

MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO CON ANÁLISIS DE ACEITES APLICADO A LOS MOTORES DE  
COMBUSTIÓN DE TRACTO CAMIONES PARA LA FLOTA DE VEHÍCULOS DE  
LA EMPRESA PRODECA S.A.

ADOLFO JAVIER REDONDO CONRADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2018

MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO CON ANÁLISIS DE ACEITES APLICADO A LOS MOTORES DE  
COMBUSTIÓN DE TRACTO CAMIONES PARA LA FLOTA DE VEHÍCULOS DE  
LA EMPRESA PRODECA S.A.

ADOLFO JAVIER REDONDO CONRADO

Monografía de grado presentada como requisito para optar por el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:

ING. NORMAN JOSÉ MANTILLA MÉNDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2018

## DEDICATORIA

A DIOS por ser el inspirador.

A Mauxy por tener fe en mí.

A Tita por ser mi apoyo y soporte, para continuar y no flaquear.

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....                          | 13 |
| 1 TRIBOLOGIA.....                           | 16 |
| 1.1 LUBRICANTES.....                        | 17 |
| 1.2 TIPOS DE LUBRICANTES .....              | 18 |
| 1.2.1 Aceites Lubricantes.....              | 18 |
| 1.2.1.1 Bases Minerales.....                | 19 |
| 1.2.1.2 Bases Sintéticas.....               | 19 |
| 1.2.1.3 Aditivos. ....                      | 20 |
| 1.2.1.4 Características Y Propiedades.....  | 21 |
| 1.2.1.4.1 Densidad.....                     | 21 |
| 1.2.1.4.2 Viscosidad.....                   | 21 |
| 1.2.1.4.3 Índice De Viscosidad.....         | 22 |
| 1.2.1.4.4 Desemulsion. ....                 | 22 |
| 1.2.1.4.5 Espuma. ....                      | 22 |
| 1.2.1.4.6 Numero Basico Total (Tbn).....    | 23 |
| 1.2.1.4.7 Numero De Acido Toral (Tan). .... | 23 |
| 1.2.1.4.8 Punto De Inflamación.....         | 23 |
| 1.2.1.4.9 Punto De Combustión. ....         | 24 |
| 1.2.1.4.10 Punto De Enturbiamiento. ....    | 24 |
| 1.2.1.4.11 Punto De Congelación. ....       | 24 |
| 1.2.1.4.12 Punto De Anilina. ....           | 24 |
| 1.2.1.4.13 Tendencia A Corrosión. ....      | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 1.2.1.4.14 Volatilidad. ....               | 24 |
| 1.2.1.4.15 Resistencia Pelicular.....      | 25 |
| 1.2.2 Grasas. ....                         | 25 |
| 1.2.2.1 Características Y Propiedades..... | 25 |
| 1.2.2.1.1 Penetración.....                 | 25 |
| 1.2.2.1.2 Resistencia A La Oxidación. .... | 26 |
| 1.2.2.1.3 Punto De Gota. ....              | 26 |
| 1.2.2.1.4 Separación De Aceite. ....       | 26 |
| 2. MOTOR CUMMINS ISX.....                  | 27 |
| 2.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN.....            | 30 |
| 2.3 FILTRACIÓN.....                        | 34 |
| 3. ANÁLISIS DE ACEITES.....                | 39 |
| 3.1 TIPO DE MUESTRA. ....                  | 41 |
| 3.2 PERIODICIDAD EN TOMA DE MUESTRA. ....  | 42 |
| 3.3 CALIDAD DE COMBUSTIBLE.....            | 43 |
| 3.4 EXTENSIÓN CAMBIOS DE ACEITE.....       | 45 |
| 3.5 VIDEOSCOPIA. ....                      | 51 |
| 4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....            | 55 |
| 5. CONCLUSIONES.....                       | 69 |
| BIBLIOGRAFIA.....                          | 71 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Limites condenatorios cummins .....                       | 49 |
| Tabla 2: Propiedades SHELL Rimula R5 E.....                        | 58 |
| Tabla 3: Datos viscosidad SOZ151 .....                             | 59 |
| Tabla 4: Datos viscosidad SOZ623.....                              | 60 |
| Tabla 5: Datos viscosidad TAW145 .....                             | 60 |
| Tabla 6: Resultados análisis aceites usados .....                  | 61 |
| Tabla 7: Fuentes más comunes de elementos en el aceite usado ..... | 63 |
| Tabla 8: análisis Económico de cantidades .....                    | 68 |

## TABLA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Lado Admisión .....   | 28 |
| Figura 2. Lado Escape .....   | 29 |
| Figura 3. Frente .....  | 30 |
| Figura 4. Flujo del sistema de aceite lubricante (información general). .....                         | 31 |
| Figura 5. Flujo del sistema de aceite lubricante. ....  | 32 |
| Figura 6. Flujo del sistema de aceite lubricante .....  | 33 |
| Figura 7. Gripado .....   | 35 |
| Figura 8. Destrucción parcial de cámara combustión .....  | 36 |
| Figura 9. Desgaste por partículas dentro del cilindro. ....   | 36 |
| Figura 10. Insuficiencia de aceite en el cojinete.....  | 37 |
| Figura 11. Fractura de aleación. ....   | 37 |
| Figura 12: Seguimiento análisis de aceite SOZ153 parte 1 .....  | 47 |
| Figura 13: Seguimiento análisis de aceite SOZ153 parte 2 .....  | 48 |
| Figura 14: Equipo de videoscopía.....   | 52 |
| Figura 15: TAW251, Pistón #4 .....  | 52 |
| Figura 16: TAW251, Camisa #4.....   | 53 |
| Figura 17: TAW251, culata y válvulas #4.....  | 53 |
| Figura 18: TAW251, pistón #3 .....  | 54 |
| <i>Figura 19a:</i> Insertar manguera por el tubo de la varilla medidora.....                          | 56 |
| <i>Figura 19b:</i> Inserta el otro extremo de la manguera en la bomba de succión.....                 | 57 |
| <i>Figura 19c:</i> Roscar el tarro de la muestra en la bomba. ....                                    | 57 |
| <i>Figura 19d:</i> Succionar con la bomba y llenar el tarro hasta el final del hombro del mismo. .... | 57 |
| Figura 21: Histórico aceite SOZ623 .....  | 59 |
| Figura 22; Histórico aceite TAW145 .....  | 60 |
| Figura 23: Contaminantes SOZ151 .....   | 62 |
| Figura 24: Desgaste SOZ151 .....  | 62 |

Figura 25: Aditivos SOZ151 .....62  
Figura 26: Diagrama de fallas .....64  
Figura 27: Estado inicial de la flota .....65  
Figura 28: Combustible + agua .....67  
Figura 29: Estado flota 3 meses después .....67

## RESUMEN

**TITULO:** Modelo de Gestión de Mantenimiento Basado en Mantenimiento Preventivo con Análisis de Aceites Aplicado a los Motores de Combustión de Tracto Camiones para la Flota de Vehículos de la Empresa PRODECA S.A.\*

**AUTOR:** Adolfo Javier Redondo Conrado\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Lubricación, TBN, TAN, Tribología, API CI4, Viscosidad, Nitración, Oxidación, Análisis de aceite, Aceites usados, FTIR.

### DESCRIPCIÓN:

La implementación de un mantenimiento preventivo basado en análisis de aceites aumenta la confiabilidad de la producción y las metas trazadas, debido al aumento de la disponibilidad de equipos, esto se debe al control de fallas en los motores a edad temprana por intermedio del análisis de aceites en cada tractocamión; los elementos encontrados en los análisis dan una idea de la futura falla por la cual adolecerá el equipo, esto impacta directamente en la reducción de tiempo por paradas programadas. Esto representa reducción de costos y menos horas de parada por fallas no programadas.

El aceite para motor cumple la función de Lubricante (minimizar fricción), Protector (contra desgaste y corrosión), Detergente (arrastre de partículas) y Refrigerante (retirar calor). Debido a estas propiedades el análisis en cada ciclo de cambio podemos determinar el estado del motor y tratar de extender los ciclos de cambio sin afectar la operatividad. Esto genera un ahorro significativo por cambios de aceite y reduce el impacto ambiental por la generación de residuos peligrosos en los cambios efectuados. La finalidad de este proyecto es construir las bases del mantenimiento preventivo aplicado a los motores de combustión de la organización obteniendo una buena relación de costo-duración-protección lo cual ayuda en la economía de combustibles, menor uso de lubricantes y aumento en la protección del motor.

---

\* Monografía.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Norman José Mantilla Méndez. Ingeniero Mecánico. Especialista en Gerencia Financiera.

## ABSTRACT

**TITLE:** Maintenance Management Model Based on Preventive Maintenance with Oils Analysis Applied to Combustion Engines Trucks for Vehicles Fleet of PRODECA S.A. Company.\*

**AUTHOR:** Adolfo Javier Redondo Conrado\*\*

**KEYWORDS:** Lubrication, TBN, TAN, Tribology, API CI4, Viscosity, Nitration, Oxidation, Oil Analysis, Used Oils, FTIR.

### DESCRIPTION:

The implementation of a preventive maintenance based on oil analysis increases the reliability of the production and the goals set, due to the increase in the availability of equipment, thanks to the control of failures in engines at early age using the oil analysis in each engine truck. The elements found in the analysis provide an idea of the future failure the equipment will feature, which affects directly in the reduction of time per scheduled stops. This represents a reduction in costs and less nonscheduled stop hours due to failures.

The engine oil has the function of Lubricant (minimize friction), Protector (against running down and corrosion), Detergent (particles dragging) and Coolant (insulate heat). Due to these properties in the analysis in each change cycle, we can determine the condition of the engine and try to expand the change cycles without affecting the operating capacity. This generates significant savings per oil change and reduces the environmental impact due to the productions of dangerous waste products during the changes made. The purpose of this project is to build the foundations of the preventive maintenance applied to the organization's combustion engine trucks gaining a good relationship cost-lifespan-protection that helps to the fuel economy, to less use of lubricant, and to increase the engine protection.

---

\* Monograph.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Norman José Mantilla Méndez. Ingeniero Mecánico. Especialista en Gerencia Financiera.

## INTRODUCCIÓN

PRODECA S.A. es una empresa dedicada al transporte de carga líquida y seca por carretera, fundada el 6 de Julio del año 2000 iniciando sus operaciones en el corredor vial de la costa atlántica desde el cual ha expandido sus operaciones hasta Medellín, Ibagué, Cúcuta, Barranquilla, Santa Martha y en años recientes al Casanare.

El transporte de carga terrestre tiene muchas variables que intervienen a favor o en contra de esta actividad económica influenciando directamente en la competitividad y la rentabilidad, por lo tanto hace más exigente la labor del mantenimiento en cuanto a la disponibilidad de equipos y la búsqueda de una alta confiabilidad en la ejecución del trabajo para los vehículos pesados o tractocamiones que utiliza la empresa para llevar a cabo su tarea.

Los vehículos pesados o tractocamiones tienen numerosos componentes que se hacen indispensables al momento de funcionar o permitir desempeñar su trabajo, sin embargo nuestro objeto de estudio es el motor de combustión, por su alto nivel de criticidad cobra gran importancia ya sea por su valor económico en comparación a los demás componentes o por ser el encargado de suministrar la potencia necesaria para hacer desplazar el tractocamión y la carga, esto hace obligatorio preservar su funcionamiento y alargar la vida de este componente crítico.

En el gremio del transporte de carga, la vida de los motores de combustión debe ser tan larga que permita recuperar el costo de la inversión en la adquisición de los vehículos, he aquí donde se hace necesario recurrir a técnicas que permitan encontrar las fallas antes de que ocurran o que afecten el funcionamiento del vehículo dentro de unos rangos tolerables, conservando valores razonables de costo-beneficio para la técnica de control que se utilice, técnicas como inspección

visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, inspección radiográfica, análisis de lubricantes, ultrasonido, análisis de vibraciones, medidas de presión, medidas de temperatura, termografía, impulso de choques, etc. pueden ser utilizadas pero no todas son rentables o efectivas para la organización, evitando de esta manera realizar intervenciones directas del motor o usar métodos invasivos, todo con el fin de evitar llegar a las reparaciones parciales o mayores.

En conclusión, el motor de combustión del vehículo pesado debe preservarse y debemos apoyarnos en técnicas de control que resulten rentables para la organización, que ayuden a la prevención de fallas catastróficas o la intervención programada del motor para mantener su rendimiento.

La implementación de un mantenimiento preventivo basado en análisis de aceites brindaría a la empresa PRODECA S.A. un aumento en la confiabilidad de la producción y las metas que se trazan. Esto debido al aumento de la disponibilidad de sus equipos por el control de fallas en los motores a edad temprana producto del análisis de aceites y la contaminación que puede poseer cada tractocamión en su aceite; esos elementos encontrados en dichos análisis pueden dar una idea de la futura falla por la cual adolecerá el equipo, esto impacta directamente en la reducción del tiempo en las paradas programadas, la inclusión de la cultura del mantenimiento autónomo hecho por los operarios. Esto representa reducción de costos y menos horas de parada por fallas catastróficas o no programadas.

El aceite para motor cumple las funciones de: Lubricante (minimizar fricción), Protector (contra desgaste y corrosión), Detergente (arrastre de partículas) y Refrigerante (retirar calor). Debido a esto, analizando sus propiedades al final de los ciclos de cambio establecidos por el fabricante, podemos determinar el estado del motor lo cual nos lleva a tratar de extender los ciclos de cambio sin afectar la operatividad. Esto en primera instancia genera un ahorro significativo por cambios de aceite y además reduce el impacto ambiental por la generación de residuos peligrosos en los cambios efectuados y la disposición final de los aceites. La

finalidad de este proyecto es construir las bases del mantenimiento preventivo aplicado a los motores de combustión de vehículos de carga en la flota de la empresa PRODECA S.A., obteniendo una buena relación de costo-duración-protección lo cual repercute en la economía por combustibles utilizados, menor cantidad de lubricantes utilizados anualmente, de manera que genera eficiencia en el negocio y un aumento en la protección y vida del motor.

Se desarrolla un modelo de negocio con la empresa de lubricantes SHELL, por intermedio de uno de sus distribuidores (ABERSA<sup>1</sup>). El cual consiste en pasar una parte de la flota al lubricante Rimula R5, en primera instancia se realizará un análisis de aceite a los equipos que cambiarán al aceite R5 para verificar las condiciones iniciales de operación de los vehículos, se tomarán unos vehículos con tres referencias y condiciones diferentes para analizar el desempeño. Serán tomados vehículos de mayor kilometraje (International EAGLE ISX450), Se tomarán vehículos de kilometraje intermedio (Kenworth ISX400) y Se tomarán vehículos de kilometraje mínimo (Kenworth ISX400). Dicho monitoreo se realizará semanalmente luego del análisis de estas muestras se procederá a pasar por completo la flota a las condiciones del lubricante Rimula R5, se realizará monitoreo de las condiciones y se procederá a generar las extensiones de cambios de aceite.

---

<sup>1</sup> ABERSA Distribuidora de lubricantes a partir del 1 de enero de 2017 pasará a llamarse INVERSIONES ALAR.

## 1. TRIBOLOGÍA

El mantenimiento preventivo consiste en detectar las fallas a edad temprana debido a los indicios que reporta cada componente o las técnicas efectuadas para minimizar las probabilidades de falla.

Nuestro caso de estudio está enfocado al mantenimiento preventivo de motores por medio de la técnica de análisis de aceites.

