero que todo a Dios, por siempre permitirme estar en el momento, en el lugar y con las personas adecuadas. A la empresa Coordinadora Mercantil S.A., que siempre me facilito las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto, a todos mis familiares, novia y amigos que me han apoyado en el desarrollo de mi vida profesional.

## REFERENCIAS.

EwaRostek, M. E. (2017). The Influence of Oil Pressure in the Engine Lubrication System on Friction Losses. *Sciense Direct* , 60-965.

Montiel, V. M. (2006). *Metodologia para integrar la tecnologia de analisis de aceites a los programas de*

*mantenimiento predictivo en sistemas hidraulicos.* santiago de queretaro.

Moubray, J. (2006). *mantenimiento centrado en la confiabilidad.* Oxford: Butterworth Heinemann.

Olarte, W. &. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et technica* , 45.

PhD. Simón J. Fygueroa Salgado, M. J. (2009). *mantenimiento predictivo*

de motores mediante analisis de. *Revista Colombiana de Tecnologias de Avanzada* , 91-96.

S.Zzeyani, M. J. (2016). Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil. *Sciense Direct* , 27-32.

Silva, N. A. (2013). *análisis de aceite para detección temprana.* guatemala.

## INTRODUCCIÓN

El aceite lubricante tiene varias funciones importantes, la principal es reducir la abrasión por fricción, eliminando agentes corrosivos manteniendo de esta manera los componentes mecánicos en buenas condiciones de funcionamiento. Los lubricantes consisten principalmente en minerales o aceites lubricantes de bases sintéticas constituidas por hidrocarburos parafínicos, nafténicos y, en menor medida, hidrocarburos aromáticos, a los que se añade una cantidad de aditivos químicos cuyo contenido está entre 2% y 25%. La función principal del aceite base es la lubricación, y los aditivos se utilizan para mejorar esta función o para proporcionar propiedades adicionales tales como la de mantener viscosidades apropiadas a diferentes temperaturas entre otras. El control de la tasa de degradación del aceite lubricante y la mejora de su calidad pueden prolongar su vida útil, lo cual tiene ventajas económicas al reducir el consumo de aceite lubricante y ventajas ecológicas al reducir las emisiones de lubricantes residuales. Las causas principales de la degradación de los aceites lubricantes están relacionadas con fenómenos de oxidación, degradación de las cadenas moleculares y contaminación por residuos insolubles e impurezas metálicas, debidos a fenómenos térmicos y abrasiones mecánicas. La degradación del aceite lubricante se acompaña de cambios en su viscosidad y para analizar estos aceite lubricantes se han desarrollado diferentes métodos, entre estos se encuentran: cromatografía, espectroscopia de infrarrojos, resonancia magnética nuclear, y la espectroscopia de absorción atómica.

El desarrollo de los motores de combustión interna, se ha centrado en las últimas tres décadas en la reducción del impacto negativo sobre el medio ambiente que en gran medida se asocia con la reducción de las emisiones tóxicas de gases de escape a la atmósfera, pero también con la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, que aunque no es un gas tóxico, se considera perjudicial porque intensifica la ocurrencia del efecto invernadero. La reducción de las emisiones de

dióxido de carbono sólo puede lograrse reduciendo el consumo de hidrocarburos, dado que el consumo de combustible depende de la demanda de potencia y la eficiencia total del motor, por tanto se debe reducir la fricción y las pérdidas mecánicas, las pérdidas de la bomba de aceite son las más altas de todas las unidades auxiliares, esta situación es aún peor cuando la temperatura del aceite es baja, porque la viscosidad aumenta de una manera exponencial y la demanda de energía de la bomba de aceite también aumenta. (EwaRostek, 2017)

El presente trabajo está centrado en el análisis de la composición de los aceites lubricantes usados en los motores diesel, pertenecientes a la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil sede Cali, con el fin de controlar variaciones drásticas en sus condiciones que puedan llegar a perjudicar los elementos mecánicos, y así evitar la aparición de agentes que puedan precipitar la degradación del aceite.

## 1. JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento predictivo se define como la toma de acciones con el objetivo de detectar con la ayuda de diferentes técnicas, las posibles fallas que se podrían presentar en un equipo, con el fin de evitar que estas en un futuro se trasformen en problemas de mayor impacto en los equipos, generando dificultades en la operatividad de los mismos, ocasionando paradas no deseadas que repercutirán directamente en la productividad de la empresa.

Mediante el análisis de muestras del aceite lubricante usado en los motores diesel, pertenecientes a la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil S.A (sede Cali), se logrará llevar un control confiable del estado interno de los componentes mecánicos, para de esta manera sustentar las paradas programadas a las móviles de manera científica, y tener un conocimiento certero de que elemento se deben intervenir según sean las condiciones del aceite examinado. Por otro lado como valor agregado, se espera con estos análisis de aceite, poder minimizar las emisiones de contaminantes producidas en la combustión, al intervenir oportunamente las móviles que presenten presencia excesiva de hollín o agentes externos que afecten de una u otra forma los gases producidos en el ciclo de combustión, con este mantenimiento predictivo se pretende acorto plazo aumentar en muchos ámbitos la eficiencia y productividad de la empresa, convirtiéndola en una empresa competitiva que pueda garantizar su permanencia en el tiempo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

- Generar un plan de mantenimiento predictivo mediante el análisis de aceite para los motores automotrices pertenecientes a la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil S.A.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Revisar el estado del arte sobre planes de mantenimiento predictivo a través del análisis de aceites en motores automotrices y definir las propiedades de los lubricantes.
- Enviar muestras de aceite de motor (usado) pertenecientes al parque automotor de la empresa Coordinadora Mercantil S.A. (sede Cali), al laboratorio Vernolab, para su respectivo análisis.
- Identificar los tipos de fallas que se pueden presentar en los motores según sean los componentes de la muestra analizada y las diferentes acciones que se pueden tomar con el fin de contrarrestarlas.
- Diseñar el plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite usado, para los motores pertenecientes al parque automotor de la empresa Coordinadora Mercantil S.A. (sede Cali).
- Realizar un análisis costo beneficio del plan de mantenimiento implementado para la empresa Coordinadora Mercantil S.A. (sede Cali).

### **3. ESTADO ACTUAL.**

#### **3.1 EL MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA.**

Durante los pasados 20 años, el mantenimiento cambió, quizás mucho más que cualquier otra disciplina de gerenciamiento. El cambio se debe a un enorme incremento en el número y variedad de bienes físicos (plantas, equipos, edificios) que deben ser mantenidos alrededor del mundo, diseños mucho más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento, y cambiante ideología con respecto a la organización y responsabilidades del mantenimiento.

El mantenimiento también responde a expectativas variables. Estas incluyen el hecho de advertir cada vez más el alto grado en el que las fallas en equipos afectan la seguridad y el medioambiente, una conciencia creciente de la conexión entre mantenimiento y calidad del producto, y una presión cada vez mayor de alcanzar un alto rendimiento de las plantas y controlar los costos. (Moubray, 2006)

##### **3.1.1 Tipos de mantenimiento más conocidos.**

- Mantenimiento correctivo.

Se denomina mantenimiento correctivo, aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos. Históricamente es el primer concepto de mantenimiento y el único hasta la Primera Guerra Mundial, dada la simplicidad de las máquinas, equipamientos e instalaciones de la época. El mantenimiento era sinónimo de reparar aquello que estaba averiado.

Este mantenimiento que se realiza luego que ocurra una falla o avería en el equipo que por su naturaleza no pueden planificarse en el tiempo, presenta costos por reparación y repuestos no presupuestadas, pues puede implicar el cambio de algunas piezas del equipo en caso de ser necesario.

- Mantenimiento preventivo.

En las operaciones de mantenimiento, el mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, por oposición al mantenimiento correctivo que repara o pone en condiciones de funcionamiento aquellos que dejaron de funcionar o están dañados.

El primer objetivo del mantenimiento es evitar o mitigar las consecuencias de los fallos del equipo, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran. Las tareas de mantenimiento preventivo pueden incluir acciones como cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, etc. El mantenimiento preventivo debe evitar los fallos en el equipo antes de que estos ocurran.

- Mantenimiento predictivo:

El mantenimiento predictivo son una serie de acciones que se toman y técnicas que se aplican con el objetivo de detectar posibles fallas y defectos de maquinaria en las etapas incipientes para evitar que estos fallos se manifiesten en uno más grande durante su funcionamiento, evitando que ocasionen paros de emergencia y tiempos muertos, causando impacto financiero negativo. Su misión es conservar un nivel de servicio determinado en los equipos programando las revisiones en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener problemas.

El requisito para que se pueda aplicar una técnica predictiva es que el fallo incipiente genere señales o síntomas de su existencia, tales como alta temperatura, ruido, ultrasonido, vibración, partículas de desgaste y alto amperaje, entre otras.

Las técnicas para detección de fallos y defectos en maquinaria varían, desde la utilización de los sentidos humanos (oído, vista, tacto y olfato), hasta la utilización de datos de control de proceso y de control de calidad, el uso de herramientas

estadísticas y técnicas de moda como el análisis de vibración, la termografía, la tribología, el análisis de circuitos de motores y el ultrasonido.

- Mantenimiento proactivo:

El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no debemos permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de "detección y corrección" de las desviaciones según el programa de Mantenimiento Proactivo. Límites aceptables, significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio.

- Mantenimiento centrado en confiabilidad:

El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability-centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años.

El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM

El RCM es una herramienta muy poderosa para incrementar la efectividad de los programas de mantenimiento preventivo que se elaboren con el fin de mantener en optimas condiciones de operación la maquinaria. (MONTIEL, 2006)

### 3.1.2 Tipos de mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta.

A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas.

Los ensayos que más utilizan en las industrias son los siguientes:

**3.1.2.1 Análisis de Vibraciones.** Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones.

Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo. Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomaran las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio.

**Figura 1.** Analizador de vibraciones



Fuente: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/355>

Los problemas que se pueden detectar por medio de esta técnica, son:

- Desalineamiento
- Desbalance
- Resonancia
- Solturas mecánicas
- Rodamientos dañados
- Problemas en bombas
- Anormalidades en engranes
- Problemas eléctricos asociados con motores
- Problemas de bandas
- Termografía:

**3.1.2.2 La Termografía.** es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta.

La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, es necesario utilizar un instrumento que transforme esta energía en un espectro visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía.

En la Figura 2, se muestra el instrumento utilizado para generar una imagen de radiación infrarroja a partir de la temperatura superficial de las máquinas, el cual se llama Cámara Termográfica.

**Figura 2. Cámara Termográfica**



Fuente: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/355>

Las áreas en que se utilizan las Cámaras Termográficas son las siguientes:

- Instalaciones Eléctricas
- Equipamientos Mecánicos
- Estructuras Refractarias

**3.1.2.3 Análisis por Ultrasonido.** El análisis por ultrasonido está basado en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema.

El oído humano puede percibir el sonido cuando su frecuencia se encuentra entre 20 Hz y 20 kHz, por tal razón el sonido que se produce cuando alguno de los componentes de una máquina se encuentra afectado, no puede ser captado por el hombre porque su frecuencia es superior a los 20 kHz.

Los instrumentos encargados de convertir las ondas de ultrasonido en ondas audibles se llaman medidores de ultrasonido o detectores ultrasónicos. Por medio de estos instrumentos las señales ultrasónicas transformadas se pueden escuchar por medio de audífonos o se pueden observar en una pantalla como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.** Medidor de Ultrasonido



Fuente: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/355>

El análisis de ultrasonido permite:

- Detectar fricción en máquinas rotativas
- Detectar fallas y/o fugas en válvulas
- Detectar fugas en fluidos
- Detectar pérdidas vacío
- Detectar arco eléctrico

**3.1.2.4 Análisis de Aceite.** El análisis de aceites determina el estado de operación de las máquinas a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite lubricante.

La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse.

El grado de contaminación del aceite está relacionado con la presencia de partículas de desgaste y de sustancias extrañas, por tal razón es un buen indicador del estado en que se encuentra la máquina. El grado de degradación del aceite sirve para determinar su estado mismo porque representa la pérdida en la

capacidad de lubricar producida por una alteración de sus propiedades y la de sus aditivos.

La contaminación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación de:

- Partículas metálicas de desgaste
- Combustible
- Agua
- Materias carbonosas
- Insolubles

La degradación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Detergencia
- Basicidad

La información proveniente de las pruebas físicas y químicas del aceite permite decidir sobre el plan de lubricación y mantenimiento de la máquina. (Olarde, 2010)

## **3.2 ACEITES LUBRICANTES.**

### **3.2.1 Tipos de aceites lubricantes.**

El aceite de motor realiza varias funciones básicas para proporcionar una lubricación adecuada. Se utiliza para conservar el motor limpio y libre de herrumbre y corrosión. Actúa como refrigerante y sellante y proporciona una película de aceite que reduce al mínimo el contacto de metal con metal y, por lo tanto, reduce la fricción y el desgaste. Pero estas son solo las funciones básicas del aceite. Las exigencias particulares de una aplicación determinada y las condiciones especiales en las que se utiliza el aceite son las que determinan, en gran medida, las muchas otras funciones que debe realizar el aceite lubricante.

Estas funciones adicionales hacen que sea sumamente importante la selección del aceite apropiado para cada aplicación. La selección de un aceite lubricante

apropiado debe basarse en los requisitos de rendimiento del motor según lo especifica el fabricante, así como en la aplicación en la que se va a utilizar el motor y la calidad del combustible disponible. Los motores diesel, por ejemplo, funcionan normalmente a velocidades más bajas pero a temperaturas más altas que los motores de gasolina, condiciones que fomentan la oxidación del aceite, la formación de depósitos y la corrosión del metal de los cojinetes. En estas condiciones es necesario que el aceite funcione con más capacidad de protección. Aquí es donde entran en juego los aditivos. Las características finales de rendimiento del aceite dependen del aceite de base y de los aditivos que se utilizan varían según las propiedades del aceite de base y el ambiente en el que utilizará el aceite.

El aceite lubricante comienza con el aceite de base o materia prima. Los aceites de base son de origen mineral (petróleo) o de origen sintético, aunque también se pueden utilizar aceites vegetales para aplicaciones especializadas. El aceite de base proporciona los requisitos básicos de lubricación de un motor, Sin embargo, a menos de que se complemente con aditivos, el aceite de base se degradará y deteriorará rápidamente en algunas condiciones de operación.

Dependiendo del tipo de aceite de base (petróleo, sintético o algún otro), se utilizan aditivos con distintas propiedades químicas.

**3.2.1.1 Aceites minerales.** Los aceites de base minerales son productos refinados de aceites crudos de petróleo. La fuente del aceite crudo y el proceso de refinado determinan las características del aceite de base. Los aceites crudos que se utilizan en los lubricantes para motores diesel están compuestos, principalmente de parafina, naftenos y compuestos aromáticos. Los aceites crudos con mayor contenido de parafina se usan con mayor frecuencia en las mezclas de aceite para motores.

Los aceites de base minerales predominan en la formulación de los aceites para motores diesel por sus buenas cualidades y porque se pueden obtener fácilmente a un costo moderado.

**3.2.1.2 Aceites sintéticos.** Los aceites de base sintéticos se forman por procesos en los cuales materiales con una composición química determinada reaccionan químicamente para producir un compuesto con propiedades planificadas y predecibles. Estos aceites de base tienen índices de viscosidad mucho más altos que los aceites de base minerales y puntos de fluidez considerablemente más bajos. Estas características los convierten en componentes sumamente valiosos para mezclas, utilizados en la fabricación de aceites de servicio extremo para temperaturas altas o bajas. La principal desventaja de los aceites sintéticos es que su precio es demasiado alto y sus existencias son limitadas.