Tribología<sup>2</sup> es la ciencia y aplicación de principios en fricción, lubricación y desgaste. La palabra tribología deriva de raíz τριβ- del verbo griego τριβω, tribo, que significa “friccionar” y el sufijo -logy de -λογία, -logia, que significa “estudio de” o “conocimiento de”.

Fricción – la resistencia al movimiento de un cuerpo moviéndose contra otro.

Desgaste – la pérdida de material debido al movimiento.

Lubricación – el uso de un fluido para minimizar la fricción y el desgaste.

La aplicabilidad de esta técnica se resume en un análisis operativo desde el punto de vista económico aplicado a los diferentes frentes en los cuales se aplica el mantenimiento y donde están implicados la fricción, el desgaste y la lubricación.

- Rodamientos
- Frenos y embragues
- Sellos
- Anillos de pistones
- Engranajes y Levas

El conocimiento adquirido en Tribología, aplicado a lo anterior deriva en:

---

<sup>2</sup> Autoform.com. Glosario. Tribología [online]. [Citado Noviembre 06 de 2017]. Disponible en: <https://www.autoform.com/es/glosario/tribologia/>

- Ahorro de insumos
- Aumento en la vida útil de los equipos
- Disminución en contaminantes
- Ahorro de energía (combustible)
- Ahorro económico

La finalidad de la lubricación es separar dos superficies en contacto sometidas a deslizamiento entre ellas para no producir daño alguno, minimizando por tal motivo el rozamiento. Para lograr esto se necesita una película lubricante de tal espesor que evite el contacto directo y desgaste.

## 1.1 LUBRICANTES

Lubricante proviene del latín *lubricum*<sup>3</sup> que significa resbaladizo y veloz, es aplicado en sustancias que independientemente de su estado, sirve para minimizar y hasta evitar el contacto directo entre dos superficies, de las cuales, al menos una está en movimiento.

Utilizando lubricantes se busca obtener una película protectora que ayude al funcionamiento y resistencia, poca volatilidad, químicamente estable y una cantidad suficiente.

Los lubricantes tienen como objetivos fundamentales:

1. Reducir rozamiento, para minimizar desgaste y evitar pérdidas en potencia.
2. Actuar como agente refrigerante.
3. Limpiar impurezas.

---

<sup>3</sup> SANZ TEJEDOR, Ascensión. Universidad de Valladolid. Escuela de ingenierías industriales. Departamento de química. Lubricantes [online]. [Citado Noviembre 10 de 2017]. Disponible en: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-13.php>

## 1.2 TIPOS DE LUBRICANTES

Los lubricantes pueden existir en los siguientes estados:

- Gaseosos (gases a presión).
- Líquidos (aceites).
- Sólidos (Grafito).

**1.2.1 Aceites Lubricantes.** Los lubricantes líquidos son fabricados inicialmente de una base, el cual puede ser un aceite mineral o sintético, luego son añadidos aditivos que proporcionan al aceite las propiedades deseadas por el fabricante para las exigencias a las que será sometido.

Tomar en cuenta las especificaciones de los lubricantes para las condiciones de trabajo a las que será sometido el equipo, el tipo de motor utilizado, incluso condiciones meteorológicas, son necesarias para la escogencia de un buen aceite lubricante.

Saber las propiedades de cada aceite, la forma de como escogerlo y la forma de como solicitarlo, soporte y asistencia técnica del proveedor, precios según fabricantes y proveedores influyen en la toma de esta decisión.

Dentro de las especificaciones internacionales más usadas están la clasificación API<sup>4</sup> y la clasificación ACEA<sup>5</sup>, con sus respectivas equivalencias entre ellas. Tomando como referencia la Clasificación API, esta tiene una nomenclatura especial para los tipos de motores siendo la S para vehículos a gasolina y C para vehículos Diésel, a su vez tienen una segunda letra que varía desde la F hasta la N con los motores a gasolina y desde la F hasta la K en el caso del Diésel, a medida

---

<sup>4</sup> American Petroleum Institute

<sup>5</sup> Asociación de constructores europeos de automóviles

que avanza la letra utilizada el aceite cumplirá con especificaciones más exigentes y utilizará tecnología en su fabricación más avanzada.

Nuestro caso de interés son los motores Diésel aplicando para nosotros los aceites API-CI4, API-CJ4 y API-CK4. En la clasificación ACEA se tiene la G para motores a gasolina, D para motores Diésel pesados y PD para motores a base de Diésel ligero.

**1.2.1.1 Bases Minerales.** El petróleo crudo luego de sufrir su primera destilación fraccionada y de ser extraídos varios productos, queda una masa llamada residuo atmosférico<sup>6</sup>, este será sometido a una nueva destilación donde tendrá una refinación y después de realizadas ciertas mezclas saldrán como resultado las bases minerales utilizadas para fabricar lubricantes.

El proceso de refinado radica en someter productos obtenidos a tratamientos para lograr características específicas, como mejorar el punto de congelación eliminando parafinas, aumentar índice de viscosidad reduciendo aromáticos y nafténicos, etc.

Dependiendo del tipo de aceite que se desea obtener se pueden utilizar de dos tipos:

- a) Bases Parafínicas: Son bases con índices de viscosidad altos.
- b) Bases Nafténicas: Son bases con índices de viscosidad bajos pero puntos de congelación bajos.

**1.2.1.2 Bases Sintéticas.** Las bases fabricadas químicamente mediante síntesis se denominan sintéticas. Estas bases presentan mejoras o ventajas, que de acuerdo a su uso justifican su precio elevado e influyen en las características finales de los

---

<sup>6</sup> Repsol.com. Blog de innovación tecnológica [online]. Enero 2012. [Citado Noviembre 15 de 2017]. Disponible en: <http://blogs.repsol.com/innovacion/los-secretos-mejor-guardados-de-la-destilacion-atmosferica/>

lubricantes. Estas propiedades pueden ser: Puntos de congelación altos, estabilidad térmica de operación, índices de viscosidad altos.

Las bases sintéticas más utilizadas son:

- Condensados de óxidos de etileno.
- Condensados de óxidos de propileno.
- Ésteres.
- Perfluoropolietileno.
- Polialfaolefinas (PAO).
- Poliglicoles.
- Siliconas.

**1.2.1.3 Aditivos.** Son componentes que mejoran los parámetros de rendimiento del aceite base, incrementando las propiedades existentes, se encuentran en varias proporciones dependiendo del tipo de aceite que forme parte y las funciones complementarias, tales como: Minimizar el deterioro del lubricante, proteger la superficie en contacto, mejorar propiedades físico-químicas.

Se encuentran de varios tipos según su campo de aplicación:

- Mejoradores del índice de viscosidad.
- Depresores del punto de congelación.
- Antioxidantes.
- Detergentes.
- Dispersantes.
- Antiespumantes.
- Desemulsionantes.
- Antidesgastes.

#### **1.2.1.4 Características Y Propiedades.**

**1.2.1.4.1 Densidad.** Esta se mide físicamente como la relación entre la masa y su volumen, sin embargo en el caso del aceite se considera densidad en condiciones estándar al peso de un volumen de aceite a 60°F (15,6°C)<sup>7</sup> dividido por el peso del mismo volumen de agua. El valor de la densidad puede darse en grados API. El valor que se obtiene nos puede orientar acerca de las bases utilizadas. Por ejemplo los aceites parafínicos tienen menor densidad que los nafténicos y estos a su vez que los aromáticos.

**1.2.1.4.2 Viscosidad.** La viscosidad puede ser de varios tipos (dinámica, Engler, cinemática, Redwood, etc.) y de igual manera las unidades de medida, pero nos limitaremos a la viscosidad cinemática por ser la más utilizada.

Por definición la viscosidad cinemática es el tiempo que tarda en atravesar un tubo capilar, cierta cantidad de aceite en condiciones estándar (40°C o a 100°C) y su unidad es el centistoke<sup>8</sup> (cSt) en el sistema cegesimal.

Otros tipos de modelos frecuentes de parametrizar la viscosidad son:

VISCOSIDAD SAE<sup>9</sup>. Utilizada como escala para aceites de motor y engranajes.

NUMERO AGMA<sup>10</sup>. Utilizada como escala para engranajes industriales.

GRADOS ISO<sup>11</sup>. Utilizada como escala para circuitos hidráulicos.

---

<sup>7</sup> Noria.mx. Medición de la densidad relativa de los lubricantes [online]. Noviembre 2013. [Citado Noviembre 15 de 2017]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/medicion-de-la-densidad-relativa-de-los-lubricantes/>

<sup>8</sup> Motorgiga.com. Diccionario. Centistokes – Definición – Significado [online]. [Citado Noviembre 18 de 2017]. Disponible en: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/centistokes-definicion-significado/gmx-niv15-con193482.htm>

<sup>9</sup> Society of Automotive Engineers

<sup>10</sup> American Gear Manufacturers Association

<sup>11</sup> International Standard Organization

Los aceites monogrados se determinan por un solo número ejemplo SAE 30, los multigrados son combinación de características de dos aceites monogrados ejemplo 10W40, esto quiere decir que se comporta como 10W a bajas temperaturas y como 40 en altas. La viscosidad a bajas temperaturas se mide en Poises<sup>12</sup>, unidad extremadamente grande por lo cual suele utilizarse el centipoise.

**1.2.1.4.3 Índice De Viscosidad.** Este depende de las condiciones en que se encuentre trabajando, puesto que la viscosidad varía con la temperatura; a mayor temperatura menor viscosidad y menor temperatura mayor viscosidad. Debido a esta variación se implementa un sistema para determinar el valor de esta, la cual tiene en esencia dos medidas tipo o referencia:

- Aceite parafínico estándar, el cual varía muy poco su viscosidad con la temperatura y el cual recibe una calificación de valor de 100.
- Aceite Nafténico estándar, el cual tiene una gran variación en su viscosidad con la temperatura y recibe una calificación de valor de 0.

**1.2.1.4.4 Desemulsión.** Es la capacidad de separar el agua que tiende a emulsionar los aceites, provocando disminución en la lubricación y generando oxidación. Una vez separada puede ser retirada por purga en el sistema. Esta condición es importante por tener los equipos trabajando en condiciones de humedad alta, generalmente no se reportan problemas ni es factor determinante cuando las condiciones de humedad son controladas.

**1.2.1.4.5 Espuma.** Es la forma de contaminación más grave en un sistema por presencia de aire y resulta al agitarse un aceite en presencia de este, es la ausencia de aceite donde está presente la espuma acarreando problemas de lubricación, o de operación en circuitos hidráulicos.

---

<sup>12</sup>Motorgiga.com. Diccionario, Poise – Definición – Significado [online]. [Citado Noviembre 18 de 2017]. Disponible en: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/poise-definicion-significado/gmx-niv15-con195173.htm>

Las pruebas de laboratorio pueden determinar si la generación de espuma está relacionada con el aceite o al sistema.

**1.2.1.4.6 Numero Básico Total (TBN).** Es la cantidad de compuesto básico que se requiere para neutralizar los componentes ácidos que se forman con el azufre del combustible y el oxígeno del aire durante la combustión o con el agua presente en la humedad para neutralizar la acción corrosiva, también conocida como reserva alcalina.

El contenido actual de azufre en el combustible Diésel para Colombia es inferior a 500ppm<sup>13</sup> y con fecha limite a 31 de diciembre de 2012 inferior a 50ppm<sup>14</sup>.

**1.2.1.4.7 Numero De Acido Toral (TAN).** Es la medida de los componentes ácidos presentes en el lubricante conocido también como índice de acidez. Este aumenta debido a la oxidación sufrida durante su uso, la cual a niveles altos nos da una idea de la degradación que ha sufrido el lubricante.

**1.2.1.4.8 Punto De Inflamación.** Es la temperatura mínima de un aceite bajo condiciones específicas a la cual sus vapores forman una película superficial que puede encenderse al entrar en contacto con una llama.

Cuando se efectúa una combustión incompleta en el motor, una porción del combustible es disuelto en el aceite disminuyendo su viscosidad y su punto de

---

<sup>13</sup>COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Resolución 1180 (21 de junio, 2006). Por la cual se modifican parcialmente las resoluciones 1565 y 1289, del 27 de diciembre de 2004 y 7 de septiembre de 2005, respectivamente. Bogotá: El ministerio, 2006. 8 p.

<sup>14</sup>COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA Y MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 90963 (11 de septiembre, 2014). Por la cual se modifica el artículo 4o de la Resolución número 898 de 1995, modificado por la Resolución número 182087 de 2007, en relación con los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión. Bogotá: El ministerio, 2014. 6 p.

inflamación, es decir un aceite con un punto de inflamación bajo, se debe sospechar de combustible disuelto en él.

**1.2.1.4.9 Punto De Combustión.** Cuando el aceite es sometido a las condiciones anteriores mencionadas en punto de inflamación y esta llama es capaz de sostenerse por más de cinco segundos, Este punto está por lo general 50°C por encima del punto de inflamación.

**1.2.1.4.10 Punto De Enturbiamiento.** Es la temperatura justo a la cual el aceite inicia el proceso de enturbiarse, debido a la separación de las parafinas por causa de las bajas temperaturas.

**1.2.1.4.11 Punto De Congelación.** Cuando el aceite es sometido a las condiciones anteriores mencionadas en el punto de enturbiamiento y continúa el descenso de temperatura hasta que el aceite deja de fluir y se convierte en sólido.

**1.2.1.4.12 Punto De Anilina.** Es la temperatura mínima a la cual una mezcla en partes iguales de aceite y anilina se solubiliza totalmente, también es conocida como Temperatura crítica de disolución. Su importancia radica en la afinidad que pueda tener el aceite como los elementos de goma y/o elastómeros; entre más alto sea el punto, mejor se comportará el aceite.

**1.2.1.4.13 Tendencia A Corrosión.** Es la medición a una temperatura de 100°C durante tres horas y los efectos corrosivos de un lubricante por la presencia de compuestos de azufre en aleaciones de cobre. Es una referencia de la calidad del lubricante utilizado y su proceso de refinación.

**1.2.1.4.14 Volatilidad.** Todos los aceites sufren pérdidas por evaporación debido a la temperatura, ya sea en condiciones normales de almacenamiento o por condiciones de trabajo, condición que afecta las propiedades del lubricante.

**1.2.1.4.15 Resistencia Pelicular.** Se le denomina a la capacidad de seguir formando una película superficial entre dos superficies móviles, es decir a resistirse ser desplazado por dos superficies móviles, entre los ensayos más conocidos para determinar esta condición están:

- Ensayo de cuatro bolas
- Ensayo FZG
- Ensayo Timken
- Ensayo Vickers

**1.2.2 Grasas.** Son lubricantes sólidos, semisólidos o líquidos, resultantes de la dispersión de un agente espesante en un líquido lubricante<sup>15</sup>. Las características y su aplicación dependen del tipo y relación de aceite, jabón y aditivos utilizados en la mezcla. Al igual que los aceites, las grasas también tienen aditivos con los cuales se busca mejorar ciertas características.

### **1.2.2.1 Características Y Propiedades.**

**1.2.2.1.1 Penetración.** También conocida como consistencia, esta varía de acuerdo a la cantidad de espesante añadido y del aceite base utilizado. Para los diferentes usos y aplicaciones que puede tener la grasa esta cambia de menor a mayor consistencia.

Existen varios tipos de espesantes:

Base Inorgánica.

Jabones Metálicos Simples (Litio, Calcio, Aluminio, Sodio).