### **3.2.2 Aditivos**

Los aditivos refuerzan o modifican algunas características del aceite de base. Básicamente permiten que el aceite cumpla con requisitos que van más allá de los límites del aceite de base.

Los aditivos más comunes son: detergentes, inhibidores de oxidación, dispersantes, agentes que aumentan la alcalinidad y agentes anti desgaste.

A continuación, una pequeña descripción y funcionamiento de algunos aditivos.

Los detergentes contribuyen a mantener limpio el motor al reaccionar químicamente para detener la formación y el depósito de compuestos insolubles. Los detergentes que se usan en la actualidad son sales metálicas, principalmente sulfonatos, fenatos, fosfonatos y salicilatos.

Los agentes que aumentan la alcalinidad contribuyen a neutralizar los ácidos. Los detergentes son también buenos neutralizadores de ácidos, transformando los ácidos producidos durante la combustión y la oxidación en sales neutralizadas e inofensivas.

Los inhibidores de oxidación contribuyen a evitar el aumento de la viscosidad, el desarrollo de ácidos orgánicos y la formación de materiales carbonáceos. Los siguientes compuestos químicos se utilizan como antioxidantes: ditiofosfatos de cinc, sulfuros de fenato, aminas aromáticas, ésteres sulfurizados y fenoles obstaculizados.

Los dispersantes ayudan a impedir la formación de sedimentos dispersando los contaminantes y manteniéndolos en suspensión. Entre los tipos comunes de dispersantes se incluyen succinimidias poliisobutilénicos y los ésteres succínicos poliisobutilénicos. (Silva, 2013)

### **3.2.3 Principales propiedades del aceite.**

**3.2.3.1 Viscosidad.** La viscosidad es la propiedad física más importante del lubricante, ya que fija las pérdidas por fricción y la capacidad de carga de los cojinetes. Depende de la temperatura. Para expresar esta tendencia de un aceite, a cambiar su viscosidad con la temperatura, se utiliza el índice de viscosidad, que se obtiene, según el método propuesto por Dean y Davis, comparando la viscosidad del aceite a una temperatura dada con la de otros dos aceites que poseen la misma viscosidad a 100 °C, uno de ellos tiene poca variación de la viscosidad con la temperatura y el otro posee una variación muy elevada.

Los parámetros de diagnóstico asociados a la viscosidad del aceite son:

- Viscosidad absoluta o dinámica. Es la propiedad física más importante del aceite y caracteriza su fricción interna. Representa la relación entre el esfuerzo cortante que se produce al desplazar dos capas del fluido adyacentes y el gradiente de velocidad existente entre ellas. La unidad de viscosidad en el sistema SI es el Pa·s, en el sistema CGS es el poise [P]; un Pa·s = 10 P. La viscosidad absoluta se puede medir directamente con los viscosímetros de Mac Michel, Storer, etc.

Las principales fallas causantes de la dilución del aceite son las siguientes:

- Conductos de combustible con fugas internas.
- Contaminación externa con combustible o aceite menos viscoso.
- Inyectores defectuosos.
- Bomba de inyección defectuosa.
- Degradación del aceite (aditivos mejoradores del índice de viscosidad).

El aumento de la viscosidad de los aceites de motor se debe principalmente a la propia degradación del lubricante, debida principalmente a una combustión defectuosa y al soplado, a la contaminación interna o externa con partículas sólidas y a la existencia en el aceite de líquidos degradantes como el agua. Las principales fallas que se pueden relacionar con un aumento de la viscosidad del aceite son las siguientes:

- Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
- Turbocompresor defectuoso.
- Desgaste excesivo del conjunto anillos-camisa.
- Fallas del sistema de refrigeración o cadena cinemática que produzcan fugas internas de refrigerante al aceite.
- Aceite degradado.
- Aceite contaminado.
- Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

**3.2.3.2 Acidez/Basicidad.** En un aceite, el grado de acidez o alcalinidad puede expresarse por los índices de neutralización respectivos como son:

- Índice de acidez total.
- Índice de acidez fuerte.
- Índice de basicidad total.
- Índice de basicidad fuerte.

*3.2.3.2.1. El índice de acidez total (TAN).* Representa los miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar todos los constituyentes ácidos presentes en un gramo de muestra, en condiciones normalizadas. Se utiliza poco en diagnóstico por análisis de aceite, a causa de que su valor depende del contenido de aditivos.

*3.2.3.2.2 El índice de acidez fuerte (SAN).* Corresponde a los miligramos de KOH necesarios para neutralizar solo los ácidos fuertes presentes en un gramo de muestra. Se utiliza para detectar la presencia de ácidos inorgánicos que

proviene, generalmente, de la combustión. Se usa poco para el seguimiento del aceite, por la poca importancia de la información que suministra.

*3.2.3.2.3 El índice de basicidad total (TBN).* Definido como la cantidad de ácido, expresado en miligramos de KOH, que se requiere para neutralizar el contenido básico de un gramo de muestra en condiciones normalizadas. La alcalinidad de un aceite nuevo da información sobre su capacidad para neutralizar productos ácidos procedentes de la combustión y de la oxidación del aceite a temperaturas elevadas; mientras que la de uno usado, da información sobre su degradación y reserva alcalina; por lo tanto, es uno de los parámetros más utilizados en la evaluación de los aceites de motor. Se considera que un aceite ha agotado su reserva alcalina, y por tanto debe procederse a su cambio, cuando su TBN alcanza un valor igual al 50% del inicial

*3.2.3.2.4 El índice de basicidad fuerte (SBN).* determina el contenido de componentes fuertemente alcalinos de un aceite. Presenta poco interés para el diagnóstico y solamente se utiliza en el seguimiento de ciertos aceites de elevada alcalinidad.

Como es obvio las fallas que producen un aumento de la acidez del aceite originan simultáneamente una reducción de su basicidad propia. Las más importantes son las siguientes:

- Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- Turbocompresor defectuoso.
- Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
- Aceite degradado.
- Aceite contaminado, principalmente con combustible (especialmente cuando tiene elevado contenido de azufre) y ácidos.
- Fallas del sistema de refrigeración que producen sobrecalentamiento del motor.
- Mezcla con aceite o aditivos del aceite.
- Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

**3.2.3.3 Detergencia/Dispersividad.** La detergencia de los aceites, obtenida con la adición de sustancias detergentes, es la capacidad de evitar o reducir la formación de depósitos carbonosos en los alojamientos de los anillos, falda de los pistones, guías y vástagos de las válvulas, originados por las altas temperaturas del motor que producen cambios en la naturaleza química del aceite.

Un aceite detergente, además, reduce su oxidación a alta temperatura y mantiene en suspensión los depósitos que se producen a temperaturas normales, mediante un mecanismo que todavía no es bien conocido.

La dispersividad es la propiedad del aceite mediante la cual se produce la dispersión de los lodos húmedos originados durante el funcionamiento en frío del motor. Los lodos están constituidos por mezclas complejas de productos de la combustión parcialmente quemados, carbón, óxidos y agua. La detergencia y la dispersividad se reducen con la degradación y el consumo de los aditivos correspondientes, y aumentan con la reposición de aceite nuevo

La reducción de la detergencia y la dispersividad del aceite se deben fundamentalmente a la degradación producida por las fallas que ocasionan un aumento de la velocidad de degradación, como son:

- Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- Turbocompresor defectuoso.
- Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
- Desgaste del conjunto anillos-camisa.
- Aceite degradado.
- Aceite contaminado, especialmente con carbón y ácidos.
- Mezcla con aceite con aditivos incompatibles.
- Fallas del sistema de refrigeración que producen sobrecalentamiento del motor.
- Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

### **3.2.4 Condiciones y agentes que contaminan el aceite.**

Por contaminación de un aceite se entiende la presencia de materias extrañas a él, sin importar su origen; las principales son: partículas y óxidos metálicos, polvo atmosférico, combustible, agua, materias carbonosas y ácidos provenientes de los gases de combustión y de la oxidación del lubricante.

La contaminación puede producirse por cuatro causas principales:

- Partículas de procedencia externa. Ingresan al motor por los sistemas de admisión, lubricación y combustible; tales como polvo atmosférico, agua, materias carbonosas y combustible.
- Partículas generadas internamente. Son producidas por el desgaste de las piezas que componen el motor y por la degradación del lubricante.
- Partículas introducidas durante el proceso de fabricación y montaje. Es el caso de la arena residual de la fundición, residuos abrasivos del esmerilado de válvulas, polvo y virutas provenientes del mecanizado, sustancias usadas para limpieza y pulido de piezas, etc.
- Partículas introducidas por acciones de mantenimiento. Como levantamiento de la tapa de balancines o de la culata, etc.

Los elementos contaminantes que se pueden encontrar en el aceite de los motores son los siguientes:

- Elementos metálicos. Originados por el desgaste de las partes metálicas del motor sometidas a fricción. Producen desgaste abrasivo, rugosidad de las superficies con lo cual se facilita el desgaste adhesivo y la catalización de los procesos de degradación del aceite
- Óxidos metálicos. Proviene del desgaste corrosivo del motor y de la oxidación de las partículas metálicas.
- Impureza y polvo atmosférico. Se introduce en los motores a través de la admisión (Por filtros ineficientes o rotos y conductos con fugas), respiraderos, orificio para medición del nivel o al añadir aceite. Estos elementos y el anterior producen desgaste abrasivo y rugosidad de las superficies, lo cual promueve el desgaste adhesivo.

- Productos carbonosos. Son el resultado del paso de los productos de la combustión al aceite.
- Gases de la combustión. Entran al aceite a través del soplado y producen ácidos que facilitan la degradación del aceite.
- Agua: Procedente de la combustión o sistema de refrigeración.
- Glicol: Proveniente de fugas internas de lubricante, promueve la degradación del aceite.
- Combustible: Se introduce al aceite mediante el soplado; tiene su origen en las fallas de los inyectores, mala combustión o funcionamiento del motor en frío.
- Ácidos: Proviene del soplado y la degradación propia del aceite. Producen corrosión de metales y catalizan la degradación del lubricante.

La contaminación y degradación del aceite están íntimamente relacionadas, ya que la primera, además de alterar las propiedades físicas y químicas del aceite acelerando el desgaste del motor, provoca su degradación. Por otra parte, esta última produce partículas sólidas no solubles en el aceite, que lo contaminan y adicionalmente promueven los procesos de desgaste. Principales síntomas característicos de la contaminación del aceite; son por lo tanto, parámetros indicadores del estado de algunos sistemas del motor y sobre todo de su desgaste interno. Estos síntomas están constituidos por los contenidos de:

**3.2.4.1 Combustible.** La dilución del lubricante con combustible puede caracterizarse con dos parámetros diferentes: la viscosidad y el punto de inflamación. El combustible produce una reducción de la viscosidad del aceite, y aumenta su punto de inflamabilidad, el punto de inflamación o de encendido, es la mínima temperatura a la cual el aceite desprende la suficiente cantidad de vapores como para inflamarse momentáneamente, al aplicarle una llama. Está relacionado directamente con la viscosidad, de manera que cuando esta disminuye, el punto de inflamación también lo hace y viceversa.

Se considera que un aceite ha alcanzado el límite admisible de contaminación con combustible, cuando su punto de inflamación disminuye un 30% o si toma un valor por debajo de 130 °C.

El punto de inflamación al igual que la viscosidad puede aumentar o disminuir durante el servicio del aceite.

El punto de inflamación de un aceite usado sube con el tiempo de utilización, debido a la evaporación de sus partes volátiles. La reducción del punto de inflamación se produce por la presencia de combustible, siendo más acusada esta disminución en aceites con poco contenido de compuestos volátiles.

**3.2.4.2 Agua.** La contaminación del aceite con agua, proviene de la condensación en el interior de los motores, como consecuencia de las bajas temperaturas o el aumento de la presión en el cárter y de las fugas internas del sistema de refrigeración; puede producir corrosión de los metales y degradación del aceite.

**3.2.4.3 Materia carbonosa.** Las materias carbonosas del aceite proceden de los productos de la combustión que pasan a este a través de los anillos, mediante el proceso conocido como soplado. Estos productos interfieren las funciones de los aditivos, producen desgaste abrasivo, depósitos en las superficies internas del motor y espesamiento del aceite.

Entre las fallas que producen un aumento anormal de la materia carbonosa en el aceite se destacan las siguientes:

- Fallas en el sistema de inyección.
- Turbocompresor defectuoso o intercooler obstruido.
- Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.

Las fallas anteriores producen un aumento de los productos carbonosos como consecuencia de una combustión anormal; por otra parte, la contaminación se ve favorecida si se presentan algunas de las siguientes circunstancias:

- Desgaste excesivo del conjunto anillos-camisa.
- Degradación del aceite.
- Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

**4.2.4.4 Materia insoluble.** De los productos de la degradación del aceite algunos son sólidos e insolubles en él; de estos una parte se deposita como lacas y barnices en los alojamientos de los anillos, faldas de los pistones y otras superficies del motor; otra, se sitúa como lodos en el interior del cárter y de los conductos de lubricación, con el riesgo de taponarlos; el resto se disuelve en el aceite aumentando su viscosidad.

Conocer el contenido y composición de la materia insoluble del aceite es interesante para el diagnóstico, ya que están relacionados directamente con la degradación, la eficacia de los filtros, el desgaste y, en el caso de aceites detergentes, con la saturación de su capacidad dispersante.

Las principales fuentes de formación de insolubles son: La oxidación, la combustión, el desgaste y la contaminación externa. Por lo tanto, las fallas que producen un aumento de la materia insoluble son:

- Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- Turbocompresor defectuoso.
- Fallas de desgaste de componentes del motor.
- Filtro roto, obstruido o entrada de aire sin filtrar.
- Aceite degradado, ya que la degradación del aceite produce productos no solubles.
- Aceite contaminado, especialmente con metales, productos de la oxidación y carbón.
- Filtro de aceite obstruido o ineficiente. (PhD. Simón J. Fygueroa Salgado, 2009)

**Tabla 1.** Origen de partículas metálicas en el motor.

	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Sodio	Potasio
Anillos	X					X			
Árbol de levas	X								
Bielas	X								
Bomba de aceite	X			X					
Bujes		X		X			X		
Bujes de bielas		X	X	X			X		
Bujes de bomba de aceite				X					
Camisa	X					X			
Carcasa	X			X					
Cigüeñal	X								
Cojinetes		X	X	X			X		
Cojinetes anti-fricción	X					X			
Enfriador de aceite		X							
Guías de válvulas	X	X							
Pistones	X			X					
Tren de válvulas	X								
Turbo	X			X					
Válvula escape	X					X			

Fuente: <http://www.tdx.cat/handle/10803/104144>

### 3.3 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE ACEITE.

Durante todo este tiempo han sido desarrollados un gran número de análisis para medir los procesos de degradación en motores de combustión interna alternativos, en especial aquellos que están relacionados con la degradación oxidativa del aceite lubricante. A través de estos análisis se identificarán algunas variables que tienen mayor importancia dentro del proceso de degradación del aceite, así como otras que afectan exclusivamente la cuantificación de la medida sin afectar en sí el proceso oxidativo del aceite.

Dentro de las herramientas de análisis de aceites existen un gran número de ensayos analíticos (cualitativos y cuantitativos), los cuales son utilizados para identificar y medir en el seno del aceite lubricante los agentes que pueden actuar como iniciadores y precursores del proceso degradativo en muestras de aceites lubricantes usados. Cada uno de estos ensayos está enmarcado dentro de una técnica de análisis físico-químico instrumental como puede ser principalmente la

espectrometría, la voltamperometría lineal de barrido y la potenciometría. También serán estudiadas otras técnicas analíticas que están relacionadas con efectos del proceso oxidativo del aceite.

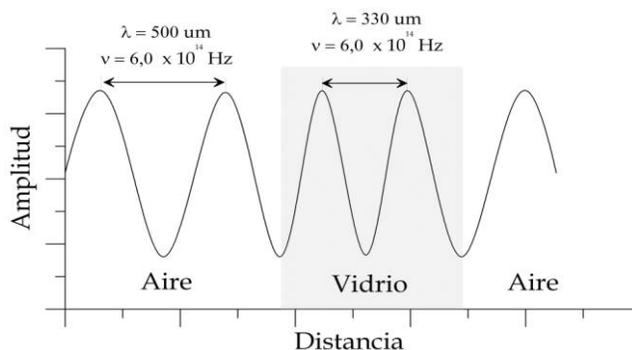
### 3.3.1 Técnicas ópticas.

Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR), espectroscopia atómica de emisión de plasma, fluorescencia de rayos X (XRF), oxidación química mediante colorimetría y quimiluminiscencia.

Las técnicas ópticas son todas aquellas que implican la medida de la radiación electromagnética emitida por la materia o que interacciona con ella. Los métodos ópticos de análisis cubren un amplio campo de aplicaciones debido a su rapidez en la respuesta, a la facilidad de los ensayos, a la cantidad de instrumentación disponible y a sus grandes desarrollos.

La radiación electromagnética se propaga fácilmente a través del vacío, a diferencia de otros fenómenos ondulatorios, como el sonido. Esta propagación disminuye a causa de la interacción entre el campo electromagnético de la radiación y los electrones enlazantes de la materia (la longitud de onda disminuye cuando la radiación pasa de un medio a otro como se puede observar en la figura).

**Figura 4.** Ondas Electromagnéticas.



Fuente: <http://www.tdx.cat/handle/10803/104144>

Sin embargo, para describir cuantitativamente determinadas interacciones con la materia (asociadas a la absorción o emisión de energía radiante), se hace

necesario considerarla como un flujo de partículas, llamados fotones (dualidad onda-corpúsculo). La energía del fotón es proporcional a la frecuencia de la radiación (relación de Einstein-Planck), de modo que un haz de radiación puede ser más o menos intenso en función de la cantidad de fotones por unidad de área, pero la energía del fotón es siempre la misma para una determinada frecuencia.

### **3.3.2 Técnicas electroquímicas.**

Voltamperometría lineal de barrido (Número de RUL—"Remaining Useful Life") y Potenciometría (TAN y TBN).

La Potenciometría es una de las técnicas dentro del campo de la electroquímica para la determinación de la cantidad de una sustancia presente en una solución. Esta técnica es utilizada para determinar la concentración de una especie electroactiva o de una disolución empleando dos elementos fundamentales. Por un lado, utiliza un electrodo de referencia que posee de manera inherente un potencial constante y conocido en relación con el tiempo. Por otra parte un electrodo de trabajo, el cual se caracteriza por contar con una gran sensibilidad en relación con la especie electroactiva. Se utiliza por dos normativas ASTM para llevar a cabo la medida de los niveles de acidez y alcalinidad.

### **3.3.3 Técnicas cromatográficas.**

Cromatografía en columna, cromatografía de gases (GC), cromatografía líquida (HPLC – High Performance Liquid Chromatography).

**3.3.3.2. Cromatografía en Columna.** La técnica consiste en la separación de los diferentes compuestos del lubricante, adsorbidos en una placa de alúmina, mediante la utilización de una variedad de disolventes con polaridades diferentes. Tras un tiempo de aproximadamente una hora, la placa es expuesta a un foco de luz ultravioleta identificando los diferentes compuestos presentes en la muestra. El problema de esta técnica es la gran cantidad de tiempo necesario para realizar el ensayo y la utilización de disolventes tóxicos. Se podrían cuantificar sus analitos disolviéndolos y analizarlos mediante cromatografía líquida o gaseosa.

**3.3.3.2. Cromatografía de Gases (GC).** Con esta técnica se separan los diferentes compuestos que constituyen el lubricante en función de su punto de ebullición, posibilitando así identificar las diferentes sustancias de oxidación producidas durante la degradación del aceite. La ventaja de este método es debida a que posee un control de la temperatura muy preciso, flujo y otras condiciones permitiendo realizar un seguimiento continuo del proceso midiendo un simple parámetro: tiempo de retención.

### **3.3.4 Métodos térmicos.**

DSC - Calorimetría diferencial de barrido RPVOT - Oxidation Stability of Steam Turbine Oils by Rotating Pressure Vessel y TOST - Turbine Oil Stability Test.

**3.3.4.1. Calorimetría diferencial de barrido (DSC).** La calorimetría diferencial de barrido es una técnica térmica en la que se miden las diferencias en la cantidad de calor aportado a una sustancia y a una referencia en función de la temperatura de la muestra cuando las dos están sometidas a un programa de temperatura controlado. La diferencia básica entre la calorimetría de barrido diferencial y el análisis térmico diferencial estriba en que el primero es un método calorimétrico en el que se miden diferencias de *energía*. Por el contrario, en análisis térmico diferencial, se registran diferencias de temperatura. Los programas de temperatura para los dos métodos son similares. La calorimetría de barrido diferencial ha sido hasta ahora el método más ampliamente utilizado de todos los métodos térmicos.

### **3.3.5 Otras técnicas analítica.**

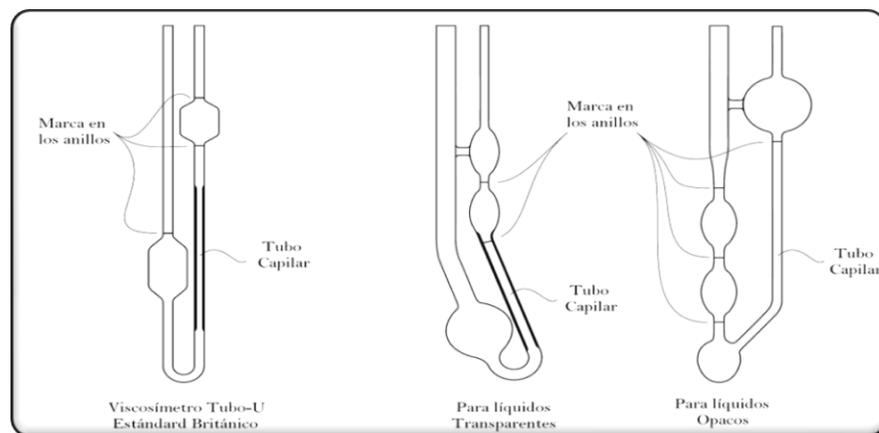
Dentro de estas técnicas se describirán aquellas que se utilizaron en el desarrollo de esta tesis como la viscosidad cinemática; así como otras técnicas que juegan un papel muy importante para cuantificar productos del proceso de oxidación del aceite lubricante, tanto de manera directa como indirecta como son corrosión al cobre, insolubles, densidad y la ferrografía.

**3.3.5.1 Viscosidad Cinemática (ASTM D 445).** Es una de las propiedades más importantes de un lubricante que describe la resistencia que presenta a fluir, un líquido, a través de un orificio determinado. Ésta se encuentra estrechamente

ligada con las fuerzas intermoleculares que conforman su estructura química por lo tanto se ve influenciada por las variaciones internas de su composición y estructura, origen del crudo y proceso de refinado, por condiciones externas como la presión y la temperatura y por la contaminación presente en el lubricante (carbonilla, agua, combustible, glicol, etc...).

Diversas técnicas de medición e instrumentos han sido desarrollados durante muchos años para la medición de la viscosidad. El más comúnmente usado en aplicaciones de ingeniería son los viscosímetros capilares y rotacionales. En general, los viscosímetros capilares son adecuados para fluidos newtonianos y viscosímetros rotacionales son adecuados para el estudio de propiedades de líquidos no ideales y en particular desviaciones de flujo newtoniano.

**Figura 5.** Tipos de viscosímetros capilares.

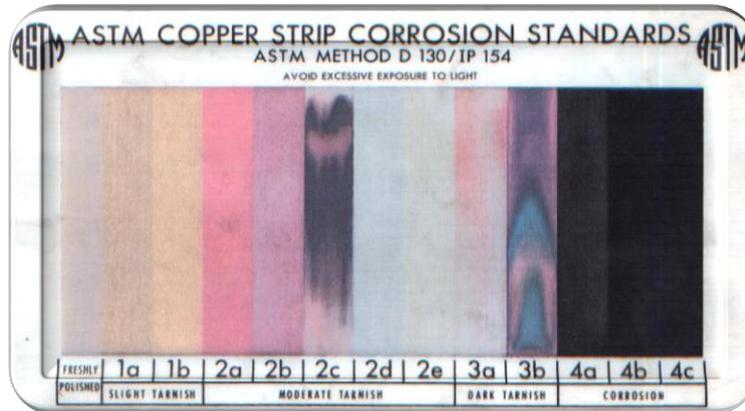


Fuente: <http://www.tdx.cat/handle/10803/104144>

**3.3.5.1. Corrosión al Cobre (ASTM D 130).** La corrosión en los motores se ha atribuido a algunos compuestos indeseables de azufre presentes en algunos productos derivados del petróleo. Esta técnica utiliza tiras de prueba de cobre. Este se basa en la decoloración de una lámina de cobre estándar que se introduce en la muestra de lubricante a una temperatura de 100 ° C durante un tiempo de 3 horas. Estas condiciones podrían ser variadas con el fin de hacer ensayos más severos. Al finalizar el tiempo en el cual se ha colocado la muestra con la tira de

cobre y a la temperatura especificada, se compara ésta (tira de cobre) con una tabla de colores y se reportan los resultados en función de la similitud con los colores que están impresos en la figura siguiente.

Figura 6 Tabla de Colores según normativa ASTM D 130.



Fuente: <http://www.tdx.cat/handle/10803/104144>

**3.3.5.1. Insolubles.** Este método se utiliza para determinar compuestos insolubles en tolueno y pentano de aceites lubricantes usados.

Los insolubles en tolueno pueden dar una idea de la contaminación procedente del exterior, de productos carbonosos producidos en la degradación del producto o por materiales de corrosión.

Los insolubles en pentano pueden dar una idea de los materiales no solubles en el aceite o de materia resinosa originada a partir de la degradación de los aditivos del aceite.

## **4. METODO EXPERIMENTAL**

El siguiente trabajo fue desarrollado en la empresa Coordinadora Mercantil en la sede de Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia, denominada como la terminal número tres en orden de mayor importancia en cuanto al tamaño y apunta a ser la terminal número dos en cuanto al volumen de mercancía que transporta, cuenta con alrededor de 300 empleados, 22 de ellos establecidos en el área de mantenimiento, la empresa dispone de ochenta y un móviles para transportar la mercancía en el sur occidente de Colombia, esta área comprende las ciudades de Cali, Pasto, Popayán y Buenaventura, entre otras.

Las móviles están destinadas a dos tipos de rutas denominadas rutas locales y domesticas, las locales comprenden el área metropolitana de Cali, y las domesticas cubren los viajes inter municipales entre las diferentes ciudades de la región. Cada móvil cuenta con un número interno el cual sirve para identificarla en ruta, esto teniendo en cuenta que la empresa cuenta con seguimiento satelital y dedica un estricto cuidado a la posición y los tiempos que se manejan en las entregas y recogidas de mercancía.

A continuación se describirán los tipos de mantenimiento manejados por la empresa, se definirán los datos relevantes de cada móvil, y se presenta el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados por el autor.

### **4.1 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA FLOTA DE TRANSPORTE DE COORDINADORA MERCANTIL.**

Coordinadora mercantil sede Cali, cuenta con un grupo de 16 profesionales en mantenimiento automotriz, personal encargado de mantener en un excelente estado todas las móviles tanto de ruta local como de ruta nacional, para esto la

empresa cuenta con un estructurado sistema de mantenimiento que se describirá a continuación.

Figura 7. Reporte de Trabajo.

### REPORTE DE TRABAJO

FECHA:  ORDEN No. \_\_\_\_\_

**IDENTIFICACIÓN DEL VEHÍCULO**

MARCA/TIPO: \_\_\_\_\_ MÓVIL No. \_\_\_\_\_ PLACA: \_\_\_\_\_ KMS: \_\_\_\_\_

ASIGNACIÓN

Ruta Nat.  Local  Masiva  Paqueteo

SOlicitado POR

Código: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**PARA MANTENIMIENTO**

Eléctrico  Mecánico  Inspección

**CAUSA DE LA ORDEN**

Accidente  Sistemático  Emergencia

#	REPARACIÓN ESPECÍFICA	OPERACION	OPERARIO	FIRMA
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Fecha ejecución:  Fecha terminación:

PENDIENTE: \_\_\_\_\_

FALTANTES HERRAMIENTA: \_\_\_\_\_

Vo. Bo. Sistemas: \_\_\_\_\_ Vo. Bo. Mantenimiento: \_\_\_\_\_

### ALISTAMIENTO PARA VIAJE VEHÍCULOS

No.	Componente, Resumido	Vx.Bo.
1	Motor, Mecánico	
2	Verificar y ajustar nivel de aceite de motor y del agua	
3	Verificar fugas en tuberías de admisión de turbos y fugas de aceite	
4	Verificar fugas de agua en el motor de la bomba	
5	Verificar nivel de agua en el radiador y cantidad de anticongelante	
6	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
7	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
8	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
9	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
10	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
11	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
12	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
13	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
14	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
15	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
16	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
17	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
18	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
19	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
20	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
21	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
22	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
23	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
24	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
25	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
26	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
27	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
28	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
29	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
30	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
31	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
32	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
33	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
34	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
35	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
36	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
37	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
38	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
39	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
40	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
41	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
42	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
43	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
44	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
45	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
46	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
47	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
48	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
49	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
50	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
51	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
52	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
53	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
54	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
55	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
56	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
57	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
58	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
59	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
60	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
61	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	
62	Verificar niveles, fluidos y niveles de aceite y cantidad de anticongelante de la bomba	

Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

El formato de la figura 7, es un reporte de trabajo, los conductores de las móviles lo deben tramitar cada vez que ingresan al finalizar ruta a la terminal, está diseñado con el fin de conocer de primera mano el desempeño del automotor en el transcurso de la ruta, este reporte es tomado por la oficina de mantenimiento y entra a una evaluación, en donde se define que tipo de prioridad tiene la novedad en caso de existir y se programan los tiempo de ejecución de tareas.

Una vez culminada esta etapa, se procede a ingresar al software especializado de mantenimiento con el que cuenta la compañía, llamado Infomante, este software es manejado por la empresa hace por lo menos doce años y allí se encuentran registrados todos los trabajos realizados a las móviles en este lapso de tiempo, su

interfaz se muestra en la figura 8. Fue creado con la finalidad de mantener un estricto control en los tiempos, repuestos y trabajos realizados a las móviles. En este software se debe proceder a abrir una Solicitud de trabajo en el cual ingresamos número interno de la móvil, kilometraje actual, nombre de quien solicita el trabajo y código del funcionario aprobador, como se observa en la figura 9.