---

<sup>15</sup> Interempresas.net. Mantenimiento industrial. Grasas lubricantes: características, ventajas y aplicaciones [online]. Septiembre 2013. [Citado Noviembre 28 de 2017]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Mantenimiento/Articulos/113067-Grasas-lubricantes-caracteristicas-ventajas-y-aplicaciones.html>

Jabones Metálicos Compuestos (Complejo de Litio, Complejo de Aluminio, Complejo de Calcio).

Base No Jabonosa (Poliurea).

**1.2.2.1.2 Resistencia A La Oxidación.** La exposición prolongada de la grasa al oxígeno ayuda a la descomposición, por lo cual se necesita una gran tolerancia.

**1.2.2.1.3 Punto De Gota.** Es la temperatura mínima para que la grasa pase del estado normal a un estado líquido.

**1.2.2.1.4 Separación De Aceite.** Es el desprendimiento de aceite contenido en la grasa lentamente, controlando no sea excesiva bajo condiciones estacionarias o por temperatura.

## **2. MOTOR CUMMINS ISX**

Motor comúnmente usado por la mayoría de vehículos de transporte pesado en Colombia de marcas tales como: Kenworth, International, Freightliner, de gran duración y tiempo de servicio productivo, alto rendimiento y fácil mantenimiento. Cuenta con un cilindraje de 16.000cc y en rangos desde 400HP hasta 600HP, posee 6 cilindros con turbocargador, Torque máximo de 1550 lbs-pie a 1200 RPM, enfriado por aire, cuenta con un sistema de alimentación de combustible accionado por inyectores de tobera abierta, Actuadores de sincronización, actuadores de dosificación, dos bombas y controlado por un módulo de control electrónico ECM<sup>16</sup>, doble árbol de levas para controlar la inyección y el segundo sincroniza freno de motor y válvulas de admisión.

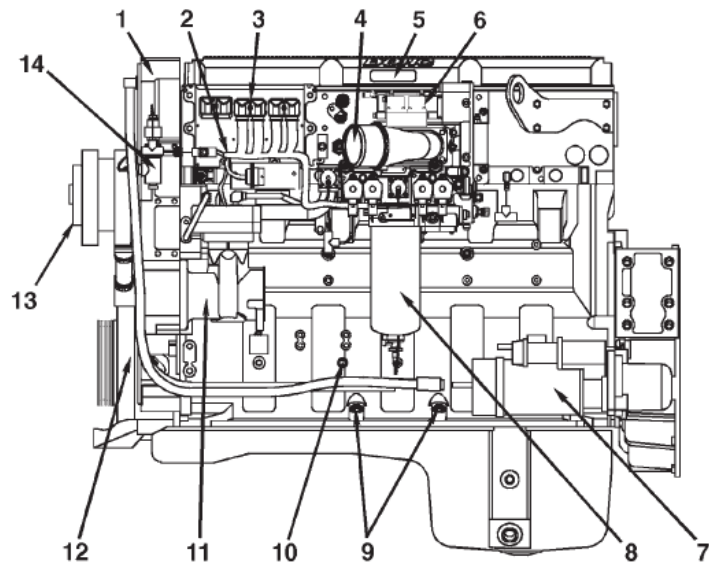
### **2.1 ELEMENTOS DEL MOTOR<sup>17</sup>**

---

<sup>16</sup> Engine Control Module

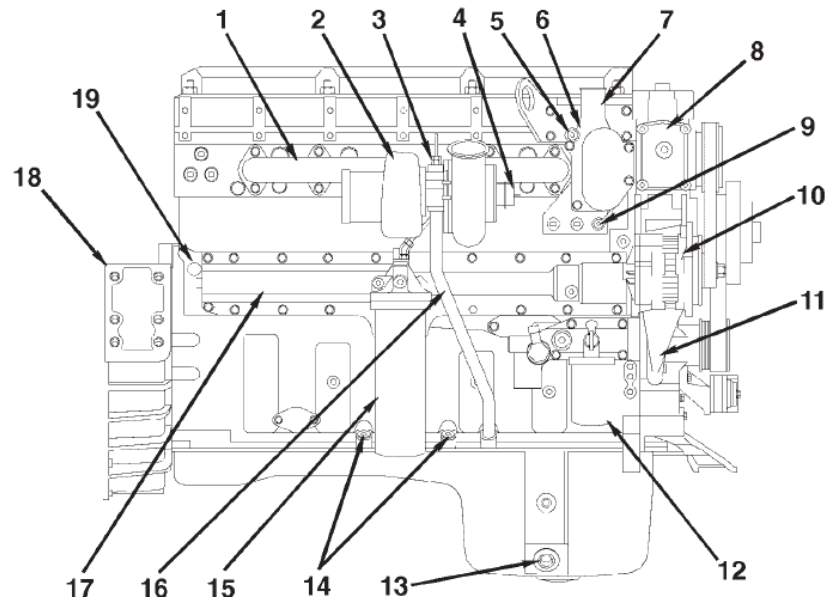
<sup>17</sup> Manual de diagnóstico y reparación Motores Signature, ISX y QSX15, CUMMINS ENGINE COMPANY. INC. Año 2000, 722 pag. Boletin3150971-00

Figura 1. Lado Admisión



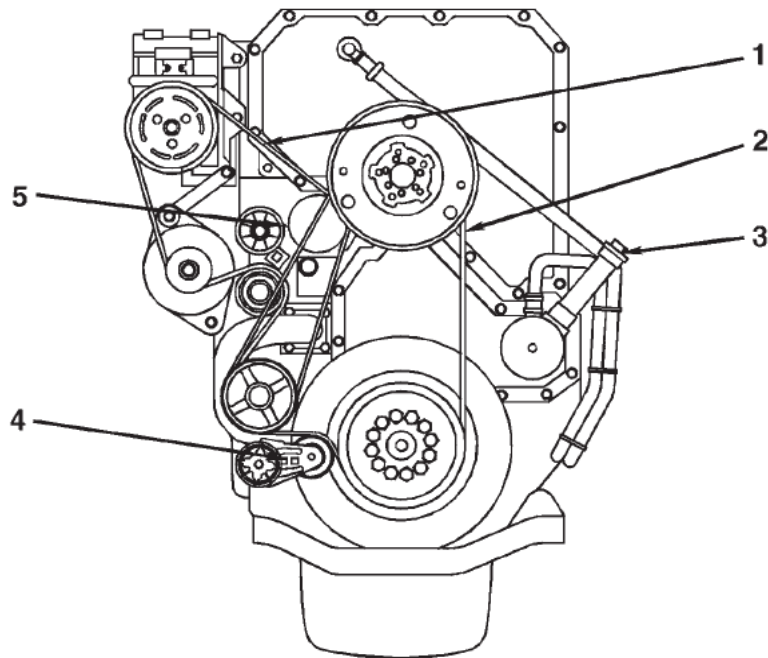
- |  |   |
|--|---|
| 1. Carcasa de engranes                 | 8. Filtro de combustible                            |
| 2. Arnés del motor                     | 9. Receptáculo de la bayoneta                       |
| 3. Módulo de control electrónico (ECM) | 10. Puerto del perno de sincronización del cigüeñal |
| 4. Admisión de aire                    | 11. Compresor aire                                  |
| 5. Placa de datos del motor            | 12. Amortiguador del motor                          |
| 6. Bomba de combustible                | 13. Cubo del ventilador                             |
| 7. Motor de arranque                   | 14. Gobernador de aire                              |

Figura 2. Lado Escape



- |   |  |
|---|--|
| 1. Múltiple de escape                       | 10. Alternador   |
| 2. Turbocargador                            | 11. Bomba del agua   |
| 3. Entrada de aceite del turbocargador      | 12. Filtro del refrigerante  |
| 4. Actuador de la compuerta de descarga     | 13. Drenado de aceite  |
| 5. Ventilación de la carcasa del termostato | 14. Receptáculo de la bayoneta   |
| 6. Carcasa del termostato                   | 15. Filtro de aceite lubricante de combinación de flujo Pleno / Derivación |
| 7. Salida de refrigerante del motor         | 16. Drenado aceite de turbocargador  |
| 8. Compresor de freón                       | 17. Ensamble enfriador de aceite lubricante                                |
| 9. Sensor de temperatura del refrigerante   | 18. Cubierta del volante   |
|   | 19. Numero serie del motor   |

Figura 3. Frente

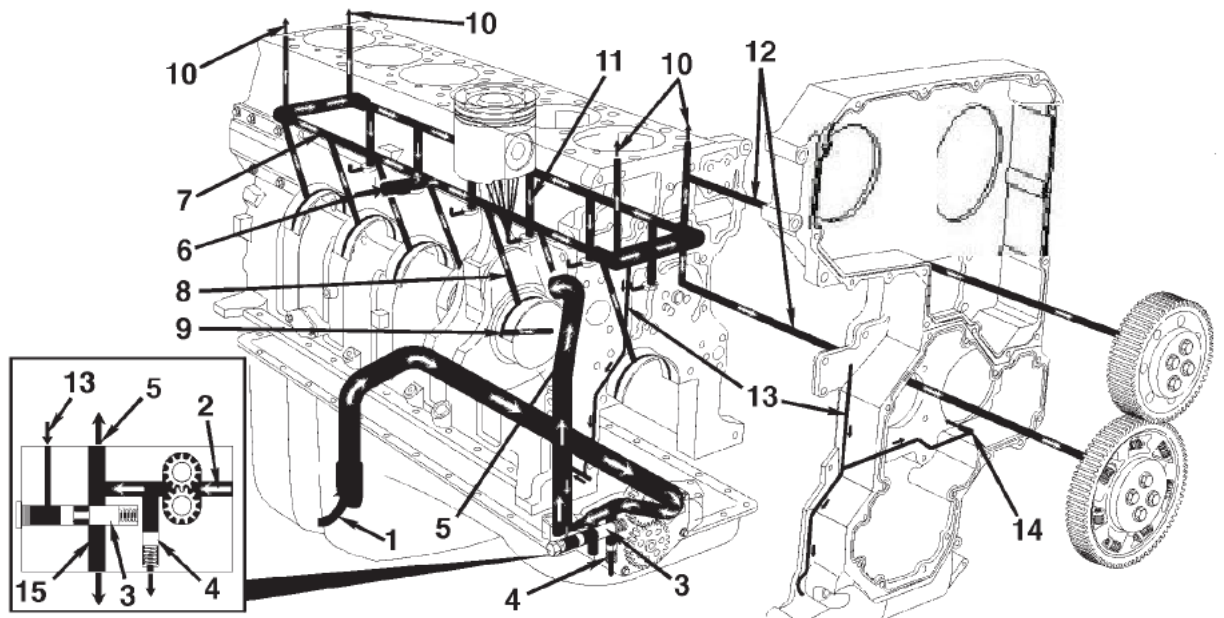


- |   |  |
|---|--|
| 1. Banda de mando accesorios                    | 4. Bomba de agua / Tensor de la banda impulsadora del ventilador |
| 2. Bomba de agua / Banda impulsadora ventilador | 5. Tensor de la banda de mando accesorios                        |
| 3. Llenado de aceite                            |  |

## 2.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

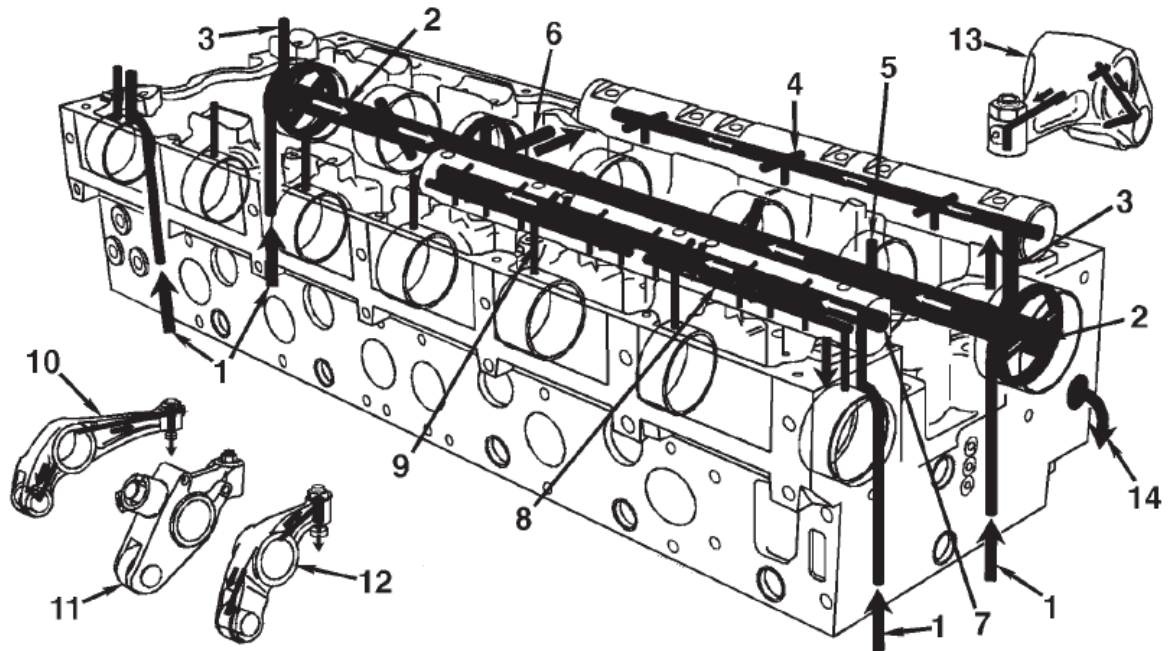
El sistema de lubricación tiene como función proveer de lubricante al motor, garantizando que se impregne una película lubricante a todas las piezas que estén en permanente contacto dentro del motor con el fin de disminuir la fricción y el desgaste de dichas piezas. Para este propósito se utiliza una bomba de engranes sincronizada al cigüeñal, la cual se encarga de suministrar el aceite a todas las galerías y por tal razón aprovisionar todo el sistema.

Figura 4. Flujo del sistema de aceite lubricante (información general).



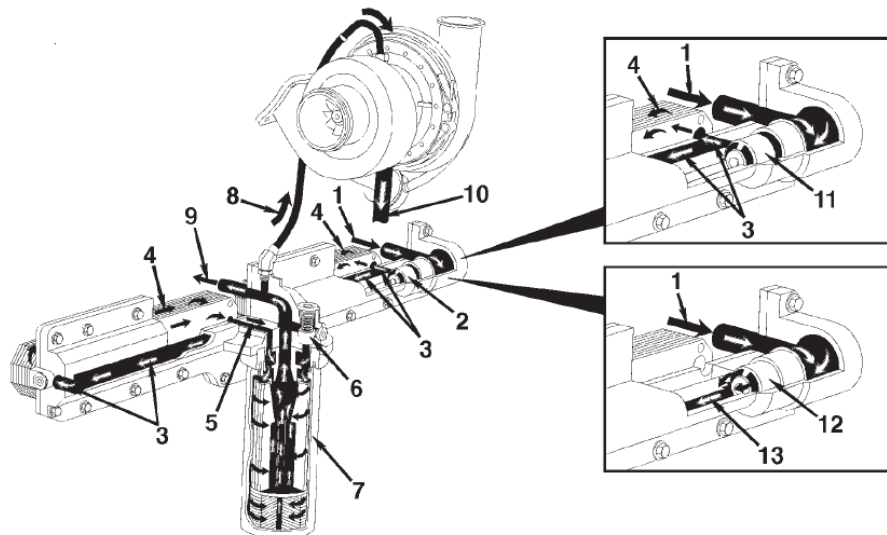
- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flujo de aceite lubricante del cárter a través del tubo succión.</li> <li>2. Flujo del tubo succión a bomba de aceite.</li> <li>3. Regulador de presión.</li> <li>4. Válvula de alivio de presión.</li> <li>5. Flujo bomba de aceite a enfriador aceite / Carcasa del cabezal del filtro</li> <li>6. Retorno de aceite de enfriador aceite / Carcasa del cabezal de filtro a galería principal aceite.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Galería principal de aceite.</li> <li>8. Flujo a la bancada.</li> <li>9. Flujo de bancada a cigüeñal.</li> <li>10. Flujo a cabeza de cilindros.</li> <li>11. Flujo a boquilla de enfriamiento pistón.</li> <li>12. Flujo a engranes locos.</li> <li>13. Transferencia de aceite a galería principal.</li> <li>14. Flujo a compresor de aire.</li> <li>15. Deposito del regulador de detección de galería a entrada.</li> </ol> |
|---|--|

Figura 5. Flujo del sistema de aceite lubricante.



- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flujo de aceite lubricante del block de cilindros a cabeza de cilindros.</li> <li>2. Flujo alrededor de la cabeza ranurada al árbol de levas taladrado y ejes de balancín.</li> <li>3. Flujo a ejes de balancín de inyector.</li> <li>4. Flujo a balancines del inyector.</li> <li>5. Flujo a cojinetes de muñón de árbol de levas.</li> <li>6. Flujo a bomba de combustible.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Flujo a eje de balancín de válvula.</li> <li>8. Flujo a balancines de válvula.</li> <li>9. Flujo a cojinetes de muñón de árbol de levas de válvulas.</li> <li>10. Balancín de válvula de admisión.</li> <li>11. Balancín freno de motor.</li> <li>12. Balancín de válvula escape.</li> <li>13. Balancín de inyector.</li> <li>14. Drenado de aceite parte superior (frontal y trasera).</li> </ol> |
|--|--|

Figura 6. Flujo del sistema de aceite lubricante



- |   |  |
|---|--|
| 1. Flujo de aceite de la bomba.                 | 9. Flujo a la galería principal de aceite.                                     |
| 2. Termostato.                                  | 10. Drenado de aceite del turbocargador.                                       |
| 3. Flujo de derivación del enfriador de aceite. | 11. Termostato abierto. El aceite fluye a través de los enfriadores de aceite. |
| 4. Flujo a través de los enfriadores de aceite. | 12. Termostato cerrado. El aceite fluye directamente al filtro de aceite.      |
| 5. Retorno de flujo al cabezal del filtro.      | 13. Flujo al filtro de aceite.   |
| 6. Válvula de derivación del filtro.            |  |
| 7. Filtro de aceite.                            |  |
| 8. Flujo al turbocargador.                      |  |

## 2.3 FILTRACIÓN

El motor cummins ISX cuenta con varios tipos de filtros<sup>18</sup>, todos con una función específica, tales como:

- Filtro de aire: la función de este filtro es la de retener material particulado presente en el aire para disponerlo a la combustión.
- Filtro de agua: su función es filtrar residuos o desechos que pueden afectar el motor, prolongar la vida de la bomba de agua y el termostato.
- Filtro de combustible primario o filtro trampa: su función es retener partículas gruesas y separar contenido de agua en el combustible de manera básica, para luego ser eliminada mediante purga.
- Filtro de combustible secundario: su función es separar el contenido de agua en el combustible que no pudo retenerse en el anterior filtrado.
- Filtro de aceite: es un filtro tipo Venturi cuya función es la de retirar lodos, hollín y demás partículas producto del desgaste que arrastra el aceite en su recorrido.
- Filtro CV: es un filtro adicional situado en el Carter y tiene como función limpiar el depósito de aceite.

La filtración del aceite es un mecanismo de mantenimiento autónomo que posee el vehículo, año tras año el sistema de filtrado a tenido cambios y mejoras en los medios filtrantes, en el diseño y los sistemas de filtración, todo esto para reducir el tamaño de las partículas a filtrar (índice de micras).

Cuando un aceite no es filtrado correctamente ya sea por ausencia o deficiencia, las partículas arrastradas por el sistema de lubricación, sean residuos de algún componente mecánico o las provenientes de la cámara de combustión, podrían

---

<sup>18</sup> Cumminsengines.com. Filtración [online]. 2008. [Citado Diciembre 23 de 2017]. Disponible en: <https://www.cumminsfiltration.com/sites/default/files/LT32703-ES.pdf>.

circular libremente en el motor y causar daños a mediano o largo plazo, lo cual obliga a tener una técnica de control donde se puedan prever estos daños. He aquí donde la técnica del análisis de aceites arroja sus frutos y resulta ser una herramienta de gran ayuda en la tarea de preservar el motor.

Dentro de las fallas<sup>19</sup> que se puede generar por la presencia de partículas y otras que pueden dar aviso o señales en el aceite tenemos:

FALLA PREMATURA POR MAL FUNCIONAMIENTO.

Figura 7. Gripado



Este daño suele ocurrir por radiador en malas condiciones, falla en la bomba de agua, obstrucción en el sistema de enfriamiento y acumulación de partículas.

---

<sup>19</sup> Mahle.com. Fallas Prematuras [online]. Enero 2012. [Citado Enero 18 de 2018]. Disponible en: <http://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-south-america/download-center/technical-materials/manual-de-fallas-2012-argentina-baja.pdf>.

EROSIÓN.

Figura 8. Destrucción parcial de cámara combustión



Este daño se presenta por exceso de combustible, punto adelantado, pulverización incorrecta, etc.

CONTAMINACIÓN POR ABRASIVO.

Figura 9. Desgaste por partículas dentro del cilindro.



Suele suceder cuando el filtro de aire se obstruye, problemas en la admisión, problemas de filtración.

## INSUFICIENCIA DE ACEITE.

Figura 10. Insuficiencia de aceite en el cojinete.



Se presenta cuando hay insuficiencia o dilución de la película de aceite, cuando existe holgura o motor trabajando a marcha bajo largo tiempo.

## ALOJAMIENTO DEFORMADO.

Figura 11. Fractura de aleación.



Esto ocurre cuando disminuye el área de contacto entre buje y alojamiento, afectando la disipación de calor y posterior fusión en la aleación.

De acuerdo a las condiciones mostradas anteriormente, todas las fallas muestran algún residuo o partícula contenida en el aceite y de esta manera podemos saber según la concentración en el aceite cual es la dolencia de nuestro equipo. Existen límites tolerables de contaminación que varían según el tiempo del equipo al cual se le realiza el análisis de aceite usado, por ejemplo: la concentración de contaminantes en el aceite es diferente en un equipo nuevo puesto que el desgaste entre las piezas es mayor a un equipo de vida media el cual ya está en condiciones normales de operación.

### 3. ANÁLISIS DE ACEITES

El análisis de aceite usado en tractocamiones es una técnica empleada para conocer y detectar daños antes de una aparición evidente o una falla catastrófica, sirve además como apoyo en labores de mantenimiento preventivo. Todo esto con el fin de extender la vida útil del motor y el aceite, con base en una buena interpretación de resultados y la correcta aplicación al mantenimiento se puede realizar una extensión adecuada en los intervalos de cambio de aceite. Esta técnica nos da una idea de cómo marcha nuestro mantenimiento y las correcciones que deben realizarse, resulta ser efectiva cuando se tienen los recursos necesarios y las políticas de la empresa alineadas, de otra manera son recursos inútiles.

Esta técnica inicia desde el momento de la extracción de la muestra, donde debe ser recolectada sin contaminación mediante el uso de una bomba llamada “Vampiro” y cierta información de identificación relacionada con el vehículo, tal es el caso de placas, variable definida de control que puede ser por tiempo o por distancia recorrida en el intervalo de cambio en este caso es el kilometraje, tipo de aceite utilizado con sus analogías en otros sistemas, ruta en la cual opera el vehículo con el fin de identificar rangos de temperatura de operación, etc.

La implementación de análisis de aceites usados debe ser un proceso metódico donde:

- Realizar relaciones comerciales con un proveedor de aceites lubricantes.
- Anotar y controlar todos los cambios de aceite.
- Entrenar al personal de lubricación en buenas prácticas de mantenimiento.
- Entrenar al personal de lubricación en toma de muestras y buenas prácticas.
- Seleccionar una muestra representativa al cual aplicar la técnica.

Para reducir costos debemos estar pendientes de señales que muestra el equipo en todo momento ya sea en el humo producto de la combustión y los colores del mismo por la relación de mezcla, tonalidades del aceite por la presencia de agua y los efectos internos, aceite con olor diferente al característico por presencia de combustible afectando la viscosidad. Aquí radica la importancia del operador y del equipo de mantenimiento para estar pendientes a estas señales.

La fiabilidad de los datos es uno de los grandes retos en el análisis del aceite usado, por lo cual se debe tener seguridad en los datos del aceite que se posee, en los tiempos de uso del mismo, la marcación de los recipientes donde se contienen las muestras, tener presente las condiciones ambientales a las cuales se ve sometido durante el recorrido un equipo y la presión atmosférica donde se mantiene operando, se debe tener presente la cantidad exacta de los volúmenes de adición esto implica nuevos aditivos para el aceite usado presentes en el aceite nuevo de reposición, el primer análisis de aceite quemado en equipos nuevos no aporta ningún dato y si representa pérdida de dinero, por no contar con valores de referencia de cambios anteriores haciendo imposible cuantificar la degradación. Las muestras siguientes a ese primer análisis en un equipo nuevo arrastran contenidos de siliconas derivadas de los sellos y retenedores; en general un equipo nuevo generara un desgaste entre piezas debido al asentamiento de las piezas que luego de diez mil kilómetros (10.000 Km) son imperceptibles. El siguiente cambio puede aún poseer residuos del primer aceite y arrojar falsos positivos.

Una vez iniciado el proceso de análisis de aceite usado debemos contar con una hoja de vida donde quede registrado el seguimiento y trabajos realizados al equipo, donde se debe almacenar el historial de los cambios de aceite, adiciones de aceite junto a una variable de seguimiento y control, siendo para nosotros el kilometraje. Se debe garantizar una trazabilidad en los trabajos, de esta manera se puede tomar una decisión acertada con respecto al análisis y lo que conviene al equipo.

El proceso de implementar el análisis de aceites usados para la organización debe ser metódico, tener la mayor información recopilada del fabricante y el historial de mantenimiento del equipo, proveer de los equipos necesarios para la toma de muestras y contar con el personal necesario para aplicar las recomendaciones producto del análisis.

### **3.1 TIPO DE MUESTRA.**

Se debe definir qué equipos iniciaran el programa en base a los siguientes ítems, junto a una periodicidad de toma de muestras.

- Rigurosidad del ambiente de trabajo. Contaminación, carga, presión, velocidad, temperatura, vibración. Para nuestro caso todos los equipos estarán bajo las mismas condiciones de trabajo.
- Índice de envejecimiento (fluido). Variable de control, oxidación, tipo de aceite, contaminación, tiempo de cambio. Para nuestro caso es el mismo fluido en equipos de diferentes edades de trabajo.
- Índice de envejecimiento (equipo). Variable de control, vida útil (expectativa), marca, modelo, tiempos de inspección. Para nuestro caso son equipos de tres tipos de edades.
- Metas establecidas. Resultados que superan y no superan expectativas. Como primera medida tenemos llegar a veinticinco mil kilómetros (25.000 Km).
- Afectación económica. Equipos críticos, costo reparación, tiempo de reparación, seguridad, fallas de producción. De cumplir la primera meta se tendría un ahorro de un cambio de aceite por cada dos cambios en el nuevo esquema.

Además de definir equipos que iniciaran la prueba, tiempo o periodicidad de muestreo, metas definidas y la evaluación económica, también debemos integrar la parte operativa quienes son en últimas instancias la razón de si funciona o no nuestro plan. Nuestro personal de lubricación debe tener una formación inicial y un entrenamiento en buenas prácticas al momento de realizar cambios, toma de

muestras y almacenamiento de las mismas hasta poder realizar el envío de estas hasta los laboratorios que se encargaran de analizarlo.

### **3.2 PERIODICIDAD EN TOMA DE MUESTRA.**

La finalidad de un periodo definido es la obtención de un modelo al cual se le puedan controlar las condiciones y medir tendencias, de esta manera se llega a la elaboración de un trazado histórico.

La variable de control ligada a la periodicidad debe ser uniforme en los equipos utilizados, ya sea por un tiempo definido en horas, días, semanas, meses, etc. y a su vez contemplada en un cronograma de mantenimiento o tal vez regida por una variable como la distancia medida para nuestro caso en kilómetros y evaluada por temparios. Denominada como tempario por ser una medida que se da en el tiempo pero no necesariamente fija, ya que un tractocamión no recorrerá la misma distancia siempre, obligando a estar en las cercanías al límite establecido, que para efectos del estudio está en un límite inicial de veinticinco mil kilómetros (25.000 Km) y luego veintisiete mil kilómetros (27.000 Km).

Se deberá tener un abastecimiento generoso del aceite utilizado para luego ser sometido a muestreo de esta manera no incurrir en problemas de mezclas con otras referencias o marcas, implicando errores en el análisis posterior. Una vez tomadas las muestras de aceite usado, el almacenamiento de las mismas deberá ser en un lugar fresco donde no esté sometida a cambios bruscos de temperatura, la humedad controlada en el lugar de almacenamiento, además debe ser un sitio limpio y seco. Con el fin de mantener la integridad de las muestras y obtener la mayor fiabilidad en el análisis del aceite usado de los tractocamiones.

### 3.3 CALIDAD DE COMBUSTIBLE.

Para extender las intervenciones en mantenimiento, el análisis de los aceites puede ser un buen aliado en la toma de muestras y cambios de aceites, ayudando en el ahorro. En Colombia existe la limitante de la calidad de los combustibles utilizados, pues aún estamos lejos de la normativa internacional.

Los aceites lubricantes vienen definidos por la calidad del combustible usado, tal que el fabricante pueda dar un rango de operatividad de su producto. La mayoría de los aceites vienen regidos por especificaciones y condiciones de servicio, la más utilizada es la norma API<sup>20</sup> y un símbolo de servicio conocido como la “donut”, esta norma mediante una codificación de caracteres indica para el caso de los motores si es para gasolina representado por una “S” proveniente de “servicio” y el caso de una “C” para Diésel por “comercial”, estas letras vienen acompañadas de otra letra, la cual representa un dato de vigencia y norma utilizada que para el caso del Diésel las letras vigentes actualmente van desde la H hasta la K. a continuación se muestran las especificaciones actuales y un breve resumen:

API CH-4 Inició su uso en 1998, diseñado para motores de cuatro tiempos de alta velocidad, alineado a las normas de emisiones contaminantes del año 1998. Estos aceites fueron formulados para ser usados junto a combustible diésel que contengan azufre inferior al 0.5% en peso. Puede sustituir aceites CD, CE, CF-4 y CG-4.

API CI-4 Inició su uso en 2002, diseñado para motores de cuatro tiempos de alta velocidad, alineado a las normas de emisiones contaminantes del año 2004 implementadas desde el año 2002. Estos aceites fueron formulados para motores Diésel que utilizan sistemas de recirculación de gases del escape que contengan

---

<sup>20</sup> API.org. Aceite para motores diésel. El aceite para motor es importante [online]. [Citado Enero 21 de 2018]. Disponible en: [http://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/SPANISH\\_MOTOR\\_OIL\\_GUIDE\\_3Q2012\\_ES1.pdf](http://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/SPANISH_MOTOR_OIL_GUIDE_3Q2012_ES1.pdf)

azufre inferior al 0.5% en peso. Puede sustituir aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Existen algunos aceites de este tipo clasificados como CI-4 PLUS.

API CJ-4 Inició su uso en 2010, diseñado para motores de cuatro tiempos de alta velocidad, alineado a las normas de emisiones contaminantes del año 2010 y Tier4. Estos aceites fueron formulados para ser usados junto a combustible diésel que contengan azufre inferior al 0.05% en peso (Max. 500ppm) Sin embargo se hacen susceptibles después de 15ppm los sistemas de pos tratamiento de gases y los tiempos de cambios de aceite. Puede sustituir aceites CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4.

API CK-4 Inició su uso en 2017, diseñado para motores de cuatro tiempos de alta velocidad, alineado a las normas de emisiones contaminantes del año 2017 y Tier4. Estos aceites fueron formulados para ser usados junto a combustible diésel que contengan azufre inferior al 0.05% en peso (Max. 500ppm) Sin embargo se hacen susceptibles después de 15ppm los sistemas de pos tratamiento de gases y los tiempos de cambios de aceite. Aceites diseñados para mejorar la protección contra la oxidación, pérdida de viscosidad por cizalla y aireación del aceite, protección contra contaminación del catalizador, bloqueo en filtros de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos, degradación por baja y alta temperatura, e incremento de viscosidad por hollín. Puede sustituir aceites CJ-4, CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4.

### 3.4 EXTENSIÓN CAMBIOS DE ACEITE

Los fabricantes de motores establecen los cambios de aceite para sus motores a condiciones normales de trabajo o generan rangos establecidos para condiciones extremas, todos ellos tienen una variable de control que puede ser la distancia recorrida (kilometraje) en el caso de vehículos o por horas de trabajo en el caso de motores estacionarios.

Durante la lubricación a condiciones normales de operación, el aceite es propenso a perder poco a poco sus condiciones iniciales debido a la exposición de altas temperaturas, velocidades variables, contaminación del aceite por agentes internos y externos, etc.; todos estos factores participan en la degradación del aceite, modificando sus propiedades físico-químicas.

Una de las consideraciones tenidas en cuenta al momento de realizar el cambio de aceite de **Shell Rimula R4<sup>21</sup>** a **Shell Rimula R5<sup>22</sup>**, fue la compatibilidad entre aditivos la cual minimiza los efectos de algún tipo de rechazo suavizando la transición de un aceite al otro y evitando daños a futuro en los equipos. Se pasó además de una base mineral a una base semi-sintética, de la cual se tenía información por parte del proveedor acerca de ensayos donde se soportaban periodos de trabajo por encima del requerido para nuestra flota.

La primera etapa consistía en subir de dieciocho mil kilómetros hasta veinticinco mil kilómetros, haciendo seguimientos en la evolución de los vehículos al cambio y controlando la degradación del aceite. Se debe tener en cuenta que los cambios de aceite no se hacen puntuales, debido a que por ser vehículos y ser una flota de carga están sujetos a desplazamientos que pueden ser aproximados pero nunca iguales, por tal razón se pueden hacer por proximidad dentro de un rango, además

---

<sup>21</sup> Aceite base mineral SAE 15W40 clasificación API CI-4

<sup>22</sup> Aceite Semi-sintético SAE 10W40 clasificación API CI-4

se deben tener en cuenta las pérdidas de aceite generadas entre cambios, controlada y monitoreada periódicamente. El consumo es debido a perdidas por accesorios, juntas, respiraderos y también debido al aceite filtrado por pistones y cilindros hacia la cámara de combustión. Para nuestro estudio se presentaran los casos o muestras donde se verán la evolución y trazabilidad de los seguimientos. Antes de iniciar las pruebas se establecen límites condenatorios por los cuales se registrará el seguimiento al análisis, estos son dispuestos por el fabricante del aceite y también por el diseñador del equipo para mantener las condiciones normales de trabajo en este caso Cummins , se adjunta análisis de varias tomas a diferentes periodos iniciando en dieciocho mil kilómetros hasta llegar a nuestra meta de veintisiete mil kilómetros, donde se evidencia el seguimiento y control del aceite, su evolución y desempeño a los diferentes periodos de muestreo.



Figura 13: Seguimiento análisis de aceite SOZ153 parte 2

| RESULTADOS  |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Numero muestra                                      | 201329080             | 491302977             | 491308736             | 491344515            | 491346484            | 491366526             |
| Condición de la muestra                             | Normal                | Normal                | Normal                | Precaución           | Normal               | Normal                |
| Fecha de la muestra                                 | 07/02/2013            | 06/05/2013            | 25/10/2013            | 05/02/2015           | 07/05/2015           | 07/08/2016            |
| Vida útil del equipo                                | 187040<br>Kilómetros  | 206224<br>Kilómetros  | 255194<br>Kilómetros  | 382015<br>Kilómetros | 406955<br>Kilómetros | 485038<br>Kilómetros  |
| Vida útil del lubricante                            | 17995<br>Kilómetros   | 19184<br>Kilómetros   | 21694<br>Kilómetros   | 26855<br>Kilómetros  | 25940<br>Kilómetros  | 25688<br>Kilómetros   |
| Volumen de relleno                                  | 1 Galones<br>(EE.UU.) | 2 Galones<br>(EE.UU.) | 1 Galones<br>(EE.UU.) | -                    | -                    | 2 Galones<br>(EE.UU.) |
| Muestra de cambio de aceite                         | Si                    | Si                    | Si                    | Si                   | Si                   | Si                    |
| Viscosidad a 100 °C                                 |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
| Viscosidad a 100 °C cSt                             | 15.4                  | 15.4                  | 15.5                  | 14.9                 | 14.7                 | 14.9                  |
| TAN (D 664)   |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
| TAN (D 664) mg KOH/g                                | -                     | -                     | -                     | -                    | -                    | -                     |
| TBN (D 2896)  |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
| TBN (D 2896) mg KOH/g                               | -                     | -                     | -                     | -                    | -                    | -                     |
| FT-IR (Infrarrojo)                                  |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
| Oxidación (FT-IR) (abs cm <sup>-1</sup> )/0.1mm     | 0.09                  | 0.09                  | 0.15                  | 0.11                 | 0.03                 | 0.06                  |
| Nitración (FT-IR) (abs cm <sup>-1</sup> )/0.1mm     | 0.12                  | 0.12                  | 0.17                  | 0.12                 | 0.07                 | 0.10                  |
| Glicol (FT-IR) %                                    | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                  |
| Agua (FTIR) %                                       | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                  |
| Hollín (FTIR) (abs cm <sup>-1</sup> )/0.1mm         | 0.55                  | 0.56                  | 0.57                  | 0.35                 | 0.94                 | 0.69                  |
| Sulfatación (FT-IR) (abs cm <sup>-1</sup> )/0.1mm   | 0.16                  | 0.19                  | 0.22                  | 0.11                 | 0.10                 | 0.15                  |
| Combustible (FT-IR) %                               | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                  |
| Metales/ICP (lubricante)                            |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
| Hierro (Fe) ppm                                     | 45                    | 40                    | 40                    | 36                   | 40                   | 33                    |
| Cromo (Cr) ppm                                      | 2                     | 3                     | 2                     | 2                    | 1                    | 2                     |
| Níquel (Ni) ppm                                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                    | 0                    | 0                     |
| Aluminio (Al) ppm                                   | 3                     | 4                     | 3                     | 6                    | 5                    | 5                     |
| Cobre (Cu) ppm                                      | 2                     | 2                     | 5                     | 7                    | 3                    | 5                     |
| Plomo (Pb) ppm                                      | 4                     | 2                     | 10                    | 10                   | 4                    | 8                     |
| Estaño (Sn) ppm                                     | 0                     | 0                     | 0                     | 0                    | 0                    | 0                     |
| Plata (Ag) ppm                                      | 0                     | 0                     | 0                     | 0                    | 0                    | 0                     |
| Titanio (Ti) ppm                                    | 0                     | 0                     | 0                     | 0                    | 0                    | 0                     |
| Vanadio (V) ppm                                     | 0                     | 1                     | 0                     | 0                    | 0                    | 1                     |
| Silice (Si) ppm                                     | 8                     | 9                     | 3                     | 11                   | 7                    | 8                     |
| Sodio (Na) ppm                                      | 12                    | 10                    | 10                    | 10                   | 3                    | 4                     |
| Molibdeno (Mo) ppm                                  | 42                    | 34                    | 33                    | 3                    | 6                    | 32                    |
| Manganeso (Mn) ppm                                  | 1                     | 1                     | 1                     | 1                    | 0                    | 1                     |
| Boro (B) ppm  | 274                   | 208                   | 233                   | 24                   | 27                   | 214                   |
| Magnesio (Mg) ppm                                   | 19                    | 20                    | 15                    | 20                   | 21                   | 6                     |
| Calcio (Ca) ppm                                     | 3377                  | 3238                  | 3687                  | 3259                 | 2605                 | 3273                  |
| Fósforo (P) ppm                                     | 1205                  | 1153                  | 1078                  | 1433                 | 1273                 | 1096                  |
| Zinc (Zn) ppm                                       | 1264                  | 1112                  | 1297                  | 1260                 | 1311                 | 1288                  |
| ACCIONES DEL CLIENTE                                |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
| Esta muestra fue tomada durante el cambio de aceite |                       |                       |                       |                      |                      |                       |

Los límites condenatorios<sup>23</sup> para el análisis de aceite usado en equipos Cummins están expresados en la Tabla 1, donde:

Tabla 1: Límites condenatorios cummins



### Límites Condenatorios

|  |             | Unidades     | Precaución | Crítico |
|--|-------------|--------------|------------|---------|
| Viscosidad a 100°C                                   | Incremento  | cSt.         | 16         | 16.5    |
|  | Disminución | cSt.         | 13         | 12      |
| Viscosidad a 40°C                                    | Incremento  | cSt.         | 120        | 130     |
|  | Disminución | cSt.         | 90         | 85      |
| TBN - Numero Basico Total                            |             | mgKOH/g Min. | 6.5        | 4.5     |
| TAN - Numero Acido Total                             |             | mgKOH/g Max. | 3.5        | 4.5     |
| Contaminación con Agua                               |             | % Max.       | 0.1        | 0.2     |
| Dilución por Combustible                             |             | % Max.       | 5          |         |
| Metales de Desgaste                                  | Hierro      | ppm Max.     | 25         | 35      |
|  | Cobre       | ppm Max.     | 10         | 15      |
|  | Niquel      | ppm Max.     | 5          | 10      |
|  | Estaño      | ppm Max.     | 2          | 5       |
|  | Aluminio    | ppm Max.     | 10         | 15      |
|  | Plomo       | ppm Max.     | 5          | 10      |
|  | Cromo       | ppm Max.     | 4          | 8       |
|  | Plata       | ppm Max.     | 3          | 5       |
| Metales de<br>(sobre el contenido del aceite nuevo). | Potasio     | ppm Max.     | 13         | 40      |
|  | Sodio       | ppm Max.     | 13         | 40      |
|  | Silicio     | ppm Max.     | 10         | 15      |
| Oxidación  | FTIR        | abs/0.1mm    | 0.15       | 0.2     |
| Nitración  | FTIR        | abs/0.1mm    | 0.15       | 0.2     |
| Sulfatación  | FTIR        | abs/0.1mm    | 0.15       | 0.2     |
| Hollín.  | FTIR        | abs/0.1mm    | 0.45       | 0.90    |
|  |             | %Peso Max.   | 1.5%       | 2.5%    |
| Indice PQ  |             | Adimensional | 30         | 50      |

Nota: Para la interpretación correcta del resultado de análisis de aceite usado una muestra puntual no es representativa, debe obtenerse por lo menos tres muestras consecutivas para evaluar la tendencia de los metales de desgaste en el motor.

<sup>23</sup> Moncada, Jaime Luis. Scribd.com. Límites condenatorios Cummins [online]. [Citado Enero 24 de 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/353360384/Limites-Condenatorios-Cummins>

El análisis de aceite usado con base en patrones de control nos facilita verificar en cada muestra el nivel de degradación que tiene un aceite a través del tiempo y el uso. Así podemos controlar la viscosidad, oxidación, nitración, agua, hollín, sulfatación y presencia de combustible; con estos datos se puede verificar si el lubricante mantiene las propiedades que garanticen continuar usándolo. También se puede conocer el desgaste que sufre el equipo por medio de las partículas metálicas que se arrastran y están contenidas en la muestra.

El aceite usado es sometido a pruebas y por medio del FTIR<sup>24</sup> para determinar su estado, entre esas tenemos:

- Viscosidad: Parámetro primordial y se realiza la prueba a 100°C simulando la temperatura de trabajo en el cárter, se verifica que su medición permanezca entre mínimo 12 cSt y máximo 16.5 cSt.
- Oxidación<sup>25</sup>: Mediante el ensayo ASTM-D7414 Se evalúa la reacción ante la presencia de oxígeno y modificación de alcalinidad; esto fomenta la formación de ácidos y lodos, aumento de la viscosidad, su medición debe ser inferior a 0.2 abs/0.1mm.
- Nitración<sup>26</sup>: es la reacción de compuestos gaseosos nitrogenados con el aceite en la cámara de combustión, su medición debe ser inferior a 0.2 abs/0.1mm.
- Agua: Es el cálculo del porcentaje de agua disuelta o en emulsión, su medición debe ser inferior a 0.2 %.
- Hollín: Partículas producto de la combustión que no se disuelven, permite conocer el límite máximo antes de volverse abrasivo. su medición debe ser inferior a 0.9 abs/0.1mm o 2.5% en peso.

---

<sup>24</sup> Método de Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier

<sup>25</sup> Páez, Alfonso. Noria.mx. lublearn/oxidación. La oxidación – Enemiga del lubricante [online]. Agosto 2014. [Citado Enero 24 de 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/la-oxidacion-enemiga-del-lubricante/>

<sup>26</sup> Trujillo Corona, Roberto. Noria.mx. lublearn/nitración. Causas de nitración en aceites de motor [online]. Febrero 2016. [Citado Enero 24 de 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/causas-de-nitracion-en-aceites-de-motor/>

- Sulfatación: Neutralización del azufre presente en el combustible producto de la combustión, su medición debe ser inferior a 0.2 abs/0.1mm.
- Dilución por combustible: Medición porcentual de elementos volátiles presentes en el aceite, su medición debe ser inferior a 5 %.
- Metales por desgaste: medición de la concentración de los metales presentes en el aceite usado, producto de arrastrar en su función de refrigeración, limpieza y lubricación, la concentración se representa en ppm y varían de acuerdo al metal, concentraciones disponibles en la figura 14.

### **3.5 VIDEOSCOPIA.**

Es una técnica de inspección no invasiva que consiste en usar una sonda con cámara en el extremo, la cual se hace ingresar a través de cavidades para verificar los puntos que queremos inspeccionar y así detectar fallas evidentes en los componentes de los cuales sospechamos por los indicios que se muestran en los análisis. Como premisa se tiene que antes de culpar el aceite, el mecánico o cualquier pieza, se debe ver el tipo de desgaste mostrado y su causa probable. El proveedor en el convenio y negociación realizada provee este tipo de técnica sin ningún costo cada mes para un equipo, referenciado como Shell Lube Videocheck.