Figura 8. Interfaz Infomante.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

**Figura 9.** Interfaz Solicitud de Trabajo, Infomante.

Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

Una vez aprobada la solicitud de trabajo, se procede en el apartado de planeación de orden de trabajo, a ingresar los repuestos requeridos para el trabajo cabe resaltar que la empresa cuenta con el registro de todos los repuestos que podría necesitar un trabajo, por lo cual solo se ingresa el ítem o código interno del repuesto, la cantidad y solicitante, seguido se da click en el botón requisición que automáticamente envía estos repuestos a la plataforma de almacén, encargados de darle salida a los repuestos, en caso de no existir en stock, este procede a solicitar los repuestos al departamento de compras, encargado de conseguir el proveedor y hacer llegar los repuestos a la terminal para posteriormente ser montados en las móviles por los técnicos y darle salida en condición operativa a la móvil, como se observa en la figura 10, todo esto se debe realizar en el menor tiempo posible con el fin de no perjudicar la operación de la empresa.

**Figura 10.** Interfaz Planeación de O.T., Infomante.

Compañía | CM | COORDINADORA MERCANTIL - MANTENIMIENTO VEHICULOS

**INFORMACION ORDEN DE TRABAJO**

No.Orden: 678633      Tipo Orden (P/S/U): P      Fecha Inicio: 02/11/2017  
 Descripción Corta: SURA:032107067 OT:675695      OT Externa:   
 Equipo: 2051      TRACTOMULA EAGLE 9400 ISX400  
 Tarea:

**REPUESTO/MATERIAL A ASOCIAR**

Fecha: 10/11/2017       Utilizado  
 Bodega: 003      YUMBO      Ubicación: ND  
 Repuesto Material: 12819      ACEITE MOTOR RUBIA TIR 7400 15W40TOTAL  
 Descripción Int.: ACEITE MOTOR RUBIA TIR7400 15W      Tipo (P/S): P  
 Referencia:      No.Parte: ND      Existencia: 233.00  
 Especificaciones:

Cantidad: 1.00      GLN      Imputación:      Meses Diferido:   
 Valor Unitario: \$ 19,896.80      Subtotal: \$   
 Garantía: Fecha:      KM      Vida Util: Fecha:      KM

**REPUESTOS/MATERIALES ASOCIADOS**

Fecha Plane	Fecha Utiliza	Repuestos/Ma	Descripción	Cant.Planea	Cant.Utilizad	Existencia	Uniq Bodega	
02/11/2017		1316	MASILLA DURETAN DOS COM	1.00	0.00	0.00	CRT 003	SI
02/11/2017		2866	PINTURA VEHICULOS ENTONA	1.00	0.00	0.00	UNE 003	SI
02/11/2017		493	CINTA ENMASCARAR 3/4" 3M	1.00	0.00	4.00	ROI 003	NI
02/11/2017		671	DISOLVENTE D - 20	1.00	0.00	0.00	GLN 003	SI
02/11/2017		5684	PINTURA BASE AMARILLA DU	1.00	0.00	0.00	GLN 003	SI
02/11/2017		764	ENDURECEDOR	4.00	0.00	0.00	DIC 003	SI
03/11/2017		6069	FAN CLUTCH EAGLE ISX 1090	1.00	0.00	0.00	UNE 003	SI

TOTAL \$

Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

Este software resulta ser una herramienta muy poderosa para el control del mantenimiento de la flota de transporte, debido a que todos los ingenieros de todas las terminales del país tienen la información en tiempo real de los trabajos y repuestos que se le están solicitando a las móviles.

A continuación se presenta un resumen de los tipos de mantenimiento realizados en la empresa Coordinadora Mercantil.

#### 4.1.1 Tipos de mantenimientos realizados.

**4.1.1.1 Mantenimiento correctivo.** Es el tipo de mantenimiento más antiguo implementado en la industria, al igual que es la forma de mantenimiento que más se evita en la empresa, claramente debido a la gran cantidad de variables que se

manejan en ruta, este es un mantenimiento que ocasionalmente se presenta, para estas eventualidades la empresa cuenta con personal de respuesta rápida y un proceso ya estipulado que se debe seguir para dar una solución eficiente en el menor tiempo posible.

Una vez identificado el tipo de mantenimiento como correctivo, se procede a ingresar la móvil al taller para que el personal especializado corrobore la falla y proceda a identificar los repuestos necesarios para corregirla, el ingeniero jefe de mantenimiento, verifica que los repuestos sean los adecuados y procede a diligenciar la orden en Infomante, con el fin de en el menor tiempo posible tener de nuevo operativa la móvil.

**4.1.1.2 Mantenimiento preventivo.** Es el mantenimiento más usado por la empresa es programado por el ingeniero Jefe de mantenimiento al finalizar cada mes, la programación se realiza teniendo en cuenta diferentes factores tales como: móviles de trabajos prioritarios debido a reportes existentes, programación por revisión tecno mecánica y programación dada por las muestras de aceite (recientemente implementada).

En este tipo de mantenimiento lo que se busca es atacar todos los componentes de las móviles que podrían fallar periódicamente, como elementos de sacrificio o fluidos, para de esta manera garantizar un funcionamiento adecuado y prolongado de las móviles.

**4.1.1.3 Mantenimiento centrado en confiabilidad.** Este tipo de mantenimiento es el más importante en la empresa, en este principio se fundamenta el mantenimiento de la misma, con el fin de sacar el mayor provecho posible de cada componente mecánico, disminuyendo al máximo los tiempos de parada y aumentando la productividad de la empresa al máximo, también se busca una reducción significativa en costos al no sustituir repuestos innecesariamente.

**4.1.1.4 Mantenimiento predictivo.** Es actualmente uno de los mantenimiento más importantes de la empresa, se fundamenta en encontrar las fallas desde sus inicios para corregirla incluso antes de que se manifieste como un problema que

pueda deteriorar la maquina, es el tipo de mantenimiento en el cual está basado este trabajo y su profundización se hará en el apartado 4.3.

## 4.2 LISTADO DE MOVILES DE COORDINADORA MERCANTIL SEDE CALI.

### 4.2.1 MOVILES NKR I.

Figura 11 Móviles NKR I.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVILES 875 Y 877.</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2005
<b>CILINDRAJE</b>	2771	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL		

#### 4.2.2 MOVILES NKR III.

Figura 12 Móviles NKR III.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVILES 889, 897, 899, 910, 911, 1804, 1805, 1830, 1846, 1847, 1848, 1855, 1862, 1864, 1866, 1874, 1877, 1878, 1881, 1882, 1883, 1884, 1885, 1886 y 1887</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2006
<b>CILINDRAJE</b>	2771	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL/DOMESTICA		

<b>MOVILES 2138 y 2139</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2009
<b>CILINDRAJE</b>	2771	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL/DOMESTICA		

<b>MOVILES 2173, 2179, 2182, 2187 y 2192.</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2010
<b>CILINDRAJE</b>	2771	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL/DOMESTICA		

<b>MOVILES 2224, 2228, 2236, 2237, 2242, 2245,2248, 2249, 2250, 2251, 2256 y 2272.</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2011
<b>CILINDRAJE</b>	2771	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL/DOMESTICA		

#### 4.2.3 MOVILES NHR T

Figura 13 Móviles NHR T



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVIL 613.</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NHR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2001
<b>CILINDRAJE</b>	2771	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL		

<b>MOVIL 622 y 623</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NHR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2004
<b>CILINDRAJE</b>	2771	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL		

#### 4.2.4 MOVILES DAIHATSU

Figura 14 Móviles Daihatsu.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVIL 1888, 1889, 2100, 2112, 2116 y 2117</b>			
<b>MARCA</b>	DAIHATSU	<b>LINEA</b>	DELTA V126L- HUTEC
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2007
<b>CILINDRAJE</b>	4100	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL/DOMESTICA		

#### 4.2.5 MOVILES NPR.

Figura 15 Móviles NPR



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVIL 799 y 801</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NPR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2001
<b>CILINDRAJE</b>	4600	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL/DOMESTICA		
<b>MOVIL 817 y 818</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NPR NA
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2002
<b>CILINDRAJE</b>	4570	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	LOCAL/DOMESTICA		

#### 4.2.6 MOVILES NKR III ELECTRONICAS.

Figura 16 Móviles NKR III Electrónicas.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVIL 2283, 2291, 2300, 2302, 2303, 2309 y 2316</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2012
<b>CILINDRAJE</b>	2999	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

<b>MOVIL 2343, 2345, 2348</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2015
<b>CILINDRAJE</b>	2999	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

<b>MOVIL 2375</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	NKR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2016
<b>CILINDRAJE</b>	2999	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

#### 4.2.7 MOVILES FRR

Figura 17 Móviles FRR.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVIL 2371, 2372 y 2447</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	FRR
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2016
<b>CILINDRAJE</b>	5193	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

#### 4.2.8 MOVILES FREIGHTLINER

Figura 18 Móviles Freightliner.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

MOVIL 445 y 448			
MARCA	CHEVROLET	LINEA	M2 106
CLASE DE VEHICULO	CAMION	MODELO	2006
CILINDRAJE	6370	TIPO COMBUSTIBLE	DIESEL
TIPO DE RUTA	DOMESTICA		

#### 4.2.9 MOVILES INTERNACIONAL

Figura 19 Móviles Internacional.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVIL 315</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	4700
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	1995
<b>CILINDRAJE</b>	7600	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

<b>MOVIL 441</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	4300
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2004
<b>CILINDRAJE</b>	7636	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

#### 4.2.10 MOVILES HINO

Figura 20 Móviles Hino.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

<b>MOVIL 2440, 2443</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	FC9JJTA
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2016
<b>CILINDRAJE</b>	5123	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

<b>MOVIL 2197</b>			
<b>MARCA</b>	CHEVROLET	<b>LINEA</b>	XZU343L-HKMMMA3
<b>CLASE DE VEHICULO</b>	CAMION	<b>MODELO</b>	2010
<b>CILINDRAJE</b>	4009	<b>TIPO COMBUSTIBLE</b>	DIESEL
<b>TIPO DE RUTA</b>	DOMESTICA		

### **4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANALISIS DE ACEITE.**

La empresa Coordinadora Mercantil S.A., ha implementado desde hace algún tiempo el mantenimiento predictivo a los motores de la flota de transporte, basándose en la toma de muestras de aceite usado, esto con el fin de sustentar de manera científica los lapsos de tiempo o recorrido entre cambios de aceite, el mantenimiento centrado en la confiabilidad es el estandarte del mantenimiento en Coordinadora Mercantil, el aceite de motor, caja y diferencial es el ejemplo más notorio de la aplicación del mismo, los cambios de aceite son prolongados hasta que la muestra de aceite analizada por los ingenieros establezca que sus propiedades empiezan a tornarse inapropiados para los componentes mecánicos. El aporte de este trabajo consistió principalmente en utilizar los análisis de las muestras de aceite de motor usado, no solo para decidir cuánto tiempo más puede mantenerse el aceite en el motor, sino también para conocer de primera mano las condiciones de operación del mismo y así corregir de manera especializada las anomalías presente en su etapa inicial, evitando de esta manera que se puedan transformar en problemas reales que puedan generar contratiempos en la operatividad de la flota.

La estrategia utilizada para poder corregir anomalías en los motores que las presentaron, fue estructurar la programación del mantenimiento preventivo, ya existente, basado en los resultados del mantenimiento predictivo, la empresa permite al jefe de mantenimiento realizar diariamente paradas programadas a dos

móviles para su respectivo mantenimiento, esto se aprovechó, programándose en orden de importancia, a las móviles que presentaban mayores anomalías en la muestra de aceite y así sucesivamente, de esta manera se trabajo en cada motor de manera individual, interviniendo directamente los componentes que según la muestra de aceite presentaban inconvenientes. Claramente no es suficiente solo intervenir un elemento y suponer que el problema está solucionado, se debía corroborar que el problema se había sustraído del motor, para lo cual se hizo necesario pasado un tiempo prudencial de operatividad del motor, volver a tomar una nueva muestra, la cual indicaría si las acciones realizadas en el mantenimiento fueron exitosas, o si por el contrario se debía programar de nuevo la móvil para un nuevo chequeo.

**Figura 21.** Programación Preventivos Noviembre.

PROGRAMACIÓN PREVENTIVOS NOVIEMBRE							Móvil	Placa	Tipo	Fec. Venc	Ciudad
LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO					
		1	2	3	4	5					
		2300 rtm	2283	2139	2117		2300	TR1975	Cert.Rev. Tecnicome	01/11/2017	CALI
		2371	445	2302	2237		1887	SNM058	Cert.Rev. Tecnicome	14/11/2017	CALI
6	7	8	9	10	11	12	1882	SNM053	Cert.Rev. Tecnicome	14/11/2017	CALI
	622	1888	1889	1887 rtm	1882 rtm		1886	SNM037	Cert.Rev. Tecnicome	16/11/2017	CALI
	889	2242	2348	2112	2214		1886	SNM057	Cert.Rev. Tecnicome	17/11/2017	CALI
13	14	15	16	17	18	19	1877	SNM048	Cert.Rev. Tecnicome	20/11/2017	CALI
	1866 rtm	1886 rtm	1874 rtm	1846 rtm	1877 rtm		1848	SNM019	Cert.Rev. Tecnicome	21/11/2017	CALI
	2375	2100	2116	2182	1885		1847	SNM018	Cert.Rev. Tecnicome	22/11/2017	CALI
20	21	22	23	24	25	26	1881	SNM052	Cert.Rev. Tecnicome	23/11/2017	CALI
1848 rtm	1847 rtm	1883 rtm	1881 rtm	801	1864 rtm		1874	SNM045	Cert.Rev. Tecnicome	19/11/2017	CALI
1862 rtm	448	613	623	818	899		1846	SNM017	Cert.Rev. Tecnicome	20/11/2017	CALI
27	28	29	30				1862	SNM033	Cert.Rev. Tecnicome	20/11/2017	CALI
910	1805	2173	2192				1883	SNM054	Cert.Rev. Tecnicome	22/11/2017	CALI
911	1878	2179	2484				1864	SNM035	Cert.Rev. Tecnicome	26/11/2017	CALI

Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

La programación se diseña actualmente con colores característicos, como se observa en la figura 21, con el fin de que los técnicos al observarla, identifiquen fácilmente si la móvil presenta inconvenientes o no en la muestras de aceite, en caso de existir, se acercan a la oficina de mantenimiento, en donde se hace una reunión previa en torno al motor de la móvil en cuestión, y se decide en común acuerdo, las partes específicas que serán intervenidas con el fin de contrarrestar posibles fallas futuras, los colores utilizados son descritos en la tabla 2.

**Tabla 2.** Colores de alerta, para mantenimiento preventivo.

TABLA DE COLORES PARA MTTO PREVENTIVO.	
ROJO	Señal de alerta máxima por muestra de aceite con anomalías que generan peligro para la móvil.
NARANJA	Señal de alerta media por muestra de aceite con anomalías que se deben corregir a modo de precaución.
NEGRO	Señal de alerta nula, la móvil se encuentra con valores en la muestra de aceite dentro de los rangos estipulados, se realiza el mantenimiento preventivo normal.

Fuente: autor.

A continuación, se describe el tipo de aceite usado en los motores diesel de la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil y los pasos necesarios para un eficiente control en el mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite.

#### **4.3.1 Tipo de aceite utilizado.**

La empresa Coordinadora Mercantil S.A., actualmente utiliza para sus motores automotrices aceite sintético, rubia tir 7400 15w40 de la marca Total, este aceite se está usando hasta que cumple los diez mil kilómetros de recorrido o cumple cuatro meses de uso, tiempo determinado por los estudios realizados por los ingenieros de la compañía, que determinaron propiedades adecuadas hasta este lapso de tiempo o recorrido, la figura 22 muestra la ficha técnica oficial de este aceite.

Figura 22. Ficha Técnica TIR 7400 15W40.



## RUBIA TIR 7400 15W40



Lubricante de muy alta performance para motores Diesel.

**APLICACION**

<b>Vehiculos industriales</b>  <b>Todo tipo de servicio</b>  <b>Medio ambiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollado para responder a los más severos requerimientos técnicos de los nuevos motores Diesel de baja emisión equipados con "válvula de recirculación de gases de escape" (EGR).</li> <li>Adaptado a las condiciones de servicio más severas: reparto, vehículos con paradas frecuentes, obras viales, cosechadoras.</li> <li>Adecuado para todo tipo de gasoil en particular con bajas proporciones de azufre.</li> <li>Adecuado para motores EURO 5 y previos (excepto motores EURO 4 5 MAN y DAF).</li> </ul>
--	--

**PERFORMANCE**

<b>ESPECIFICACIONES</b>	ACEA E5 / E7 API CI-4/SL GLOBAL DHD-1	
<b>APROBACIONES OEMs</b>	DAIMLER CHRYSLER MB 228.3 MAN M 3275 CUMMINS 20071/20072/20076/20077/20078 VOLVO VDS-3 MTU OIL TYPE 2 MACK EO-M+ RENAULT TRUCKS RLD / RLD-2 ZF TE-ML 04C Cumple con los requerimientos de CAT ECF-1-a	

**PROPIEDADES**

<b>Aumenta los intervalos de cambio</b>  <b>Un lubricante para toda su flota</b>  <b>Elevada performance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Su elevada performance permite alargar el periodo entre los cambios de aceite.</li> <li>Uso del mismo lubricante para toda su flota de motores diesel pesados, cualquiera sea su función.</li> <li>Excepcionales propiedades antidesgaste y anticorrosión.</li> <li>Buena eficiencia contra el Bore Polish (pulido de camisas).</li> <li>Excelente estabilidad de la viscosidad en operación.</li> <li>Muy alto nivel de detergencia y dispersancia</li> </ul>
--	---



**VALORES TÍPICOS**

RUBIA 7400 15W40	UNIDADES	SAE 15W40
Densidad a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	879
Viscosidad a 100°C	mm <sup>2</sup> /seg	14.2
Índice de viscosidad	-	141
Punto de inflamación	°C	>220
Punto de fluidez	°C	-20
TBN	mgKOH/g	11

Los valores de las características que figuran en este cuadro son promedios dados a título indicativo.

Fuente: [https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjp1tTgkN3XAhUwleAKHTXAAJQQFgqIMAA&url=http%3A%2F%2Fwww4.total.fr%2FEurope%2FSpain%2FFichTec\\_Total\\_Rubia\\_TIR\\_7400\\_15W40.pdf&usq=AOvVaw1anWK4pCaZELjh-21dl6l](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjp1tTgkN3XAhUwleAKHTXAAJQQFgqIMAA&url=http%3A%2F%2Fwww4.total.fr%2FEurope%2FSpain%2FFichTec_Total_Rubia_TIR_7400_15W40.pdf&usq=AOvVaw1anWK4pCaZELjh-21dl6l)

#### 4.3.2 Tipos de filtros utilizados en las móviles de coordinadora mercantil.

El filtro de aire entrega el volumen de aire necesario para convertir todo el combustible entregado por el sistema de inyección, en potencia, evitando también la entrada de partículas como polvo que generan desgaste prematuro al motor, el filtro de combustible por su parte se encarga de entregar el volumen de

combustible adecuado para una correcta combustión, evita la entrada de partículas y agua, que desgastan prematuramente el sistema de inyección y lo corroen, los filtros utilizados por la empresa son marca GOBY, filtros de una alta calidad a los cuales se les ha realizado rigurosas pruebas por parte del propietario de la empresa GOBY, y actual jefe de mantenimiento de Coordinadora Mercantil a nivel nacional, el Señor Byron Silva, que muy amablemente facilito los documentos requeridos para el desarrollo del actual trabajo, en estos se especifican las características técnicas de estos filtros y algunas de las más importantes pruebas que se han realizado a los mismos, estas se mencionaran a continuación y se muestran detalles en sus figuras correspondientes.

**Características del filtro de aire:**

- Eficiencia: 99.99% a 0.2grms/hr Hp
- Restricción: filtro nuevo 10 plg de H<sub>2</sub>O ; filtro para cambio: 25 plg de H<sub>2</sub>O.
- Partículas: 5 y 90 micras en medio contaminante

**Mantenibilidad del filtro de aire:**

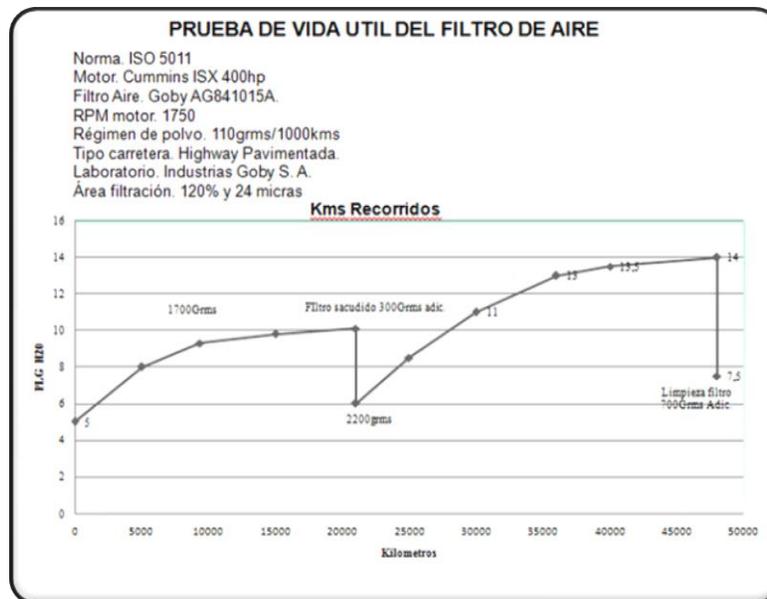
- Área de filtración. 120-150%.
- Micraje: 24-73 micras.
- Calidad elemento filtrante. Ahlstrom.
- Plizado lenticular intercalado.
- Ciclo limpieza: 10-15 plg de H<sub>2</sub>O.
- Presión de aire comprimido permitido para limpieza: 130psi

**Figura 23.** Características Filtro de Aire.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

**Figura 24.** Pruebas Filtro de Aire.



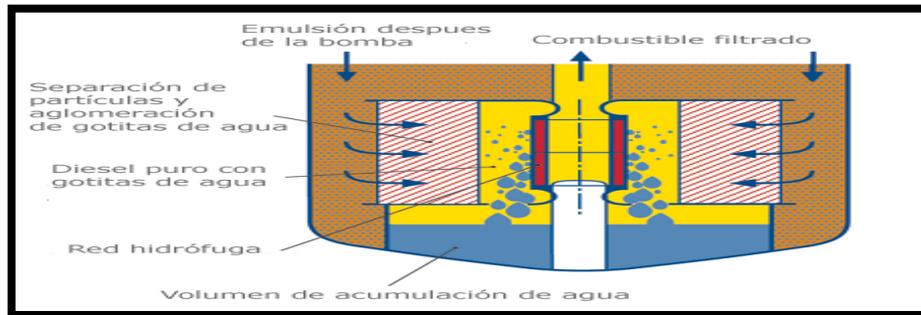
Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

### Características del filtro de combustible

- Eficiencia: 98.7% partículas;
- Trampa agua: 90% separación agua
- Caudal: 180 gls/hr

- Partículas permitidas: 5-10 micras: Sistemas mecánicos; 25-50 micras: Sistemas electrónicos.
- Restricción: Filtro nuevo: 3plg Hg; Filtro a cambiar: 12plg Hg

**Figura 25.** Estructura Filtro de Combustible.

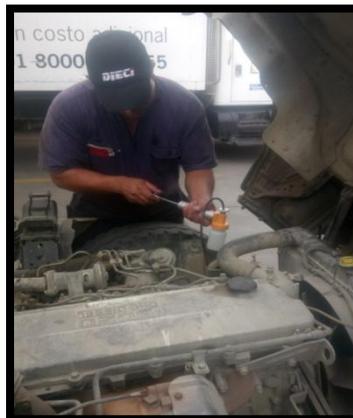


Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

#### 4.3.3 PROCESO DE TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE Y ENVIO.

Para la toma de muestras de aceite se debe seguir un cuidadoso proceso, esto con el fin de que la muestra no se contamine y de esta manera tener resultados altamente confiables que permitan a su vez tomar decisiones acertadas.

**Figura 26** Toma de muestras de aceite.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

El técnico dispone como la figura 26 lo sugiere, de un mecanismo compuesto de un recipiente de seguridad y una manguera, de uso único, proporcionados por la empresa total, la bomba de succión por vacío, pertenece a la empresa

coordinadora mercantil y es utilizada para tomar cada muestra, cuidando durante la toma de muestras y almacenamiento que se presente cualquier tipo de contaminación con el ambiente, lo cual generaría una alteración de los resultados obtenidos.

**Figura 27.** Muestras de Aceite.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

Los frascos llevan su respectiva etiqueta como se observa en la figura 27, para una fácil identificación y clasificación por parte de la empresa Vernolab S.A., Empresa encargada de realizar el análisis de las muestras y posteriormente de enviar un informe con los componentes y propiedades presentes en cada muestra, estos resultados se obtienen de dos formatos, PDF Y Excel, ambos tipos de informes son utilizados para alimentar la base de datos que se diseñó para cada móvil, también se envía un correo con un formato en archivo adjunto como el mostrado en la mostrado en la figura 28, en donde se aclara formalmente los datos consignados en la etiqueta.

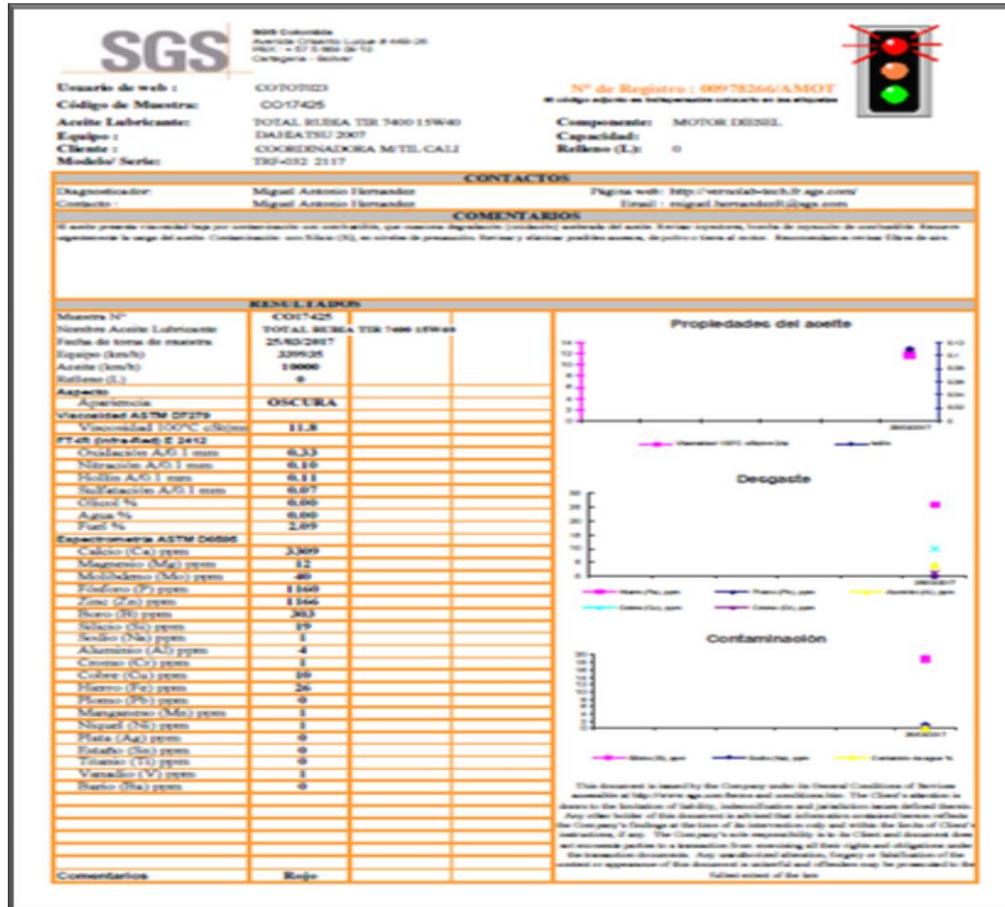
Figura 28. Formatos de muestras, Vernolab.

SGS		O G C SERVICES											
Estimado cliente: Por favor hacer llegar las muestras debidamente identificadas en la etiqueta con el número de muestra a la siguiente dirección: Avenida Crisanto Luque, No. 44B-26, Cartagena - SGS Colombia S.A.S.													
<b>FORMATO PARA ENVIO DE MUESTRAS</b>													
NOMBRE DEL CLIENTE		NOMBRE DEL DISTRIBUIDOR											
COORDINADORA MERCANTIL													
NUMERO DE ETIQUETA	CODIGO DEL EQUIPO	TIEMPO DE USO DEL EQUIPO		FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA	NOMBRE DEL PRODUCTO COMPLETO	GRADO	TIEMPO DE USO DEL ACEITE		Cambio de aceite?		Cambio de filtro?		OBSERVACIONES
		HORAS	Km				dd/mm/aa	HORAS	KILOMETROS	Si	No	Si	
CO27993	2245TRH318		203366	26/09/2017	ACEITE MOTOR RUBIA TIR 7400	15W40 - 208L		8000	X	X	X		TERMINAL CALI
CO27995	2245TRH318		203366	26/09/2017	ACEITE SPIRAX TRANSMISION S6AXME 80W140	80W140 - 208L		198166		X		X	TERMINAL CALI
CO27996	2245TRH318		203366	26/09/2017	ACEITE SPIRAX CAJA S6 GME	75W90 - 208L		198166		X		X	TERMINAL CALI
CO27976	6225NK700		438458	25/09/2017	ACEITE SPIRAX TRANSMISION S6AXME 80W140	15W40 - 208L		229458		X		X	TERMINAL CALI
CO27978	6225NK700		438458	25/09/2017	ACEITE SPIRAX CAJA S6 GME	15W40 - 208L		229458		X		X	TERMINAL CALI
CO27977	2139TRF820		281815	29/09/2017	ACEITE MOTOR RUBIA TIR 7400	15W40 - 208L		8000	X		X		TERMINAL CALI
CO27991	2139TRF820		281815	29/09/2017	ACEITE SPIRAX CAJA S6 GME	75W90 - 208L		242387	X		X		TERMINAL CALI
CO27992	2139TRF820		281815	29/09/2017	ACEITE SPIRAX TRANSMISION S6AXME 80W140	80W140 - 208L		90497		X		X	TERMINAL CALI
CO27997	2316TRI730		147675	29/09/2017	ACEITE MOTOR RUBIA TIR 7400	15W40 - 208L		8000	X		X		TERMINAL CALI
CO27943	2035TQ2739		512372	15/09/2017	ACEITE MOTOR RUBIA TIR 7400	15W40 - 208L		25000	X		X		TERMINAL CALI

Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

El laboratorio encargado del análisis de la muestra, Vernolab, tiene su sede principal en la ciudad de Cartagena por lo cual se hace necesario enviar las muestras de aceite en cajas especiales, con una capacidad máxima de diez muestras, estas se envían aprovechando la red logística de la empresa, con la etiqueta para objetos delicados con el fin de que se les dé un trato cuidadoso y garantizar que la muestra llegue a su destino sin contratiempos.