Figura 14: Equipo de videoscopía



A continuación se muestra el trabajo de videoscopía efectuado en un equipo que mostraba indicios de falla, siempre se deben analizar pistón, camisa y culata con válvulas del mismo recinto, al final se emite un informe de la inspección para análisis e intervención.

Figura 15: TAW251, Pistón #4



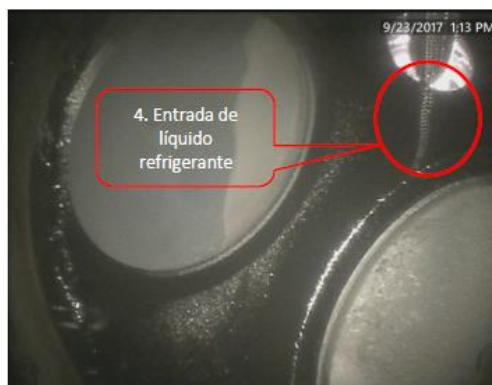
En las figuras 15, 16 y 17 se muestra el vehículo TAW251 de la flota donde se evidencia el pistón bajo dos condiciones de operación anómalas, señales sobre la camisa de un recostamiento del pistón por presencia de ralladuras y la acumulación de hollín sobre la superficie de la culata y cabeza del pistón, además de presencia del líquido refrigerante.

Figura 16: TAW251, Camisa #4



Como posibles causas de estas anomalías tenemos: trabajo del motor sobre revolucionado, trabajo excesivo en altas temperaturas, falla en los anillos del pistón, entrada de silice al motor, fallas en el sistema de inyección, falla en el sistema de refrigeración, falla en empaque de culata, camisilla de inyector.

Figura 17: TAW251, culata y válvulas #4



Se recomienda revisar estado de pistones, anillos y temperaturas de operación, revisión del sistema de admisión por filtros y ductos, calibración del sistema de inyección, revisión del estado de culata y empaquetadura.

Figura 18: TAW251, pistón #3



En la figura 18 se evidencia acumulación de hollín sobre la superficie de la culata y cabeza del pistón y señales sobre la superficie de la camisa de recostamiento del pistón. Esta inspección se a cada compartimento de combustión del vehículo, de aquí se toman acciones correctivas una vez identificado el problema.

#### 4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

El tipo de mantenimiento predominante a través de la historia en la mayoría de empresas del gremio de transporte ha sido el correctivo con la migración de las más grandes al mantenimiento preventivo, donde se realiza la sustitución o reparación de componentes cuando se presenta la falla, y la aplicación en parte de mantenimiento preventivo cuando se asignan periodos fijos por recomendación del fabricante o basado en historiales de ocurrencia de fallas.

Aplicado a nuestra área de interés que es la lubricación del motor, extensión de periodos de cambio y el mantenimiento basado en análisis, se llevó el periodo de cambio de aceite lubricante para motor desde los dieciocho mil kilómetros a veinticinco mil kilómetros, luego se incrementó el periodo de cambio a veintisiete mil kilómetros. Se realizó un seguimiento a las muestras de aceite entre cambios extendiendo gradualmente ese periodo y en cada cambio se realizó un análisis de las muestras de aceite, llevando el control y monitoreando la integridad del aceite lubricante utilizado, también haciendo seguimiento a las partículas en suspensión encontradas para evaluar el estado mecánico del motor, todo esto acompañado de una videoscopía que proporciona el proveedor y del cual nos podemos valer para verificar las condiciones que se reportaban en los análisis y si son compatibles con el diagnóstico.

Se inicia con la identificación del aceite utilizado, para este caso es el Aceite Shell Rimula R5 E 10W40 CI4<sup>27</sup> se aprecia en la tabla 2; luego la identificación de los motores de combustión diésel que serán evaluados, para este caso son motores Cummins ISX con un rango de potencia que inicia en los 400HP hasta los 600HP y con un torque que va desde los 1450 Lb-ft hasta los 1850 Lb-ft., por último se

---

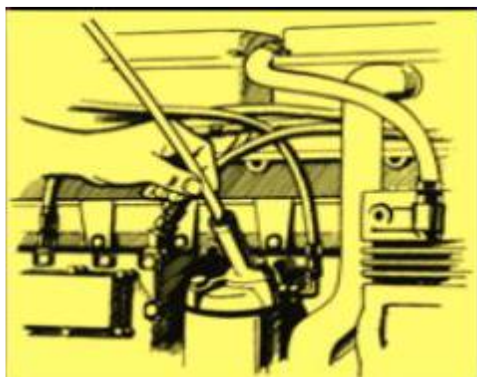
<sup>27</sup> [www.shell.com.co. Aceites y lubricantes. Shell Rimula R5 E \[online\]. \[Citado Enero 26 de 2018\]. Disponible en: https://www.shell.com.co/lubricantes-para-conductores/aceites-y-lubricantes-de-motor-shell/lubricantes-shell-rimula-para-motores-usados-en-trabajos-pesados/aceites-shell-rimula-de-bajo-consumo-de-combustible.html](https://www.shell.com.co/lubricantes-para-conductores/aceites-y-lubricantes-de-motor-shell/lubricantes-shell-rimula-para-motores-usados-en-trabajos-pesados/aceites-shell-rimula-de-bajo-consumo-de-combustible.html)

identifica el sitio de trabajo o el ambiente bajo el que se desempeñará la prueba, para este caso el motor estará sujeto a carga normal de trabajo por 8 horas promedio día, durante 2 meses se tomaran muestras semanales para determinar el estado inicial de los vehículos y establecer la línea base del seguimiento. Se efectúa el cambio de aceite a Shell Rimula R5, se tomaran las muestras a diferentes intervalos de tiempo controlando la degradación del aceite hasta alcanzar la meta, si existiese algún cambio que comprometa la integridad del equipo se suspende inmediatamente la prueba y se vuelve al periodo encontrado como estable antes de estar comprometida la integridad del aceite, la toma de muestras se realizará según protocolo descrito a continuación:

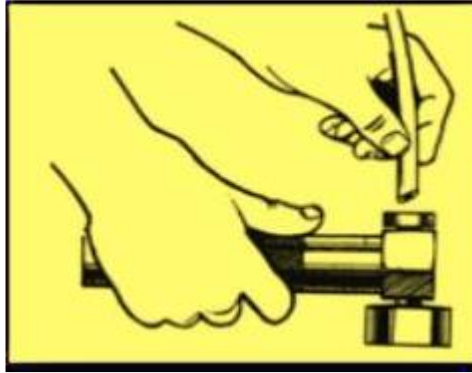
#### **Alistamiento de los elementos necesarios:**

- Tarros de recolección de la muestra.
- Manguera de succión.
- Bombín o vampiro.

*Figura 19:* Insertar manguera por el tubo de la varilla medidora.



*Figura 20:* Inserta el otro extremo de la manguera en la bomba de succión.



*Figura 21:* Roscar el tarro de la muestra en la bomba.



*Figura 22:* Succionar con la bomba y llenar el tarro hasta el final del hombro del mismo.



Una vez sacada la muestra se deben tener a la mano los siguientes datos, para completar el registro del análisis de la muestra de aceite usado:

- Nombre de la empresa
- Placa del vehículo
- Fecha de la toma de muestra
- Kilometraje total del vehículo
- Kilómetros de trabajo del aceite
- Indicar si hay o no relleno de aceite
- Cantidad de relleno del aceite
- Tipo de aceite

Tabla 2: Propiedades SHELL Rimula R5 E

| Propiedades                |          |                    | Method     | Shell Rimula R5 E 10W-40<br>(CI-4/228.3) |
|----------------------------|----------|--------------------|------------|--|
| Grado de viscosidad        |          |                    |            | 10W-40                                   |
| Viscosidad cinemática      | @40°C    | mm <sup>2</sup> /s | ASTM D445  | 90                                       |
| Viscosidad cinemática      | @100°C   | mm <sup>2</sup> /s | ASTM D445  | 13.4                                     |
| Viscosidad dinámica        | @-25°C   | mPa s              | ASTM D5293 | 6600                                     |
| Índice de viscosidad       |          |                    | ASTM D2270 | 150                                      |
| TBN                        | mg KOH/g |                    | ASTM D2896 | 10                                       |
| Cenizas sulfatadas         | %        |                    | ASTM D874  | 1.2                                      |
| Densidad                   | @15°C    | kg/l               | ASTM D4052 | 0.882                                    |
| Punto de inflamación (COC) | °C       |                    | ASTM D92   | 220                                      |
| Punto de congelación       | °C       |                    | ASTM D97   | -39                                      |

Una vez obtenida la información base del estado actual de los vehículos se realiza un informe y se inicia el seguimiento del vehículo en cambios de aceite normales, aumentando cada vez el intervalo de recolección de la muestra para obtener un histórico de evolución.

Figura 20: Histórico aceite SOZ151

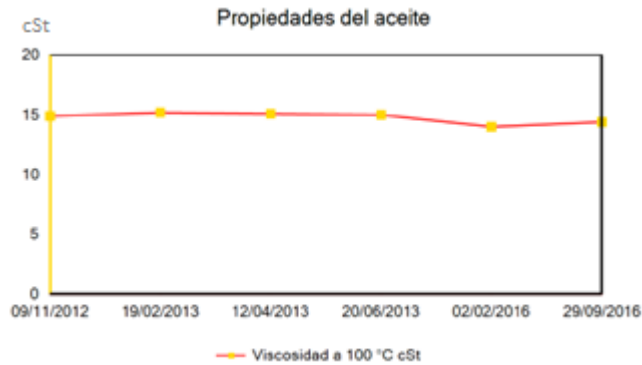


Tabla 3: Datos viscosidad SOZ151

|                             |                                     |            |                                     |                                     |                     |                     |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Numero muestra              | 201222108                           | 201326370  | 491301432                           | 491308457                           | 491356872           | 491371059           |
| Condición de la muestra     | Precaución                          | Precaución | Precaución                          | Normal                              | Precaución          | Normal              |
| Fecha de la muestra         | 09/11/2012                          | 19/02/2013 | 12/04/2013                          | 20/06/2013                          | 02/02/2016          | 29/09/2016          |
| Vida útil del equipo        | 189423                              | -          | 229261                              | 249586                              | 392860              | 446831              |
| Vida útil del lubricante    | Kilómetros<br>15026                 | -          | Kilómetros<br>19740                 | Kilómetros<br>20325                 | Kilómetros<br>25877 | Kilómetros<br>28137 |
| Volumen de relleno          | Kilómetros<br>2 Galones<br>(EE.UU.) | -          | Kilómetros<br>1 Galones<br>(EE.UU.) | Kilómetros<br>1 Galones<br>(EE.UU.) | -                   | -                   |
| Muestra de cambio de aceite | Sí                                  | No         | Sí                                  | Sí                                  | Sí                  | No                  |
| Viscosidad a 100 °C         |                                     |            |                                     |                                     |                     |                     |
| Viscosidad a 100 °C cSt     | 14.9                                | 15.2       | 15.1                                | 15.0                                | 14.0                | 14.4                |

Figura 23: Histórico aceite SOZ623

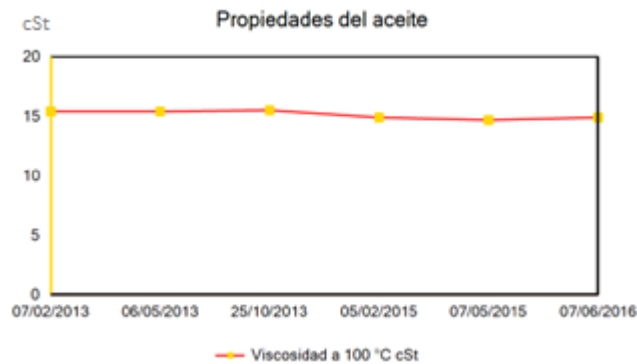


Tabla 4: Datos viscosidad SOZ623

|                             |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Numero muestra              | 201329080             | 491302977             | 491308736             | 491344515            | 491346484            | 491366526             |
| Condición de la muestra     | Normal                | Normal                | Normal                | Precaución           | Normal               | Normal                |
| Fecha de la muestra         | 07/02/2013            | 06/05/2013            | 25/10/2013            | 05/02/2015           | 07/05/2015           | 07/06/2016            |
| Vida útil del equipo        | 187040<br>Kilómetros  | 206224<br>Kilómetros  | 255194<br>Kilómetros  | 382015<br>Kilómetros | 406955<br>Kilómetros | 485038<br>Kilómetros  |
| Vida útil del lubricante    | 17995<br>Kilómetros   | 19184<br>Kilómetros   | 21694<br>Kilómetros   | 26855<br>Kilómetros  | 25940<br>Kilómetros  | 25688<br>Kilómetros   |
| Volumen de relleno          | 1 Galones<br>(EE.UU.) | 2 Galones<br>(EE.UU.) | 1 Galones<br>(EE.UU.) | -                    | -                    | 2 Galones<br>(EE.UU.) |
| Muestra de cambio de aceite | Sí                    | Sí                    | Sí                    | Sí                   | Sí                   | Sí                    |
| Viscosidad a 100 °C         |                       |                       |                       |                      |                      |                       |
| Viscosidad a 100 °C cSt     | 15.4                  | 15.4                  | 15.5                  | 14.9                 | 14.7                 | 14.9                  |

Figura 24; Histórico aceite TAW145

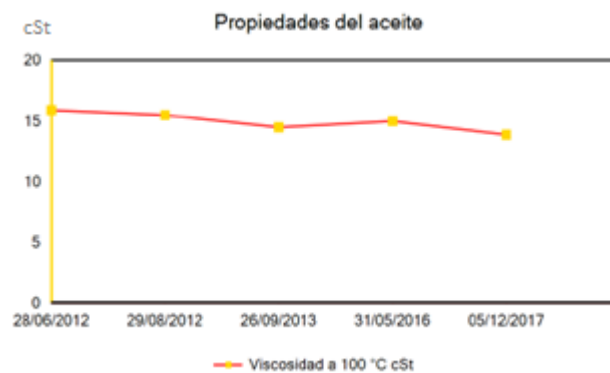


Tabla 5: Datos viscosidad TAW145

|                             |                     |                     |                      |                      |                      |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Numero muestra              | 201204330           | 201220176           | 491308737            | 491366522            | 491390378            |
| Condición de la muestra     | Precaución          | Precaución          | Normal               | Normal               | Precaución           |
| Fecha de la muestra         | 28/06/2012          | 29/08/2012          | 26/09/2013           | 31/05/2016           | 05/12/2017           |
| Vida útil del equipo        | 30857<br>Kilómetros | 45808<br>Kilómetros | 115949<br>Kilómetros | 280944<br>Kilómetros | 394578<br>Kilómetros |
| Vida útil del lubricante    | 15993<br>Kilómetros | 14951<br>Kilómetros | 19000<br>Kilómetros  | 29346<br>Kilómetros  | 27400<br>Kilómetros  |
| Volumen de relleno          | -                   | 2 Litros            | 2 Litros             | -                    | -                    |
| Muestra de cambio de aceite | No                  | Sí                  | Sí                   | Sí                   | No                   |
| Viscosidad a 100 °C         |                     |                     |                      |                      |                      |
| Viscosidad a 100 °C cSt     | 15.9                | 15.5                | 14.5                 | 15.0                 | 13.9                 |

En las gráficas y tablas anteriores se ven los análisis de aceite usado de tres vehículos con sus respectivos seguimientos donde se hace énfasis en la viscosidad, en ellas se evidencia que existe una tendencia a la estabilidad de la muestra no importando los tiempos o periodos de cambio, con esto se demuestra que el aceite utilizado no presenta desgaste o degradación y conserva las propiedades que lo catalogan como aún operativo, luego se sigue con las demás pruebas analizando

uno a uno los resultados en cada vehículo, los análisis efectuados en diferentes periodos incluso haciéndolos sobrepasar el kilometraje pactado para la toma de muestra. A continuación en la tabla 6 se muestra la tabulación de los vehículos de prueba, cabe destacar que no aparecen placas pues el número de muestra va relacionada a una placa y es como la maneja el laboratorio que realiza las pruebas, se presentan intervalos de cambios de aceite irregularmente pero abarcando las dos fases de interés para nuestro estudio, las dos fases son: fase I desde 18.000km hasta 25.000km y la fase II desde 25.000 km hasta 27.000km.