Figura 29. Formato de Informe, Vernolab.



Fuente: Coordinadora Mercantil S.A.

Una vez ingresan las muestras al laboratorio, éstas se analizan y se envía una respuesta en los formatos ya mencionados, tal como se muestra en la figura 29, para que, con estos datos, los ingenieros determinen las condiciones en que se encuentra el aceite, y si es apto o no para seguir en funcionamiento.

#### 4.3.4 BASE DE DATOS Y HOJA DE CONTROL.

Debido a la gran cantidad de móviles evaluados en el proyecto, se vio la necesidad de crear una estructurada base de datos para consignar los resultados obtenidos por parte del laboratorio, al igual que la creación de una hoja de cálculo en donde se pudiera identificar de una manera eficiente, la condición de las últimas muestras realizadas a cada motor.

Esto se organizó en un orden específico permitiendo, un acceso rápido y preciso al dato que se requiriera conocer, los archivos de correspondientes a la base de datos y hoja de cálculos se encuentran en los anexos del trabajo.

## 5. RESULTADOS.

En este capítulo del proyecto se mostraran algunos de los más importantes resultados obtenidos del mantenimiento predictivo, basado en el análisis de aceite, desarrollado en la empresa Coordinadora Mercantil sede Cali, No se muestra la totalidad de los resultados dada la gran cantidad de móviles intervenidas, evitando así volver el documento tedioso y rutinario.

### 5.1 LIMITES CONDENATORIOS.

**Tabla 3.** Limites Condenatorios y Acciones Predeterminadas.

<b>VALORES LIMITES</b>	<b>MOTORES IZUSU</b>	<b>ACCIONES CUANDO LA VARIABLE ES &gt; QUE EL LIMITE</b>
<b>Kilometraje de uso de aceite</b>	10.000 KM	REEMPLAZAR ACEITE
<b>Viscosidad 100°C (Cst)</b>	11-17	Observar la falla causal de la salida del rango de la viscosidad del aceite, corregirla, reemplazar aceite.
<b>Combustible (%Vol.)</b>	3	Calibrar inyectores, descartar desgaste en anillos, revisión del sistema de inyección, reemplazar aceite.
<b>Contenido H2O (%Vol.)</b>	0.1	Revisar fugas en el sistema de refrigeración, descartar empaque de culata, cambiar filtros, reemplazar aceite.
<b>METALES (ppm).</b>		
<b>Fe (Hierro)ppm</b>	100	Posible desgaste en camisas, cambiar filtros, modificar aceite.
<b>Cr (Cromo)ppm</b>	10	Posible desgaste en anillos, cambiar filtros, modificar aceite.

<b>Cu (Cobre)ppm</b>	20	Revisar posible desgaste en casqueteria y enfriador de aceite, reemplazar aceite.
<b>Si (Silicio)ppm</b>	9	Contaminación externa por polvo, cambiar filtro de aire, reemplazar aceite.
<b>Al (Aluminio)ppm</b>	5	Posible desgaste en pistones, cojinetes del eje de levas, contaminación externa por polvo, cambiar filtro de aire, reemplazar aceite.
<b>Pb(Plomo)ppm</b>	20	Posible desgaste en casqueteria, reemplazar aceite.
<b>ANALISIS INFRAROJO</b>		
<b>Hollín A/01mm</b>	0.15	Contaminación por exceso de combustible, revisar componentes que intervienen en la combustión, reemplazar aceite.
<b>Oxidación A/0.1mm</b>	0.2	Revisar causas de posible recalentamiento de motor, revisar dilución con otros componentes como agua o combustible, reemplazar aceite.
<b>Nitración A/0.1mm</b>	0.4	Revisar paso de gases provenientes de la combustión al depósito de aceite, reemplazar aceite.

Fuente : autor.

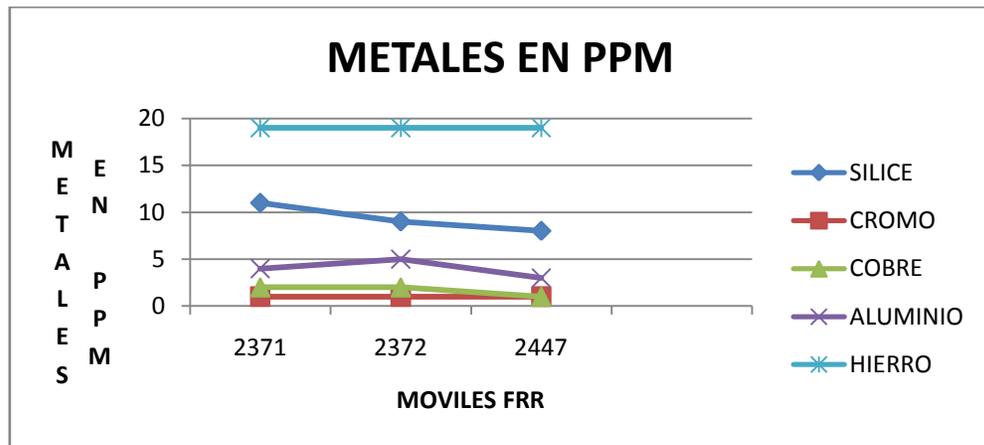
En la tabla 3, se puede observar los límites condinatorios manejados por la empresa Coordinadora Mercantil, con las respectivas acciones que se deben tener en cuenta en caso de que el límite sea superado, este cuadro de mando se realizó en consenso con el jefe mantenimiento el Señor Byron Silva, y es la base para los trabajos realizados por mantenimiento predictivo, A continuación se presentan algunos de los trabajos más significativos realizados a las móviles a partir del análisis de las muestras de aceite.

## 5.2 DATOS OBTENIDOS Y ACCIONES REALIZADAS.

Debido a que algunas móviles tendieron a comportarse de manera de similar según su marca y línea, se mostraran los datos obtenidos de manera grupal y las acciones tomadas para mitigar las fallas, en caso de que estas existan, luego se procede a detallar las móviles que se comportaron de una manera particular con las respectivas acciones tomadas para corregir las anomalías presentadas.

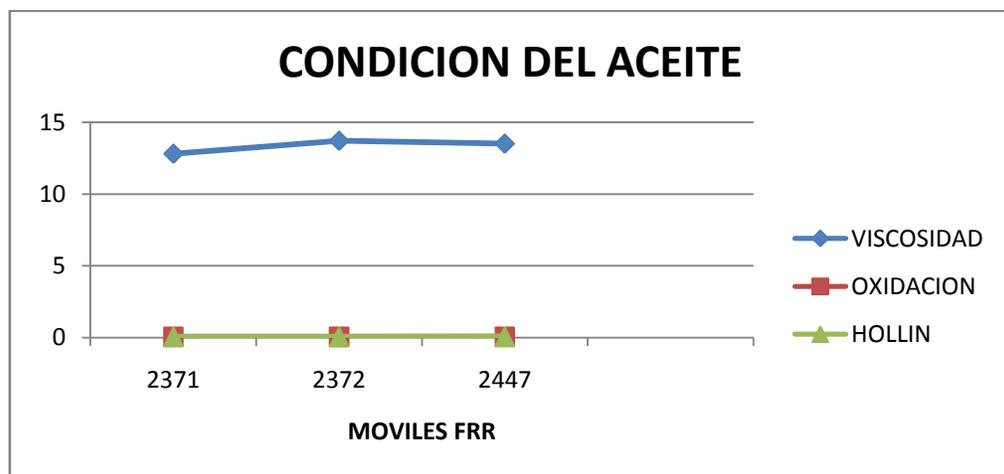
### 5.2.1 Móviles FRR.

Grafica 1. Móviles FRR, Metales.



Fuente: autor.

Grafica 2. Móviles FRR, Condiciones.

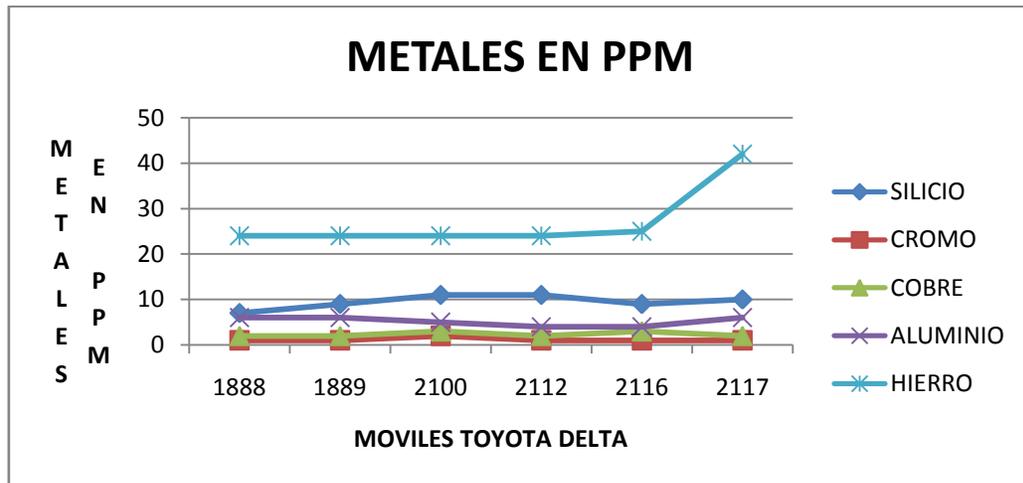


Fuente: autor.

como se puede apreciar en las graficas 1 y 2, todos las móviles marca Chevrolet, de la línea FRR, se encuentran dentro de los rangos adecuados de trabajo, por lo cual para estas móviles se realizaron solo las tareas normales del mantenimiento preventivo.

### 5.2.2 Móviles Daihatsu.

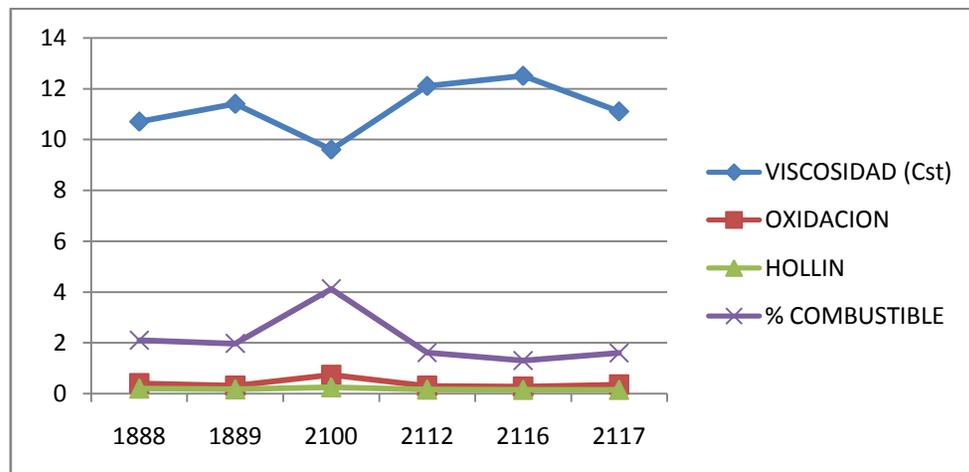
**Grafica 3.** Móviles daihatsu, metales.



Fuente: autor.

Como se observa en la grafica 3, las móviles Toyota delta no presentan índices altos de metales en el aceite por lo cual no se toman acciones de ningún tipo, en cuanto a esta parte.

**Grafica 4.** Móviles daihatsu, condición del aceite.

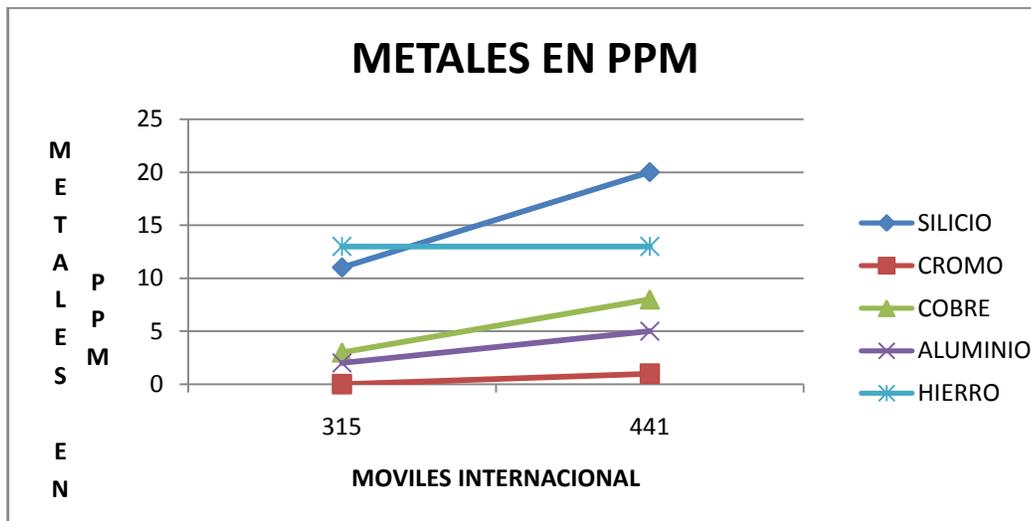


Fuente: autor.

En las móviles Daihatsu, la grafica 4, nos ilustra un fenómeno común de alto porcentaje de combustible en el aceite, acompañada de una disminución progresiva de la viscosidad, debido a que la nitración se encuentra dentro de los rangos estipulados se descarta contaminación por sopleteo y se procede a iniciar la calibración de los inyectores con el fin de controlar la degradación paulatina del aceite, se procede de igual forma a reemplazar el aceite deteriorado por aceite nuevo.

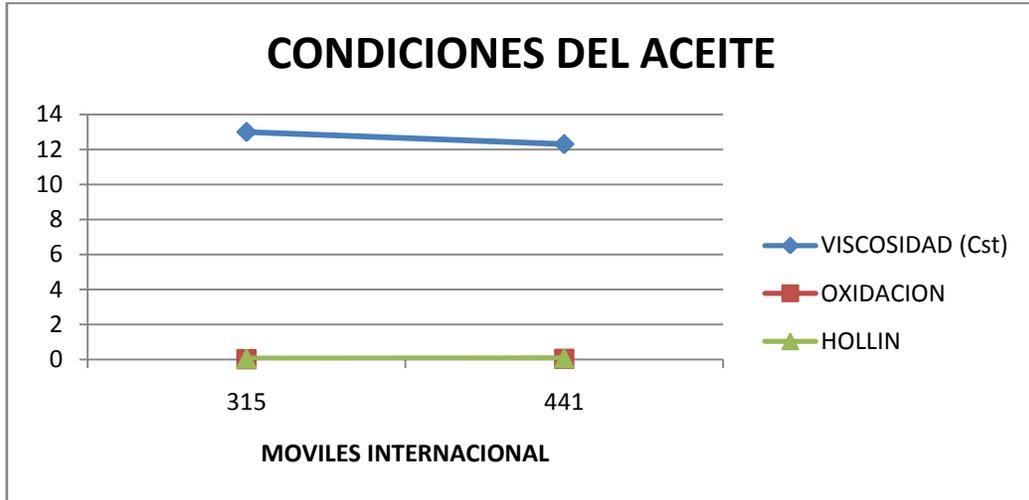
### 5.2.3 Móviles Internacional.

**Grafica 5.** Móviles internacional, metales.



Fuente: autor.

**Grafica 6.** Móviles internacional, condición del aceite.

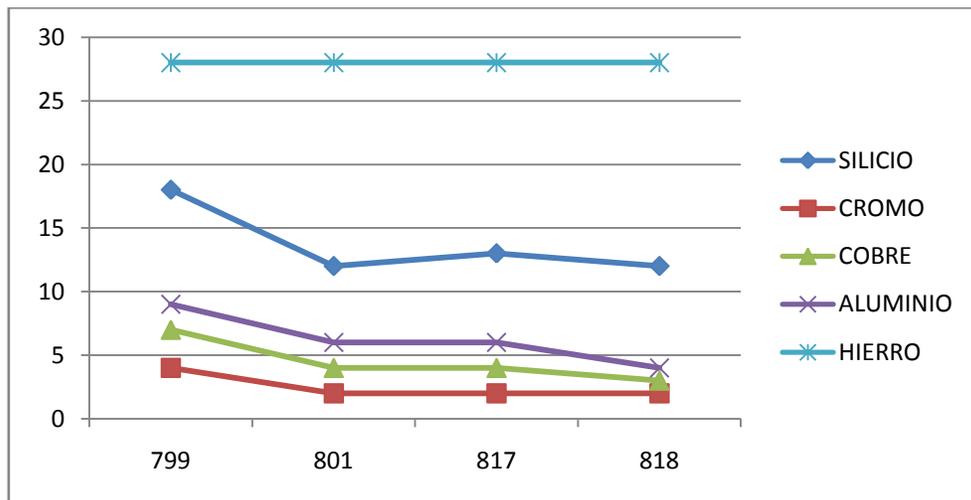


Fuente: autor.

Las móviles internacional, como las graficas 5 y 6 lo muestran, presentaron condiciones adecuadas en el estudio realizado, con alguna excepción de presencia elevada de silicio, la cual se intervino con una inspección estricta del sistema de admisión.

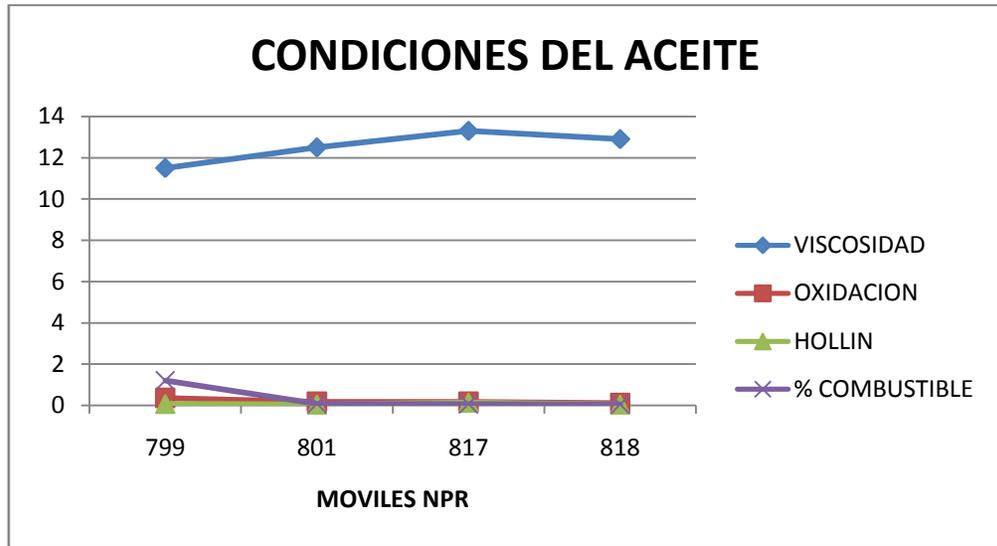
#### 5.2.4 Móviles NPR

**Grafica 7.** Móviles NPR, Metales.



Fuente: autor.

**Grafica 8, Móviles NPR, Condición del Aceite.**



Fuente: autor.

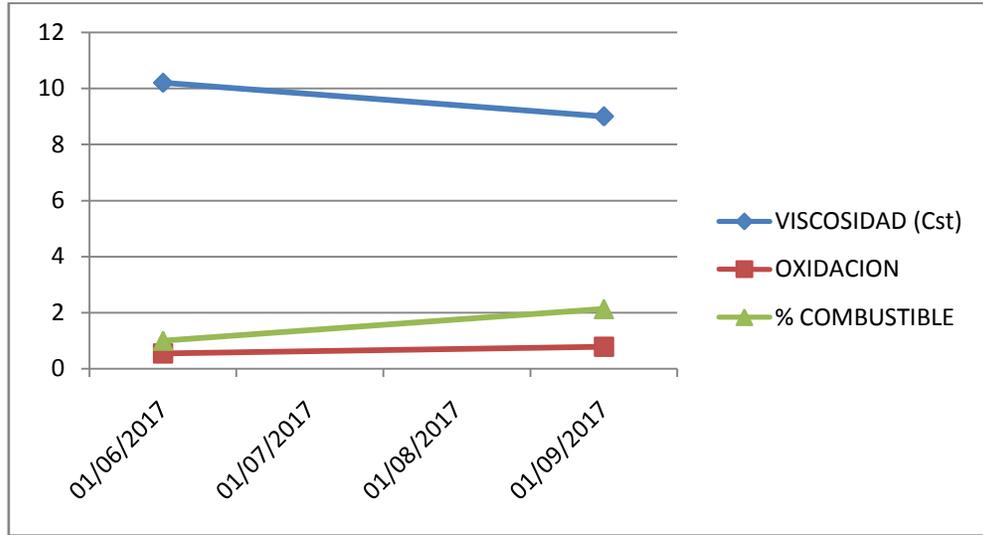
Como se identifica en las graficas 7 y 8, las móviles marca Chevrolet de la línea NPR, no presentaron mayores inconvenientes, se intensifico la revisión de respiraderos en la admisión, con el fin de evitar que sigan aumentando los niveles de silicio en estos motores.

### 5.2.5 Móviles con anomalías particulares en la muestra de aceite.

#### Móvil 2138.

Esta móvil tiene problemas significativos desde hace varios meses, en las muestras de aceite se denota una pérdida significativa de la viscosidad acompañada de un aumento en la oxidación, y en el porcentaje de combustible presente en el aceite, la primera vez que se observo este fenómeno, se decidió modificar el aceite y esperar una mejoría en la próxima muestra tomada 8000 km después, lo cual como la grafica 9 lo demuestran no fue el resultado obtenido.

**Grafica 9.** Móvil 2138, Condición del aceite.



Fuente: autor.

**Acciones:**

Se procede a programar la móvil para intervenirla calibrando sus inyectores, se reemplaza el aceite contaminado, se inicia una espera de 30 días con el fin de que el aceite de señales confiables de lo sucedido internamente, la muestra de aceite recientemente fue enviada y actualmente la oficina de mantenimiento se encuentra a espera de la respuesta por parte del laboratorio Vernolab.

El resto de móviles NKR III convencionales, presentan las condiciones del aceite dentro de los rangos establecidos por lo cual se les aplica solo mantenimientos preventivos rutinarios.

**Móvil 2283**

**Tabla 4.** Valores de muestra de aceite, Móvil 2283.

MÓVIL	MODELO/SERIE	CONDICION	FECHA DE ANALISIS	KMS	VISCOSIDAD	OXIDACION	NITRACION	AGUA %	HOLLIN	SULFATACION	COMB %	Fe	Cr	Al	Cu	Pb	Si
					11 → 17	0.2	0.4	0.1	0.15	0.2	3	100	10	5	20	20	9
2283	TRI408	Verde	25/03/2017	346150	12.5	0.05	0.07	0	0.25	0.03	1.2	17	1	4	2	0	12
		Rojo	04/10/2017	368270	12.9	0.05	0.06	0	#(REF!)	#(REF!)	1.1	68	4	22	4	0	33

Fuente: autor.

En la tabla numero 4, se observa una muestra de aceite en signo de alerta por alta presencia de sílice y aluminio, se procedió a realizar inspección de la admisión del motor con la finalidad de identificar posibles respiraderos, se cambian algunas abrazaderas con signos de deterioro, se sopleteo el filtro de aire que se encontró relativamente nuevo, se procede a cambiar el aceite y se programa la toma de una nueva muestra de aceite 30 días después en donde observa una notoria mejoría, representada en la tabla numero 5, se elimina la condición de alarma.

**Tabla 5.** Valores de muestra de aceite, Móvil 2283.

MOVIL	MODELO/SERIE	CONDICION	FECHA DE ANALISIS	KMS	VISCOSIDAD	OXIDACION	NITRACION	AGUA %	HOLLIN	SULFATAION	COMB %	Fe	Cr	Al	Cu	Pb	Si
					11 -> 17	0,2	0,4	0,1	0,15	0,2	3	100	10	5	20	20	9
2283	TRI408	Verde	04/11/2017	376100,0	13	0,04	0,06	0	0,17	0,03	0	29	2	8	2	0	12
		Rojo	04/10/2017	368270	12,9	0,05	0,06	0	#(REF!)	#(REF!)	1,1	68	4	22	4	0	33

Fuente: autor.

**Figura 30.** Toma de muestra de aceite, Móvil 2283.



Fuente: autor.

Este mismo tipo de procedimiento fue realizado a varias móviles de la empresa con índices de silicio superiores al límite establecido.

### Móvil 2343

Presento en la muestra de aceite descrita en la tabla 6, altos niveles de aluminio, cobre y sílice, se procedió a programar para preventivos el día 2 de octubre, en donde se reviso entradas o respiraderos del motor para controlar la entrada de polvo registrada en la muestra, este modelo de NKR trae culata de aluminio, por lo cual se manejo la hipótesis de que los problemas en la misma podrían haber generado el registro alto en la muestra, sin embargo, debido a lo que implica la parada de la móvil para un trabajo de solo inspección, se procedió a tomar una nueva muestra con el fin de corroborar la información e intervenir con datos confirmados.

**Tabla 6.** Valores de muestra de aceite, Móvil 2343.

MÓVIL	MODELO/ESPEC.	CONDICIÓN	FECHA DE MUESTRA	UNID.	VISCOSIDAD	OXIDACION	NITRACION	AGUA %	HOLLIN	SULFATACION	COMB %	Fe	Cr	Al	Cu	Pb	Si
2343	TRL864	Verde	09/03/2017	179909	12.5	0.05	0.05	0	0.14	0	0	13	1	5	1	1	11
		Rojo	18/09/2017	204422	12.9	0.03	0.06	0	0.11	0.03	0	61	4	14	83	0	23

Fuente: autor.

La móvil el día 26 de octubre registra un recalentamiento y burbujeo en el depósito auxiliar por lo que entra por correctivos de nuevo al taller, encontrándose falla en el sello de compresión que debe realizar, se procede con el desmonte de la misma.

**Figura 31.** Culata defectuosa, móvil 2343.



Fuente: autor.

Este modelo de NKR presenta inconvenientes al parecer con el material del que está compuesta la culata y/o tipo de fabricación de la misma, por lo cual la empresa ha tenido diferentes inconvenientes, en el interior de la culata se forman cráteres con la forma de paneles de abejas, que posteriormente permiten el paso del refrigerante a la cámara de combustión y una pérdida de compresión comprobada por el burbujeo presente en el depósito auxiliar, la culata no tiene reparación por lo cual es necesario la compra de una nueva culata con un costo total aproximado de cinco millones de pesos.

**Figura 32.** Culata nueva, Móvil 2343.



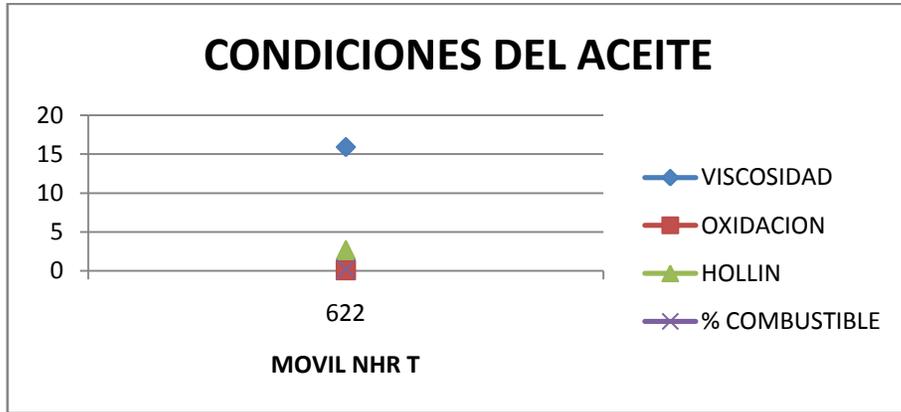
Fuente: autor.

Los datos de la muestra de aceite quedan como un referente estadístico de alarma de falla de culata en estos modelos de NKR.

Las de mas móviles NKR III Reward, presentan niveles apropiados en sus muestras de aceite por lo cual solo se les realiza el mantenimiento preventivo tradicional.

### MOVIL 622.

Grafica 10. Condición de aceite, Móvil 622.

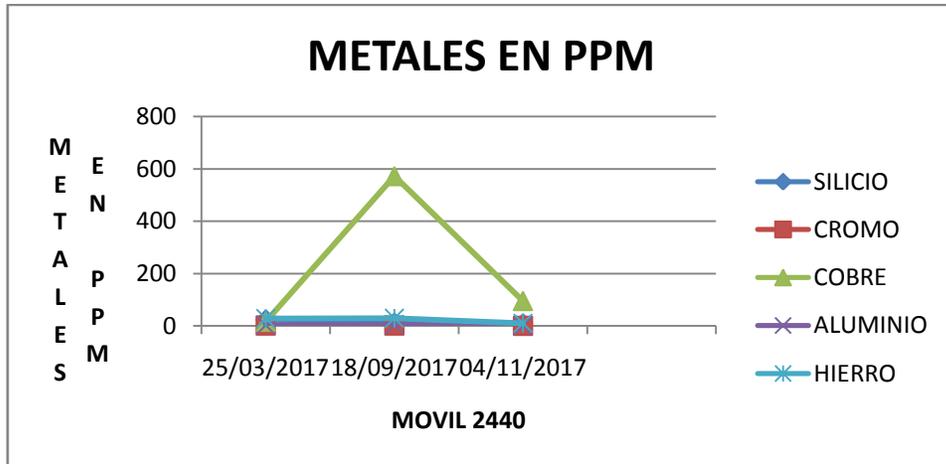


Fuente: autor.

Como la grafica 10, lo demuestra esta móvil presenta un aumento considerable en su viscosidad, aumento que si bien esta dentro de los limites, ya representa un gasto adicional de combustible por parte del motor al encontrarse una resistencia más alta a fluir por parte del aceite, se determina según lo analizado en la muestra, que el aceite se encuentra contaminado por partículas asociadas con la combustión, para lo cual se programa una calibración de motor para los primeros días del mes de noviembre.

### Móvil 2440

Grafica 11. Móvil 2440, metales.



Fuente: autor.

Las muestras de aceite pertenecientes a la móvil 2440 mostradas en la grafica 11, son uno de los mayores desafíos actualmente para la oficina de mantenimiento, el día 18 de septiembre del año en curso, se tomo una muestra de aceite de motor, aprovechando que este cumplía los ocho mil kilómetros de recorrido y debía ser reemplazado, esta muestra fue enviada al laboratorio Vernolab, este devolvió un informe en el que se registraba un incremento muy alto de partes por millón de cobre, incremento nunca antes registrado en una muestra de aceite de motor, por lo cual se manejo la hipótesis de que podría tratarse de una contaminación externa en el momento de la toma de la muestra, sin embargo para corroborar esta hipótesis, se decidió esperar un tiempo prudencial de 15 días para dejar que el aceite nuevo se mezclara y mostrara realmente lo que está sucediendo internamente, cumplida esta fecha se extrajo de nuevo una muestra y se envió al laboratorio, el cual en su informe entrega de nuevo un índice muy alto de cobre para un aceite relativamente nuevo, debido a que esta respuesta fue recibida en los primeros días de noviembre del año en curso, cuando ya la programación de preventivos se había realizado, esta móvil quedo para la programación del mes de diciembre, mes en que se planea bajar el enfriador de aceite para descartar desgaste en el mismo.