Tabla 6: Resultados análisis aceites usados

| #Muestra  | Vol Relleno | Km    | V@100c | O <sub>2</sub> | N    | H <sub>2</sub> O | Hollin | Sul  | Comb | Fe | Cr | Ni | Al | Cu | Pb | Sn | Ag | Ti | V | Si | Na | Mo | Mn | B   | Mg | Ca   | P    | Zn   |
|-----------|-------------|-------|--------|----------------|------|------------------|--------|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|-----|----|------|------|------|
| 201204330 | 0           | 15993 | 15,9   | 0,05           | 0,07 | 0                | 1,12   | 0,16 | 0    | 56 | 6  | 0  | 8  | 9  | 4  | 0  | 0  | 0  | 1 | 17 | 11 | 43 | 2  | 251 | 43 | 4053 | 0    | 450  |
| 201220176 | 2           | 14951 | 15,5   | 0,05           | 0,08 | 0                | 0,86   | 0,09 | 0    | 49 | 4  | 0  | 7  | 4  | 3  | 0  | 0  | 0  | 1 | 10 | 77 | 36 | 2  | 272 | 26 | 3314 | 1138 | 1174 |
| 201222108 | 2           | 15026 | 14,9   | 0,11           | 0,15 | 0                | 0,57   | 0,25 | 0    | 27 | 2  | 0  | 2  | 1  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0 | 6  | 12 | 34 | 0  | 201 | 19 | 3467 | 1048 | 1216 |
| 201326370 | N.A.        | N.A.  | 15,2   | 0,1            | 0,14 | 0                | 0,49   | 0,24 | 0    | 36 | 2  | 0  | 2  | 2  | 14 | 0  | 0  | 0  | 0 | 7  | 13 | 41 | 0  | 226 | 18 | 3677 | 1232 | 1297 |
| 201329080 | 1           | 17995 | 15,4   | 0,09           | 0,12 | 0                | 0,55   | 0,16 | 0    | 45 | 2  | 0  | 3  | 2  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0 | 8  | 12 | 42 | 1  | 274 | 19 | 3377 | 1205 | 1264 |
| 491301432 | 1           | 19740 | 15,1   | 0,1            | 0,13 | 0                | 0,55   | 0,27 | 0    | 32 | 3  | 0  | 2  | 2  | 19 | 0  | 0  | 0  | 1 | 5  | 14 | 32 | 2  | 164 | 17 | 3464 | 1121 | 1231 |
| 491302977 | 2           | 19184 | 15,4   | 0,09           | 0,12 | 0                | 0,56   | 0,19 | 0    | 40 | 3  | 0  | 4  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 1 | 9  | 10 | 34 | 1  | 208 | 20 | 3238 | 1153 | 1112 |
| 491308457 | 1           | 20325 | 15     | 0,11           | 0,17 | 0                | 0,38   | 0,22 | 0    | 33 | 2  | 0  | 3  | 2  | 12 | 0  | 0  | 0  | 0 | 5  | 10 | 43 | 1  | 237 | 20 | 3375 | 1249 | 1209 |
| 491308736 | 1           | 21694 | 15,5   | 0,15           | 0,17 | 0                | 0,57   | 0,22 | 0    | 40 | 2  | 0  | 3  | 5  | 10 | 0  | 0  | 0  | 0 | 3  | 10 | 33 | 1  | 233 | 15 | 3687 | 1078 | 1297 |
| 491308737 | 2           | 19000 | 14,5   | 0,09           | 0,09 | 0                | 0,47   | 0,13 | 0    | 28 | 2  | 0  | 7  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0 | 4  | 9  | 35 | 1  | 266 | 26 | 3248 | 1130 | 1286 |
| 491344515 | 0           | 26855 | 14,9   | 0,11           | 0,12 | 0                | 0,35   | 0,11 | 0    | 36 | 2  | 0  | 6  | 7  | 10 | 0  | 0  | 0  | 0 | 11 | 10 | 3  | 1  | 24  | 20 | 3259 | 1433 | 1260 |
| 491346484 | 0           | 25940 | 14,7   | 0,03           | 0,07 | 0                | 0,94   | 0,1  | 0    | 40 | 1  | 0  | 5  | 3  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0 | 7  | 3  | 6  | 0  | 27  | 21 | 2605 | 1273 | 1311 |
| 491356872 | 0           | 25877 | 14     | 0,1            | 0,14 | 0                | 0,32   | 0,12 | 0    | 30 | 1  | 0  | 2  | 5  | 10 | 0  | 0  | 0  | 0 | 12 | 10 | 33 | 1  | 271 | 17 | 3560 | 1303 | 1401 |
| 491366522 | 0           | 29346 | 15     | 0,1            | 0,13 | 0                | 0,94   | 0,11 | 0    | 39 | 3  | 0  | 2  | 2  | 4  | 0  | 0  | 0  | 1 | 7  | 4  | 32 | 2  | 227 | 6  | 3259 | 1085 | 1242 |
| 491366526 | 2           | 25688 | 14,9   | 0,06           | 0,1  | 0                | 0,69   | 0,15 | 0    | 33 | 2  | 0  | 5  | 5  | 8  | 0  | 0  | 0  | 1 | 8  | 4  | 32 | 1  | 214 | 6  | 3273 | 1096 | 1288 |
| 491371059 | 0           | 28137 | 14,4   | 0,11           | 0,19 | 0                | 0,61   | 0,17 | 0    | 35 | 2  | 0  | 2  | 2  | 12 | 0  | 0  | 0  | 1 | 8  | 1  | 27 | 1  | 241 | 5  | 3245 | 1448 | 1238 |
| 491390378 | 0           | 27400 | 13,9   | 0,08           | 0,15 | 0                | 0,6    | 0,18 | 0    | 45 | 2  | 0  | 4  | 2  | 8  | 0  | 0  | 0  | 0 | 12 | 2  | 43 | 1  | 215 | 9  | 3700 | 1189 | 1145 |

Las otras condiciones analizadas en nuestro aceite usado, para determinar las condiciones en las que se encuentran nuestras muestras y por ende el estado actual de nuestro aceite, estos datos ayudan en la toma de decisiones y posterior acción son:

Figura 25: Contaminantes SOZ151

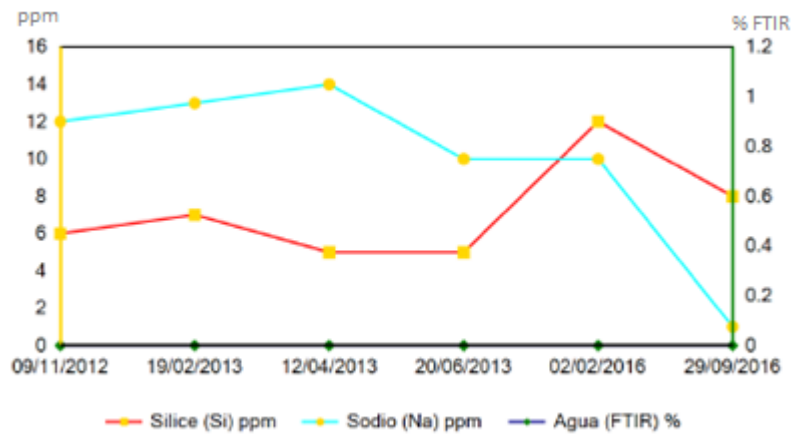


Figura 26: Desgaste SOZ151

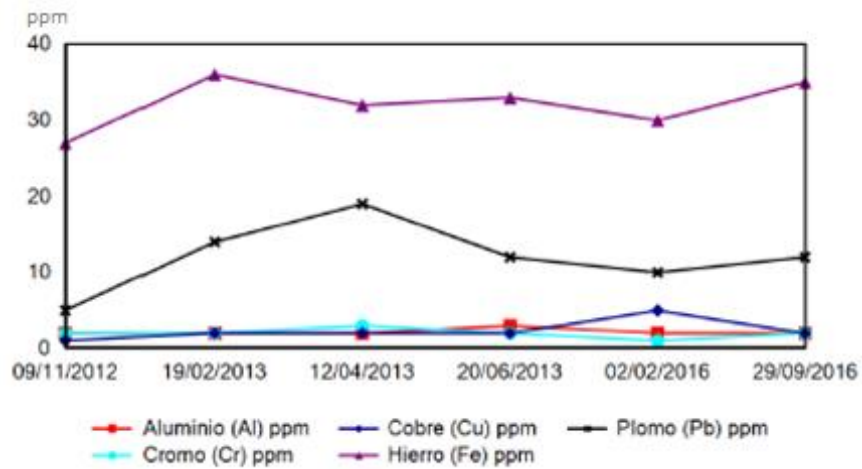
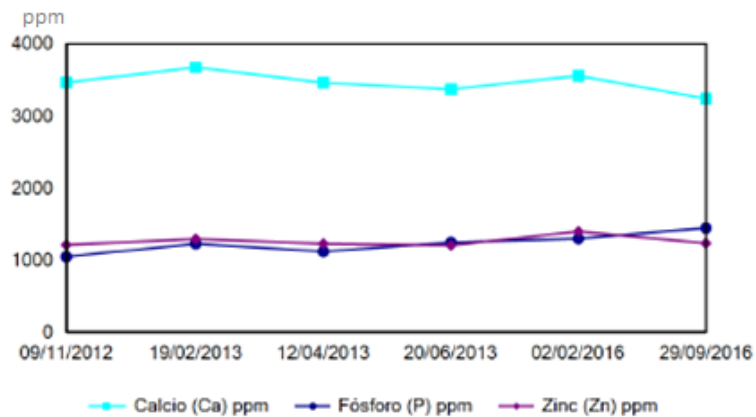


Figura 27: Aditivos SOZ151



Se mostró en las gráficas anteriores el análisis para el vehículo SOZ151, de la figura 23 extraemos que los datos están por debajo de los límites condenatorios sin embargo la presencia de sílice obliga a tener cuidado con la filtración de aire o algún tipo de contaminación por tierra en la muestra, el aceite en condiciones normales de operatividad puede extenderse el periodo de cambio. De la figura 24 extraemos que el desgaste que experimenta el motor debido al inusual aumento en el hierro y el plomo sumado al incremento de sílice se puede decir que es desgaste por contacto cuando se corroboran los datos de hollín. La figura 25 nos indica que los aditivos presentes en el aceite aún se mantienen y que puede seguir trabajando.

Tabla 7: Fuentes más comunes de elementos en el aceite usado

| Elemento  | Símbolo | Origen                          | Fuente más común   |
|-----------|---------|---------------------------------|--|
| Hierro    | Fe      | Metal de desgaste               | Varias partes de hierro y acero en la maquinaria                               |
| Plomo     | Pb      | Metal de desgaste               | Cojinetes, babbitt, aleaciones de bronce                                       |
| Estaño    | Sn      | Metal de desgaste               | Aleaciones de bronce, cojinetes  |
| Cromo     | Cr      | Metal de desgaste               | Recubrimiento de anillos, recubrimiento de cromo, acero inoxidable             |
| Níquel    | Ni      | Metal de desgaste               | Aleaciones de acero inoxidable, recubrimientos                                 |
| Titanio   | Ti      | Metal de desgaste               | Rodamientos de turbinas, paletas de turbinas                                   |
| Plata     | Ag      | Metal de desgaste               | Pernos y bujes EMD, soldadura, rodamientos de agujas                           |
| Antimonio | Sb      | Metal de desgaste               | Cojinetes  |
| Vanadio   | V       | Metal de desgaste, contaminante | Paletas de turbinas, válvulas, combustible bunker                              |
| Aluminio  | Al      | Metal de desgaste, contaminante | Rodamientos, tierra, mineral   |
| Zinc      | Zn      | Metal de desgaste, aditivo      | Aleaciones de latón, aditivo AW, galvanizado                                   |
| Cobre     | Cu      | Metal de desgaste, aditivo      | Enfriadores, aleaciones de bronce/latón, babbitt, bujes, anillos, aditivo      |
| Silicio   | Si      | Contaminante, aditivo           | Tierra, antiespumante, selladores de silicón, aditivo de refrigerante          |
| Sodio     | Na      | Contaminante, aditivo           | Aditivo de refrigerante, agua de mar, procesos químicos (cáustico), detergente |
| Potasio   | K       | Contaminante                    | Aditivo de refrigerante, cenizas   |
| Litio     | Li      | Contaminante                    | Espesante de la grasa  |
| Fósforo   | P       | Aditivo                         | Aditivo EP/AW  |
| Molibdeno | Mo      | Aditivo                         | Aditivo EP   |
| Bario     | Ba      | Aditivo                         | Aditivo detergente   |
| Calcio    | Ca      | Aditivo, contaminante           | Aditivo detergente, polvo de cemento, mineral, agua dura                       |
| Magnesio  | Mg      | Aditivo, contaminante           | Aditivo detergente, agua de mar  |
| Boro      | B       | Aditivo, contaminante           | Aditivo EP, detergente, aditivo inhibidor en refrigerantes                     |

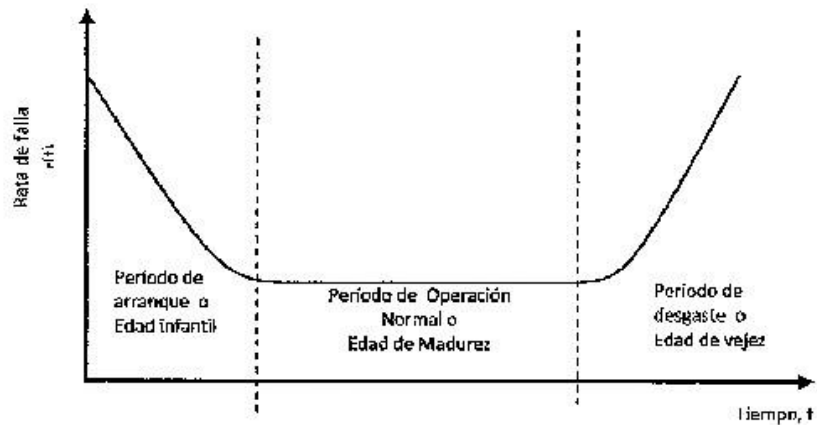
Luego de analizar los incrementos de ciertos elementos de desgaste y de las propiedades del aceite se encontró que la causa era debido a la calidad del combustible usado, el cual afectaba la combustión al inducir la mala operación de actuadores y estos a su vez los inyectores. Se relaciona la fuente más común de los contaminantes presentes en una muestra de aceite usado en la tabla 7<sup>28</sup>.

El equipo pesado depende de fluidos, tales como lubricantes, refrigerantes, combustibles y aire, los cuales llevan contaminantes y estos son transportados en los sistemas. La contaminación anormal de un sistema, puede denominarse como principio de falla o incipiente. Esto quiere decir que aunque no se manifieste una falla en el desempeño o daño en sus componentes las condiciones que conducen a la falla y reducen la vida del equipo están presentes, en consecuencia todas las piezas del motor funcionan bajo la premisa de un aumento en su desgaste interno por no tener aún las condiciones de trabajo y encontrarse nuevo, de este punto hasta que obtiene las condiciones de operación normal donde el desgaste se muestra poco hasta que llega a la etapa de vejez donde los componentes fallan por fatiga de los mismos elementos, respondiendo a la gráfica de la bañera.

Figura 28: Diagrama de fallas

---

<sup>28</sup> Trujillo Gonzalez, Lizzette. Noria.mx. Lublearn. Análisis de elementos [online]. Agosto 2014. [Citado Enero 26 de 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/analisis-de-elementos/>



El análisis económico de ahorro obtenido durante las fases de cambio de aceite está determinado de la siguiente manera:

Se realiza análisis a la flota de mulas Prodeca s.a., de motores Cummins ISX.

Estado inicial Fase I, desde 18.000 km.

Aceite lubricante inicial Shell Rimula R4 15W-40.

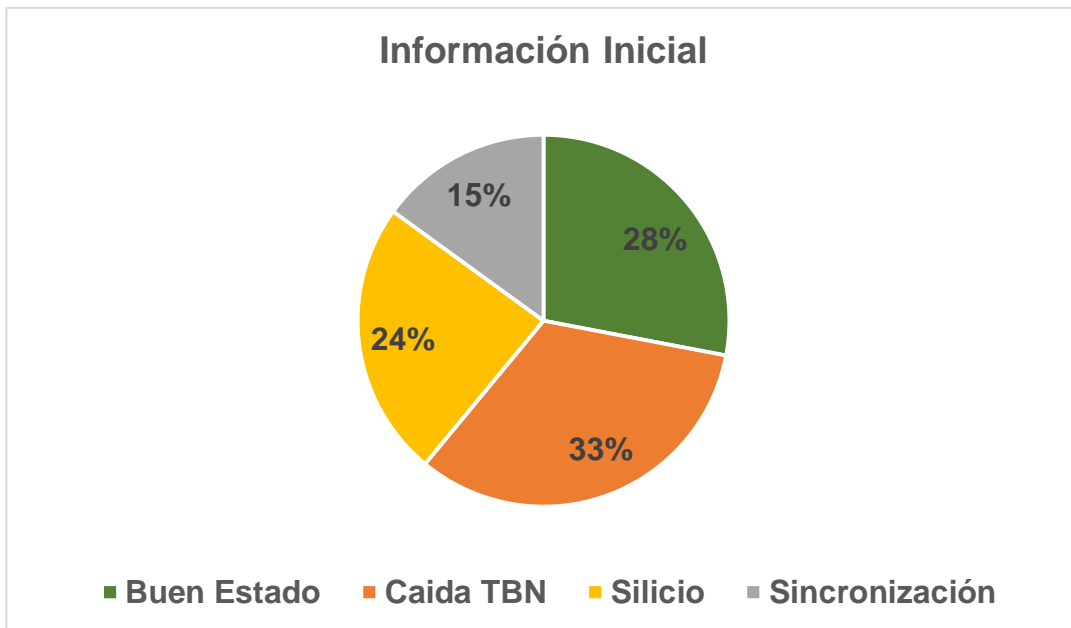
Estado final Fase I, 25.000 km.

Aceite lubricante final Shell Rimula R5 10W-40.

Se busca reducir las entradas a cambio de aceite, reducción de filtros utilizados producto del cambio, disminución de trabajos en los equipos, disminución en la emisión de residuos y por ende mano de obra.

Se parte con las condiciones iniciales de la flota con 70 vehículos, evaluada antes del uso del aceite semi-sintético, con un recorrido de 6.000 km mensuales promedio.

Figura 29: Estado inicial de la flota



Como hallazgos representativos en la verificación del estado inicial de la flota sometida a trabajos tenemos:

**Disminución del TBN**, caída en la capacidad de neutralizar el ácido sulfúrico que se origina por el azufre presente en el diésel, cuando ocurre la combustión en las cámaras.

**Presencia de Silicio**, las partículas de tierra que se filtra por los filtros de aire actuando como una lija, afectando camisas, anillos y toda aquella pieza que es sometida a fricción.

**Problemas de combustión (Hollín)**, este aparece cuando los inyectores están gastados (por contaminación del combustible y ausencia de un buen filtro), excesivo funcionamiento del motor en ralentí, mala pulverización por baja presión o inyectores en falla, mala posición de inyectores, mala relación de mezcla, exceso de caudal en bomba de inyección, operación del motor sin termostato, anillos gastados por contaminación de partículas, filtro de aire entupido.

**Plan de acción:** se hizo seguimiento al combustible utilizado realizando monitoreo al filtro trampa, donde se evidenció que el combustible utilizado estaba en presencia de agua, controlando con esto la disminución del TBN logrando la estabilidad del mismo. Se consigue estabilizar la muestra 7 meses después del cambio, con el control a los combustibles utilizados, seguimiento a filtros y verificación en los actuadores.

Figura 30: Combustible + agua



Figura 31: Estado flota 3 meses después

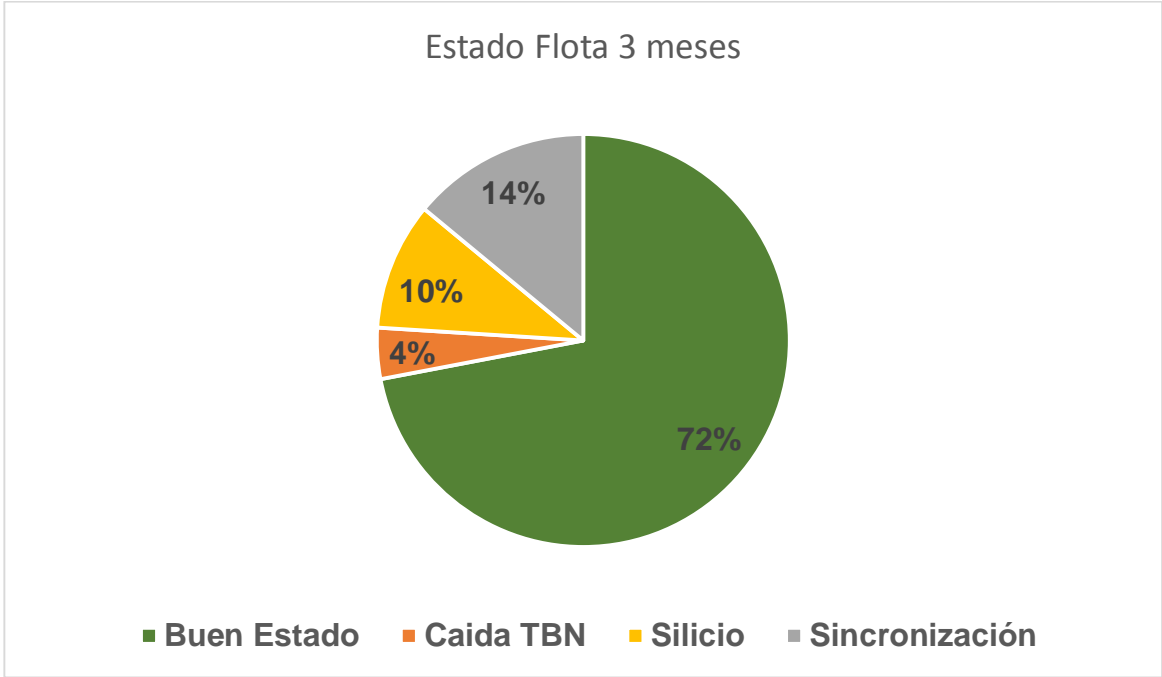
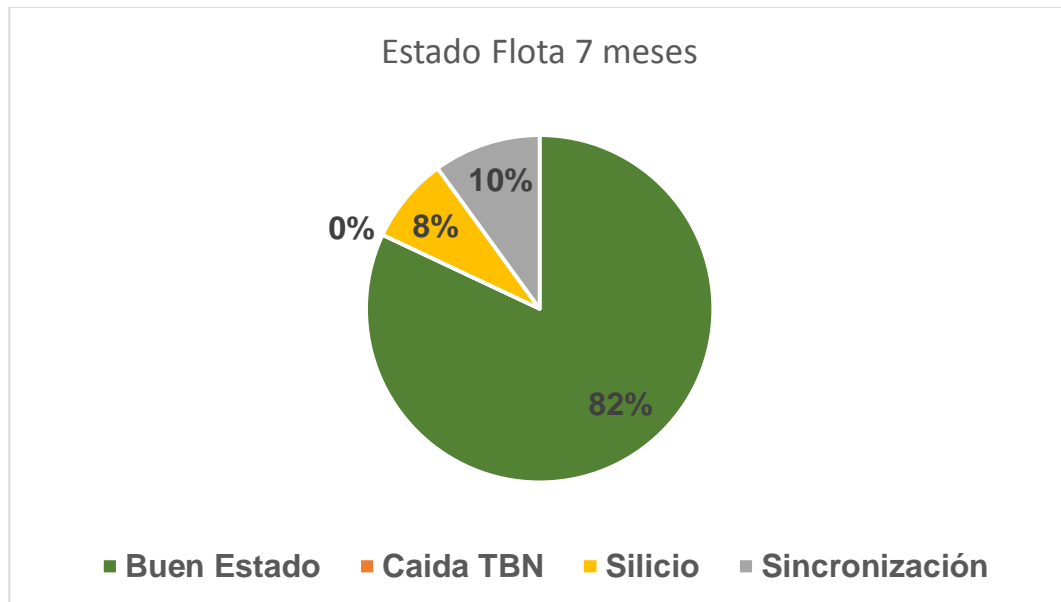


Figura 30: Estado flota 7 meses después



Se utilizan los siguientes datos en los insumos utilizados en el periodo de cambio de lubricantes luego de un año de trabajo, aplicado a 70 vehículos de la flota.

Tabla 8: análisis Económico de cantidades

|                                    | Shell Rimula R4<br>(18,000 Km) | Shell Rimula R5 Fase I<br>(25,000Km) | Shell Rimula R5 Fase II<br>(27,000Km) | Ahorro Fase I (18,000<br>Km hasta 25,000 Km) | %            | Ahorro Fase II (25,000<br>Km hasta 27,000 Km) | %           | Ahorro Total (18,000<br>Km hasta 27,000 Km) | %            |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------|---|-------------|---|--------------|
| Cambios<br>Estimados x año         | 4,00                           | 2,88                                 | 2,66                                  |  |              |   |             |   |              |
| PRECIO ¼ Galón                     | 1,00                           | 1,30                                 | 1,30                                  |  |              |   |             |   |              |
| Costo Anual<br>Aceite              | 13.440,00                      | 12.615,81                            | 11.652,10                             | 824,19                                       |              | 963,71  |             | 1.787,90                                    |              |
| Precio Combo<br>Filtros            | 83,33                          |                                      |                                       |  |              |   |             |   |              |
| Costo Anual<br>Filtros             | 23.332,94                      | 16.799,71                            | 15.516,40                             | 6.533,22                                     |              | 1.283,31                                      |             | 7.816,53                                    |              |
| Cantidad Anual<br>Filtros (Unidad) | 1.400,00                       | 1.008,00                             | 931,00                                | 392,00                                       |              | 77,00   |             | 469,00                                      |              |
| Costo Tiempo<br>Muerto             | 4.818,08                       | 3.469,03                             | 3.204,02                              | 1.349,05                                     |              | 265,00  |             | 1.614,06                                    |              |
| Costo Mano de<br>Obra              | 794,80                         | 572,26                               | 528,54                                | 222,55                                       |              | 43,71   |             | 266,26                                      |              |
| Costo Disp.<br>Residuos            | 111,50                         | 80,28                                | 74,23                                 | 31,22  |              | 6,05  |             | 37,27                                       |              |
| <b>TOTALES</b>                     |                                |                                      |                                       | 8.960,24                                     | <b>21,1%</b> | 2.561,80                                      | <b>7,6%</b> | 11.522,03                                   | <b>27,1%</b> |

Todas las unidades mostradas en la tabla 8, están representadas en función del valor del aceite Shell Rimula R4, exceptuando las unidades de cambios, filtros y porcentajes resaltados en color diferente.

## 5. CONCLUSIONES

1. Se realizó evaluación inicial del estado de los vehículos por medio del análisis de aceites usados para conocer las condiciones base del ejercicio y poder verificar avances; para esto se utilizó un grupo de vehículos prueba o piloto, donde se le hizo el seguimiento a cambios de aceite y aumentos de periodos.
2. El cambio en las propiedades del aceite utilizado para adición o cambio puede degradar las condiciones del aceite original de no utilizar el mismo aceite o uno no compatible, porque siempre quedan residuos en las cámaras que afectan las condiciones, ayudando a la degradación temprana.
3. El primer cambio de aceite efectuado en el cambio de referencia se debe realizar antes del periodo acordado para seguimiento, perdiendo quizás hasta un 60% del tiempo de vida útil normal debido a remanentes.
4. El tipo de aceite recomendado debe ser superior o igual a las especificaciones API CI-4, garantizando la menor resistencia a la fluidez en bombeo a baja temperatura con un contenido de hollín de hasta el 5% en peso, los aceites base sintética fácilmente aumentan su viscosidad entre 8 y 10 cSt sin utilizar polímeros, por eso no sufre problemas de cizallamiento y puede ofrecer mayor protección bajo altas presiones y temperaturas.
5. El aceite sintético no pierde las características químicas tan rápido como el aceite de base mineral, cuando están sometidos bajo las mismas condiciones de trabajo, este tipo de base tiene mayor estabilidad a la oxidación, menos volátil, mejora la lubricación, menos aditivos y ayuda a la combustión.
6. La limpieza en el sistema de lubricación es importante ya que en la extracción de la muestra o en el abastecimiento del lubricante podemos agregar elementos que pueden afectar el análisis posterior o funcionamiento del motor respectivamente.
7. El cambio de aceite semi-sintético genero para la empresa un ahorro del 27.11% con respecto al gasto del aceite lubricante inicial, hubo un ahorro de 13.30% por

concepto de compra de aceites, se ahorró 33.5% por concepto de compra de filtros, se compraron 469 unidades de filtros menos y hubo una reducción en la emisión de residuos peligrosos en aceites usados de 1.125,6 Gal.

## BIBLIOGRAFIA

Tormos Bernardo. Diagnóstico de Motores Diesel Mediante el Análisis de Aceite Usado. Reverté. 2005, 375p. ISBN: 84-291-4702-0

Albarracín A. Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz, Litochoa, 2da. Edición, Bucaramanga 1993, 976p.

KELLY y HARRIS. Gestión del Mantenimiento Industrial. Fundación Repsol. 1998, 227p. ISBN: 84-923506-0-1.

PAYRI y DESANTES. Motores de Combustión Interna Alternativos. Reverté, 2015, 110p. ISBN: 978-84-291-4802-2.

Prando, Raul R. Manual gestión de mantenimiento a la medida. Piedra Santa, Guatemala 1996, 104p. ISBN: 84-8377-399-6.

Mora Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Coldi. 2da Edición, Medellín 2012, 354p. ISBN: 978-958-98902-0-2.