### **5.3 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA COORDINADORA MERCANTIL.**

Todos los tipos de mantenimiento automotriz actuales tienen algo en común, preservar la vida útil de los vehículos y sus componentes, para de esta manera disminuir los costos generados en cambios de piezas dañadas o de vehículos averiados. El mantenimiento predictivo basado en el análisis de las muestras de aceite usado, trabajado en el actual proyecto, claramente busca lo mismo, pero desarrollado de una manera más eficiente y especializada, sin embargo, es necesario saber que tan costoso puede ser para la compañía implementar este

tipo de mantenimiento, conocer que beneficios económicos y operativos brindara, para de esta manera, determinar si la aplicación del mismo es viable o no.

La compañía Coordinadora Mercantil cuenta con alrededor de 890 camiones y 160 tracto-mulas, en su flota de transporte de carga, esta cantidad de vehículos, en constante aumento, la convierte en un cliente especial para cualquier empresa proveedora de aceite lubricante. Esta situación fue prevista por el Jefe de mantenimiento nacional, quien lo aprovecho para exigir a la empresa proveedora del aceite lubricante, que realizara los análisis de aceite usado y enviara a la compañía informes con los resultados en el menor tiempo posible. Quedando Coordinadora Mercantil responsable solo de hacer llegar las muestras de aceite al laboratorio, para lo cual aprovecha su red logística reduciendo los costos en análisis de aceite a prácticamente cero pesos.

Se deben poner en contexto también, los gastos que se podrían generar en caso de no existir este tipo de mantenimiento, para lo cual se simulo que las acciones preventivas tomadas en el desarrollo del proyecto, no se hicieron, encontrándose, que solo en móviles que reportaron alto grado de silicio, presentaron pérdida de fuerza debido a la obstrucción por polvo en la admisión y se habrían desgastado componentes mecánicos por abrasión, si no se hubiera tomado ninguna medida correctiva.

La medida tomada para evitar la falla de igual manera tiene un costo que se debe comparar con el costo que tendría dejar fallar la móvil, a continuación se relaciona un cuadro con algunos de estos datos.

**Tabla 7.** Costos de acciones preventivas vs costo de falla.

COSTO DE ACCIONES TOMADAS VS COSTO DE FALLA		
INDICADOR	COSTO DE ACCION PREVENTIVA	COSTO DE ACCION CORRECTIVA
Alto grado de silicio	Abrazaderas \$5.000, filtro de aire \$25.000 , cambio de aceite \$165.000, mano de obra \$35.000 Total= \$230.000.	Trasbordo \$50.000, Grúa \$250.000, filtro de aire \$25.000, abrazaderas \$5.000, reparación de motor \$2'000.000, cambio de aceite \$165.000, mano de obra \$800.000. Total= \$3'295.000
Alto grado de combustible en el aceite.	Filtro de combustible \$28.000, cambio de aceite \$ 165.000, mano de obra (incluyendo la calibración de los inyectores) \$80.000. Total= 273.000	Trasbordo \$50.000, Grúa \$250.000, reparación de motor \$2'000.000, cambio de aceite \$165.000, mano de obra (incluyendo calibración de inyectores y bomba de inyección) \$1,200.000. Total= 3'665.000.
Alto grado de oxidación	Determinar que componente esta oxidándolo y corregirlo \$200.000, cambio de aceite \$165.000, cambio de filtros \$131.000. Total= \$496.000.	Trasbordo \$50.000, Grúa \$250.000, reparación de motor \$2'000.000, cambio de aceite \$165.000, cambio de filtros \$131.000, mano de obra (incluyendo calibración de inyectores y bomba de inyección) \$1,200.000. Total= \$3'796.000.

Fuente: autor

Nota: El valor del alquiler de un vehículo de reemplazo en caso de presentarse una móvil varada es de \$180.000 diarios.

En la tabla numero 7, se describe la vital importancia de este tipo de mantenimiento en costos para la compañía, estos datos se han tratado con los directivos de la misma, los cuales han decidido intensificar el posicionamiento de este tipo de mantenimiento en la empresa, con la finalidad de tener siempre el conocimiento de las condiciones internas de los motores, y de esta manera garantizar los tiempo que la compañía maneja con sus clientes a un bajo costo.

## **6. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.**

### **6.1 IMPORTANCIA DE LAS MUESTRAS DE ACEITE.**

Como se dijo en un apartado anterior, la empresa Coordinadora Mercantil S.A., ya venía realizando análisis de aceite a los motores de la flota de transporte principalmente de ruta nacional (Tracto-mulas), aun no se había pensado en estructurar los mantenimientos preventivos de las móviles locales y domesticas, basándose, en las muestra de aceite, principalmente porque no se veía la necesidad de hacerlo, en la práctica empresarial se observó esta oportunidad para optimizar el mantenimiento de Coordinadora Mercantil S.A., seguido se realizó un proceso necesario para poner en marcha el proyecto, este se describe a continuación.

Mediante diálogos con el jefe de mantenimiento de la sede de Cali y el jefe de mantenimiento nacional, se determino la posibilidad de implementar el análisis de aceite de una manera profunda y estructurada a todas las móviles de la sede, con el fin de ajustar el mantenimiento preventivo realizado, con los resultados del mantenimiento predictivo basado en las muestras de aceite usado de motor, para lo cual ofrecieron todo su apoyo y respaldo.

Se inicio el proceso con la toma de muestras con el fin de tener datos vigentes de todas las móviles y empezar a enviar muestras al laboratorio, para que estas llegaran por paquetes que se hicieran más fáciles de transportar y analizar. Al mismo tiempo se empezó a generar la base de datos y la hoja de control de acciones, para agilizar la estructuración del mantenimiento predictivo, las muestras de aceite empezaron a ser analizadas y los informes comenzaron a ser enviados por parte del laboratorio, al llegar estos informes, se discutían con el ingeniero jefe de mantenimiento, con el fin de ir teniendo conocimiento de que móviles necesitarían intervención y en que fechas se podría realizar.

## **6.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO SEGUN EL ANALISIS DE ACEITE.**

Debido a que los técnicos venían realizando una forma ya determinada de mantenimiento preventivo clásico, siempre fue una incógnita el saber cómo iban a tomar la nueva forma de trabajo, y las nuevas acciones que iban a tener que desempeñar diariamente, se uso la estrategia de comentarles desde el principio, la importancia de cambiar algunos aspectos del mantenimiento realizado, y las ventajas que iba a tener realizar las acciones correctivas de fallas, que incluso aun no se presentaban, de la mejor manera. Se decidió utilizar colores alusivos a las condiciones del aceite en el cuadro de la programación de preventivos mensualmente, esto con el fin de que una vez identificada la señal de alerta se dirigieran a la oficina de mantenimiento, para en común acuerdo decidir la mejor acción que se podía realizarse en la móvil con el fin de contrarrestar posibles fallas en un futuro.

## **6.3 CONFIABILIDAD EN LAS MUESTRAS DE ACEITE.**

El proceso que se siguió para la toma y envío de muestras fue de estricto cuidado evitando a toda costa que las muestras se contaminaran o se presentaran fugas en el proceso de traslado, esto con el fin de obtener siempre resultados altamente confiables, y de esta manera tomar las decisiones más acertadas posibles. Para tranquilidad de la empresa, la mayoría de las móviles de la empresa presentaron muestras con condiciones apropiadas de trabajo, pero en algunos casos particulares en se encontraron anomalías en las muestras, al realizarles la inspección a los vehículos, se ubicaron las fallas relacionadas con lo mostrado por el análisis de aceite, ratificando de esta manera el gran poder que tiene esta herramienta. También permitió tomar conciencia para prestar más atención a

cualquier signo de alerta observado, ya que seguramente la móvil tendería a fallar al no tomar acciones inmediatamente.

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, quedo como el principal aportante a tener en cuenta al momento de programar las móviles a preventivos mensuales.

#### **6.4 DISMINUCIÓN DE COSTOS A TRAVES DEL ANALISIS DE ACEITE.**

En la tabla numero 8, se pudieron observar algunos de los ejemplos más claros de como a través del análisis de aceite, la empresa puede ahorrar mucho dinero y mantener operativa toda la flota de transporte, aumentando significativamente la productividad de la empresa, generando como valor agregado, una alta confiabilidad entre todos los clientes y conductores.

#### **6.5 CONDICION GENERAL DE LOS MOTORES DE LA FLOTA DE TRANSPORTE SEGUN EL ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE ACEITE.**

Se determina una buena condición general de las móviles, se encuentran algunos inconvenientes particulares que se califican como normales teniendo en cuenta la ardua operación diaria a la que son sometidos los vehículos, sin embargo hay algunos casos en los que las muestras de aceite analizadas y las experiencias vividas en el taller, denotan una condición especial de alerta, estos se describirán a continuación.

##### **6.5.1 Móviles NKR III Reward modelo 2012.**

Estas móviles tienen como se expresó en apartados anteriores problemas significativos al parecer con el material y/o método de fabricación usado en la elaboración de las culatas, la empresa ya se ha visto en la necesidad varias veces de cambiarlas debido a que en su mayoría no tienen reparación, el Ingeniero Byron Silva, Jefe de mantenimiento de la empresa a nivel nacional, opto por hacer algunos ensayos a las mismas, los cuales arrojaron malformaciones internas que

solo con el tiempo se convierten en causales de falla, la investigación realizada para el desarrollo de este trabajo, dejo ver las condiciones que presenta la muestra de aceite justo unos días antes de que la culata falle irremediamente, estos análisis quedan como una estadística de señal de alarma en estos vehículos.

### **6.5.2 Móviles daihatsu modelo 2007**

Estas móviles muestran un comportamiento similar en las muestras de aceite, con altos contenidos de combustible en el aceite, baja viscosidad y alta oxidación, para estas móviles se determinó como acción correctiva realizar una calibración de inyectores, permitir un lapso de tiempo de operación con aceite nuevo y volver a tomar muestras, en caso de encontrarse que el problema persiste se determinara que los inyectores han llegado al final de su vida útil y serán reemplazados por inyectores nuevos, de igual manera se someterá la bomba de inyección a una calibración con el fin de eliminar la falla totalmente.

### **6.5.3 Móvil 2440 Hino modelo 2016.**

Esta es una móvil causa especial atención debido a que es de las más nuevas que operan actualmente en la sede Cali, los altos niveles de cobre presentes en las muestras de aceite podrían denotar una falla en su fabricación, por lo cual se le está haciendo un especial seguimiento, se programo para retirar su enfriador de aceite, para revisión, de no encontrarse mejora en los parámetros, se procederá al envío de la misma al taller encargado de la garantía, con el fin de que estos hagan las pruebas pertinentes y den a la empresa un informe claro y conciso de lo acontecido con la misma.

## 7. CONCLUSIONES

- Se analizó a profundidad el estado del arte en todo el tema referente al mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, encontrándose una gran cantidad de valiosa información que permitió generar un criterio valido al momento de intervenir las móviles que lo requirieron, conociendo de antemano las causas y posibles soluciones de los problemas presentados.
- Se concluyó que el plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, fue exitoso, dado que al seguir el procedimiento establecido, se pudieron determinar el estado general de los motores automotrices de la flota de transporte de la empresa Coordinadora Mercantil, sede Cali, interviniéndose en las ocasiones que lo ameritaban, impidiendo de esta manera, fallas en ruta de las móviles, paradas no programadas que ocasionaran perdidas tanto económicas como de credibilidad en la empresa.
- Se observó que el punto más crítico en el proyecto fue el envío de muestras y los tiempos de espera de respuestas por parte del laboratorio, debido a que las muestras se movilizaban por tierra a la ciudad de Cartagena, estas muchas veces tendían a presentar fugas y se debían cambiar, perdiendo mucho tiempo vital para la toma de decisiones, también debido a que en este laboratorio entran las muestras de aceite de las móviles de ruta nacional de todo el país, muchas veces se generaba congestión, que se veía traducida en largos tiempos de espera para la respuestas de las muestras analizadas, cuestión que de una manera u otra perjudico de igual forma la rápida creación de la base de datos por parte del autor.
- Se encontró una reducción significativa de móviles varadas en ruta, en el periodo de implementación del proyecto ninguna móvil tuvo que ser traída

al taller en grúa, también los costos de mantenimiento se redujeron considerablemente.

- El TBN es una de las propiedades más importantes del aceite, en este proyecto no se pudo tener en cuenta debido a que el laboratorio Vernolab, no realiza esta prueba e implementarla produciría un costo adicional no pactado por la empresa TOTAL proveedora del aceite lubricante y encargada de costear los análisis del aceite usado.

## **8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.**

El plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceites realizado, consta de diferentes etapas que tienden a ser extensas en cuanto a tiempos de espera, por lo cual, para trabajos posteriores que se realicen en relación a este tema, se debe contar con una alta disponibilidad de tiempo, para así agilizar procesos como la primera toma de muestras y el tratamiento de la información, al igual la única forma de saber si las acciones realizadas fueron efectivas, es proporcionando tiempos prolongados de trabajo del aceite en el motor, con la finalidad de que al momento de ser analizado, muestre datos confiables de lo sucedido internamente.

El trabajo realizado se basó en el análisis de aceite lubricante usado en motores diesel, debido a la importancia que tiene este en los vehículos de carga y a la dificultad de incluir más análisis debido al tiempo, pero dado que todos los vehículos utilizan más sistemas mecánicos que requieren lubricación como la transmisión o la diferencial, tan importantes para su funcionamiento como el motor, se puede aprovechar para desarrollar estos estudios en proyectos posteriores convirtiéndose en un complemento muy importante para el presente trabajo.

El TBN, es una de las propiedades más importantes del aceite lubricante que no se ha tratado en el actual trabajo por motivos mencionados en apartados anteriores, sin embargo, es de vital importancia para trabajos futuros sea tenido en cuenta y analizado, esto debido a que está demostrado, que no mantenerse dentro de los rangos estipulados podría ser fatal para cualquier motor de combustión interna.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Ewarostek, M. E. (2017). The influence of oil pressure in the engine lubrication system on friction losses. *sciense direct* , 60-965.

Montiel, V. M. (2006). *Metodologia para integrar la tecnologia de analisis de aceites a los programas de mantenimiento predictivo en sistemas hidraulicos*. santiago de queretaro.

Moubray, j. (2006). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. oxford: butterworth heinemann.

Olarte, w. &. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *scientia et technica* , 45.

Phd. Simón J. Fygueroa Salgado, M. J. (2009). Mantenimiento predictivo de motores mediante analisis de. *revista colombiana de tecnoligias de avanzada* , 91-96.

S.zzeyani, M.J. (2016). Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil. *sciense direct* , 27-32.

Silva, n. a. (2013). *Análisis de aceite para detección temprana*. guatemala.

## ANEXOS

### **Anexo 1.**

[Datos de muestras de aceite recolectados para cada vehículo de la flota de transporte, de Coordinadora Mercantil.](#)

### **Anexo 2.**

[Hoja de control, muestras de aceite.](#)